



Inauguracja roku akademickiego 2014/2015
w nowej siedzibie Wydziału

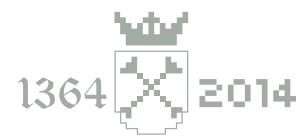


UNIWERSYTET JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Wydział Fizyki, Astronomii
i Informatyki Stosowanej







Redakcja: mgr Anna Czarnik
dr Paweł Czuba
mgr Nikodem Frodyma
mgr Anna Małgorzata Gawlik
dr hab. Zdzisław Golda
prof. dr hab. Jarosław Koperski
dr hab. Monika Marzec

Projekt graficzny i skład: Nikodem Frodyma

Fotografie: Kierownicy zakładów oraz autorzy esejów
Nikodem Frodyma
Krzysztof Magda

Druk: Drukarnia Pasaż Sp. z o.o.

ISBN: 978-83-919954-5-7

Kraków 2014

Fizyka, jako nauka związana z szeroko rozumianymi zagadnieniami funkcjonowania przyrody, obecna była na Uniwersytecie, w towarzystwie swojej siostry – astronomii, już przed ponad sześciuset laty w ramach Wydziału Sztuk Wyzwolonych. Jednak, organizacyjne ramy badań i dydaktyki, obejmujące fizykę nowożytną, stworzono dopiero pod koniec XVIII wieku w okresie reformy kołłątajowskiej. To właśnie wtedy Hugon Kołłątaj zainicjował budowę pierwszej siedziby Collegium Physicum przy ulicy Św. Anny 6. Po ponad stu latach, w roku 1911, fizycy przenieśli się do nowego gmachu przy ulicy Gołębiej 13. Collegium Witkowskiego, bo tak nazywa się ten obiekt dzisiaj na pamiątkę swojego ówczesnego promotora – profesora Augusta Witkowskiego, fizycy opuścili po pięćdziesięciu latach użytkowania. Collegium Physicum przeniósło się do nowej siedziby przy ulicy Władysława Reymonta 4.

Od tamtej przeprowadzki minęło kolejnych pięćdziesiąt lat. W tym roku, roku Jubileuszu 650-lecia Uniwersytetu, zespoły fizyków i współpracujących z nimi informatyków Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej przenoszą się do nowego kompleksu

budynków na Kampusie 600-lecia Odnowienia Uniwersytetu Jagiellońskiego. W wydanym z tej okazji folderze opisane zostały wybrane elementy działalności Wydziału. Wiele przedstawionych tu znakomitych osiągnięć zespołów naukowych, utworzenie nowych kierunków badań, wzrost liczby studentów połączony z nowocześnieaniem procesu dydaktycznego oraz współczesne wymagania dotyczące techniki i metodyki uprawiania nauki to czynniki, które nadały nowej siedzibie Wydziału obecny kształt i będą formować jego przyszłość.



Prof. dr hab. Andrzej Warczak
Dziekan Wydziału

Kraków, wrzesień 2014 r.



Nowy kompleks budynków Wydziału na Kampusie 600-lecia Odnowienia Uniwersytetu Jagiellońskiego

Historia Wydziału

Początki

W roku 1364 król Kazimierz Wielki, mecenas sztuki i nauki, uzyskał po latach starań zgodę papieża na założenie uniwersytetu w Krakowie, stolicy królestwa. Był to drugi, po powstałym w 1348 roku w Pradze, uniwersytet w środkowej Europie. Pierwszy polski ośrodek naukowy rozpoczął swoją działalność dopiero w 1367 roku pod nazwą Universitas studii generalis Cracoviensis, prowadząc wykłady na trzech wydziałach: sztuk wyzwolonych, medycyny i prawa.

Przedwczesna śmierć w 1370 roku króla Kazimierza i brak zainteresowania Uniwersytetem Krakowskim* u jego następcy, Ludwika Węgierskiego, spowodowały, że wkrótce ośrodek naukowy przestał wykazywać jakąkolwiek aktywność. Dopiero zabiegi królowej Jadwigi na dworze papieskim w Awinionie, a potem zapis w testamencie jej majątku osobistego na rzecz Uniwersytetu sprawiły, że wznowił on działalność w roku 1400. Król Władysław Jagiełło odnowił uczelnię i wprowadził istotne zmiany organizacyjne. Tym razem powstał już pełny uniwersytet średniowieczny, z czterema wydziałami, zorganizowany na wzór paryski.

Uniwersytet Krakowski nie zapomniał o roli królowej Jadwigi i króla Władysława Jagiełły – w 1818 roku nadano uczelni nową nazwę, Uniwersytet Jagielloński, podkreślając w ten sposób znaczenie jego odnowicieli.

Złoty wiek

Uniwersytet Krakowski był pierwszym uniwersytetem w Europie posiadającym samodzielne katedry matematyki i astronomii. Zostały one utworzone w 1406 roku. W uniwersytecie tym nauki astronomiczne i matema-

tyczne osiągnęły w ciągu XV wieku wysoki poziom. Prawdopodobnie stało się tak pod wpływem filozofów ze szkoły Jana Burydana (1300-1358), którego prace wywarły znaczny wpływ na rozwój nauki, a szczególnie filozofii przyrody, jak wtedy nazywano fizykę. Czołowymi przedstawicielami tychże nauk byli: Marcin Król z Żurawicy (1422 – przed 1460); Marcin Bylica z Olkusza (1433-1493), późniejszy nadworny astrolog króla Macieja Korwina w Budzie; Marcin Biem (ok. 1470-



Globus Marcina Bylicy

1540), autor projektu reformy kalendarza juliańskiego; Jan z Głogowa (1445-1507), spod pióra którego

wyszły liczne, znane w całej Europie traktaty matematyczne i astronomiczne; Wojciech z Brudzewa (ok. 1446-1495), nauczyciel wielu późniejszych wybitnych uczonych, czynnych w innych uniwersytetach europejskich. W latach 1491-1495 studiował w Krakowie sztuki wyzwolone Mikołaj Kopernik (1473-1543), który w dojrzałych latach życia ocenił wpływ krakowskiego środowiska naukowego jako decydujący dla swego rozwoju intelektualnego, twierdząc, że wiele zawdzięcza Uniwersytetowi Krakowskiemu.



Obserwatorium Astronomiczne UJ przy ul. Kopernika



Epokowe dzieło Kopernika *De revolutionibus orbium caelestium* (1543), związane formalnie z astronomią, miało zasadnicze znaczenie również dla rozwoju idei fizycznych, zwłaszcza dla dynamiki.

Upadek Uniwersytetu i reforma Kołłątaj

Rewolucja kopernikańska przyczyniła się do powstania w XVII w. nowożytnej nauki o przyrodzie, opartej na doświadczeniu i stosującej metody matematyczne. Rozwój nauk przyrodniczych w zachodniej i południowej Europie nie wywarł jednak dużego wpływu na ówczesną naukę polską. Nastąpił dramatyczny upadek całego Uniwersytetu. Przyczyn było wiele, m.in. przeniesienie dworu królewskiego Zygmunta III Wazy z Krakowa do Warszawy, spory z Jezuitami, którzy dążyli do utworzenia własnej uczelni, czy też liczne wojny gnębiące Rzeczpospolitą.

Zreformowania Uniwersytetu dokonał ks. Hugo Kołłątaj z ramienia powołanej w 1773 roku Komisji

Edukacji Narodowej. W 1782 roku utworzono Katedrę Mechaniki, którą objął Feliks Radwański (1745-1823) i Katedrę Fizyki, którą kierował do roku 1804 niezbyt lubiany ks. Andrzej Trzcziński (1745-1823). Aby ratować poziom nauczania fizyki, zastępowali go w prowadzeniu wykładów uzdolniony astronom Jan Śniadecki (1756-1830), jeden z głównych reformatorów Uniwersytetu, oraz Feliks Radwański, który założył Gabinet Fizyczny przy ulicy św. Anny.

Zaczęto snuć plany budowy obserwatorium astronomicznego. Nadzór nad budową powierzono Janowi Śniadeckiemu i dzięki jego staraniom w 1792 roku dokonano oficjalnego otwarcia Obserwatorium Krakowskiego, którego siedzibą został budynek pojezuicki u wejścia do Ogrodu Botanicznego.

Niestety, po odejściu Śniadeckiego ze stanowiska dyrektora nastąpił trwający dwadzieścia dwa lata okres, uważany za krytyczny w dziejach krakowskiej placówki astronomicznej. Dopiero, kiedy dyrektorem został Maksymilian Weisse (1798-1863), nastąpił renesans działalności stworzonego przez Śniadeckiego



Rada Wydziału Filozoficznego Uniwersytetu Jagiellońskiego w 1900 r.

ośrodka naukowego. Weisse zadbał o właściwy kierunek, rozmach i poziom prac Obserwatorium Krakowskiego. Sprowadzono nowe narzędzia astronomiczne i uruchomiono też te dotychczas nieczynne instrumenty. Nowy dyrektor zdołał również przeprowadzić generalny remont (1858-1859) wraz z przebudową gmachu, który znajdował się w fatalnym stanie.

Dokonanie na skalę światową

W 1870 roku nastąpiła pełna repolonizacja Uniwersytetu. Dwa lata później otwarto, jako jedną z pierwszych w Europie, Katedrę Fizyki Teoretycznej, którą kierował Stefan Ludwik Kuczyński (1811-1887). Z inicjatywy Kuczyńskiego utworzono w Uniwersytecie drugą



Tablica umieszczona na elewacji gmachu Collegium Kotłątaja przy ul. św. Anny 6 w Krakowie upamiętniająca skroplenie składników powietrza przez Karola Olszewskiego i Zygmunta Wróblewskiego

Katedrę Fizyki Doświadczalnej, na którą powołano znanego już na świecie fizyka, Zygmunta Wróblewskiego (1845-1888), który wraz z krakowskim chemikiem, uczniem Kuczyńskiego, Karolem Olszewskim (1846-1915), w 1883 roku skroplili wspólnie tlen i azot, co było osiągnięciem na skalę światową. Następnie uczeni prowadzili oddzielnie badania nad skropleniem innych gazów, a w szczególności wodoru. Ich wysiłki przyniosły częściowy sukces: obaj ogłosili, że udało się im uzyskać „skroplenie w stanie dynamicznym”, tj. zaobserwować przelotną mgiełkę tego gazu. Wróblewski podjął ostatnią próbę skroplenia wodoru parę dni przed tragiczną śmiercią w 1888 roku.

Prace Wróblewskiego i Olszewskiego zapoczątkowały w Uniwersytecie badania z dziedziny kriogeniki.

Wybitne umysły

Następca Wróblewskiego, August Witkowski (1854-1913), kierownik Katedry Fizyki Doświadczalnej w latach 1888-1913, prowadził badania nad właściwościami gazów w niskich temperaturach. Dzięki staraniom Witkowskiego i jego finansowej pomocy wzniesiono przy ul. Gołębiej 13 nowy budynek, nazwany później Collegium Witkowskiego, mający pomieścić katedry fizyki.

Katedrę Fizyki Teoretycznej w 1899 roku objął Władysław Natanson (1864-1937), którego prace, nierozumiane często przez współczesnych, miały charakter prekursorski. Sformułował m.in. pojęcie cząstek nierozróżnialnych i ich statystykę, z której wyprowadził prawo Plancka. Zagadnienie cząstek nierozróżnialnych wyjaśniły dopiero prace Bosego, Einsteina, Fermiego i Diraca, a związek statystyki ze spinem – praca Pauliego z 1946 roku.

Po śmierci Witkowskiego, na kierownika Katedry Fizyki Doświadczalnej powołano Mariana Smoluchow-



Marian Smoluchowski (1872-1917)

skiego (1872-1917), jednego z największych fizyków teoretyków przełomu XIX i XX wieku. Jego prace miały decydujące znaczenie dla rozwoju atomistycznej teorii budowy materii. Uczony zajmował się również hydrodynamiką, aerodynamiką i geofizyką. Objąwszy w 1913

roku Katedrę Fizyki Doświadczalnej, zorganizował laboratorium fizyczne, w którym asystenci i doktoranci rozpoczęli prace doświadczalne nad zagadnieniami rozpatrywanymi przez niego teoretycznie. O ważności jego dzieła świadczy fakt, że trzech uczeni wykonujący badania we współpracy ze Smoluchowskim otrzymali Nagrodę Nobla: Richard Zsigmondy w 1925 roku, Jean Perrin i Theodor Svedberg w 1926 roku.

Po śmierci Mariana Smoluchowskiego, w 1917 roku powrócił ze Lwowa Konstanty Zakrzewski (1876-1948). Objął on kierownictwo Katedry Fizyki Doświadczalnej i stał się w Polsce prekursorem badań w dziedzinie fizyki ciała stałego. Zbudował, prawdopodobnie jako pierwszy w świecie, prototyp falowodu.

Rozwój badań w dziedzinie astronomii

Na początku 1919 roku do Krakowa przybył Tadeusz Banachiewicz (1882-1954), utalentowany astronom, aby – na zaproszenie władz UJ – objąć kierownictwo Obserwatorium Astronomicznego i Katedry Astronomii. W ciągu zaledwie kilku lat krakowskie Obserwatorium Astronomiczne zostało podniesione przez niego do rangi międzynarodowego ośrodka badań gwiazd zaćmieniowych, co więcej, zachowało ten status do dzisiaj.

Imponująca twórczość naukowa Banachiewicza spotkała się z uznaniem wielu środowisk. Świadczą o tym zarówno jego wysokie funkcje, pełnione m.in. w Komisji Geodezyjnej Państw Bałtyckich, w IAU (Międzynarodowej Unii Astronomicznej) w latach 1932-1954; członkostwa: PAU, PAN, Akademii Padeńskiej, Royal Astronomical Society i wielu innych elitarnych towarzystw naukowych oraz trzy doktoraty honorowe uniwersytetów: Warszawskiego, Adama Mickiewicza w Poznaniu i Sofijskiego.



Collegium Witkowskiego przy ul. Gołępiej 13

W drugiej połowie lat 30. XX wieku w Ośrodku Krakowskim zaczęto zajmować się promieniowaniem kosmicznym. Z udziałem tutejszych fizyków zbudowano aparaturę do badania promieni kosmicznych na dużych wysokościach, przeznaczoną do wystania balonem do stratosfery. Chociaż lot nie udał się, gdyż napełniony wodorem balon splotnął, doświadczenia zdobyte przy budowie aparatury pozwoliły po wojnie rozpocząć w Krakowie badania w dziedzinie promieni kosmicznych i cząstek elementarnych.

Po przejściu Władysława Natansona na emeryturę, Katedrę Fizyki Teoretycznej objął w 1936 roku Jan Weyssenhoff (1888-1972), który zajmował się badaniami podstaw teorii względności, które doprowadziły go do prac nad teorią cząstek obdarzonych spinem.

Druga Wojna Światowa i lata okupacji

W wyniku działań wojennych, jesienią 1939 roku terytorium Polski zostało zajęte przez Niemcy hitlerowskie i ZSRR. Zamknięto wszystkie szkoły wyższe i średnie, a Collegium Witkowskiego zostało całkowicie zdezastrowane. Ponieważ nie istniała możliwość prowadzenia jawnego nauczania, kilka miesięcy po ustaniu działań wojennych rozpoczęto organizację tajnego szkolnictwa.

Obserwatorium Astronomiczne funkcjonowało natomiast podczas okupacji jako odrębna jednostka, niezależna od oficjalnie zamkniętego Uniwersytetu.

Po II Wojnie Światowej burzliwy rozwój fizyki krakowskiej związany jest z przyjazdem profesorów wileńskich: Henryka Niewodniczańskiego, twórcy krakowskiej szkoły fizyki jądrowej oraz znanego teoretyka Jana Blatona. Z powodu zniszczenia budynku przy ul. Gołępiej 13, profesorowie Niewodniczański i Weyssenhoff zorganizowali trzy wyprawy do Niemiec, gdzie w rosyjskiej strefie okupacyjnej, za kwotę 1,5 miliona marek (pozostawioną w Polsce przez władze okupacyjne), dokonali zakupów aparatury niezbędnej do wyposażenia pracowni studenckich i rozpoczęcia prac naukowych.

Historia najnowsza

16 lutego 1945 roku Wydział Filozoficzny, obejmujący zarówno nauki humanistyczne, jak i ścisłe, podzielono na dwa wydziały: Wydział Humanistyczny oraz Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, na którym oprócz fizyki, astronomii i matematyki prowadzono również badania i wykłady z zakresu chemii, biologii i nauk o Ziemi.

W 1956 roku został powołany Instytut Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego, skupiający katedry fizyki

doświadczalnej i teoretycznej. Pierwszym dyrektorem Instytutu został Henryk Niewodniczański.

Z powodu konfliktów, związanych z obsadzeniem stanowiska kierownika Obserwatorium po śmierci profesora Tadeusza Banachiewicza, od 1958 roku na miejscu dotychczasowej Katedry Astronomii pojawiły się dwie katedry, które od maja 1958 roku tworzyły Zespół Katedr o nazwie Obserwatorium Astronomiczne, pod kierownictwem profesora Eugeniusza Rybki.

Badania naukowe i specjalności dydaktyczne rozwijały się w wielu dziedzinach, zarówno fizyki doświadczalnej, jak i fizyki teoretycznej. W miarę rozwoju badań, i pojawiania się ich nowych kierunków, powstały nowe katedry, których system z biegiem lat zlikwidowano i zastąpiono strukturą zakładów.

Od 1945 roku do dnia dzisiejszego, struktura wydziałowa Uniwersytetu podlegała kilku zmianom organizacyjnym. W roku 1952, w ramach reorganizacji Uniwersyte-



Gmach Instytutu Fizyki przy ul. Władysława Reymonta 4

W roku 1964, roku Jubileuszu 600-lecia Uniwersytetu Jagiellońskiego, oddany został do użytku nowy gmach Instytutów Fizyki i Matematyki przy ul. Władysława Reymonta 4. Po przeniesieniu się do nowego gmachu Instytutu Fizyki, Collegium Witkowskiego przekazano Instytutowi Historii UJ. Nowy budynek przy ul. W. Reymonta 4 zawierał, oprócz pomieszczeń naukowych i dydaktycznych, dobrze wyposażony warsztat mechaniczny i halę wysokich napięć. W 1989 roku Instytut Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego otrzymał uchwałą Senatu Uczelni, imię Mariana Smoluchowskiego.

tu, powstał Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii. W 1979 roku wyodrębniono nauki chemiczne, dla których został powołany Wydział Chemii. Dzięki szybkiemu rozwojowi technologicznemu, zaczęto zajmować się informatyką, którą oficjalnie dodano do nazwy Wydziału w roku 2001. Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej (WFAIS) powstał w obecnej formie w 2003 roku w wyniku podziału Wydziału Matematyki, Fizyki i Informatyki. W skład Wydziału wchodzi: Instytut – Obserwatorium Astronomiczne, Instytut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego oraz Zespół Zakładów Informatyki Stosowanej.



Nowy gmach Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej przy ul. Prof. Stanisława Łojasiewicza 11 na III Kampusie UJ

W latach 2009-2012 miało miejsce istotne i bezprecedensowe podniesienie potencjału badawczego WFAIS dzięki wspólnej z Wydziałem Chemii realizacji projektu „Badanie układów w skali atomowej: nauki ścisłe dla innowacyjnej gospodarki – ATOMIN” w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka. Zakupiono wówczas ponad 150 unikalnych aparatów badawczych, co pozwoliło na rozwinięcie potencjału badawczego i podejmowanie zaawansowanych badań w obszarach Info, Techno i Bio na nieosiągalnym dotychczas poziomie.

W 2012 roku Krakowskie Konsorcjum Naukowe im. Mariana Smoluchowskiego „Materia-Energia-Przyszłość”, w skład którego wszedł WFAIS UJ, otrzymało status Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego (KNOW) – flagowej jednostki nauki w Polsce. Rok później, w wyniku ewaluacji polskich jednostek naukowych pod kątem osiągnięć naukowych i twórczych, potencjału naukowego oraz materialnych efektów działalności naukowej, Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego przyznało WFAIS najwyższą kategorię, A+, w grupie nauk ścisłych i inżynierskich.

W roku 2014, roku Jubileuszu 650-lecia Uniwersytetu Jagiellońskiego, oddany został do użytku nowy gmach Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej przy ul. Prof. Stanisława Łojasiewicza 11 na III Kampusie UJ, który powstaje w Krakowie-Pychowicach. Lokowane są tutaj nowoczesne siedziby przede wszystkim wydziałów nauk ścisłych i przyrodniczych.



Nowy gmach Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej

Do nowego budynku Wydział przენosi się jako jednostka zatrudniająca ponad 170 nauczycieli akademickich, w tym ponad 100 samodzielnych pracowników naukowych, w której studiuje ponad 1300 studentów.

Z inicjatywy naukowców Wydziału powstaje Narodowe Centrum Promieniowania Synchrotronowego SOLARIS, w którym budowany jest synchrotron, pierwsze tak



multidyscyplinarne i zaawansowane technologicznie urządzenie nie tylko w Polsce, ale i w tej części Europy. To właśnie w realizację Narodowego Centrum Promieniowania Synchrotronowego SOLARIS oraz trzech innych projektów: CTA (The Cherenkov Telescope Array) – Obserwatorium Astronomii Gamma TeV, FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) w Darmstadt, oraz LOFAR (Low Frequency Array) – Radio interferometr o niskiej częstotliwości, umieszczonych na Polskiej Mapie Drogowej Infrastruktury Badawczej, zaangażowani są naukowcy WFAIS.

Budowie III Kampusu towarzyszą liczne inwestycje Krakowskiego Parku Technologicznego oraz Krakowskiej Specjalnej Strefy Ekonomicznej. Jest to rozwiązanie unikatowe w skali Polski i Europy Środkowo-Wschodniej, które tworzy pomost między nauką a przemysłem.

* Sprawa nazewnictwa Uniwersytetu Jagiellońskiego jest dyskutowana w artykule prof. Krzysztofa J. Stopki „Jak się nazywał UJ”, Forum Akademickie 6/2014.

źródła:

„Złota księga Wydziału Matematyki i Fizyki” pod redakcją Bolesława Szafirskiego, Uniwersytet Jagielloński, Księgarnia Akademicka, Kraków 2000, ISBN 83-7188-326-9

„Studia z dziejów katedr Wydziału Matematyki, Fizyki, Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego” pod redakcją Stanisława Gołąba, Uniwersytet Jagielloński, Kraków 1964

Portal Uniwersytetu Jagiellońskiego

opracowanie: Anna Małgorzata Gawlik

Prezesi Kolegium Fizycznego oraz Dziekani Wydziałów

■ Filozoficznego; ■ Matematyczno-Przyrodniczego; ■ Matematyczno-Fizyczno-Chemicznego (Matematyki, Fizyki i Chemii); ■ Matematyki i Fizyki; ■ Matematyki, Fizyki i Informatyki; ■ Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej; 1780-2014

Prezesi Kolegium Fizycznego

1780/81-1781/82 – Piotr Rydułski (od 8 V 1872 – Jan Jaśkiewicz)

1782/83-1785/86 – Jan Jaśkiewicz

1786/87-1787/88 – Andrzej Badurski

1788/89-1889/90 – Andrzej Trzcziński

1790/91-1802/03 – Jan Śniadecki

Dziekani Wydziału Filozoficznego

pierwsze wybory dziekanów wszystkich wydziałów na rok szkolny 1803/04 zostały przeprowadzone 23 VI 1803

1803/04 – vacat

1804/05 – vacat

1805/06 – Franciszek Kodesch (Kudesch)

1806/07 – Jan Zemantsek (Zemantsch)

1807/08 – Emmanuel Kirszbaum

1808/09 – Tomasz Wuchich (Vuchich)

1809/10 – Józef Sołtykowicz

1810/11 – Józef Sołtykowicz (od 3 I 1811 – Jacek Przybylski)

1811/12 – Jacek Przybylski (od 1 I 1812 – Józef Łęski)

1812/13-1813/14 – Józef Łęski

Dziekani Wydziału Filozoficznego (Oddział Matematyczny-Fizyczny)

1814/15-1816/17 – Karol Hube (w roku 1816/17: Alojzy Estreicher – wg AUJ, S I 145)

1817/18-1819/20 – Alojzy Estreicher

1820/21-1823/24 – Franciszek Sapalski

1824/25-1825/26 – Franciszek Sapalski

1826/27-1828/29 – Karol Hube

1829/30-1831/32 – Alojzy Estreicher (w roku 1831/32: Karol Hube – wg AUJ, S I 145)

1832/33 – Roman Markiewicz

Dziekani Wydziału Filozoficznego

1833/34 – Maksymilian Weisse

1834/35 – Karol Hube (Maksymilian Weisse – wg AUJ, S I 145)

1835/36-1836/37 – Jan Kajetan Trojański

1837/38-1838/39 – Józef Jankowski

1839/40-1840/41 – Michał Wiszniewski

1841/42-1842/43 – Józef Jankowski

1843/44-1844/45 – Ludwik Stefan Kuczyński

1845/46-1847/48 – Jan Kajetan Trojański

- 1848/49-1849/50 – Jan Kanty Steczkowski
 1850/51 – Maksymilian Weisse
 1851/52 – Ignacy Czerwiakowski
 1852/53 – Józef Kremer (funkcję sprawował – Ignacy Czerwiakowski), zrezygnował, od I 1853 – Antoni Walewski, od VII 1853 – Maksymilian Weisse, od X 1853 – Antoni Walewski)
 1853/54-1854/55 – Antoni Walewski (w semestrze letnim 1854/55 – Maksymilian Weisse)
 1855/56-1859/60 – Maksymilian Weisse
 1860/61-1861/62 – Ignacy Czerwiakowski
 1862/63-1863/64 – Stefan Ludwik Kuczyński
 1864/65 – Antoni Walewski (od XI 1864 obowiązki pełnił – Franciszek Karliński, od IV 1865 – Stefan Ludwik Kuczyński, od V 1865 dziekan – Tomasz Bratranek)
 1865/66 – Józef Kremer
 1866/67 – Emil Czyrniański
 1867/68 – Alojzy Alth
 1868/69 – Stefan Ludwik Kuczyński
 1869/70-1870/71 – Franciszek Karliński
 1871/72 – Maksymilian Siła-Nowicki
 1872/73 – Franciszek Karliński
 1873/74-1874/75 Franciszek (Franz) Martens
 1875/76-1876/77 – Józef Szujski
 1877/78 – Józef Łepkowski
 1878/79-1879/80 – Alojzy Alth
 1880/81 – Maksymilian Iskrzycki
 1881/82 – Wincenty Zakrzewski
 1882/83 – Stanisław Tarnowski
 1883/84 – Stanisław Smolka
 1884/85-1885/86 – Józef Rostafiński
 1886/87 – Zygmunt Wróblewski
 1887/88 – Lucjan Malinowski
 1888/89 – Edward Glińka-Janczewski
 1889/90 – Szczęsny (Feliks) Kreutz
 1890/91 – Maurycy Straszewski
 1891/92-1892/93 – Franciszek Jan Kanty Schwarzenberg-Czerny (Szwarcenberg)
 1893/94 – August Witkowski
 1894/95 – Anatol Lewicki
 1895/96 – Władysław Szajnocha
 1896/97 – Antoni Wierzejski
 1897/98 – Franciszek Karliński
 1898/99 – Adam Miodoński
 1899/1900 – Szczęsny (Feliks) Kreutz
 1900/01 – Wincenty Zakrzewski
 1901/02 – Wilhelm Michał Antoni Creizenach
 1902/03 – Kazimierz Morawski (Dzierżykraj-Morawski)
 1903/04 – Julian Schramm
 1904/05 – Maksymilian Kawczyński (zrezygnował, od 21 X 1904 – Leon Sternbach sen.)
 1905/06 – Kazimierz Żorawski
 1906/07 – Maurycy Rudzki
 1907/08 – Władysław Natanson
 1908/09 – Piotr Bieńkowski
 1909/10 – Henryk Hoyer iun.
 1910/11 – Stanisław Krzyżanowski
 1911/12 – Józef Morozewicz
 1912/13 – Jan Michał Rozwadowski
 1913/14 – Jan Łoś
 1914/15 – Stanisław Zaremba (pełnił obowiązki – prodziekan Jan Łoś)
 1915/16 – Jan Michał Rozwadowski
 1916/17 – Marian Smoluchowski
 1917/18 – Witold Rubczyński
 1918/19 – Walerian Klecki
 1919/20 – Tadeusz Sinko
 1920/21-1921/22 – Karol Dziewoński
 1922/23 – Józef Kallenbach
 1923/24 – Tadeusz Estreicher
 1924/25 – Tadeusz Garbowski
 1925/26 – Michał Siedlecki
 1926/27 – Wacław Sobieski
 1927/28 – Konstanty Zakrzewski
 1928/29 – Władysław Semkowicz

1929/30 – Stefan Kreutz
1930/31 – Roman Dyboski
1931/32 – Władysław Szafer
1932/33 – Zdzisław Jachimecki
1933/34-1934/35 – Jan Nowak
1935/36-1936/37 – Tadeusz Lehr-Spławiński
1937/38 – Jerzy Smoleński
1938/39 – Władysław Konopczyński
1939/40 – Zygmunt Zawirski (wybrany 7 VI 1939)
1945 – Zygmunt Zawirski

Dziekani Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego

1945/46 – Franciszek Leja
1946/47 – Kazimierz Stołyhwo
1947/-1950/51 – Bogdan Kamieński

Dziekani Wydziału Matematyczno-Fizyczno-Chemicznego

od r. akad. 1954/55 - Matematyki,
Fizyki i Chemii

1951/52 – Bogdan Kamieński
1952/53-1955/56 – Feliks Polak
1956/57-1957/58 – Jacek Szarski
1958/59-1959/60 – Bronisław Zapiór
1960/61-1963/64 – Jerzy Rayski (od XII 1962 do IX 1963
obowiązki pełnił – prodziekan Zdzisław Wojtaszek)
1964/65-1965/66 – Stanisław Gołąb
1966/67-1968/69 – Bronisław Średniawa
1969/70-1971/72 – Bolesław Waligóra
1972/73-1974/75 – Andrzej Lasota
1975/76-1977/78 – Julian Mirek
1978/79 – Danuta Kunisz

Dziekani Wydziału Matematyki i Fizyki

od 12 VII 2001 - Wydziału Matematyki, Fizyki
i Informatyki; od 15 IV 1979 - Instytut
Chemii stał się jednostką pozawydziałową

1979/80 – Danuta Kunisz (p. o. Andrzej Kisiel, od 1980 –
Franciszek Szafranec)
1980/81 – Franciszek Szfranec
1981/82-1983/84 – Andrzej Białas
1984/85-1986/87 – Andrzej Staruszkiewicz
1987/88-1992/93 – Bolesław Szafirski
1993/94-1998/99 – Krzysztof Fiałkowski
1999/2000-2001/02 – Karol Musioł
2002/03 – Jerzy Szwed

Dziekani Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej

2003/04-2004/05 – Marek Szymoński
2005/06-2009/10 – Jerzy Szwed (od IX do X 2009 – p. o.
Antoni Pędziwiatr)
2009/10-2011/12 – Jerzy Jurkiewicz
2012/13 – Andrzej Warczak

podstawa:

Źródła archiwalne: AUJ, BR, protokoły posiedzeń Senatu Akademickiego 1977-2000; MFC 2-11, protokoły posiedzeń Rady Wydziału; S I 144-145, Skład osobowy Uniwersytetu, liceów i szkół podległych Uniwersytetowi 1780/81-1839/40; WF II 40-50, protokoły posiedzeń Rady Wydziału; 57; WMP 3-4, protokoły posiedzeń Rady Wydziału.

Źródła drukowane: Kroniki UJ, Składy osobowe UJ.

opracowanie: Przemysław Marcin Żukowski



Zakłady naukowe



Zakład Doświadczalnej Fizyki Komputerowej

Kierownik: prof. dr hab. Marcin Wójcik

<http://www.fais.uj.edu.pl/zdfk>

Realizowane badania

Pracownicy naukowcy Zakładu wnoszą znaczny wkład we współczesne badania z zakresu astrofizyki, fizyki cząstek elementarnych, fizyki jądrowej oraz fizyki atmosfery. Najdłuższą historię, sięgającą lat 80-tych ubiegłego wieku, mają badania neutrino słonecznych w eksperymencie GALLEX/GNO. Są one obecnie kontynuowane w ramach projektów BOREXINO oraz SOX, gdzie oprócz słonecznych, rejestrujemy w czasie rzeczywistym neutrino produkowane we wnętrzu Ziemi oraz neutrino ze sztucznych źródeł w eksperymencie z krótką bazą.



Wnętrze detektora BOREXINO

fot. Współpraca BOREXINO

astrofizyka **neutrino**
Ciemna Materia podwójny rozpad beta
fizyka atmosfery

W eksperymencie GERDA poszukujemy ekstremalnie rzadkich rozpadów jądrowych, których występowanie wskazywałoby, iż neutrino, w odróżnieniu od innych cząstek, są swoimi własnymi antycząstkami. Rejestracja takiego rozpadu oznaczałaby łamanie zasady zachowania liczby leptonowej i byłaby niezwykle ważna dla fizyki cząstek elementarnych.

W ramach udziału Zakładu w nowym projekcie DarkSide prowadzimy poszukiwania cząstek hipotetycznej ciemnej materii, na której istnienie wskazuje cały szereg obserwacji astrofizycznych.



Detektor DarkSide

Badamy również globalną aktywność burzową poprzez pomiary składowej magnetycznej fal EM w różnych warunkach środowiskowych, a także obserwujemy wpływ fal na organizmy żywe.

Najważniejsze osiągnięcia

Znaczny wkład we współczesne badania w dziedzinie astrofizyki, fizyki cząstek elementarnych i fizyki jądrowej w ramach międzynarodowych projektów GALLEX/GNO, BOREXINO/SOX, GERDA, DarkSide, m.in. poprzez:

- Zastosowanie oryginalnych technik pozwalających na uzyskanie niezwykle niskiego tła w eksperymentach poszukujących rzadkich procesów jądrowych.



- Opracowanie nowatorskich metod analizy danych.
- Rozwinięcie metod oraz budowę unikatowej aparatury umożliwiającej rejestrację pojedynczych atomów izotopów promieniotwórczych.
- Opracowanie niezwykle czułej aparatury oraz metody monitorowania globalnej aktywności burzowej w czasie rzeczywistym (Patent WO 2008152587).



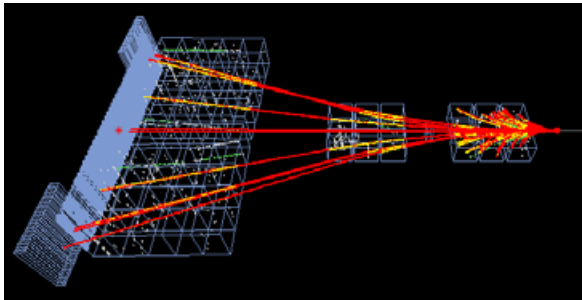
Zakład Fizyki Gorącej Materii

Kierownik: prof. dr hab. Roman Płaneta

<http://www.fais.uj.edu.pl/zfgm>

Realizowane badania

Dążenie do poznania właściwości materii zarówno tej, która wypełniała Wszechświat w pierwszych ułamkach sekundy jego istnienia, jak i tej, która znajduje się w jądrach atomowych i gwiazdach neutronowych, jest kluczowym wyzwaniem dla zespołu naukowców z Zakładu. Informacje o właściwościach materii jądrowej (hadronowej) w ekstremalnych warunkach temperatury i gęstości uzyskujemy poprzez badanie zderzeń jąder atomowych przy relatywistycznych energiach. Podczas takiego zderzenia w bardzo małym obszarze i bardzo krótkim czasie można wytworzyć warunki porównywalne do tych, jakie miały miejsce tuż po Wielkim Wybuchu.



Trajektorie cząstek rejestrowane w komorze projekcji czasowej eksperymentu NA61/SHINE

diagram fazowy silnie oddziaływującej materii
 superciężkich jąder atomowych
 synteza
 budowa specjalistycznych układów elektronicznych

Badania zderzeń jąder atomowych przy relatywistycznych energiach, w których biorą udział pracownicy Zakładu Fizyki Gorącej Materii, realizowane są między innymi w eksperymentach BRAHMS, NA61/SHINE, CBM oraz ASY-EOS. Pomiary prowadzone przy energii 200 GeV na parę nukleonów na akceleratorze RHIC w ramach eksperymentu BRAHMS umożliwiły badanie plazmy przy wysokich temperaturach i niskich gęstościach ładunku barionowego. Projekt CBM to przedsięwzięcie, którego celem jest badanie właściwości materii jądrowej w obszarze dużej gęstości barionowej. Badania w ramach tego projektu prowadzone w ośrodku FAIR na akceleratorze SIS100/300 pozwolą na tworzenie materii jądrowej o największej gęstości barionów, jaka możliwa jest do osiągnięcia w warunkach laboratoryjnych.

Eksperyment NA61/SHINE przeprowadzany jest w ośrodku CERN na akceleratorze SPS. Prowadzone

pomiary obejmują szeroki zakres masy i energii zderzających się jąder. Mają na celu dostarczenie danych dla poszukiwania punktu krytycznego w obszarze przejścia fazowego pomiędzy materią hadronową a plazmą kwarkowo-gluonową oraz dla eksperymentów badających promieniowanie kosmiczne i właściwości neutrin. Projektowana jest budowa dodatkowego detektora wierzchołka w oparciu o mozaikowe moduły MIMOSA-26. Umożliwi on pomiar produkcji mezonów z otwartym powabem. Planowane badania dostarczą ważnych sygnałów zachowania się otwartego powabu w obszarze przejścia fazowego do plazmy kwarkowo-gluonowej. Przeprowadzone symulacje pokazały, że podczas testów w roku 2015 będzie można wykonać pierwszy pomiar produkcji mezonów D_0 w reakcji $Ar+Ca$ przy energii wiązki 158 AGeV.

Kontynuujemy badania poświęcone określeniu zależności energii symetrii od gęstości. Wielkość ta występuje w równaniu stanu materii jądrowej i jej wyznaczenie ma kluczowe znaczenie dla modelowania struktury gwiazd neutronowych oraz wybuchu supernowych. Analizowane są dane uzyskane w eksperymencie ASY-EOS przeprowadzonym w GSI Darmstadt z wykorzystaniem wiązek radioaktywnych. Planowany jest udział w pomiarach w ośrodku badawczym RIKEN w Japonii.

Prowadzone są prace nad rozwojem technik detekcyjnych oraz opracowaniem nowych metod identyfikacji cząstek z wykorzystaniem wielowymiarowej analizy danych i sieci neuronowych. Uczestniczymy w międzynarodowym projekcie FAZIA mającym na celu budowę wielosegmentowego systemu detekcyjnego zapewniającego pełną masową i ładunkową identyfikację cząstek.

Bierzemy udział w eksperymentalnych poszukiwaniach jąder superciężkich w oparciu o ideę masywnego transferu w zderzeniach ciężkich jonów z zastosowaniem budowanego specjalnego systemu detekcyjnego. Pomiary prowadzone są w A&M Texas University.

W Zakładzie Fizyki Gorącej Materii rozwijana jest działalność poświęcona badaniu sygnałów elektromagnetycznych emitowanych przez mózg ludzki z wykorzystaniem nowatorskich technik detekcji. Prowadzona jest praca nad sondą mierzącą jednocześnie sygnał EKG i osłuch akcji serca.

Najważniejsze osiągnięcia

- Prace doświadczalne wnoszące wkład do poznania mechanizmów emisji fragmentów o pośrednich masach oraz procesów multifragmentacji jąder atomowych.
- Obserwacja sygnałów przejść fazowych i zjawisk krytycznych w materii jądrowej.
- Udział w eksperymencie BRAHMS na akceleratorze RHIC – odkrycie nowego stanu materii hadronowej tzw. kondensatu kolorowego szkła.
- Rozwój technik detekcyjnych, budowa wielosegmentowych systemów z detektorami gazowymi, półprzewodnikowymi i scyntylicyjnymi zastosowanych w eksperymentach przeprowadzonych w INS Grenoble, GSI Darmstadt, BNL oraz CERN.
- Opracowanie nowego rodzaju niskoszumowego przedwzmacniacza ładunkowego, odpornego na przebicia elektryczne (patent międzynarodowy).
- Zaproponowanie nowej eksperymentalnej metody poszukiwania jąder superciężkich.

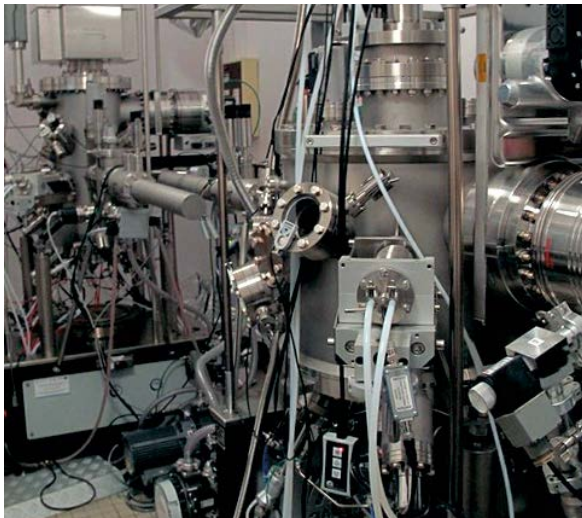
Zakład Fizyki Ciała Stałego

Kierownik: prof. dr hab. Rafał Abdank-Kozubski

<http://www.fais.uj.edu.pl/zfcs>

Realizowane badania

Praca naukowców Zakładu skoncentrowana jest na badaniach właściwości fizycznych oraz struktury elektronowej kryształów związków międzymetalicznych ziem rzadkich oraz manganitów: właściwości makroskopowych (magnetycznych, termicznych i transportowych), struktury magnetycznej, spektroskopii fotoelektronów: XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy) i ARPES (Angle-resolved photoemission spectroscopy).



magnetyki
struktura elektronowa
metaliczne struktury
powierzchniowe
modelowanie
w skali atomowej

Przeprowadzana jest synteza powierzchniowych, samoorganizujących się nanostruktur metalicznych: dynamika zmian morfologii powierzchni nanostruktur powstałych poprzez naniesienie Au, Ag na czyste, zrekonstruowane powierzchnie Ge i InSb.

Wytwarzamy nanościeżki metaliczne na podłożach izolujących metodami FEBID (Electron Beam Induced Deposition) i FIBID (Ion Beam Induced Deposition) oraz zajmujemy się modelowaniem transformacji struktur krystalicznych i konfiguracji atomowej w litych i nano-wymiarowych układach, głównie międzymetalicznych, stopach oraz półprzewodnikach. Obecnie tematyka badań obejmuje: Ni-Al – badanie ewolucji nadstruktury, koncentracji defektów, defekty potrójne, układy lite i nanowarstwowe; FePt – badanie

dynamiki transformacji nadstruktury, dyfuzja defektów, układy lite i nanowarstwowe; SiC – modelowanie wzrostu kryształu, bariery migracji adatomów; Ag-Cu/W – modelowanie rozpadu eutektycznego, badanie wpływu interfejsów na transformacje faz i struktur.

Najważniejsze osiągnięcia

- Wyznaczenie właściwości magnetycznych, transportowych oraz struktury elektronowej i magnetycznej w związkach ziem rzadkich.
- Określenie wpływu wielkości ziaren na właściwości magnetyczne manganitów.
- Charakteryzacja na poziomie atomowym interfejsu/granicy metalicznych nanoklasterów/podłoże na powierzchni Ge(001) w procesie wzrostu cienkiej warstwy Au i późniejszym wygrzewaniu.
- Spójny atomistyczny model dyfuzji i zjawisk relaksacyjnych w układach z wysoką koncentracją defektów strukturalnych.
- Atomistyczny model niestabilności nadstruktury w nanowarstwach FePt.

Zakład Fizyki Jądrowej

Kierownik: prof. dr hab. Bogusław Kamys

<http://www.fais.uj.edu.pl/zfj>

Realizowane badania

Zakład Fizyki Jądrowej prowadzi badania pokrywające bardzo szeroki zakres fundamentalnych zagadnień współczesnej fizyki jądrowej i fizyki cząstek, w którym można wydzielić kilka grup tematycznych.



Zdjęcie części zespołu detektorów HADES (podczas montażu), który używany jest przez międzynarodową kolaborację naukową o tej samej nazwie, kierowaną przez prof. dr. hab. Piotra Salaburę

obrazowanie PET

badanie symetrii izospinowej

ultra-zimne
neutrony

problem trzech ciał

rozpraszanie nukleonów „break-up”

deuteronu

ściśle rozwiązanie
równań Faddeeva

spalacja jąder atomowych protonami

efekty kulombowskie
i relatywistyczne
w układach trzech
nukleonów

magnetometria kwantowa

splątanie
kwantowe

systemy czasu rzeczywistego

Ultra-cienkie śladowe
detektory elektronów

pozycyjne detektory cząstek

neutralnych akwizycja
danych

Badamy właściwości hadronów i leptonów prowadząc pomiary wielkości charakteryzujących produkcję cząstek (projekty COSY11, WASA-at-COSY, PANDA), które dostarczają unikalnych informacji o właściwościach cząstek i ich oddziaływaniach.



Naukowcy pracujący przy elektronice systemu akwizycji danych podczas trwania eksperymentu COSY-11 w Centrum Badawczym Jülich

Analizujemy właściwości oddziaływań elektro-słabych i silnych tych cząstek jako swobodnych obiektów przeprowadzając pomiar korelacji kierunkowych w rozpadach beta jąder atomowych (projekt miniBETA) oraz pomiar korelacji kierunkowych rozpadu beta neutronu (projekt nTRV). Oddziaływanie słabe łamię szereg symetrii, zachowywanych ściśle przez pozostałe oddziaływania fundamentalne, m.in. symetrię parzystości i symetrię względem odwrócenia czasu. Projekty powyższe mają na celu wykrycie brakujących członów tego oddziaływania. Dane doświadczalne zebrane w ramach miniBETA pozwalają też sprawdzić, czy słabe oddziaływanie jest niezmiennicze względem transformacji Lorentza, co leży u podstaw większości obowiązujących obecnie teorii tłumaczących Wszechświat. Pomiary przekrojów czynnych na zabronioną przez symetrię ładunkową oddziaływań silnych reakcję $dd \rightarrow \alpha\pi^0$ (projekt WASA-at-COSY) daje bezpośrednią informację o wielkości łamania symetrii ładunkowej w tych oddziaływaniach.

Prowadzimy również prace nad oddziaływaniami elektro-słabymi i silnymi tych cząstek wewnątrz materii jądrowej. Pomiar czasów życia ciężkich Lambda – hiperjąder (projekt COSY13) pozwala na badanie słabego oddziaływania w niemezonowych rozpadach hiperonów, a więc w procesach, w których nie uczestniczą leptony, a oddziaływanie zachodzi ze zmianą liczby kwantowej „dziwności”. Pomiar masy krótko-życiowych ($\tau < 25$ fm/c) mezonów wektorowych (ρ/ω) wewnątrz materii jądrowej (projekt HADES) dostarcza informacji o zmianie właściwości tych cząstek wewnątrz materii jądrowej o gęstości podobnej do tej, która występuje wewnątrz gwiazd neutronowych w porównaniu do właściwości swobodnych cząstek.

Pomiary przekrojów czynnych spalacji i fragmentacji jąder atomowych wysokoenergetycznymi protona-



Zespół detektorów scyntylacyjnych używanych w projekcie BINA kierowanym przez prof. dr. hab. Stanisława Kistryna

mi (projekt PISA) umożliwiają tworzenie realistycznych modeli oddziaływania protonów z jądrami występującego w bardzo wielu dziedzinach techniki (np. źródła spalacyjne neutronów) i astrofizyki (propagacja promieni kosmicznych przez materię międzygwiazdową, uszkodzenia satelitów i stacji kosmicznych przez te promienie). Eksperymentalne badanie układów kilkunukleonowych (projekt BINA@CCB), nakierowane na precyzyjne wyznaczenie wpływu różnych przyczynków dynamiki oddziaływania na mierzone wielkości. Głównym obszarem badań są reakcje sprężystego rozpraszania nukleon-deuteron, breakup'u deuteron-nukleon oraz reakcje inicjowane w zderzeniach deuteron-deuteron.

Zespół naukowców z Zakładu Fizyki Jądrowej realizuje badania najważniejszych symetrii w przyrodzie. Pomiar elektrycznego momentu dipolowego neutronu (projekt nEDM) pozwala na weryfikację różnych teo-

rii oddziaływań fundamentalnych, które starają się wytłumaczyć ważne, niezrozumiałe dotąd zjawiska, jak np. znaczną przewagę materii nad antymaterią we Wszechświecie. Pomiar funkcji korelacji spinów elektronów rozproszonych jeden na drugim (projekt QUEST) może przyczynić się do rozstrzygnięcia, które próby pogodzenia Szczególnej Teorii Względności i Mechaniki Kwantowej w podejściu do opisu świata fizycznego mają szansę powodzenia.

Realizowane są również prace w zakresie fizyki atomowej i badania aplikacyjne, w których koncentrujemy się na wykorzystaniu metod fizyki jądrowej do nieinwazyjnego obrazowania przestrzennego procesów fizjologicznych, monitorowania lokalizacji dawki promieniowania jonizującego w czasie terapii hadronowej nowotworów. Wszystkie wymienione badania wymagają rozwijania nowych metod doświadczalnych oraz rozwijania formalizmu teoretycznego.



Zakład Fizyki Jądrowej wyspecjalizował się w budowie wyrafinowanych komór dryfowych. Tu właśnie pokazana jest taka komora podczas jej montażu, który wykonuje inż. Andrzej Misiak

Najważniejsze osiągnięcia

Najważniejsze osiągnięcia doświadczalne:

- Kompleksowe pomiary całkowitych i różniczkowych przekrojów czynnych reakcji zachodzących przy zderzeniach p+n w obszarze tzw. efektu ABC ($s^{1/2} = 2,35 - 2,46$ GeV) prowadzące do wyjaśnienia natury tego zjawiska.
- Bezpośredni, precyzyjny pomiar szerokości naturalnej mezonu eta-prim.
- Pierwszy na świecie pomiar korelacji R w rozpadzie neutronu.
- Najbardziej precyzyjne do tej pory pomiary czasów życia ciężkich hiperjader-Lambda.
- Uzyskanie doświadczalnej ewidencji o modyfikacji mas mezonów wektorowych w reakcjach wywołanych ciężkimi jonami i protonami.
- Stworzenie najbogatszej w świecie bazy precyzyjnych danych dla reakcji breakup'u deuteronu oraz implementacja badań eksperymentalnych w Krakowie.
- Pierwsza obserwacja egzotycznego procesu podwójnego, radiacyjnego wychwytu elektronów i powiązanie go z efektami korelacyjnymi charakterystycznymi dla podwójnej fotojonizacji.

Najważniejsze osiągnięcia grupy teoretycznej:

- Ścisłe rozwiązanie równań Faddeeva opisujących układy trzech nukleonów.
- Zbadanie reakcji rozpraszania nukleonów na deuteronie i uzyskanie informacji o oddziaływaniach jądrowych.
- Zbadanie reakcji oddziaływania fotonów, elektronów, mionów i pionów z lekkimi jądrami oraz poznanie właściwości prądów elektromagnetycznych w jądrach atomowych i elektromagnetycznej struktury neutronu.
- Stworzenie opisu układów trzech nukleonów zgodnego ze Szczególną Teorią Względności i zbadanie efektów relatywistycznych w reakcjach z udziałem trzech nukleonów.

Zakład Fizyki Materiałów Organicznych

Kierownik: prof. dr hab. Józef K. Mościcki

<http://www.fais.uj.edu.pl/zfmo>

Realizowane badania

Zakład jest jednym z najmłodszych na Wydziale. Jego profil badań naukowych ewoluował od różnych aspektów dynamiki molekularnej i termodynamiki ciekłych kryształów do badań materiałów biologicznych, biokompatybilnych czy biomimicznych, na poziomie molekularnym, w skali nano i komórkowej.

Podstawową stosowaną przez nas techniką doświadczalną była spektroskopia dielektryczna z komplementarnym udziałem spektroskopii magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR) i elektronowego (EPR). Dzięki udziałowi w projekcie ATOMIN (<http://www.atomin.uj.edu.pl>), Zakład wyposażony



Struktura aktyny w migrującym rybnym keratynocyte

perkolacja
przewodnictwa
protonowego kinetyka dehydracji
mechanotransdukcja nowa
edukacja matematyczno-przyrodnicza fizyka
molekularna biofizyka
molekularna mikroskopia
optyczna szczypce optyczne
spektroskopia BBDS
patch-clamp spektroskopia EPR
spektroskopia NMR

został również w zestaw Patch-Clamp, zestaw Optical-Tweezers, mikroskop konfokalny i cały szereg konfiguracji mikroskopów optycznych. Pozwoliło to na uruchomienie kilku nowych programów badawczych. Aktualnie zajmujemy się właściwościami finalnej warstwy wody na powierzchniach biologicznych i biokompatybilnych materiałów porowatych, badając jej zachowanie pod kątem utraty ciągłości (perkolacja) i kinetyki dehydratacji. Badamy biofizyczne mechanizmy regulujące procesy migracji komórek, szczególnie wpływ właściwości mechanicznych podłoża na parametry biofizyczne migracji oraz wzrost różnych typów komórek. Prowadzimy prace nad nowymi rodzajami



Struktura aktynowa komórek rybich keratynocytów podczas procesu odłączania się od arkusza komórek

biokompatybilnych podłoży do wzrostu i migracji komórek. Ponadto, intensywnie poszukujemy nowych aplikacji metod fizycznych – doświadczalnych i teoretycznych – których wyniki mogą być szczególnie cenne w badaniach procesów biologicznych.

Niezwykle istotną aktywnością badawczą Zakładu stało się poszukiwanie nowych form i metod edukacji dzieci i młodzieży w zakresie wiedzy matematyczno-przyrodniczej, w czym pretendujemy do ścisłego grona liderów wśród popularyzatorów nauki w skali europejskiej.

Najważniejsze osiągnięcia

- Perkolacja ciągłości molekularnej sieci wody i kinetyka dehydratacji materiałów porowatych.
- Migracja komórek w odpowiedzi na topografię powierzchni podłoża.
- Konstrukcja Wysoko-Polowego-Wysoko-Częstotliwościowego Spektrometru EPR.
- Nowe formy i metody edukacji dzieci i młodzieży (od przedszkolaka do maturzysty) w zakresie wiedzy matematyczno-przyrodniczej.

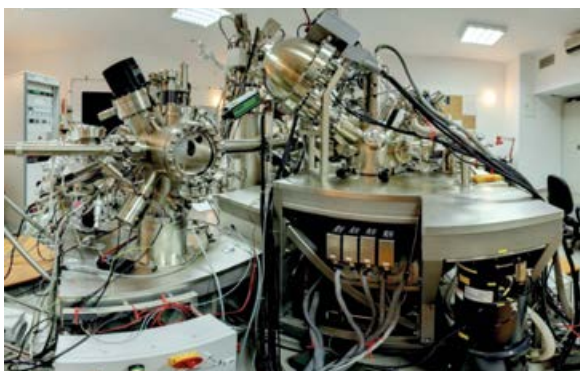
Zakład Fizyki Nanostruktur i Nanotechnologii

Kierownik: prof. dr hab. Marek Szymoński

<http://www.fais.uj.edu.pl/zfnn>

Realizowane badania

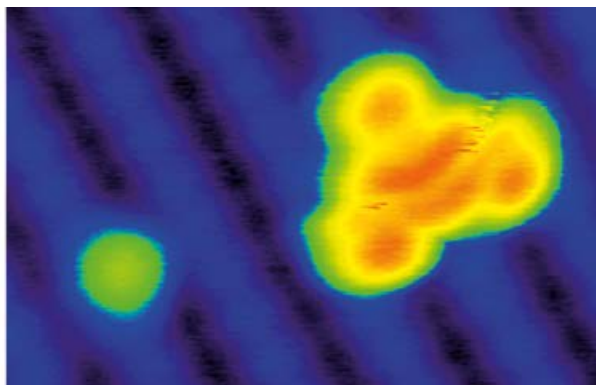
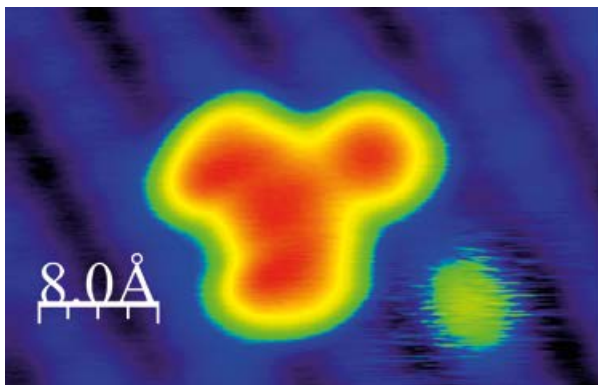
Badania właściwości materii i procesów zachodzących w układach o rozmiarach nanometrowych są priorytetową działalnością naukową Zakładu. Dotyczą zarówno stosunkowo prostych struktur kwantowych, takich jak druty i kropki kwantowe, jak też bardziej skomplikowanych struktur tworzących układy logiczne molekularnej elektroniki przyszłości. Szczególną rolę odgrywają tutaj molekularne struktury organiczne wytwarzane na powierzchniach monokryształów półprzewodnikowych. Są one wytwarzane jako układy planarne, a ich funkcjonalizacja implementowana jest



Laboratorium UHV z systemem NANOPROBE

nanostruktury kwantowe na powierzchni
elektronika molekularna
samoorganizacja molekuł
organicznych nanotechnologia
w skali atomowej i molekularnej
mikroskopia bliskich oddziaływań
STM AFM SERS TERS modyfikacja
powierzchni i desorpcja symulacje
komputerowe oddziaływania jonów
z powierzchnią nanoindentacja
i mikroskopia sił
atomowych w biologii
i medycynie nanomedycyna

poprzez modyfikowanie struktury dodatkowymi obiektami, takimi jak metaliczne kontakty o rozmiarach nanometrowych, cienkie warstwy izolujące i pasywujące oraz molekuly organiczne wykazujące požądane cechy funkcjonalne. Zasadniczą rolę w tych badaniach odgrywają unikalne metody obrazowania i manipulacji z rozdzielczością atomową. Do najważniejszych z nich należą skaningowe metody mikroskopii i spektroskopii prądu tunelowego, mikroskopii sił atomowych, nano-indentacji, czy też wysokorozdzielcze metody mikroskopii elektronowej. Infrastruktura Zakładu składa się



Obraz STM molekuly organicznej na powierzchni półprzewodnika

z 4 unikalnych laboratoriów, z których każde posiada wyjątkowy zestaw narzędzi badawczych, takich jak mikroskopy STM (Scanning Tunneling Microscope), AFM (atomic force microscope), NC-AFM (Non-contact atomic force microscope), KPFM (Kelvin Probe Force Microscopy) pracujące w ultrawysokiej próżni (UHV), w kontrolowanej atmosferze gazowej, lub też w środowisku roztworów fizjologicznych umożliwiającą badanie tkanek i żywych komórek (AFM/SNOM (Near-field Scanning Optical Microscopy)/TERS (Tip-enhanced Raman spectroscopy)). Pod każdym względem wyjątkowy jest pozyskany w ramach projektu ATOMIN system NANOPROBE składający się z 4-próbnikowego układu kriogenicznego STM znajdującego się w polu widzenia wysokorozdzielczego mikroskopu elektronowego z kolumną GEMINI. System ten pozwala na pomiary transportu w skali atomowej i w temperaturach ciekłego helu. W Zakładzie działają też 2 grupy teoretyczne zajmujące się obliczeniami DFT i symulacjami komputerowymi procesów samoorganizacji i oddziaływania z zewnętrzną wiązką

cząstek naładowanych zachodzących na powierzchni ciała stałego. Kolejną ważną dziedziną działalności naukowej Zakładu jest nanomedycyna, a w szczególności zastosowania mikroskopii bliskiego pola i nano-indentacji do diagnostyki medycznej chorób cywilizacyjnych, badania procesów mechanotransdukcji na poziomie pojedynczych komórek oraz badanie toksyczności i właściwości terapeutycznych nanocząstek i wybranych środków farmaceutycznych.

Najważniejsze osiągnięcia

- Pierwsza demonstracja prowadzenia kontrolowanej polimeryzacji molekuł organicznych na powierzchni ditlenku tytanu.
- Badania nad oddziaływaniami międzymolekularnymi i ich rolą w powstawaniu zorganizowanych struktur supramolekularnych.
- Opis sprzęgania pojedynczych molekuł organicznych z powierzchnią pasywowanego półprzewodnika poprzez monoatomowe kontakty powierzchniowe.

Zakład Fotoniki

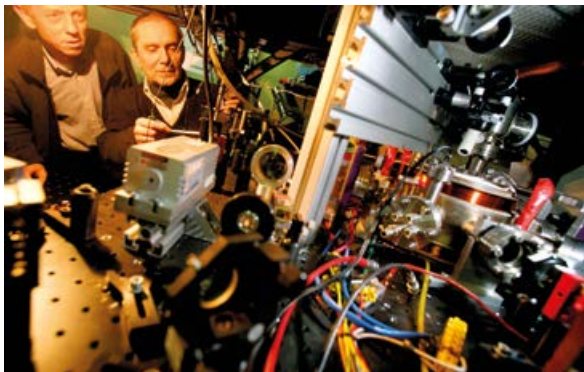
Kierownik: prof. dr hab. Wojciech Gawlik

<http://www.fais.uj.edu.pl/zf>

Realizowane badania

Za pomocą różnorodnych laserów badamy oddziaływanie światła z materią – odkrywamy nowe właściwości molekuł, nanocząstek, centrów barwnych w kryształach diamentu, czy też atomów w ultra-niskich temperaturach. Dzięki temu nie tylko poznajemy podstawowe właściwości takich substancji, ale też możemy je zastosować w różnych sytuacjach.

Problemy, jakimi się zajmujemy obejmują próby wyjaśnienia natury ciemnej materii, zagadkę łączenia się atomów w molekuły, kondensację Bose-Einsteina w temperaturze $T \rightarrow 0$, czy możliwości budowy komputera kwantowego. Nasz zespół rozpoczął pierwsze



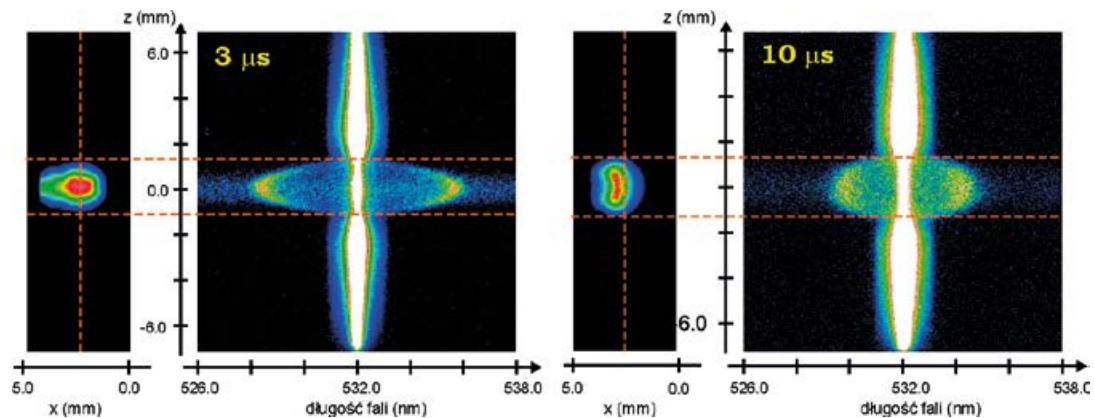
fot. T. Żurek

Lasery plazma laserowa
nanofotonika
magnetometria molekuly Van
der Waalsa ultrazimna
materia

w Polsce eksperymenty z atomami schłodzonymi niemal do zera bezwzględnego, które ujawniają niezwykłe właściwości materii.

Badamy jedno z najstabszych oddziaływań w przyrodzie. Za pomocą naddźwiękowej wiązki molekularnej wytwarzamy tzw. molekuły van der Waalsa o energiach wiązania rzędu zaledwie 0.001 eV. Ich struktury energetyczne ujawniają szereg nieznanych dotąd właściwości słabych wiązań molekularnych i wskazują możliwości opracowania nowych materiałów. Pozwalają też na badanie nowych mechanizmów kwantowo-mechanicznego splątania atomów powstałych w wyniku fotodysocjacji.

Silne nano – lub femto-sekundowe impulsy laserowe oddziałujące z materią mogą powodować jej ablację i powstanie plazmy, a w dalszych etapach różnego typu nanostruktur. Unikalne właściwości optyczne tych struktur badamy wyrafinowanymi technikami rozpraszania światła laserowego i optyki nieliniowej.



Obrazy plazmy indukowanej laserowo i widma rozpraszania Thomsona na tej plazmie

Inne przykłady zastosowania naszych badań to pomiary niezwykle słabych pól magnetycznych. Opracowane w Zakładzie magnetometri umożliwiają badanie pól magnetycznych wytwarzanych przez serce, a przez to bardzo czułą diagnostykę medyczną. Jako czujniki pól magnetycznych wykorzystujemy też kryształy diamentu wzbudzone wiązkami laserowymi. Z kolei specjalne czujniki światłowodowe umożliwiają analizę chemiczną niektórych cieczy w śladowych ilościach (nanomole). Ważną dziedziną zastosowań metod fotonicznych jest też konserwacja obiektów dziedzictwa kulturowego. Przydaje się do tego nieniszczący charakter i duża czułość stosowanych metod optycznych.

Niedawno podjętą przez nas tematyką jest konstrukcja optycznego zegara atomowego. Metodami laserowymi ochładzamy atomy strontu do ultraniskich temperatur, w których niektóre linie spektralne stają się precyzyjnym wzorcem częstotliwości. Pozwala to na budowę zegarów atomowych lepszych od obecnych wzorców czasu.

Badania nasze prowadzimy we współpracy międzynarodowej z grupami z USA i krajów Unii Europejskiej.

Najważniejsze osiągnięcia

- Wytwarzanie i badanie trwałych superpozycji kwantowych stanów atomowych w bardzo szerokim zakresie temperatur (1 microK–300 K), pozwalających na badanie zjawisk degeneracji kwantowej i inżynierii stanów kwantowych.
- Zbadanie procesów ablacji materiałów i wytwarzania nanocząstek impulsami laserowymi.
- Zastosowanie naddźwiękowych wiązek molekularnych do badania zjawisk kwantowych.
- Zastosowanie technik rezonansu spinowego do badań centrów barwnych w diamentach.
- Rozwinięcie metod magnetometrii optycznej do badań podstawowych i aplikacyjnych.
- Budowa optycznego zegara atomowego z zimnymi atomami strontu.
- Koordynowanie dużymi projektami inwestycyjnymi finansowanymi z funduszy strukturalnych: ATOMIN (<http://www.atomin.uj.edu.pl/>), budżet 53 mln PLN; NLTK (<http://nltk.fuw.edu.pl/>), budżet 7 mln PLN.

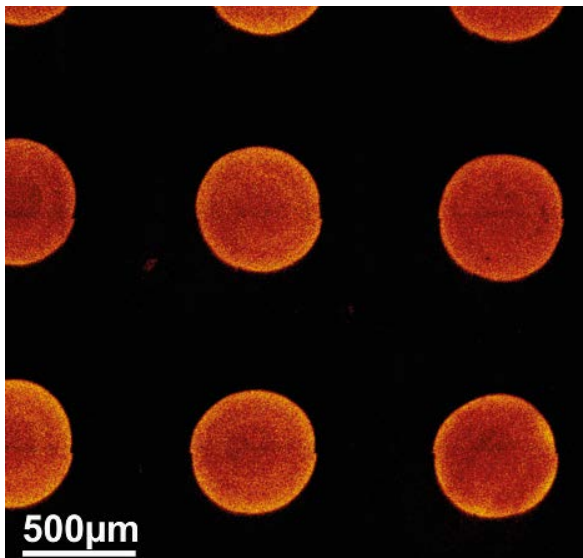
Zakład Inżynierii Nowych Materiałów

Kierownik: prof. dr hab. Andrzej Budkowski

<http://www.fais.uj.edu.pl/zinm>

Realizowane badania

Tworzące Zakład grupy eksperymentalne zajmują się inżynierią molekularną, tj. organizacją cząsteczek o optymalnej architekturze molekularnej w większe zespoły faz skondensowanych, promujące kolektywne właściwości interesujące dla zaawansowanych zastosowań nano – i biotechnologicznych.



Mapa TOF-SIMS testowanego chipu DNA

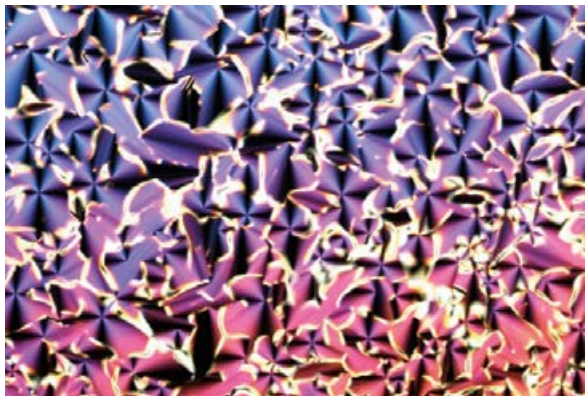
ciekłe kryształy
nanowarstwy makromolekuł
magnetyki molekularne
biosensory

Badamy zjawiska powierzchniowe układów makrocząsteczek – polimerów syntetycznych i biomolekuł. Przykładem jest samoorganizacja mieszanin molekuł o różnej funkcjonalności, zezwalająca na jednokrokowe osadzanie z roztworu warstw o uporządkowanych domenach, tworzących komplementarne elementy: organicznych ogniw słonecznych, „plastikowych” układów scalonych, polimerowych mikromacierzy białek. Procesy samoorganizacji kontrolujemy za pomocą monowarstw SAM oraz miękkiej litografii. W ramach dwóch dużych projektów europejskich analizujemy wielo-molekularne warstwy rozpoznające białka bądź DNA, używane w biosensorach. Ponadto, obserwujemy ciekawe właściwości biomedycznych pokryć i mikro-wzorów polimerów „inteligentnych” (tj. czułych na bodźce środowiska) lub białkopodobnych, wymuszających określone zachowanie białek i komórek.

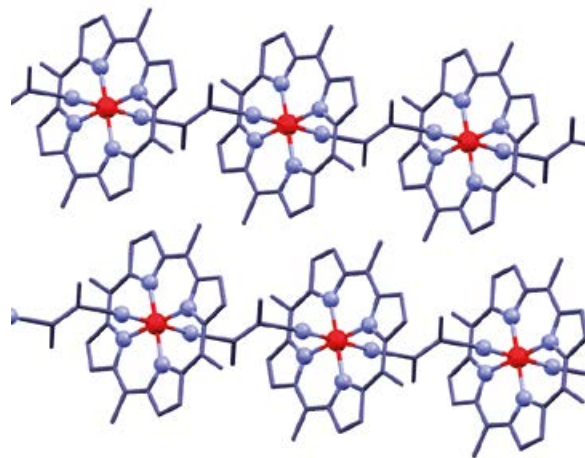
Uwaga naukowców Zakładu skupiona jest także na właściwościach magnetycznych kryształów molekularnych. Kryształy takie zadziwiają różnorodnością zachowań i struktur magnetycznych. Obserwujemy

w nich fotomagnetyzm (przełączanie właściwości magnetycznych światłem), badamy wpływ obecności i rodzaju cząsteczek rozpuszczalników (wody, alkoholu) na właściwości magnetyczne. W układach niskowymiarowych głównym tematem są relaksacje magnetyczne i tunelowanie kwantowe. Zajmujemy się również materiałami ceramicznymi, w szczególności złożonymi tlenkami rutenu. Prowadzone pomiary obejmują zakres bardzo niskich temperatur uzyskiwanych przy pomocy ciekłego helu. Jest to możliwe dzięki posiadanej instalacji do skraplania helu.

Prowadzimy prace nad szeroką gamą związków mezogennych od liotropowych po termotropowe, zbudowanych z molekuł bananopodobnych i prętopodobnych (również chiralnych prowadzących do powstania faz ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych). Skupiamy się głównie na tym, jak architektura molekularna wpływa – w określonych warunkach termodynamicznych – na polimorfizm fazowy, przenikalność elektryczną i dynamikę molekularną.



Obraz z mikroskopu polaryzacyjnego - tekstura ciekłego kryształu, faza cholesteryczna



Struktura magnetyka molekularnego

Najważniejsze osiągnięcia

- Wprowadzenie pionowej separacji faz jako powszechnie uznanej metody optymalizacji wydajności organicznych warstw ogniw słonecznych.
- Ilościowy opis morfologii wzorów domen polimerów i pól białek.
- Porządkowanie według szablonu domen mieszanin polimerów przewodzących i izolujących.
- Odkrycie nowej klasy molekularnych magnesów jednołańcuchowych wykraczających poza model Glaubera.
- Konstrukcja kryształów magnetycznych modyfikowanych odwracalną absorpcją rozpuszczalników.
- Wyznaczenie parametrów elektrooptycznych ciekłych kryształów ferro – i antyferroelektrycznych do zastosowań w wyświetlaczach.

Zakład Metodyki Nauczania i Metodologii Fizyki

Kierownik: prof. dr hab. Antoni Pędziwiatr

<http://www.fais.uj.edu.pl/zmmmf>

Realizowane badania

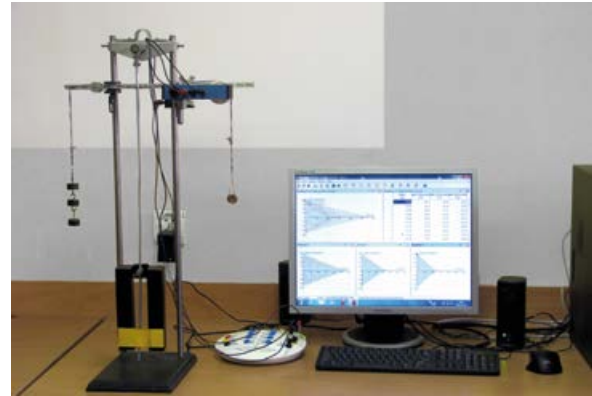
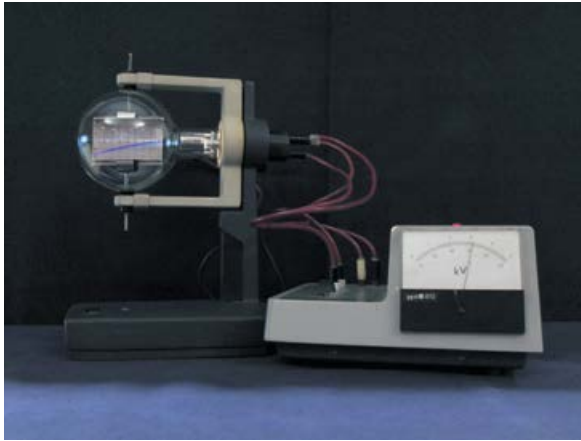
Podstawowym zadaniem Zakładu jest prowadzenie badań naukowych i kształcenie studentów sekcji nauczycielskiej fizyki oraz sekcji nauczycielskiej przyrody w szkole podstawowej. Prowadzimy współpracę ze szkołami i nauczycielami fizyki oraz uczestniczymy w akcjach i projektach popularyzujących fizykę. W Zakładzie przygotowywane są, gromadzone i udostępniane studenckie filmy dydaktyczne.

spektroskopia mössbauerowska
sekcja nauczycielska
fizyki sekcja nauczycielska przyrody
w szkole podstawowej doświadczenia
pokazowe klasyczne
i wspomagane komputerowo



Ponadto jesteśmy odpowiedzialni za techniczną i multimedialną obsługę zajęć dydaktycznych prowadzonych w salach wykładowych Instytutu Fizyki UJ oraz za rozwijanie bazy doświadczeń pokazowych z fizyki, wykorzystywanych podczas wykładów.

Działalność naukowa Zakładu skupiona jest na realizowaniu badań w dziedzinie spektroskopii mössbauerowskiej. Prowadzimy badania metodologiczne nad poprawą energetycznej zdolności rozdzielczej spektroskopii mössbauerowskiej oraz badania zjawisk reorientacji momentów magnetycznych w szerokiej klasie związków międzymetalicznych R-Fe-B o silnej anizotropii magnetokrystalicznej, z których otrzymuje się najsilniejsze znane dotychczas magnesy trwałe.



Najważniejsze osiągnięcia

- Opracowanie diagramów fazowych dla związków międzymetalicznych i ich korelacja z modelem teoretycznym.
- Opracowanie metody otrzymywania parametrów pola krystalicznego na podstawie temperatur reorientacji momentów magnetycznych.
- Przygotowanie 30 grup demonstracji wspomaganych komputerowym systemem COACH.
- Przygotowanie i realizacja edukacyjnego projektu FENIKS z udziałem około 7 tys. uczniów.
- Realizacja programu wyjazdów do szkół z prezentacjami doświadczeń pokazowych dla około 30 tys. uczniów.

Zakład Optyki Atomowej

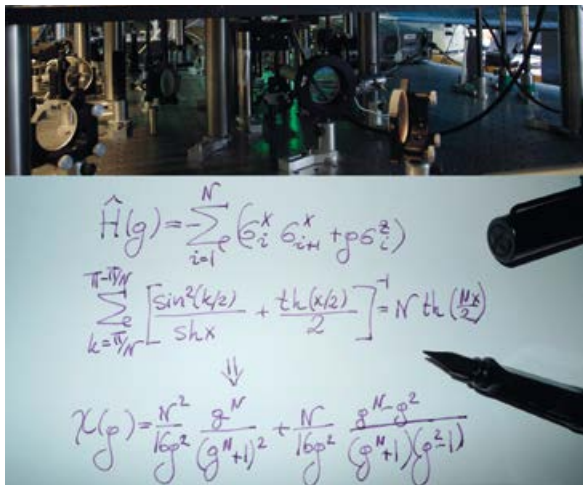
Kierownik: prof. dr hab. Jakub Zakrzewski

<http://www.fais.uj.edu.pl/zoa>

Realizowane badania

Zakład Optyki Atomowej prowadzi teoretyczne i doświadczalne badania obejmujące szerokie spektrum zagadnień od pogranicza fizyki i matematyki w obszarze mechaniki kwantowej po zastosowania fizyki atomowej w medycynie.

Kluczowe prace realizowane w Zakładzie dotyczą badań w zakresie mechaniki kwantowej, w których główny nacisk jest położony na opracowanie matematycznego formalizmu opisującego geometrię stanów



Kondensat Bosego-Einsteina

Dynamika układów kwantowych

Ultra-zimne atomy

Spektroskopia Obrazowanie płuc

Chaos i informatyka kwantowa

kwantowych, kwantową informację i dekoherencję. Te badania dają wgląd w strukturę mechaniki kwantowej, prowadzą do postępu w dziedzinie przetwarzania informacji kwantowej i opisują zanik kwantowych cech badanych układów na skutek ich sprzężenia z otoczeniem. Nasze prace pomagają w zrozumieniu i pełnym wykorzystaniu potencjału komputerów kwantowych, jak również w określeniu mechanizmów ograniczających zakres ich działania.

Istotnym tematem badań jest fizyka atomów schłodzonych do temperatury bliskiej zera absolutnego, w której zachowanie układu determinują efekty kwantowo-mechaniczne. W tych układach analizujemy problemy z pogranicza fizyki atomowej i molekularnej, fizyki ciała stałego i optyki kwantowej. W szczególności zajmujemy się kwantową emulacją oryginalnie zaproponowaną przez Feynmana, która polega na takim przygotowaniu dobrze kontrolowanego układu fizycznego (np. gazu atomowego), aby realizował on ciekawy, aczkolwiek nierozwiązywalny analitycznie model fizyczny. Z tych badań wynika, że

w układach zimno-atomowych powinna być możliwa emulacja wszystkich modeli z fizyki ciała stałego.

Prowadzimy także badania dynamiki układów kwantowych. W szczególności analizujemy zimne gazy atomowe oraz modele spinowe. Wyniki uzyskane przez nas pokazują jak wygląda kwantowa ewolucja solitonów i ile defektów topologicznych powstaje podczas nierównowagowego przeprowadzania układu z jednej fazy do drugiej.

W Zakładzie zajmujemy się również tradycyjną fizyką atomową, czyli badaniem struktury poziomów energetycznych atomów. Takie badania pokazują jak atom wygląda od środka i pozwalają na zrozumienie oddziaływania atomów wieloelektronowych z promieniowaniem elektromagnetycznym, co na przykład tłumaczy dlaczego złoto jest żółte.

Poza badaniami teoretycznymi prowadzone są zaawansowane prace doświadczalne. W laboratorium Fizyki Zimnych Atomów przy powierzchni badane są atomy w ekstremalnie niskich temperaturach. W szczególności wykorzystujemy tak zwaną falę zanikającą i plazmony powierzchniowe do manipulowania takimi atomami przy powierzchniach dielektrycznych i metalicznych w celu skonstruowania atomowo-optycznego układu scalonego (tzw. atom chip). Układ taki będzie doskonałą bazą do badań podstawowych i stosowanych. Ponadto przygotowujemy w mikropułapce magnetycznej kondensat Bosego-Einsteina, czyli gaz atomowy o temperaturze bliskiej zeru bezwzględnemu. Uzyskanie tego układu pozwoli połączyć eksperymentalne i teoretyczne prace Zakładu dotyczące fizyki zimnych atomów. We współpracy z Uniwersytetem Południowej Danii prowadzimy eksperymentalne badania nanowłókien i ich modów światłowodowych poprzez analizę oddziaływania plazmonów powierzchniowych z ekscytonami.

W laboratorium Optycznej Polaryzacji Gazów Szlachetnych prowadzone są eksperymenty z polaryzacją helu-3 w procesie pompowania optycznego z wymianą metastabilności i ksenonu-129 w procesie pompowania optycznego z wymianą spinu. Celem tych badań jest opracowanie techniki precyzyjnego obrazowania płuc metodą magnetycznego rezonansu jądrowego z użyciem gazów szlachetnych. Te badania powinny pozwolić na wykrywanie bardzo wczesnych zmian w rozwoju takich chorób jak rak, mukowiscydoza i astma.

Najważniejsze osiągnięcia

- Pokazanie możliwości lokalizacji Andersona w nieuporządkowanym układzie dla oddziaływających cząstek na przykładzie kwantowego solitonu.
- Zaproponowanie modelu atomowego lasera przypradkowego oraz idei mikroskopii fazy kondensatu Bosego-Einsteina.
- Opracowanie metody analizy dynamiki w modelu oddziaływających bozonów (Bose-Hubbarda) i jego rozszerzeń w przypadku silnych czy dalekozasięgowych oddziaływań.
- Wyprowadzenie nowej entropowej zasady nieoznaczoności, zbadanie właściwości nielokalnych bramek kwantowych i zaproponowanie konstrukcji miar kwantowego splątania osiągalnych eksperymentalnie.
- Skonstruowanie pierwszego optycznego lustra dipolowego dla atomów rubidu, bazującego na plazmonach powierzchniowych generowanych przy użyciu metalicznej siatki dyfrakcyjnej.
- Wykonanie pierwszego w Polsce zdjęcia płuc wypełnionych spolaryzowanym helem-3 i zainstalowanie urządzenia do tego typu badań w Specjalistycznym Krakowskim Szpitalu im. Jana Pawła II.

Zakład Promieniowania Synchrotronowego

Kierownik: prof. dr hab. Krzysztof Królas

<http://www.fais.uj.edu.pl/zps>

Realizowane badania

Zakład powstał w 2010 roku w związku z realizacją projektu „Narodowe Centrum Promieniowania Synchrotronowego SOLARIS”. Powstające Centrum wyposażone będzie w nowoczesny synchrotron o obwodzie 96 m, w którym elektrony będą przyspieszane do energii 1.5 GeV. Będzie to pierwsze tego typu centrum badawcze w Europie Środkowo-Wschodniej. Synchrotron jest źródłem ekstremalnie jasnych wiązek fotonów emitowanych w szerokim zakresie energii: od podczerwieni aż do promieniowania rentgenowskiego,



synchrotron
spektroskopia
fotoelektronów
układy niskowymiarowe na
powierzchniach optyka
rentgenowska
obrazowanie rentgenowskie

które są wykorzystywane do badań w wielu różnych dziedzinach nauki, takich jak: biologia, chemia, fizyka, nanotechnologia, inżynieria materiałowa, medycyna, farmakologia, geologia czy krytalografia. Centrum SOLARIS budowane jest w Krakowie na terenie III kampusu Uniwersytetu Jagiellońskiego. Pracownicy Zakładu biorą czynny udział w pracach dotyczących konstrukcji samego synchrotronu, jak i przyległych stacji badawczych. Uruchomienie Centrum i przeprowadzenie pierwszych eksperymentów planowane jest na rok 2015.

Realizujemy również badania podstawowe i stosowane bezpośrednio związane z wykorzystaniem promieniowania elektromagnetycznego (UV i X oraz gamma). Do pracy nad właściwościami strukturalnymi

i elektronowymi niskowymiarowych układów atomowych wykorzystujemy metody spektroskopii fotoelektronów i metody mikroskopii bliskiego pola (AFM, STM). Zajmujemy się właściwościami powierzchni półprzewodników z grupy III-V, jak i powierzchni układów bimetalicznych zbudowanych z metali przejściowych. Ponadto prowadzone są badania z zakresu optyki rentgenowskiej obejmujące holograficzne i tomograficzne obrazowanie struktury atomowej. Rozwijamy nowe metody trójwymiarowej mikroskopii rentgenowskiej wykorzystującej rentgenowską optykę polikapilarną.

Najważniejsze osiągnięcia

- Budowa synchrotronu Solaris w najnowszej technologii zintegrowanych magnesów.
- Określenie struktur powierzchni kryształów związków półprzewodnikowych III-V.
- Zbadanie procesów tworzenia stopów powierzchniowych metali przejściowych.
- Otrzymanie holograficznych obrazów struktury atomowej z wykorzystaniem promieniowania X i gamma.
- Opracowanie nowej metody trójwymiarowej kodowanej mikroskopii rentgenowskiej.

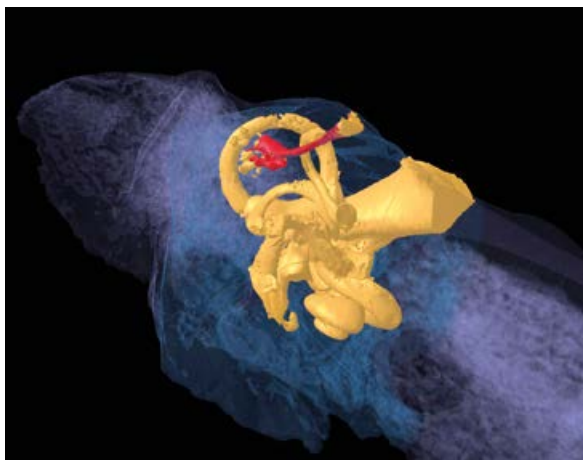
Zakład Fizyki Medycznej

Kierownik: prof. dr hab. Jan Stanek

<http://www.fais.uj.edu.pl/zfm>

Realizowane badania

Istotnym zadaniem Zakładu jest działalność dydaktyczna, w ramach których koordynowanych jest 13 kursów w programie studiów fizyki medycznej. Niemniej ważny jest wkład pracowników Zakładu w prace naukowo-badawcze w zakresie ruchliwości nanocząstek w materii organicznej, efektów biologicznych wywoływanych przez pola magnetyczne na poziomie komórkowym



Model ucha wewnętrznego zrealizowany na podstawie pomiarów tomograficznych. Widoczne są kanały półkolisty, ślimak oraz kanalik podłukowy (kolor czerwony) na tle piramidy kości skroniowej

mikrotomografia komputerowa
spektroskopia masowa TOF-SIMS FTIR spektroskopia
mössbauerowska
mineralizacja tkanek
metaloporfiryny
dynamika
nanocząstek

oraz obrazowania biomedycznego – analizowana jest budowa wewnętrzna kości, fizjologiczna i patologiczna mineralizacja tkanek ludzkich oraz mikrostruktury pian metalicznych. Prowadzimy badania materiałów pochodzenia biologicznego metodami spektrometrii masowej (skład atomowy/molekularny, obrazowanie 2D i 3D). Zajmujemy się również spektroskopową charakterystyką materiałów biologicznych (kompleksy metaloporfirynowe, zdrowe i chorobowo zmienione tkanki).

Zakład dysponuje nowoczesną aparaturą składającą się z mikrotomografu komputerowego, spektrometru masowego TOF-SIMS (Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry), spektrometru do badań w podczerwieni FTIR, dwóch spektrometrów mössbauerowskich z kriostatem helowym oraz pracownią

do hodowli komórkowych. Badania realizowane są we współpracy z krajowymi ośrodkami badawczymi, jak również w ośrodkach synchrotronowych: DESY (Hamburg), DAFNE/ LNF-INFN (Frascati) oraz BESSY (Berlin).

Najważniejsze osiągnięcia

- Opracowanie metodyki mikrotomografii rentgenowskiej oraz zobrazowanie z wysoką zdolnością rozdzielczą wewnętrzną strukturę kości skroniowej.
- Wykazanie, że procesy relaksacji magnetycznej w żelazoporfirynach są determinowane głównie przez oddziaływanie międzycząsteczkowe.
- Wytworzenie nowej klasy kompozytowych materiałów organometalicznych w postaci trójwymiarowych struktur nanocząstek magnetycznych w żelach białkowych.
- Wykazanie w pomiarach TOF-SIMS aktywności enzymu trypsyny w hydrolizie łańcuchów aminokwasowych na krzemowych podłożach. Badania dotyczyły tworzenia nowych narzędzi diagnostycznych.

Zakład Radiospektroskopii

Kierownik: prof. dr hab. Kazimierz Łątka

<http://www.fais.uj.edu.pl/zr>

Realizowane badania

Badania biofizyczne, w jakie zaangażowani są naukowcy Zakładu, spełniają użyteczne funkcje w rozmaitych dziedzinach nauki i życia. Obserwowane są nie tylko suche tkanki, np. oskórek stawonogów, holarktycznych ryjkowców i czarnuchowatych, ale również ludzkie tkanki keratynowe (włos ludzki), jak i całe ekstremofilne organizmy żywe (grzyby zlichenizowane z Antarktydy). Analizujemy zarówno mechanizmy przetrwania drastycznego odwodnienia oraz skrajnie



Antarktyczny grzyb zlichenizowany *Usnea aurantiaco-atra*

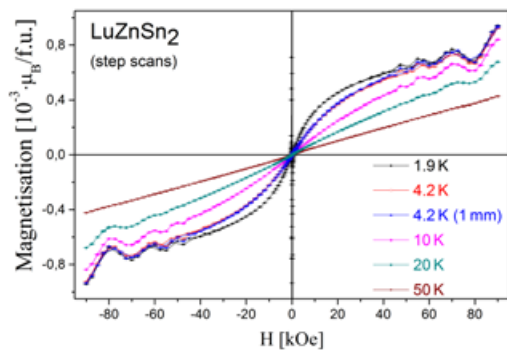
NMR
biofizyka Antarktyda
organizmy ekstremofilne grzyby
zlichenizowane
DNA unikalny organizm
Polypedium vanderplankii
kosmetyka włosy
warstwy jednomolekularne spektroskopia
mössbauerowska

niskiej temperatury otoczenia, jak również zjawiska odwracalnego zatrzymania/drastycznego spowolnienia procesów życiowych, a to w unikalnym organizmie żywym, larwie ohotki *Polypedium vanderplankii*. Możliwym praktycznym zastosowaniem tych badań byłoby wydłużenie czasu przechowywania organów do przeszczepów. Dla realizacji tych badań Uniwersytet Jagielloński zawarł umowę współpracy naukowo-technicznej z National Institute of Agrobiological Sciences, Tsukuba, Japonia, który jako jedyny w świecie prowadzi rozmnażanie badanego organizmu w warunkach laboratoryjnych.

Prace nad właściwościami hydratacyjnymi DNA i jego kompleksami z surfaktantami mają na celu rozpoznanie właściwości takich układów pod kątem przydatności w optoelektronice. Natomiast badanie wpływu naturalnych lubrykantów oraz syntetycznych surfaktantów na właściwości włosa ludzkiego prowadzi do ulepszenia jakości stosowanych kosmetyków.

Badając warstwy jednomolekularnych nowoczesnych leków przeciwrakowych otrzymanych na bazie lipidów syntetycznych, a cechujących się bardzo dobrą tolerancją przez błony komórkowe człowieka, dążymy do zrozumienia przyczyn ich skuteczności, co umożliwiłoby dalszą poprawę ich działania.

Poza problemami biofizycznymi, podejmujemy zagadnienia poświęcone tematyce ekologicznej. Dzięki badaniom metodą spektroskopii rezonansowej gamma związków międzymetalicznych ziem rzadkich oraz materiałów katalitycznych, zamierzamy doprowadzić do zmniejszenia przemysłowej emisji niektórych związków karcinogennych.



Izotermy namagnesowania M(H)



Hydratacja larw *Polypedilum vanderplanki*

Najważniejsze osiągnięcia

- Wyznaczenie struktury krystalicznej stałej warstwy jednomolekularnej erucylfosfocholiny (ErPC).
- Odkrycie przekształcenia puli wody luźno związanej, zamrażającej, w niezamrażającą wodę ściśle związaną w pleśze *Cetraria aculeata*.
- Odkrycie nieoczekiwanie wysokiej zawartości wody związanej w kryptobiotycznej larwie afrykańskiej ochotki *Polypedilum vanderplanki*.
- Odkrycie zjawiska pęcznienia w kompleksach DNA/DDCA oraz DNA/CTMA.
- Określenie struktury krystalicznej i elektronowej nowych materiałów, w tym katalitycznych do redukcji tlenków azotu, celem ograniczenia ich emisji w skali przemysłowej.

Zakład Dyskretnej Teorii Pola

Kierownik: prof. dr hab. Jacek Wosiek

<http://www.fais.uj.edu.pl/zdtp>

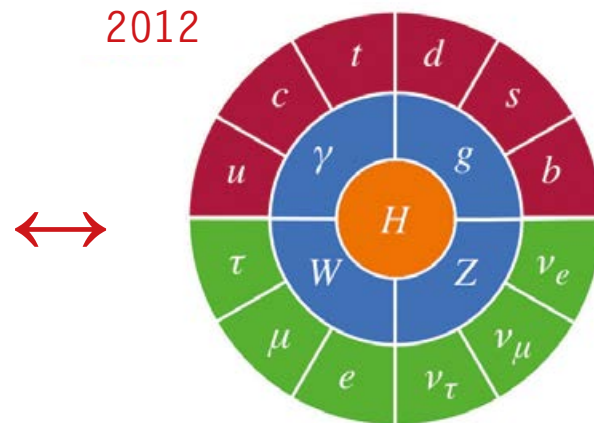
Realizowane badania

Dyskretna teoria pola to młoda dziedzina fizyki teoretycznej. Zajmuje się nieperturbacyjnym badaniem zagadnień kwantowych, głównie z teorii cząstek i oddziaływań fundamentalnych, rozwiązując bezpośrednio konkretne całki funkcjonalne. Obecnie obliczamy całki nawet do krotności kilku miliardów. Ponadto ekstrapolacja do granicy „continuum” jest subtelna (fluktuacje kwantowe): oprócz zmniejszania „stałej dyskretyzacji” konieczna jest kontrolowana

chromodynamika
kwantowa model
standardowy
sieciowa teoria pola symulacje
Monte Carlo
teoria pola na stożku świetlnym

1869

1 H							2 He
3 Li	4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	81 Ti	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra						



zmiana tzw. gołych, czyli нефизycznych, parametrów teorii (mas, ładunków itp.).

Praca badawcza w tej dziedzinie stanowi więc duże wyzwanie zarówno teoretyczne (zjawiska krytyczne, renormalizacja), jak i numeryczne. Wysiłek ten zwraca się jednak wielokrotnie dostarczając zrozumienia praw rządzących materią na coraz to bardziej fundamentalnym poziomie.

W Zakładzie zajmujemy się Modelem Standardowym. Współpracujemy z kilkoma grupami teoretycznymi o światowej renomie. Nasze badania pozwalają obliczać różnorodne właściwości cząstek elementarnych – ich masy, rozpady, strukturę wewnętrzną itp. Są więc doskonałym polem pracy naukowej zarówno dla młodych pasjonatów tej dziedziny, jak i dla doświadczonych badaczy.

Najważniejsze osiągnięcia

- Rozwiązanie zagadnienia oderonu w QCD.
- Wprowadzenie do literatury tzw. pętli barionowych.
- Wieloletnie współprace m.in. z ośrodkami DESY oraz MPI w Monachium (Wolfgang Ochs i Leo Stodolsky), a także z profesorem Gabrielem Veneziano (CERN, College de France), który jest czołową postacią fizyki teoretycznej: w latach 60-ych odkrył analityczny opis rozpraszania przy wysokich energiach; amplitudy Veneziano dały początek teorii strun, która rewolucjonizuje fizykę teoretyczną.
- Koordynacja grantu MPD (FNP), uczestniczą w nim pracownicy i doktoranci Instytutu Fizyki: ZDTP, ZFS, ZTUZ oraz ZOA. Budżet projektu: 1.2 M Euro, publikacje: 100.

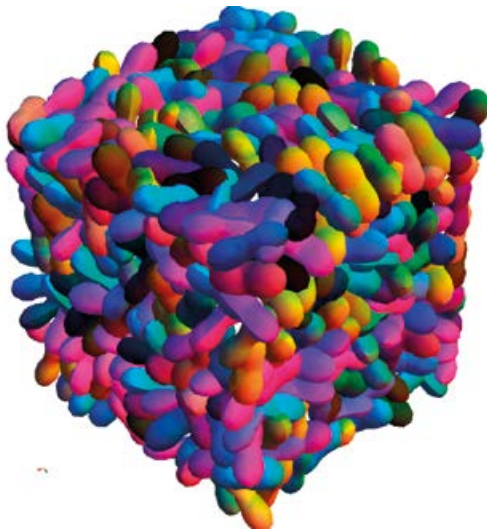
Zakład Fizyki Statystycznej

Kierownik: prof. dr hab. Lech Longa

<http://www.fais.uj.edu.pl/zfs>

Realizowane badania

Badania prowadzone w Zakładzie Fizyki Statystycznej dotyczą procesów zachodzących w oddziaływujących układach złożonych, takich jak sieci dynamiczne, komórki, (bio-) polimery (w tym DNA), czy ciekłe kryształy. Staramy się zrozumieć zjawiska samoorganizacji i stabilizacji powstających w takich układach struktur.



Ciekłe kryształy w fazie izotropowej

procesy
stochastyczne
synchronizacja dynamiczne
przejścia fazowe sieci
epidemiologiczne
(bio-)polimery oddziaływania
z powierzchniami adsorpcja
chiralność samoorganizacja w nano
- i makroskali transport
w komórkach

W kręgu naszych zainteresowań są także badania podstawowe z zakresu teorii procesów stochastycznych, w tym zjawiska transportu przejawiające cechy sub – i superdyfuzji. Modelujemy wpływ zaburzeń stochastycznych na uporządkowane zjawiska makroskopowe, do których należą między innymi: rezonansowa aktywacja, rezonans stochastyczny, synchronizacja, czy rozprzestrzenianie się epidemii. Badamy również efekty pamięci, tj. wpływ zdarzeń, które miały miejsce w przeszłości na samoorganizację układów dynamicznych. Tego typu analiza pozwala zrozumieć mechanizmy odpowiedzialne za przepływ informacji,

tworzenie i trwałość grup społecznych oraz powstawanie i czasową ewolucję struktur. Z kolei modele epidemiologiczne umożliwiają poznanie kluczowych elementów odpowiedzialnych za rozprzestrzenianie się epidemii oraz planowanie strategii ich powstrzymania.

Teoria Procesów Stochastycznych jest podstawą naszych prac z zakresu nano-biofizyki. Interesuje nas losowy ruch nano-objektów w ciasnych, zatłoczonych ośrodkach błon organicznych, cytoplazmy komórkowej i jądra komórkowego, ogólnie zjawiska transportu w środowiskach dynamicznie zmiennych. Tworzymy także komputerowe modele procesów adsorpcji białek na powierzchni, co pozwala określić strukturę i funkcje modelowanych białek, jak również właściwości tworzących się warstw adsorpcyjnych.



Badania mutacji chromosomalnych

W badaniach nad samoorganizacją materii miękkiej w skali nano – oraz makro koncentrujemy się na znalezieniu mechanizmów odpowiedzialnych za powstawanie struktur chiralnych. Badamy jaką rolę ciekłe kryształy odgrywają w komórkach biologicznych.

Naszą aktywność zauważyć można również na polu informatyki stosowanej, gdzie tworzymy interfejsy do obsługi komputera, takie jak sterowanie za pomocą wzroku, gestów, czy też z wykorzystaniem sensorów wbudowanych w smartfony (współpraca z Instytutem Psychologii UJ).

Od ponad 25 lat organizujemy cykliczne, międzynarodowe Sympozja Fizyki Statystycznej i współpracujemy z ośrodkami w Europie, USA oraz Ameryce Południowej.

Najważniejsze osiągnięcia

- Opis wpływu szumów na zjawiska transportu przez biologiczne i syntetyczne nanokanały.
- Analiza dynamiki indukcji i naprawy uszkodzeń popromiennych DNA.
- Zbadanie zjawisk aktywacji rezonansowej, rezonansu stochastycznego i efektu ratchetowego w obszarze nierównowagowym.
- Prace w kierunku optymalizacji metod powstrzymania epidemii.
- Opracowanie modeli statystycznych pozwalających zidentyfikować mechanizmy spontanicznego łamania symetrii chiralnej w niechiralnych materiałach ciekłokrystalicznych.
- Badanie procesów synchronizacji i ewolucji czasowej struktur w sieciach dynamicznych.

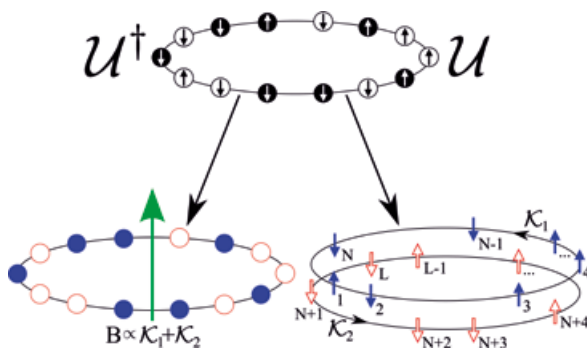
Zakład Kwantowej Teorii Wielu Ciał

Kierownik: prof. dr hab. Andrzej Michał Oleś

<http://www.fais.uj.edu.pl/zktwc>

Realizowane badania

Celem badań prowadzonych w Zakładzie jest opis teoretyczny silnie skorelowanych elektronów w tlenkach metali przejściowych oraz w różnych układach modelowych. Analizowane są stany podstawowe oraz wzbudzone w celu opisu zjawisk obserwowanych



Rozszczenie stanu spinowo-orbitalnego w pierścieniu z oddziaływaniem $SU(2) \times XY$ poprzez transformację kanoniczną U , która umożliwia ściśle rozwiązanie modelu. Łańcuch spinowo-orbitalny o długości N rozpada się na część orbitalną (po lewej) i spinową (po prawej). Część spinowa jest złożona z dwóch podukładów o $(N/2)$ spinach i kwazipędach K_1 i K_2 [W. Brzezicki, J. Dziarmaga, and A.M. Oleś, Physical Review Letters 112, 117204 (2014)]

korelacje elektronowe
silnie skorelowane
elektrony kwantowa
teoria
magnetyzmu tlenki
metali przejściowych splątanie
spinowo-orbitalne
zimne atomy
1 kwantowe
przetwarzanie
informacji

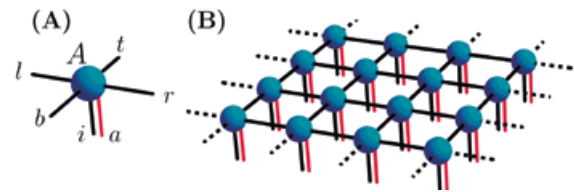
w wybranych układach lub przewidywania możliwych wyników przyszłych eksperymentów. Badania te stanowią wkład do kwantowej teorii magnetyzmu w układach z ładunkowymi, orbitalnymi i spinowymi stopniami swobody. Prowadzone są badania splątania spinowo-orbitalnego i jego konsekwencji, jak również kwantowych przejść fazowych w układach ze spinowymi lub orbitalnymi stopniami swobody, w tym w modelach o obniżonej symetrii oddziaływań, jak tzw. model kompasów i pokrewne modele orbitalne.

Realizowane są również prace w zakresie teorii kondensatów zimnych atomów, badania defektów topologicznych oraz możliwości zastosowania badanych modeli w informatyce i w inżynierii kwantowej.

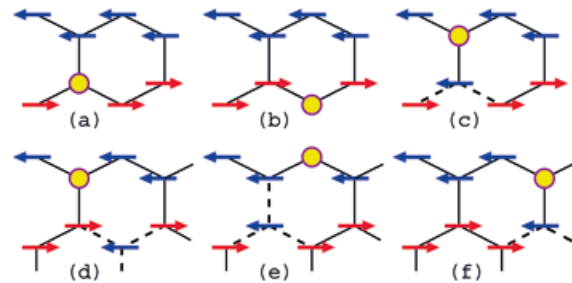
Rozwijamy różne analityczne metody obliczeniowe w teorii kwantowej wielu ciał (dla ciał stałych i kondensatów), a także metody numeryczne dla modeli silnie skorelowanych fermionów, modeli spinowych lub orbitalnych (dokładna diagonalizacja, DMRG (Density-Matrix Renormalization Group), ERA (Entanglement Renormalization Ansatz), MERA (Multiscale Entanglement Renormalization Ansatz) i inne).

Najważniejsze osiągnięcia

- Wyprowadzenie spinowo-orbitalnych modeli nadwymiany oraz podanie opisu wzbudzeń magnetycznych i optycznych w oparciu o te modele dla manganitów oraz tlenków wanadu.
- Odkrycie splątania spinowo-orbitalnego i podanie konsekwencji fizycznych tego zjawiska w tlenkach metali przejściowych oraz w modelach oddziaływań spinowo-orbitalnych.
- Wprowadzenie orbitalnej cieczy kwantowej oraz podanie opisu wzbudzeń spinowych w ferromagnetycznych manganitach.
- Przebadanie kwantowych przejść fazowych w modelach orbitalnych oraz kompasów w jednym i w dwóch wymiarach.
- Przebadanie dynamiki kwantowej kondensatów Bosego-Einsteina z podaniem zastosowań w kwantowej teorii pomiaru i dla potrzeb informatyki kwantowej.
- Przebadanie domieszkowanych tlenków miedzi, manganu, niklu i kobaltu (stany ładunkowo, spinowo i orbitalnie uporządkowane).
- Podanie mechanizmów i konsekwencji powstawania faz wstęgowych (stripe phases) w stanach uporządkowanych spinowo lub orbitalnie.



Silnie skorelowany stan kwantowy wielu spinów może być opisywany przy pomocy sieci tensorowej. Rysunek pokazuje przykładową sieć tensorową PEPS (Projected Entangled Pair States) [P. Czarnik, L. Cincio, and J. Dziarmaga, *Physical Review B* 86, 245101 (2012)]. Jej podstawowym elementem jest tensor A pokazany w panelu (A), czyli rodzaj macierzy liczbowej, której elementy są numerowane 6 indeksami (linie wychodzące z tensora). Wiele tensorów zwężonych przez wspólne, łączące je indeksy (B) w bardzo efektywny sposób opisuje skomplikowany stan kwantowy



Możliwe stany dziury (kółko) w fazie magnetycznie uporządkowanej $\text{Na}_{1-x}\text{IrO}_3$: (a) dziura domieszkowana w izolatorze Motta może (b) poruszać się wzdłuż łańcucha ferromagnetycznego lub (c) wygenerować wzbudzenie spinowe (magnon), po czym (d) defekt spinowy lub (e) dziura porusza się wzdłuż odpowiedniego łańcucha ferromagnetycznego. (f) Dziura może anihilować wzbudzenie spinowe (magnon) po dwóch krokach [F. Trouselet, M. Berciu, A. M. Oleś, and P. Horsch, *Physical Review Letters* 111, 037205 (2013)]

Zakład Teorii Cząstek

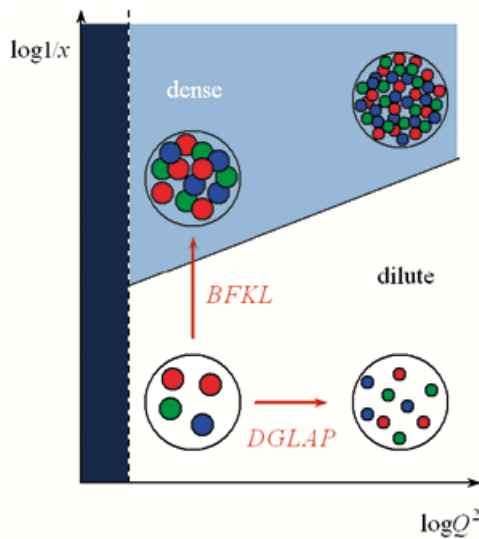
Kierownik: prof. dr hab. Michał Praszałowicz

<http://www.fais.uj.edu.pl/ztc>

Realizowane badania

Przedmiotem badań Zakładu Teorii Cząstek (ZTC) są przede wszystkim oddziaływania silne, a więc oddziaływania odpowiedzialne za wiązanie kwarków i gluonów (tzw. partonów) wewnątrz obserwowalnych cząstek, tzw. hadronów. Do ich opisu stosuje się teorię zwaną chromodynamiką kwantową (ang. *Quantum*

rozpraszanie przy wysokich energiach
 generatory
 Monte Carlo model
 dipolowy rozpraszanie
 wielokrotne partonów
 skalowanie geometryczne diagram
 fazowy chromodynamiki
 kwantowej



Struktura protonu w płaszczyźnie $x - Q^2$

Chromodynamics, w skrócie QCD). Ze względu na skomplikowaną strukturę QCD konieczne jest rozwijanie i stosowanie rozlicznych przybliżonych narzędzi i modeli, co stanowi trzon badań prowadzonych w ZTC.

Badania prowadzone w ZTC wiążą się bezpośrednio ze współczesnymi eksperymentami prowadzonymi w akceleratorach cząstek, w szczególności w Wielkim Zderzaczu Hadronów (ang. *Large Hadron Collider*, LHC) w laboratorium CERN pod Genewą. Podstawowym procesem w LHC jest wielorodna produkcja hadronów, która z jednej strony jest tłem dla rzadkich procesów, takich jak produkcja cząstki Higgsa, czy ewentualnych cząstek supersymetrycznych, a z drugiej strony jest sama w sobie przedmiotem badań i analiz. Opis wielorodnej produkcji hadronów wymaga użycia symulacji komputerowych

(tzw. generatorów Monte Carlo), gdyż dla większości modeli niemożliwe jest wyprowadzenie przewidywań w formie analitycznej.

W szczególnych przypadkach można jednak znaleźć przybliżenia, które dają dobry opis danych eksperymentalnych i mają jasną interpretację fizyczną. Przykładem może tu być uniwersalność chmury partonowej stanowiącej dominujący składnik przyspieszonej do wysokich energii cząstki. Uniwersalność ta leży u podstaw zjawiska zwanego skalowaniem geometrycznym będącego przedmiotem badań prowadzonych w ZTC.

Przy opisie zderzeń cząstek zakłada się, że tak na prawdę zderzają się pojedyncze partony, które po rozproszeniu zamieniają się w obserwowalne hadrony. Jednak przy obecnie osiąganym energiach ważne zaczynają być procesy wielokrotnego rozpraszania partonów. Ich analiza prowadzona w ZTC dostarcza nowych, istotnych informacji na temat struktury protonu i procesów rozpraszania w ogólności.

Przedmiotem badań prowadzonych w ZTC jest także analiza diagramu fazowego QCD. Chodzi tu o odpowiedź na pytanie, jakie właściwości ma materia, która jest poddana działaniu ekstremalnie wysokich temperatur (rzędy wielkości przewyższających temperaturę wnętrza słońca) i ciśnieniu (rzędy wielkości przekraczających te, osiągalne w ziemskich laboratoriach). W tym kontekście prowadzimy też badania tzw. plazmy kwarkowo-gluonowej, która powstaje w zderzeniach ciężkich jonów.

W ZTC zajmujemy się także modelami efektywnymi, które są przybliżeniem QCD w obszarze niskich

energii. Pozwalają one na wytłumaczenie spektrum mas cząstek silnie oddziaływujących. Zajmujemy się także analizą teorii efektywnych pod kątem możliwych przejść fazowych pomiędzy różnymi stanami skupienia materii silnie oddziaływającej.

Najważniejsze osiągnięcia

- Badania procesów dyfrakcyjnych w rozpraszaniu głęboko nieelastycznym w akceleratorze HERA, w tym wyodrębnienie wkładów od wielokrotnego rozpraszania partonów (tzw. wyższe twisty).
- Obliczenie wkładu od miękkich gluonów do produkcji cząstek supersymetrycznych w LHC.
- Wykazanie istnienia tzw. skalowania geometrycznego w zderzeniach hadronów i zbadanie jego właściwości.
- Szczegółowa analiza efektywnych modeli chiralnych pod kątem istnienia cząstek o tzw. egzotycznych liczbach kwantowych.
- Rozwinięcie koncepcji zranionych kwarków i dikwarków do opisu zderzeń przy wysokich energiach.
- Badanie korelacji w zderzeniach ciężkich jonów, dyskusja modeli statystycznych produkcji cząstek.
- Badanie nieperturbacyjnych rozkładów partonów w oparciu o lokalne i nielocalne efektywne modele chiralne.
- Badanie diagramu fazowego QCD, a w szczególności właściwości niejednorodnego kondensatu chiralnego.
- Przetestowanie i dostrojenie generatorów MC do najnowszych danych produkcji wielorodnej w LHC.

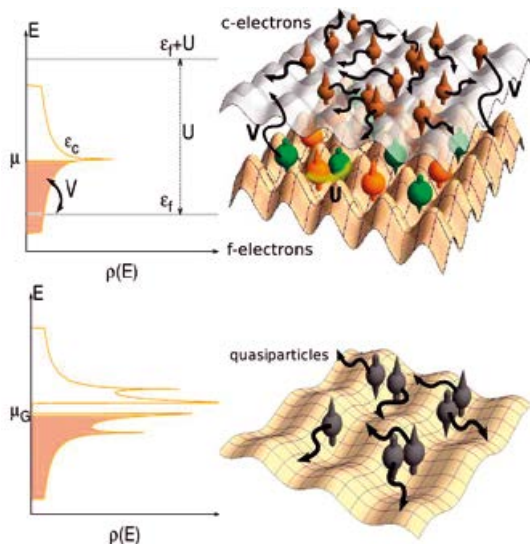
Zakład Teorii Materii Skondensowanej i Nanofizyki

Kierownik: prof. dr hab. Józef Spałek

<http://www.fais.uj.edu.pl/ztmsn>

Realizowane badania

Głównym celem prac badawczych prowadzonych przez naukowców Zakładu jest opis niestandardowej cieczy Fermiego, a także modelowanie właściwości nadprzewodników wysokotemperaturowych w ramach modelu



U góry: sieć Andersona złożona z elektronów przewodnictwa (c) i zde-lokalizowanych (f lub d); na dole: sieć kwazicząstek ich stanów zhy-brydyzowanych. Po lewej stronie odpowiadające im gęstości stanów

układy skorelowanych fermionów
 nadprzewodnictwo
 wysokotemperaturowe
 metalizacja wodoru grafen
 i układy grafenowe
 układy ciężkich fermionów
 łącza kwantowe kwantowa
 teoria magnetyzmu

t-J oraz Hubbarda, analiza zaproponowanego parowania trypletowego oraz parowania zaindukowanego oddziaływaniem Kondo w układach ciężkich fermionów. We wszystkich tych przypadkach mamy do czynienia z parowaniem w przestrzeni rzeczywistej w połączeniu z efektami korelacji. Stosowanymi w naszych badaniach metodami są: statystycznie-konsyistentne przybliżenie Gutzwillera (SGA), a ostatnio rozwinięcie diagramatyczne dla funkcji Gutzwillera i w szczególności wyjście poza przybliżenie zrenormalizowanego pola średniego dla modelu t-J Hubbarda i dla sieci Andersona-Kondo.

Ponadto prowadzimy badania ciekłych kryształów i wybranych układów grafenowych, chaosu kwantowego oraz prace nad implementacją algorytmów i struktur danych w języku PYTHON.

Najważniejsze osiągnięcia

- Zaproponowanie spinowo-zależnych mas ciężkich kwazicząstek w układach skorelowanych (potwierdzone doświadczalnie).
- Zaproponowanie oryginalnej teorii nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego w oparciu o model t-J oraz Hubbarda i porównanie ilościowe z danymi doświadczalnymi.
- Rozszerzenie teorii parowania w przestrzeni rzeczywistej na układy z parowaniem trypletowym i ciężkich fermionów.
- Zaproponowanie metody obliczeń funkcji falowej

w stanie skorelowanym i jej zastosowanie do układów nanofizycznych i przejścia izolator-metal dla sieci atomowego wodoru.

- Badania oryginalnych układów nanofizycznych na bazie grafenu (dyski Corbino, itp.)
- Opracowanie nowej metody rozwinięcia diagramatycznego i zastosowanie jej do układów silnie skorelowanych fermionów, w tym do nadprzewodników wysokotemperaturowych.
- Opis przejścia fazowego z fazy izotropowej do nematycznej dwuosiowej.
- Implementacja algorytmów grup permutacji grafowych w języku Python.

Zakład Teorii Pola

Kierownik: prof. dr hab. Henryk Arodź

<http://www.fais.uj.edu.pl/ztp>

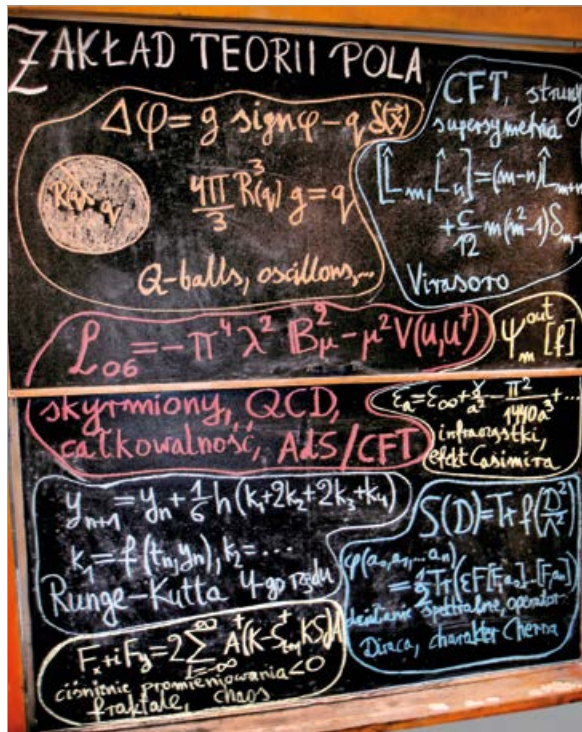
Realizowane badania

Teoria pól, czyli układów posiadających nieskończenie wiele stopni swobody, należy do najważniejszych działów współczesnej fizyki teoretycznej. Wszystkie znane oddziaływania fundamentalne – silne, elektromagnetyczne, słabe oraz grawitacyjne – są opisywane w jej ramach. Również wiele zagadnień z zakresu fizyki makroskopowej, np. fizyki fazy skondensowanej, jest z powodzeniem analizowanych za pomocą metod teorii pól. Zastosowania teorii pól obejmują bardzo szeroki zakres zjawisk, od kosmologicznych w skali całego Wszechświata do przekształceń najmniejszych kwantowych cząstek materii w wyniku ich zderzeń w przyspieszaczach. Rezygnacja z niej cofnęłaby fizykę teoretyczną o co najmniej pół wieku. Z drugiej strony, jeszcze sporo czasu upłynie zanim rozwiązane będą liczne problemy dotyczące nawet samych fundamentów teorii pól. Z tych powodów jest to teren bardzo intensywnych badań prowadzonych w wielu kierunkach – od kolejnych prób zastosowań do aspektów czysto matematycznych – w licznych ośrodkach na świecie.

Spektrum badań prowadzonych w Zakładzie Teorii Pola odzwierciedla aktualne trendy we współczesnej teorii pól. Zajmujemy się analitycznymi i numerycznymi badaniami oddziaływań solitonów zwanych defektami topologicznymi, badaniami sektora podczerwo-

nego w elektrodynamice kwantowej i efektu Casimira w ramach algebraicznego ujęcia teorii kwantowych, obliczeniami funkcji korelacji w konforemnej kwantowej teorii pól, uogólnieniami teorii pól na bazie geometrii niekomutatywnej, modelami efektywnymi typu Skyrme dla barionów i jąder atomowych, ultramasywnymi polami skalarnymi i powiązаныmi z nimi oscylonami i solitonami nietopologicznymi, odpowiedniością AdS/CFT ('anti de Sitter/conformal field theory'), nieabelowymi polami cechowania i chromodynamiką kwantową,

defekty
topologiczne solitony
nietopologiczne matematyczne
podstawy
elektrodynamiki
kwantowej chromodynamika
w obszarze nieperturbacyjnym
geometria niekomutatywna i jej zastosowania
w fizyce konforemne
teorie pola teoriopole
modele całkowlne skalarne
pola ultramasywne metody
numeryczne w teorii pola



kwantową teorią całkowalnych modeli teoriopólowych, a także numerycznymi metodami rozwiązywania nieliniowych równań różniczkowych występujących w teorii pól. Używamy wielu technik badawczych, od zaawansowanej matematyki poprzez tradycyjne metody fizyki teoretycznej do precyzyjnych obliczeń numerycznych i symulacji komputerowych.

Uzyskaliśmy wiele interesujących rezultatów. Część z nich należy do zakresu fizyki matematycznej, a niektóre można zaliczyć do fizyki komputerowej. Współpracujemy z wieloma ośrodkami zagranicznymi

mi i krajowymi. Organizujemy konferencje i warsztaty naukowe oraz uczestniczymy w planowaniu i realizacji projektów naukowych wspieranych grantami krajowymi oraz unijnymi.

Popularyzujemy fizykę oraz piszemy podręczniki akademickie. Ostatnio ukazały się: *Lectures on Classical and Quantum Theory of Fields* (H. Arodź i L. Hadasz, wyd. Springer, r. 2010), *Algebra liniowa i geometria* (A. Herdegen, wyd. Discepto, r. 2010), *Algebra i geometria analityczna w zadaniach* (H. Arodź i K. Rościszewski, wyd. Znak, r. 2005).

Najważniejsze osiągnięcia

- Zaproponowanie nowego modelu efektywnego typu Skyrme'go dla jąder atomowych.
- Podanie teorii efektu Casimira w ramach algebraicznego ujęcia kwantowej teorii pól.
- Odkrycie mechanizmu ujemnego ciśnienia promieniowania wywieranego na niektóre defekty topologiczne.
- Odkrycie struktur fraktalnych w procesach kreacji par kinków pod wpływem promieniowania.
- Zbadanie bifurkacji rozwiązań nieliniowego równania Bratu metodami numerycznymi.
- Odkrycie skalarnych pól ultramasywnych i zbadanie ich podstawowych właściwości.
- Odkrycie niepromieniujących, kotyszających się oscylonów w modelu signum-Gordona.
- Znalazienie zwartych solitonów nietopologicznych o kształcie powłoki kulistej w zespolonym modelu signum-Gordona.
- Zbadanie analitycznych właściwości bloków konformnych w supersymetrycznych teoriach pola.
- Skonstruowanie nietrywialnych przykładów niekomutatywnych geometrii riemannowskich.

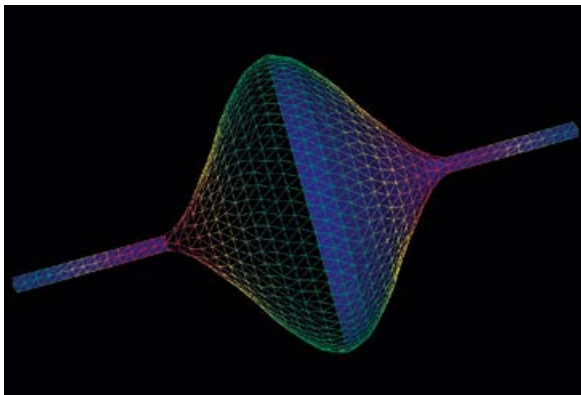
Zakład Teorii Układów Złożonych

Kierownik: prof. dr hab. Jerzy Jurkiewicz

<http://www.fais.uj.edu.pl/ztu>

Realizowane badania

Istotnym tematem badań prowadzonych w naszym Zakładzie jest Grawitacja Kwantowa. Kierownik Zakładu jest jednym z pionierów badań nad wersją kwantowej grawitacji opartą o dyskretyzację czasoprzestrzeni. Obecnie analizowane są właściwości modelu Kauzalnych Dynamicznych Triangulacji, modelu kwantowej geometrii, której fluktuacje geometrii realizowane są jako dynamiczne relacje sąsiedztwa czterowymiarowych sympleksów. Głównym narzędziem badań są symulacje komputerowe.



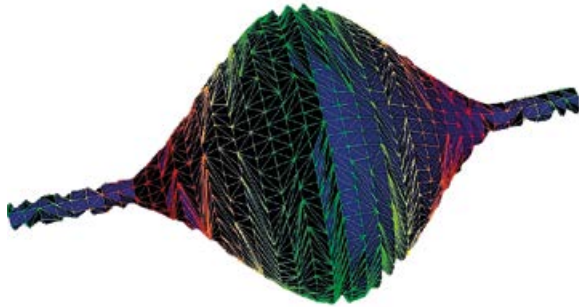
Typowa czterowymiarowa czasoprzestrzeń w modelu CDT opisana jest fluktuacjami wokół geometrii sferycznej

kwantowa grawitacja
teoria macierzy
przypadkowych
teoria strun geometryczne
rozmaitości przypadkowe
korespondencja AdS/CFT

Zajmujemy się zagadnieniami ekonofizyki, związanymi z badaniami właściwości rynków finansowych, a także Teorii Macierzy Losowych, znajdujących zastosowania w bardzo wielu dziedzinach na styku fizyki kwantowej i fizyki statystycznej, np. w problemie wielu ciał w mechanice kwantowej, w teorii transportu w układach mezoskopowych, w teorii kwantowej informacji, w kwantowej chromodynamice, w układach dynamicznych i układach złożonych. Teoria macierzy losowych stosowana jest też w inżynierii finansowej, kombinatoryce, teorii prawdopodobieństwa i teorii liczb.

Jesteśmy zaangażowani w badania sieci złożonych, które wykorzystywane są w wielu problemach interdyscyplinarnych: od sieci biologicznych do sieci społecznych opisujących relacje pomiędzy członkami grupy społecznej.

Realizujemy również badania zachowania teorii cechowania w obszarze silnego sprzężenia (w tzw. obszarze nieperturbacyjnym), w oparciu o metodę korespondencji AdS/CFT. Pozwala to na przetłumaczenie tych problemów na język grawitacji i wyżej wymiarowej Ogólnej Teorii Względności. Badanie silnie oddziaływującej plazmy kwarkowo-gluonowej jest ważne w kontekście eksperymentalnego programu zderzeń ciężkich jonów w CERNie.



Czterowymiarowa czasoprzestrzeń w modelu CDT opisana fluktuacjami wokół geometrii sferycznej

Z inicjatywy pracowników Zakładu Teorii Układów Złożonych, na Wydziale FAIS powołane zostało Centrum Badań Układów Złożonych im. Marka Kaca, w ramach którego nawiązują ze sobą współpracę naukowcy z różnych zakładów Wydziału, posiadający wspólne zainteresowania naukowe.

Najważniejsze osiągnięcia

- Wykazanie istnienia nietrywialnej semiklasycznej geometrii tła w czterowymiarowym modelu Kausalnych Dynamicznych Triangulacji.
- Opracowanie metody wyliczania rozkładów własnych iloczynów niezależnych macierzy losowych i związku pomiędzy wartościami własnymi macierzy korelacji próbki i populacji.
- Model genetycznych sieci regulacyjnych w oparciu o statystyczny model interakcji międzygenowej.
- Znalezienie ścisłych estymatorów ryzyka dla portfela finansowego skonstruowanego w oparciu o historyczną informację skończonych rozmiarów.
- Osiągnięcie dokładnych rezultatów w supersymetrycznej teorii cechowania za pomocą właściwości całkowalności korespondencji AdS/CFT.

Zakład Teorii Względności i Astrofizyki

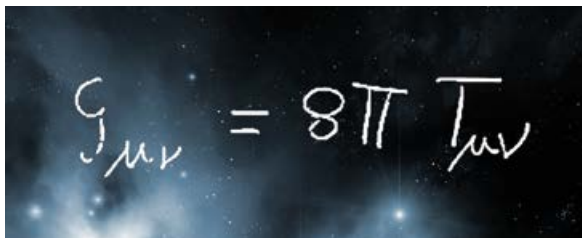
Kierownik: prof. dr hab. Edward Malec

<http://www.fais.uj.edu.pl/zstwa>

Realizowane badania

Grupy badawcze Zakładu Teorii Względności i Astrofizyki zajmują się obecnie: globalną dynamiką rozwiązań geometrycznych równań ewolucyjnych, w szczególności równań Einsteina; zjawiskami akrecyjnymi w zakrzywionych czasoprzestrzeniach z uwzględnieniem backreaction; matematycznymi aspektami rozwiązań równań Einsteina; ciemną materią i krzywymi rotacji w galaktykach; presupernowymi.

Badania prof. Bizonia, dr. Andrzeja Rostworowskiego i innych dotyczą relaksacji do stanu równowagi dla zachowawczych układów hamiltonowskich na nieograniczonych przestrzennie obszarach poprzez wypromieniowanie energii do nieskończoności. Celem badań, ważnych np. w dynamice kolapsu grawitacyjnego, jest matematyczny opis tego procesu dla dyspersyjnych równań falowych oraz opis turbulენტnej dynamiki nieliniowych fal na zwartych obszarach – procesu



$$G_{\mu\nu} = 8\pi T_{\mu\nu}$$

równania
Einsteina globalna
dynamika rozwiązań równań
ewolucyjnych hydrodynamika
relatywistyczna akrecja
i dyski akrecyjne kosmologia
galaktyki spiralne i krzywe rotacji
supernowe

przepływu energii z niskich do wysokich częstości i oddziaływań rezonansowych jako mechanizmu generującego turbulencje, zwłaszcza dla czasoprzestrzeni z ujemną stałą kosmologiczną i jego konsekwencjami dla korespondencji AdS/CFT. Profesor Kutschera, dr hab. Andrzej Odrzywołek i in., badają gwiazdy neutronowe, emisję neutrin z masywnych gwiazd, zagadnienie krzywych rotacji galaktyk spiralnych w kontekście ciemnej materii oraz efekty 3D w numerycznych symulacjach supernowych typu implozyjnego.

Profesor Malec, dr Mach i in. badają: wpływ stałej kosmologicznej na akrecję płynów doskonałych na czarne dziury oraz implikacje kosmologiczne, w celu wyjaśnienia realistyczności scenariusza cyklicznego wszechświata Penrose'a; strukturę i rotację samogra-

witujących dysków akrecyjnych w przybliżeniu newtonowskim i post-newtonowskim; rozwiązania hydrodynamiki w OTW i STW; foliacje czasoprzestrzenne wybranych rozwiązań OTW.

Najważniejsze osiągnięcia

- Zbadanie (2+1)-wymiarowej grawitacji, zbadanie natury stałej struktury subtelnej (profesor Andrzej Staruszkiewicz).
- Dowód jednoznaczności czarnej dziury Kerr-Newmana (profesor Paweł Mazur).
- Odkrycie turbulentnej niestabilności czasoprzestrzeni anty-de Sittera (profesor Piotr Bizoń i współpracownicy).
- Odkrycie bifurkacji w relatywistycznych modelach akrecji uwzględniających efekt sprzężenia zwrotnego geometrii i materii (profesor Edward Malec i współpracownicy).
- Pokazanie możliwości detekcji neutrin przed kolapsem pre-supernowej.
- Pokazanie wiarygodnych modeli niektórych galaktyk spiralnych bez ciemnej materii (profesor Marek Kutschera, dr hab. Andrzej Odrzywołek i współpracownicy).

Zakład Zastosowań Metod Obliczeniowych

Kierownik: prof. dr hab. Jerzy Szwed

<http://www.fais.uj.edu.pl/zzmo>

Realizowane badania

Realizowane w Zakładzie badania naukowe obejmują teoretyczną i eksperymentalną fizykę cząstek, a także problematykę sieci komputerowych i telekomunikacyjnych oraz zagadnienia funkcjonowania mózgu.



Model Standardowy
cząstek elementarnych
chromodynamika
kwantowa funkcje struktury
akceleratory cząstek
wysokich energii generatory
Monte Carlo
sieci peer-to-peer
protokół inter ALTO badania
funkcjonowania mózgu

Badania w fizyce cząstek dotyczą opisu i analizy procesów obserwowanych w eksperymentach akceleratorowych wysokich energii, takich jak np. LHC w ośrodku CERN. Oddziaływania cząstek przy wysokich energiach dają wgląd w strukturę materii w skali mikroświata. Ich opis teoretyczny opiera się na tzw. Modelu Standardowym oddziaływań fundamentalnych cząstek elementarnych oraz jego hipotetycznych rozszerzeniach. Prowadzone badania obejmują opracowywanie przewidywań teoretycznych wysokiej precyzji dla procesów obserwowanych w zderzeniach cząstek przy wysokich energiach oraz ich implementację w formie

generatorów Monte Carlo służących do bezpośredniego modelowania tychże procesów. Pewne przewidywania wymagają parametryzacji hadronowej struktury zderzanych cząstek. Celem naszych badań jest również opracowanie parametryzacji struktury protonów, fotonów i elektronów. Koordynujemy pracę grupy eksperymentu ATLAS (LHC) na Wydziale FAIS prowadząc analizy w zakresie badania właściwości bozonu Higgsa oraz precyzyjnych pomiarów podstawowych parametrów Modelu Standardowego; uczestniczymy także w eksperymencie NA61 (CERN) badającym produkcję hadronów w zderzeniach hadron-jądro i jądro-jądro.

W dziedzinie sieci komputerowych i telekomunikacyjnych prowadzone są badania z zakresu zarządzania ruchem w sieciach operatorskich. Zajmujemy się zarządzaniem ruchem peer-to-peer w łączach międzyoperatorskich, wykonujemy badania symulacyjne oraz przeprowadzamy eksperymenty w środowisku laboratoryjnym na specjalnie zaprojektowanych i zbudowanych testowych infrastrukturach sieciowych. Prowadzimy również badania związane z komunikacją międzycentrami danych i chmurami obliczeniowymi. Obecnie prace koncentrują się na opracowaniu mechanizmów zarządzania ruchem między chmurami obliczeniowymi zlokalizowanymi w domenach różnych operatorów. Elementem wykonywanych prac jest prototypowa

implementacja protokołów i serwerów realizujących mechanizmy zarządzania ruchem.

Prowadzone są również badania interdyscyplinarne we współpracy z biologami, psychologami i lekarzami w zakresie m.in. analizy sygnałów pracy mózgu u ludzi i myszy, analizy EEG, aktigraficzne i okulograficzne osób z deficytem snu czy prognozowanie strefy zawału serca.

Najważniejsze osiągnięcia

- Generatory Monte Carlo do precyzyjnego modelowania procesów w akceleratorach cząstek wysokich energii: BHLUMI, BHWIDE, KoraW, YFSWW, YFSZZ, WINHAC, PHOTOS, TAUOLA, AcerMC.
- Opracowanie programu poszukiwania cząstki Higgsa w eksperymentach LHC i udział w analizach danych eksperymentu ATLAS zakończonych jej odkryciem w roku 2012.
- Zdefiniowanie i zmierzenie na akceleratorze LEP funkcji struktury elektronu, opracowanie modelu struktury fotonu SAL oraz modelu dyfrakcyjnych rozkładów partonów w protonie.
- Opracowanie i prototypowa implementacja protokołu inter ALTO, zbudowanie platformy testowej do badań sieci peer-to-peer.

Zakład Projektowania i Grafiki Komputerowej

Kierownik: prof. dr hab. Ewa Grabska

<http://www.fais.uj.edu.pl/zpgk>

Realizowane badania

Zespół naukowców Zakładu angażuje się w prace nad interaktywnymi systemami komputerowego wspomaganie projektowania wizualnego. Szczególny nacisk jest położony na wykorzystanie wiedzy projektowej w problemach decyzyjnych na wstępnym etapie projektowania oraz wyposażenie systemów projektowych



projektowanie kreatywne
komunikacja
wizualna gramatyki grafowe
metody ewolucyjne
modele rozmyte. Języki
wizualne
eksploracja
danych

w inteligentnych agentów będących asystentami projektanta wspomagającymi kreatywne projektowanie koncepcyjne. Opracowywane conceptualizacje różnych dziedzin projektowania mają na celu tworzenie specyficznych języków wizualnych.

Do reprezentacji i przetwarzania wiedzy o projektach używamy struktur grafowych i ich transformacji. Reprezentacja taka pozwala na tworzenie mechanizmów wnioskowania o poprawności rozwiązań projektowych. Wykorzystujemy tu języki logiczne, rozmytą klasyfikację, analizy występowania częstych wzorców oraz grafowe funkcje jądra.

Struktury grafowe są również używane w proponowanych ewolucyjnych metodach generowania nowych rozwiązań projektowych (jako genotypy projektowanych obiektów). Badaniami objęto tu także zbieżność algorytmów ewolucyjnych.



Prowadzimy badania z modelowania dotyczące metody elementów skończonych (algorytmy automatycznej hp-adaptacji) przy użyciu gramatyk grafowych. Wszystkie podejmowane prace w zakresie zastosowań informatyki opierają się na opracowanych własnych modelach formalnych.

Najważniejsze osiągnięcia

- Opracowanie nowych grafowych modeli struktur przestrzennych mających zastosowanie w wielu dziedzinach (projektowanie architektoniczne i inżynier-

skie wspomagane komputerowo, algorytmy generacji i adaptacji siatek MES, gry komputerowe, metody ewolucyjne).

- Upowszechnianie wiedzy i umiejętności z zakresu interaktywnej komunikacji wizualnej wśród studentów krakowskich uczelni w ramach współpracy z firmą Motorola i grantu Motorola Solutions Foundation.
- Implementacja prototypowego systemu komputerowego wspomaganie projektowania, w którym rozwiązania projektowe są przedstawiane w postaci rysunków na monitorze i oceniane przez system komputerowy (prace w ramach grantu KBN).

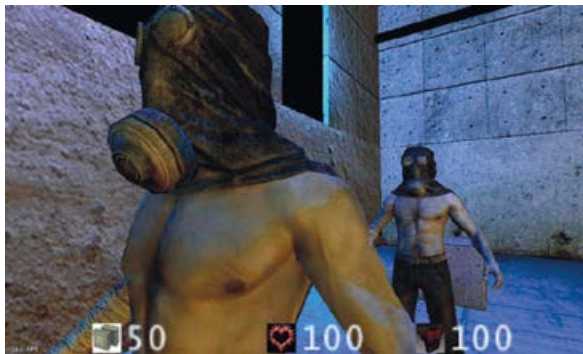
Zakład Technologii Gier

Kierownik: dr hab. Paweł Węgrzyn

<http://www.fais.uj.edu.pl/ztg>

Realizowane badania

Dzisiejszy rynek gier komputerowych to potężna gałąź światowej gospodarki i najszybciej rosnący sektor przemysłu rozrywkowego na świecie, jednocześnie oferujący ogromne możliwości w dziedzinie medycyny i edukacji. Wychodząc naprzeciw zapotrzebowaniu świata nauki i przemysłu, utworzony został Zakład Technologii Gier, w którym prowadzone są badania technologii tworzenia gier wideo oraz struktur gier komputerowych. Zajmujemy się obliczeniami wykonywanymi na procesorach graficznych (OpenCL, CUDA), programowaniem symulacji fizyki w czasie rzeczywistym, modelami sztucznej inteligencji w symulacjach



Pierwszy historyczny projekt gry EAG „Disturb”

technologie
tworzenia gier
wideo badanie struktur gier
komputerowych obliczenia GPU
symulacje fizyki dotykowe
i bezdotykowe interfejsy
komputerowe gry poważne

czasu rzeczywistego. Jesteśmy zaangażowani w rozwój badań nad interakcją człowiek-komputer, dotykowymi i bezdotykowymi komputerowymi interfejsami.

W Zakładzie rozwijane są popularne dzisiaj technologie przechwytywania ruchu, rozpoznawania gestów i mowy. Realizujemy prace nad analizą stanu emocjonalnego gracza, multimodalnymi danymi sensorycznymi ciała, danymi neurofizjologicznymi (interfejsy mózg-komputer, elektrookulografia), wzbogaconą rzeczywistością, wirtualną rzeczywistością, technologią Arduino i Internetem przedmiotów (Internet of Things). Projektujemy gry wideo i narzędzia wspomagające oraz programujemy gry na urządzenia mobilne (Google Android, Apple iOS, Windows Phone). Poruszamy się również w obszarach na pograniczu nauk informatycznych – ludologia, teoria popkultury, software studies, cybertekstualność.

Szczególna uwaga poświęcona jest tworzeniu gier poważnych, mających istotne zastosowania w medycynie, np. w diagnostyce osób starszych i wspomaganiu leczenia dzieci oraz w edukacji, m.in. w różnego rodzaju symulatorach.

Najważniejsze osiągnięcia

- Publikacje naukowe dotyczące zastosowań gier poważnych w medycynie, obliczeń GPU, interpretacji struktur gier za pomocą hipergrafów warstwowych,

nowych możliwości interakcji związanych z nowymi interfejsami fizycznymi.

- Rozwój współpracy z firmami i liderowanie Europejskiej Akademii Gier (EAG).
- Przyznanie EAG przez Kapitułę Stowarzyszenia Gmin i Powiatów Małopolski tytułu w konkursie na najlepsze przedsięwzięcie roku w Małopolsce – „Lider Małopolski 2012”.
- Współorganizacja europejskiego finału World Cyber Games w 2011 roku i współorganizacja festiwalu Digital Dragons w Krakowie.



Reinkarnacja Space Invaders w 3D: gra „Pixel Killers”

Zakład Technologii Informatycznych

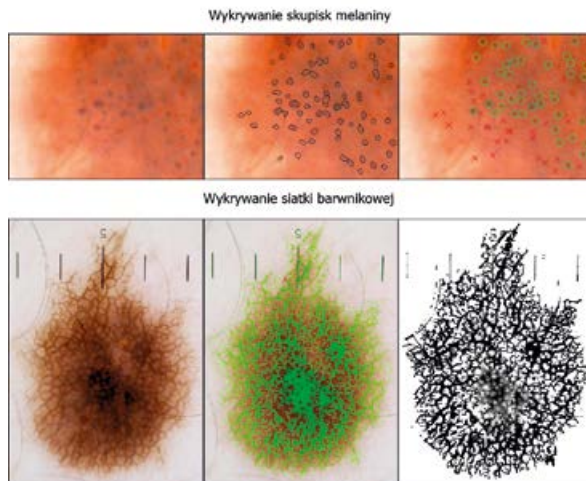
Kierownik: prof. dr hab. Maciej Ogorzałek

<http://www.fais.uj.edu.pl/zti>

Realizowane badania

Tematyka prowadzonych badań naukowych koncentruje się wokół zastosowania metod inteligencji obliczeniowej w analizie i przetwarzaniu sygnałów i obrazów bio-medycznych oraz wspomaganiu diagnostyki. Najistotniejsze osiągnięcia dotyczą komputerowo wspomaganą diagnostyki czarniaka skóry opartej na analizie obrazów, ekstrakcji cech oraz zastosowaniu technik inteligencji obliczeniowej do budowy modeli

inteligencja obliczeniowa
analiza
i przetwarzanie
sygnałów komputerowe
metody w diagnostyce medycznej
metody i algorytmy
projektowania
układów scalonych



komputerowych i klasyfikacji obrazów. Opracowano nowatorskie metody i narzędzia do analizy tekstur obrazów dermatoskopowych oraz algorytmy bazujące na technikach fraktalnych. Opracowane techniki pozwalają na znaczące poprawienie jakości diagnostyki zmian skórnych - efektywność ponad 90%.

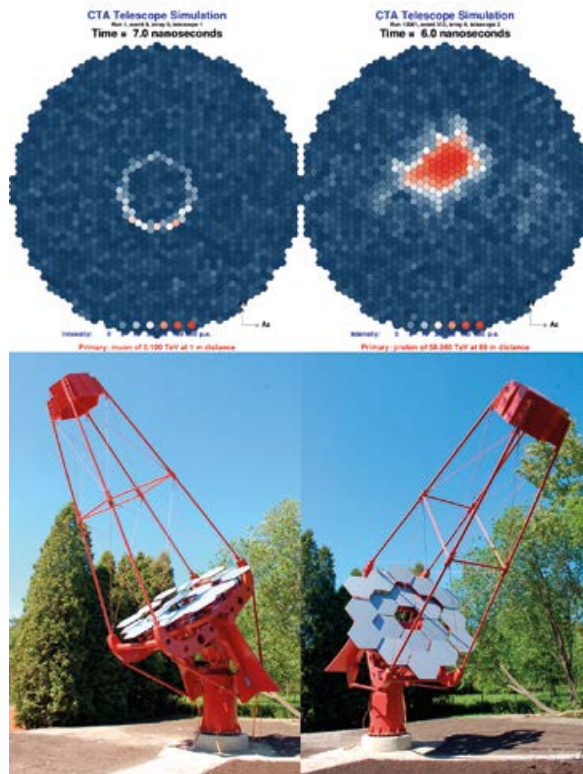
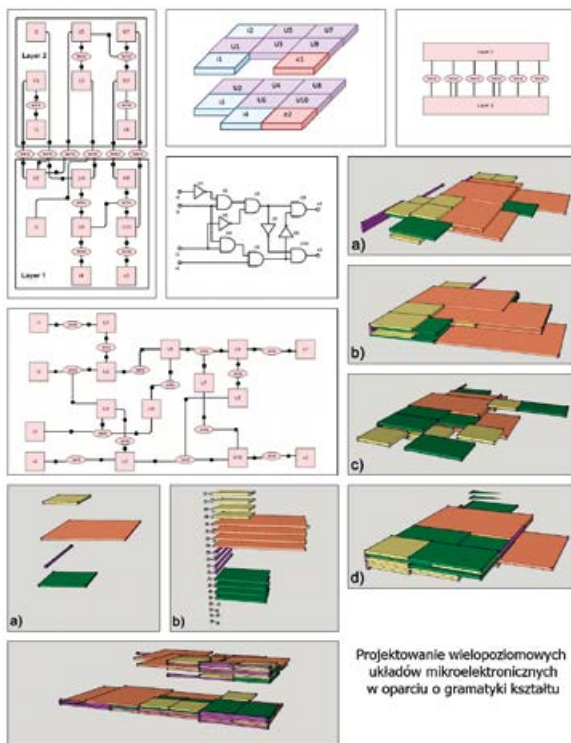
Kolejnym tematem badań są nowatorskie metody obliczeniowe do projektowania układów mikro-elektronicznych następnych generacji, których celem jest opracowanie metodyki inteligentnego projektowania trójwymiarowych układów przestrzennych w oparciu o tak zwane gramatyki kształtów. Efektem badań prowadzonych w ramach projektu będzie opracowanie oraz przetestowanie nowych narzędzi i oprogramowania do projektowania układów typu system-on-chip w technologiach heterogenicznych realizowanych w geometrycznych strukturach 3D.

Zakład specjalizuje się także w zakresie analizy danych pomiarowych oraz technik modelowania stosowanych w fizyce, biologii i medycynie.

Najważniejsze osiągnięcia

- Opracowanie metodologii projektowania struktur geometrycznych układów scalonych 3D opartych na gramatykach kształtów.

- Opracowanie efektywnych algorytmów analizy i klasyfikacji obrazów dermatoskopowych dla komputerowego wspomaganie diagnostyki czarniaka skóry. Osiągnięcie efektywności klasyfikacji ok. 90% w oparciu o analizę falkową oraz klasyfikację automatyczną.
- Opracowanie algorytmów symulacyjnych bazujących na metodach Monte Carlo do modelowania i analizy pracy obserwatorium CTA.



Zakład Astrofizyki Relatywistycznej i Kosmologii

Kierownik: dr hab. Lech Sokołowski

<http://www.fais.uj.edu.pl/zark>

Realizowane badania

Obecnie istnieje wiele różnych teorii grawitacji i wszystkie wywodzą się z Ogólnej Teorii Względności, której zastosowaniem w kosmologii i astrofizyce się zajmujemy. Badamy poszczególne teorie pod kątem ich wartości i sensowności. W różnicowany sposób pracujemy nad zagadnieniem niejednorodności Wszechświata. Rozwijamy teorię zaburzeń modeli kosmologicznych w zależności od rodzaju materii, krzywizny czasoprzestrzeni oraz stałej kosmologicznej. Wśród zaburzeń wyróżniamy fale grawitacyjne. Interesujemy się także niestandardowymi modelami, w których pojawia się chaos deterministyczny. Prowadzimy badania mające

problemy
matematyczne
ogólnej teorii
względności porównywanie
rozmaitych teorii grawitacji
z teorią względności
Einsteina kosmologia
wczesnego
Wszechświata modelowanie
dynamiki galaktyk zastosowania
metod algebry
komputerowej

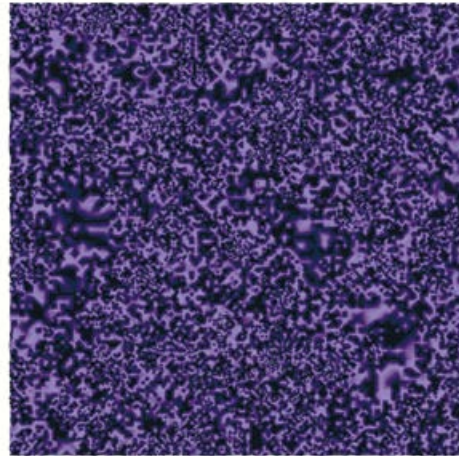


Notacja diagramatyczna w zastosowaniu do analizy tensorowej

na celu odpowiedzieć na pytanie, czy uwzględnienie niejednorodności nie zmusi nas do reinterpretacji obserwacji, które opisywane w modelu standardowym wskazują, że w większości Wszechświat wypełnia tajemnicza ciemna energia. Niejednorodności rozmieszczenia mas wpływają również na bieg światła poprzez soczewkowanie grawitacyjne. Na podstawie obserwowanego biegu światła staramy się odtworzyć statystyczne rozmieszczenie rozmaitych obiektów we Wszechświecie.

Najważniejsze osiągnięcia

- Opracowanie kryterium pozwalającego ustalić fizyczną sensowność poszczególnych teorii grawitacji, dzięki któremu można wyeliminować wielką liczbę tych teorii.
- Skonstruowanie uproszczonego modelu kosmologicznego uwzględniającego drobne niejednorodności.
- Pionierska działalność w konstruowaniu i stosowaniu swoistych modeli zjawiska soczewkowania grawitacyjnego.
- Ustalenie zależności prędkości ruchu zaburzeń materii od jej rodzaju, krzywizny czasoprzestrzeni i stałej kosmologicznej.



Zakład Astrofizyki Wysokich Energii

Kierownik: prof. dr hab. Michał Ostrowski

<http://www.fais.uj.edu.pl/zawe>

Realizowane badania

Zagadnienia teoretyczne i obserwacyjne astrofizyki wysokich energii, badania heliofizyczne (koralne wyrzuty materii ze Słońca), a także geofizyki (elektryczność atmosfery), w końcu projektowanie i budowa aparatury naukowej do badań astronomii gamma i badań planetarnych są przedmiotem prac realizowanych w Zakładzie.

astronomia
gamma astronomia rentgenowska
aktywne jądra galaktyk
promieniowanie kosmiczne
projekty H.E.S.S. i CTA
badania geofizyczne w zakresie ELF



Międzynarodowe obserwatorium H.E.S.S. w Namibii

W ramach prac z zakresu astronomii gamma najwyższych energii, sięgającym setek TeV, uczestniczymy w dwóch światowych projektach badawczych, H.E.S.S. i CTA.

Obserwatorium H.E.S.S., prowadzące w Namibii obserwacje kosmicznych akceleratorów cząstek, jest niekwestionowanym liderem takich badań na świecie dzięki dokonaniu szeregu fundamentalnych pomiarów i odkryć, w tym większości z około 150 znanych obecnie w tym zakresie widma obiektów. Prowadzone badania obejmują m.in. pozostałości po wybuchach gwiazd supernowych, mgławice pulsarowe, świecące w promieniowaniu gamma układy podwójne gwiazd oraz emisję związaną ze zjawiskami w pobliżu masywnych czarnych dziur w aktywnych galaktykach. W Krakowie zajmujemy się przede wszystkim tym ostatnim zakresem badając procesy akceleracji cząstek i emisji promieniowania z relatywistycznych „dżetów”, skolimowanych strumieni namagnetyzowanej plazmy wyrzucanych z relatywistycznymi prędkościami z aktywnych jąder galaktyk lub układów gwiazd. Oczywiście, oprócz dostępnych dla nas unikalnych obserwacji H.E.S.S.'a, wykorzystujemy szeroko dane w innych zakresach widma, od obserwacji radioastronomicznych, przez naziemne obserwacje optyczne, kosmiczne obserwacje w zakresie rentgenowskim (satelity Chandra i Suzaku) i wreszcie obserwacje gamma z satelity Fermi. Wyniki te są często podstawą głębszych prac modelowych i teoretycznych, w ramach których próbujemy zrozumieć procesy fizyczne odpowiedzialne

za emisję obserwowanego promieniowania. Niekiedy prowadzi to do fundamentalnych dla astrofizyki wyników, jak w serii prac związanych z modelowaniem procesów akceleracji cząstek w relatywistycznych falach uderzeniowych i warstwach brzegowych dżetów. Te prace, oprócz naszych aktualnych wyników obserwacyjnych, są najczęściej cytowane w literaturze światowej. Ważne obecnie prace instrumentalne związane są z budową cyfrowej elektroniki dla nowego światowego obserwatorium astronomii gamma - CTA, które ma zapewnić nam możliwość nowych fascynujących badań w przyszłości.

Najważniejsze osiągnięcia

- Udział w odkryciu kilkudziesięciu kosmicznych źródeł promieniowania gamma.
- Udział w opracowaniu teorii akceleracji cząstek promieniowania kosmicznego w relatywistycznych falach uderzeniowych.
- Wkład do teorii dysków akrecyjnych.
- Przeprowadzenie wartościowej serii analiz obiektów kosmicznych z „dżetami” w oparciu o obserwacje na wielu częstościach.
- Opracowanie nowatorskiej metody globalnego modelowania aktywności burzowej i stanu jonosfery w oparciu o pomiary elektromagnetyczne najniższych częstości.
- Udział w opracowaniu kamery cyfrowej dla „małego” teleskopu dla CTA.

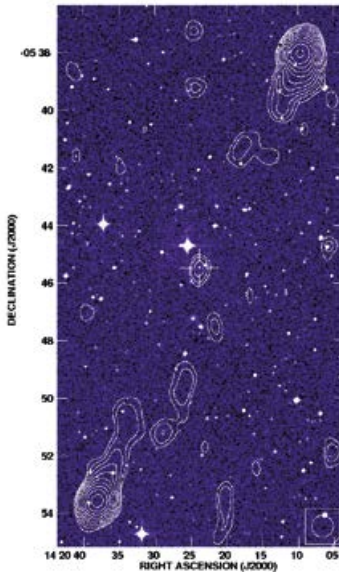
Zakład Astronomii Gwiazdowej i Pozagalaktycznej

Kierownik: prof. dr hab. Stanisław Zoła

<http://www.fais.uj.edu.pl/zagp>

Realizowane badania

Piękno i różnorodność obiektów i zjawisk – od ciał Układu Słonecznego po największe kosmiczne struktury – zaprasza nas do poznania tajemnicy, jaką skrywa Wszechświat.



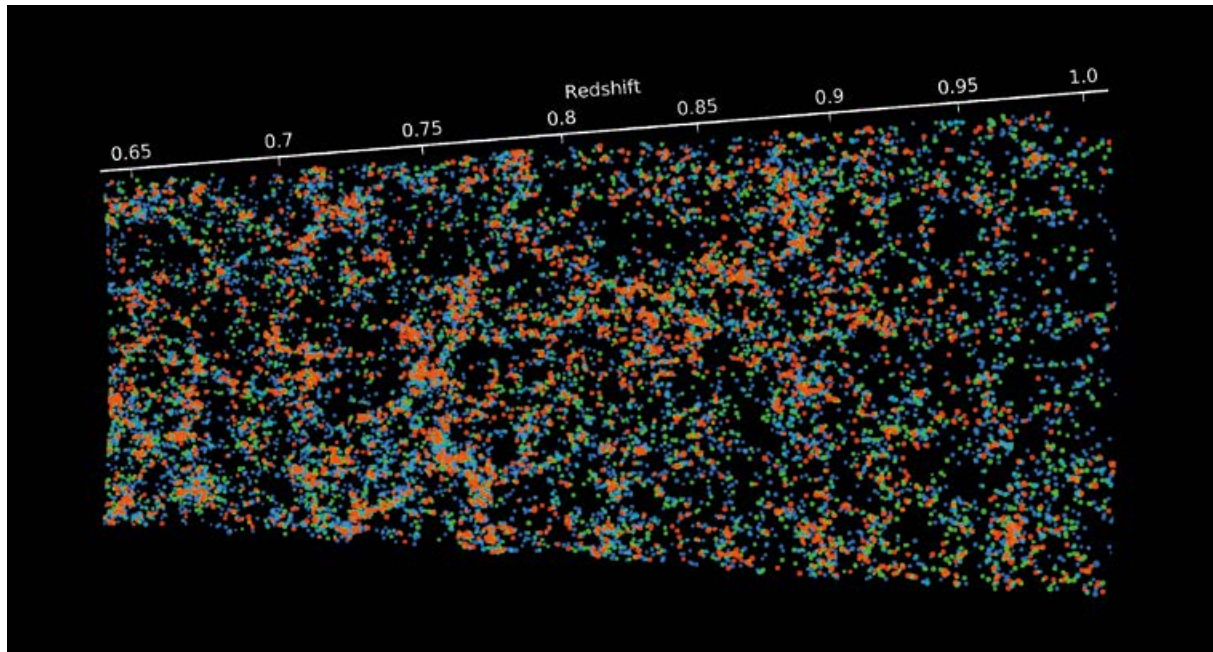
J1420-0545 - największa znana radiogalaktyka

fizyka komet
 astrofizyka gwiazdowa
 galaktyki
 radiogalaktyki
 kwazary kosmologia
 obserwacyjna

Próbujemy wyjaśnić kiedy, dlaczego i w jakich warunkach niektóre z komet ulegają rozpadowi. Obserwując gwiazdy staramy się zrozumieć ich ewolucję i mechanizmy pulsowania. Badania układów kataklizmicznych pomagają pojąć naturę gwałtownych procesów, gdy jedna gwiazda wchłania materię drugiej.

Kwazary zawierające czarne dziury mogą tworzyć silne strugi materii zasilające rozciągłe struktury radiogalakt o rozmiarach nawet kilkunastu milionów lat świetlnych. Próbujemy zrozumieć, dlaczego niektóre są radiowo ciche, a inne głośne. Czy to różne fazy rozwoju, czy odmienne typy obiektów?

Badamy powstawanie i ewolucję galaktyk, przyczyny różnorodności typów, powiązanie rozkładu w przestrzeni – gąbczastej kosmicznej sieci – z rozkładem ciemnej materii, możliwości pomiaru gęstości materii we Wszechświecie i badania ciemnej energii dzięki obserwacjom galaktyk.



Struktura galaktyk otrzymana z przeglądu VIPERS

Prowadzimy własne obserwacje oraz uczestniczymy w największych światowych projektach, np. badającym gwiazdy zmienne Teleskopie Globalnym, w wielkich optycznych spektroskopowych przeglądach galaktyk VVDS (VIMOS-VLT Deep Survey) i VIPERS (The VIMOS Public Extragalactic Redshift Survey). W Zakładzie wykorzystywane są dane satelitarne AKARI i WISE.

Najważniejsze osiągnięcia

- Opracowanie modelu komy gazowej komet.
- Ustalenie wpływu plam na zmiany krzywych blasku gwiazd aktywnych magnetycznie.
- Odkrycie planety wokół gwiazdy późnego typu ewolucyjnego.
- Odkrycie brązowego karta wokół układu zaćmieniowego.
- Odkrycie największej radiogalaktyki we Wszechświecie.
- Potwierdzenie korelacji pomiędzy jasnością radiową i H-alfa radiogalaktyk.
- Katalog VIPERS odległego kosmosu: struktura sieci galaktyk.
- Obserwacje blazara OJ287 z układem podwójnym supermasywnych czarnych dziur – sprawdzenie teorii grawitacji.

Zakład Radioastronomii i Fizyki Kosmicznej

Kierownik: dr hab. Krzysztof Chyży

<http://www.fais.uj.edu.pl/zrfk>

Realizowane badania

Pytanie o pochodzenie i właściwości pól magnetycznych w galaktykach, grupach i gromadach galaktyk jest fundamentem badań prowadzonych przez zespół radioastronomów. Pole magnetyczne we Wszechświecie kontroluje wiele procesów w galaktykach, jak powstawanie gwiazd czy przepływy materii. Szczególnie interesująca jest ewolucja tych pól w nietypowych galaktykach, np. zderzających się lub oddziałujących w gromadach galaktyk.

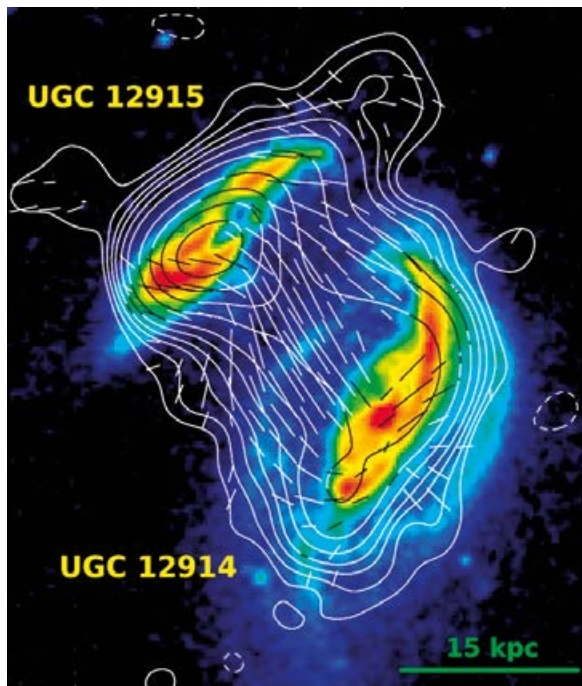


Centralna część pól antenowych interferometru LOFAR w Holandii. Krakowscy radioastronomowie kierują projektem wybudowania takich stacji w Polsce, które zostaną połączone szybkim internetem (10 GB) z tymi w Holandii i innych krajach Europy tworząc gigantyczny radioteleskop

radioastronomia
fizyka plazmy galaktycznej
kosmiczne pola
magnetyczne ewolucja
galaktyk magnetosfery
planet modelowanie MHD LOFAR

W Zakładzie prowadzimy obserwacje emisji radiowej różnorodnych galaktyk oraz wyznaczamy właściwości emisji spolaryzowanej. We współpracy z wieloma ośrodkami zagranicznymi wykonujemy obserwacje największymi na świecie interferometrami radiowymi: JVLA (USA), GMRT (Indie), WSRT (Holandia) oraz pojedynczymi antenami, takimi jak 100-metrowy radioteleskop w Effelsbergu (Niemcy). Badania wsparte są obserwacjami również z innych zakresów widma, w szczególności optycznej i rentgenowskiej. Specjalny projekt obserwacyjny ma również na celu dogłębne zbadanie emisji spolaryzowanej Drogi Mlecznej na falach o częstotliwości 4.7 GHz.

Oprócz obserwacji prowadzone są symulacje numeryczne galaktyk przy użyciu zaawansowanych kodów magnetohydrodynamiki (MHD) i superkomputerów. Krakowscy radioastronomowie znakomicie



Galaktyki „Toffi”. Przykład galaktyk podlegającym silnym mutacjom. Te dwie galaktyki przeszły przez siebie i zostawiły za sobą ogromny pomost namagnetyzowanej plazmy, tak jakby nie chciały się rozdzielić (stąd ich nazwa). Podobny los czeka prawdopodobnie nasza Galaktykę i galaktykę w Andromedzie

objaśnili wiele zagadkowych struktur pola magnetycznego w galaktykach spiralnych i mają istotny wkład w opracowanie całkowicie nowych teorii ewolucji tych pól. Modele uwzględniają mechanizm dynamo MHD napędzany przez promienie kosmiczne oraz energię turbulencji dostarczaną w wybuchach gwiazd supernowych. Rozpoczęto również prace nad modelowaniem plazmy w magnetosferach planet.

Prowadzone są prace teoretyczne i numeryczne modelowania przyśpieszania cząstek promieniowania kosmicznego w gromadach galaktyk w celu wyjaśnienia obserwowanych spektakularnych radiowych otoczek i synchrotronowych reliktyw wokół gromad galaktyk. Modelowanie obejmuje tworzenie się pierwotnych struktur Wszechświata: włókien i supergromad galaktyk.

Ostatnio pracujemy intensywnie nad wybudowaniem w Polsce (m.in. niedaleko Krakowa) wielkiej sieci anten radiowych, które zostaną podłączone do systemu interferometrycznego LOFAR, z centrum w Holandii. LOFAR to unikalny interferometr radiowy, który będzie pracował w zakresie bardzo niskich częstotliwości (10-240 MHz). Instrument ten umożliwi badania obiektów wczesnego Wszechświata (np. świecących radiowo obłoków wodorowych i protogalaktyk), a także studiowanie ewolucji i magnetyzmu galaktyk, radiogalaktyk i kwazarów.

Najważniejsze osiągnięcia

- Odkrycie wielkoskalowych pól magnetycznych w galaktykach karłowatych (odkrycie jest wynikiem obserwacji na największych radioteleskopach świata). Pokazano istnienie silnych wyptywów namagnetyzowanej plazmy do ośrodka międzygalaktycznego w systemach zderzających się galaktyk i grupach galaktyk.
- Wypracowanie realistycznych modeli numerycznych galaktyk, które umożliwiły odtworzenie i wyjaśnienie obserwowanych struktur pól magnetycznych w galaktykach.
- Otwarcie w Polsce możliwości precyzyjnych obserwacji kosmosu na bardzo długich falach radiowych (w ramach uczestnictwa w projekcie LOFAR).



W kilku zdaniach o...



Programowanie kart graficznych

W ostatnich latach widać gwałtowny wzrost zainteresowania zastosowaniem kart graficznych do obliczeń niezwiązanych z grafiką. Wynika to z ogromnej mocy obliczeniowej tych urządzeń, potrzebnej, aby w czasie rzeczywistym *renderować* grafikę na potrzeby coraz bardziej realistycznych gier wideo. Aby temu zadaniu podołać, karty graficzne zostały wyposażone w procesory zawierające ogromne ilości jednostek arytmetycznych. W lepszych kartach ta liczba sięga kilku tysięcy. Daje to tym procesorom graficznym teoretyczną wydajność rzędu kilku teraflopów (flops – floating point operation per second). To od kilkunastu do kilkudziesięciu razy więcej niż potrafią obecne procesory komputerowe (CPU). Należy dodać, że z uwagi na masowość rynku gier, karty graficzne są stosunkowo tanie.

Na drodze do tej obliczeniowej nirwany stoją jednak całkiem potężne przeszkody. Przede wszystkim nie wszystkie problemy da się zrównoleglić. Program wykonujący wiele wątków jednocześnie wymaga zwykle mechanizmów synchronizacji zapewniających, że wątki nie będą sobie przeszkadzać, np. zapisując jednocześnie dane do tego samego miejsca w pamięci. Błędy w takich programach zwykle nie są deterministyczne i są bardzo trudne do znalezienia i naprawienia. Informatycy zajmowali się takimi problemami już od kilkudziesięciu lat, ale dopiero teraz stały się one masowe, ponieważ dotyczą właściwie każdego komputera i każdego oprogramowania.



Prof. dr hab. Piotr Białas w trakcie swojej kariery naukowej zajmował się grawitacją symplecticzną, geometrią przypadkową oraz chrodynamicą kwantową na sieci. Obecnie jego zainteresowania przesunęły się bardziej w kierunku informatyki do takich zagadnień, jak metody tworzenia i optymalizacji programów na procesorach graficznych (GPU) i programowanie wielordzeniowych procesorów z instrukcjami wektorowymi. Profesor zapraszany był przez uniwersytety w Amsterdamie, Bielefeld, Barcelonie oraz Saclay. Od wielu lat współpracuje z Wydziałem Fizyki Uniwersytetu Bielefeld.

piotr.bialas@uj.edu.pl

Wracając do procesorów graficznych, musimy podkreślić ich jeszcze jedną właściwość. Te procesory, z których się składają, nie działają zupełnie niezależnie. Są tak skonstruowane, że pewne ich grupy muszą wykonywać te same czynności, ale z innymi danymi wejściowymi. Nazywane jest to architekturą SIMD (Single Instruction Multiple Data). W kartach NVIDIA najmniejsza taka grupa może liczyć 32 procesory. To rozwiązanie bardzo dobre do przetwarzania grafiki, ale ogranicza rodzaj innych zagadnień, które można prosto zaprogramować na GPU. To jednak tylko wierzchołek

góry zagadnień, które pojawiają się w tzw. High Performance Computing, czyli dziedzinie nauki czy inżynierii, która zajmuje się projektowaniem maszyn i algorytmów do wykonywania obliczeń o dużej złożoności.

Razem z moim doktorantami w Zakładzie Technologii Gier zajmujemy się implementacjami algorytmów na GPU oraz inne architektury, takie jak MIC (Many Integrated Cores) Intela, która zbliżona jest do architektury kart graficznych. Naszym obecnym zadaniem jest opracowanie systemu rekonstrukcji obrazu dla nowego rodzaju Emisyjnego Tomografu Pozytonowego tworzonoego w naszym Instytucie przez grupę prof. Pawła Moskala.

Jednym z problemów, z którym się obecnie borykamy, to implementacja algorytmu Monte-Carlo umożliwiającego symulację propagacji kwantów gamma przez detektor. Wydawać by się mogło, że Monte-Carlo to idealne rozwiązanie na procesory równoległe, ponie-

waż składa się z symulacji ogromnej liczby całkowicie niezależnych zdarzeń. Problem leży w tym, że każda symulowana para kwantów zachowuje się trochę inaczej i może zostać pochłonięta w różnych częściach detektora. W przypadku architektury SIMD wymusza to oczekiwanie całej grupy 32 procesorów, aż zakończy się najdłuższa symulacja. Powoduje to, że program na karcie graficznej wykonuje się jedynie ok. 10 razy szybciej niż na CPU. Właściwa praca, czyli optymalizacja algorytmu, dopiero teraz się zaczyna i mam nadzieję, że niedługo będziemy się już mogli pochwalic lepszymi osiągnięciami. Pozwoli to również przyspieszyć kod na CPU, który również posiada instrukcje SIMD, nazwane AVX, umożliwiające operacje na 8 liczbach zmiennoprzecinkowych naraz. Dlatego to wyzwanie *wektoryzacji* dotyczy właściwie wszystkich grup obliczeniowych i staje się jednym z bardziej palących problemów wielu organizacji.

Medycyna w skali nano



Jeszcze nieco ponad 100 lat temu, 16 letni człowiek był już na półmetku swojego życia. Dziś życząc sobie sto lat, naprawdę możemy mieć nadzieję, że dożyjemy tego wieku. Wszystko to dzięki gwałtownemu rozwojowi medycyny: dysponujemy teraz skutecznymi szczepionkami, lekami przeciw większości chorób zakaźnych i protezami zastępującymi uszkodzone elementy ciała, czego chcieć więcej? Dynamiczny postęp techniki i elektroniki, oprócz mnóstwa korzyści, spowodował również, że zażywamy zdecydowanie mniej ruchu, a przy tym znacznie gorzej się odżywiamy. Takie postępowanie nie pozostaje bez echa dla naszego organizmu, coraz więcej z nas cierpi na schorzenia okrzyknięte chorobami cywilizacyjnymi XXI wieku: cukrzyca, nadciśnienie, miażdżyca, otyłość czy alergie... Co jeszcze gorsze, coraz częściej obserwujemy, że drobnoustroje uodparniają się na stosowane leki! Przez to niedawno uleczalne choroby, znów stają się groźne.

Są to mega ważne problemy, ich rozwiązania trzeba jednak szukać w zjawiskach zachodzących w mikro i nanoskali. Tym właśnie zajmujemy się w grupie biofizycznej Zakładu Fizyki Nanostruktur i Nanotechnologii. Szukając odpowiedzi, obserwujemy procesy zachodzące w pojedynczych komórkach pochodzących z ludzkiego ciała. By je podglądać, przyczepiamy do interesujących nas składników komórki specjalne znaczniki, które świecą później w wybranym kolorze.

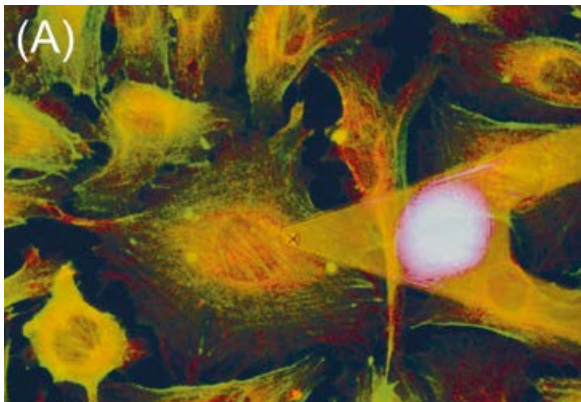
Mgr Grzegorz D. Brzezinka jest doktorantem i pracownikiem Zakładu Fizyki Nanostruktur i Nanotechnologii. Zajmuje się badaniem biofizyki i fizjologii żywych komórek na potrzeby rozwoju współczesnej (nano)medycyny. Badane komórki ludzkie nie tylko podgląda, lecz również wchodzi w bezpośredni kontakt wykorzystując do tego mikroskopijny próbnik mikroskopu sił atomowych.

g.brzezinka@uj.edu.pl

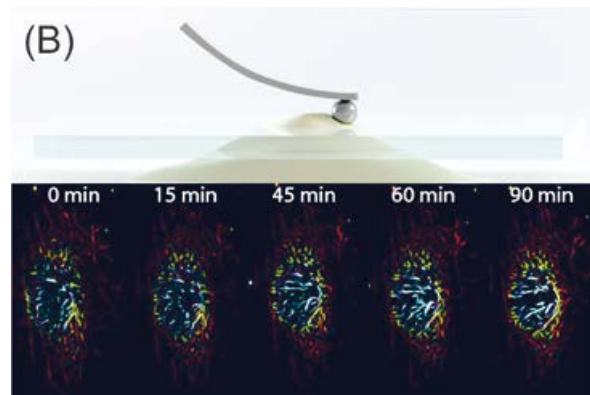
Dzięki temu możemy te składniki precyzyjnie zlokalizować we wnętrzu żywej komórki pod mikroskopem bez jej uszkodzenia i obserwować, jak się zmieniają, gdy komórka starzeje się. Sprawdzając, czy owoc na bazarze jest dojrzały, dotykasz go palcami i sprawdzasz, czy jest już lekko miękki, ale nie za bardzo. Podobnie nasze komórki – zdrowe są odpowiednio elastyczne, nie za twarde, nie za miękkie. W naszym laboratorium możemy poczuć, jak elastyczna jest komórka dotykając jej bardzo delikatnie za pomocą maleńkiego ostrza lub kulki przyczepionej do końca mikroskopijnej dźwigni. Przy okazji dotykając komórki w różnych jej miejscach, możemy odtworzyć jak wygląda.

Wykorzystując opisane wyżej metody, staramy się dokładać kolejne cegiełki prowadzące do rozwią-

zania problemów opisanych we wstępie. Przykładowo, zwiększamy ilość cukru w diecie pojedynczych komórek i badamy, w jakich warunkach mogą one zachorować na cukrzycę i czy możemy skutecznie je z niej wyleczyć. Okazuje się, że nie zawsze! W pewnych warunkach komórki, które długotrwale chorowały na cukrzycę, będą źle funkcjonowały już do końca, nawet jeśli w pewnym momencie zaczniemy je zdrowo odżywiać! Kolejną sprawą jest badanie nowych leków: wyobraź sobie, że możemy wywołać zapalenie u kilku komórek, a następnie sprawdzać, który lek najlepiej na nie działa i jak szybko przywraca je do zdrowia. Nie zawsze jednak chcemy, by komórki były zdrowe. Gdy zajmujemy się nowotworami, zależy nam, by jak najszybciej je uśmiercić. Sprawa nie jest jednak taka łatwa, bo w pobliżu komórek rakowych znajdują się zdrowe komórki naszego organizmu, których nie



Obraz fluorescencyjny komórek śródbłonna z oznaczonymi białkami budującymi cytoskielet komórki: tubulinami (czerwony) oraz aktynami (zielony). Widoczna jest także dźwignia mikroskopu sił atomowych z malutkim ostrzem w kształcie piramidy przyczepionym do wierzchołka; dźwignienka oświetlona jest promieniem lasera (czerwona plamka), który pozwala na detekcję jej ugięcia pod wpływem nacisku na komórkę (wyk. G. D. Brzezinka, M. Targosz-Korecka)



Wizja artystyczna komórki skanowanej próbnikiem kulkowym. U dołu: zmiany cytoskieletu aktynowego podczas masowania komórki kulką wzdłuż tej samej linii przez 90 minut (wyk. G. D. Brzezinka)

można uszkodzić! Jest jednak i na to sposób: trzeba umiejętnie połączyć działanie kilku różnych leków, to są fascynujące poszukiwania, a stawką jest życie ludzi. Jak znaleźć jednak komórki nowotworowe w ciele człowieka, w którym znajduje się ponad 70 trylionów innych, zdrowych komórek? Współczesna medycyna zna, i to nawet kilka, technik bezdotykowego obrazowania wnętrza człowieka. Czasami jednak konieczne jest podanie specjalnego znacznika (tzw. kontrastu), który oznaczy interesujące miejsce w ciele tak, że stanie się widoczne dla maszyny. Jako takie znaczniki można wykorzystać odpowiednio przygotowane nanocząstki, czyli kuleczki o rozmiarach jedynie miliardowych części metra. Czy jednak podawanie takich nanocząstek jest bezpieczne dla zdrowych komórek? A może trzeba czymś pokryć te kulki na zewnątrz, żeby były przyjaźniejsze dla naszego organizmu? W naszym laboratorium sprawdzamy również i takie rzeczy. Jeśli jesteś zainteresowany nano-medycyną i chcesz dostownie lepiej zrozumieć swoje wnętrze – zapraszamy!

Jak zmieścić laboratorium w układzie scalonym



W e współczesnym świecie, przy coraz większym rozwoju medycyny i powszechności kontroli bezpieczeństwa, coraz bardziej istotna jest analiza chemiczna i biochemiczna polegająca na wykrywaniu i oznaczaniu zawartości przeróżnych substancji. Jednym z najważniejszych jej zastosowań jest diagnostyka



medyczna. Wykrywanie we krwi, czy innych płynach ustrojowych człowieka, markerów chorobowych (antygenów lub zmutowanych nici DNA) pozwala na diagnozę chorób we wczesnym stadium, co bardzo często jest jedyną szansą na skuteczne leczenie. Innym przykładem jest kontrola bezpieczeństwa żywności. Ze względu na masową produkcję żywności jej skażenie (np. pestycydami, alergenami czy bakteriami) grozi

Prof. dr hab. Andrzej Budkowski jest liderem Grupy Nanowarstw Makromolekuł, która zajmuje się badaniem zjawisk powierzchniowych zespołów makrocząsteczek dla potrzeb organicznych ogniw słonecznych, „plastikowej” elektroniki, biosensorów czy inteligentnych powłok biomedycznych. W ostatnich latach zaangażowała się ona w realizację dwóch dużych projektów europejskich dotyczących biosensorów: PYTHIA i FOODSNIFFER.

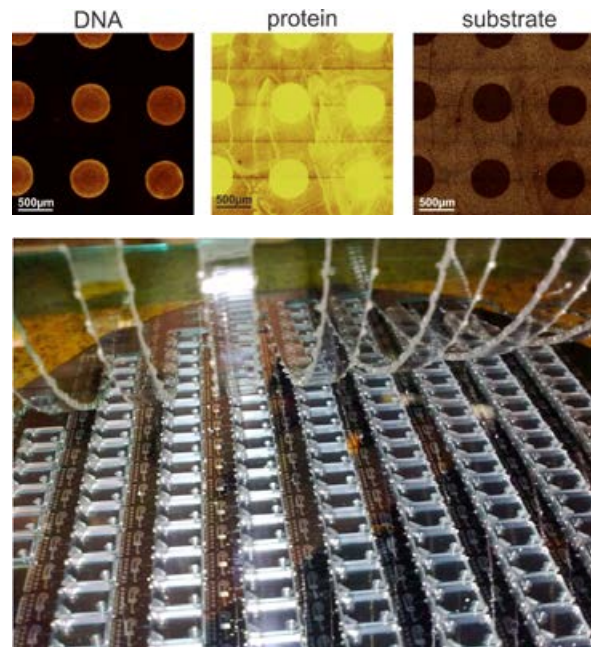
andrzej.budkowski@uj.edu.pl

masowymi zatruciami i jest niebezpieczne dla alergików. Dlatego bardzo ważne jest poddawanie żywności testom wykrywającym substancje niebezpieczne. Niestety, ze względu na długi czas i duże koszty tradycyjnej analizy laboratoryjnej dostępność takich testów, zarówno dla profilaktyki medycznej, jak i kontroli żywności, wciąż jest ograniczona. A gdybyśmy tak mogli zmieścić całe laboratorium biochemiczne w jednym układzie scalonym, zamkniętym w małym i przenośnym urządzeniu? To właśnie jest idea przyświecająca projektom PYTHIA i FOODSNIFFER, w które zaangażowana jest nasza Grupa.

Wynikiem zakończonego już projektu PYTHIA było opracowanie i przygotowanie do masowej produkcji taniego, szybkiego, czułego i prostego w obsłudze

biosensora pozwalającego na diagnostykę różnych chorób. Biosensor jest to urządzenie pozwalające na przetworzenie informacji o obecności wykrywanych cząsteczek, tzw. analitów, na sygnał możliwy do rejestracji. Sercem biosensora PYTHIA (o rozmiarze zaledwie jednogroszówki!) jest układ umieszczonych w krzemie dziesięciu interferometrów. Są to urządzenia badające wiązki światła biegnące w specjalnych kanałach (falowodach) pokrytych warstwą biomolekuł detekcyjnych o grubości kilku nanometrów. To właśnie te biomolekuły potrafią wybiórczo „wyłapać” markety chorobowe. Dany rodzaj biomolekuł detekcyjnych może związać się wyłącznie z jednym rodzajem cząsteczek, podobnie jak klucz pasuje wyłącznie do jednego zamka. Zajście tego procesu powoduje powstanie sygnału informującego nas o obecności analitów. Celem obecnie realizowanego projektu FOODSNIF-FER jest opracowanie podobnego urządzenia służącego do detekcji substancji szkodliwych w żywności i wodzie. Dodatkowo, nowy biosensor będzie rozbudowany o nowatorskie rozwiązania, pozwalające mu na pracę jako urządzenie podłączone do smartfonu. Dzięki temu kontrola żywności będzie mogła odbywać się w każdych warunkach, na plantacji i w restauracji.

Opracowanie i przygotowanie do masowej produkcji nowego biosensora wymaga współpracy naukowców z wielu różnych dziedzin. Zadaniem naszej Grupy jest analiza pokrycia powierzchni biosensora biomolekułami detekcyjnymi, odpowiedzialnymi za wyłapywanie oznaczanych analitów. Jak można się domyślić, ocena jakości takich nanowarstw detekcyjnych przygotowanych na powierzchni biosensora nie jest łatwa. Na szczęście w naszej Grupie potrafimy kompleksowo badać nanowarstwy biomolekuł detekcyjnych oraz sprawdzać selektywne wiązanie się do nich wybranych cząsteczek wykorzystując zaawan-



sowane mikroskopowe oraz spektroskopowe techniki pomiarowe. Bardzo użyteczna jest tutaj spektrometria masowa jonów wtórych SIMS, dzięki której możemy rozpoznawać znajdujące się na powierzchni molekuły i selektywnie obrazować ich rozłożenie na powierzchni. Jest to ogromna zaleta, zwłaszcza w przypadku pokrycia powierzchni wieloma rodzajami molekuł tworzącymi na niej mikrometrowe wzory, np. mikromacierzy DNA (patrz rysunek). Wyniki naszych badań pomagają pracującym w projekcie biochemikom w opracowaniu jak najlepszych procedur przygotowania powierzchni detekcyjnej biosensora. Jeśli chcesz dowiedzieć się więcej, zapraszamy na naszą stronę: <http://www2.if.uj.edu.pl/polyfilms>

Miłe dobrego początku



Moja przygoda z poważną nauką zaczęła się już na drugim roku studiów, w Zakładzie Fizyki Materiałów Organicznych. Zostałem zaangażowany w program badań perkolacji przewodnictwa protonowego w terminalnej warstwie wody wysychającego proszku (a właściwie pudru) porowatej hydrofilowej krzemionki płomieniowej AEROSIL. Badania prowadzimy metodą elektro-grawimetryczną, polegającą na śledzeniu zmian przewodnictwa i ilości wody w próbce w trakcie jej swobodnego wysychania do otoczenia. Do chwili obecnej udało się nam pokazać, że ostateczne zniszczenie ciągłości transportu protonów w tej warstwie wody następuje w momencie, gdy jej grubość nie przekracza dwóch-trzech cząsteczek H_2O , niezależnie od wielkości ziaren tej krzemionki (od kilku do kilkadziesiąt nm średnicy).

Jednym z „gorących” zagadnień badawczych, którymi się zajmuję jest poznanie sposobów, w jakich komórki reagują i przetwarzają sygnały mechaniczne otrzymywane z otaczającego je środowiska (mechanotransdukcja). Rozwój embrionalny, procesy immunologiczne, czy też choroby układu krążenia i procesy nowotworowe są związane z prawidłowym lub zaburzonym przebiegiem migracji komórkowej. Od ponad roku prowadzimy, pod opieką dr. hab. Zenona Rajfura, badania w trzech głównych kierunkach: (i) wpływu właściwości mechanicznych podłoża na

Mgr inż. Daniel Dziob jest doktorantem Biofizyki w Zakładzie Fizyki Materiałów Organicznych i współautorem kilku publikacji w recenzowanych czasopismach. W chwilach wolnych od pracy naukowej, niezmiernie pasjonat i animator edukacji matematyczno-przyrodniczej w społeczeństwie, od przedszkolaka do emeryta. Dla odprężenia prowadzi chór i podróżuje.

daniel.dziob@uj.edu.pl

parametry biofizyczne migracji oraz wzrostu różnych typów komórek; (ii) poszukiwań nowych rodzajów biokompatybilnych podłoży do wzrostu i migracji komórek; oraz (iii) poszukiwań nowych doświadczalnych i teoretycznych metod fizycznych, które mogą być pomocne w badaniach procesów biologicznych. W serii badań przeprowadzonych w ostatnim czasie w ramach projektu VENTURES* na komórkach rybiej keratynocyty pokazaaliśmy, że podstawowe parametry migracji komórek są związane z elastycznością podłoża – zmniejszenie elastyczności podłoża powoduje zmniejszenie prędkości migracji oraz zwiększenie

*Określenie wpływu elastyczności podłoża na migrację komórek keratynocyty; Daniel Dziob; 21/08/2012-31/10/2013; FNP POIG, VENTURES/2012-9/3, projekt współfinansowany z funduszy UE.

średnich odchyień toru ruchu komórek. Równolegle prowadzimy nowatorskie badania przejawów sił trakcyjnych występujących przy migracji komórek. Efekty sił trakcyjnych są następnie korelowane z obserwowanymi zmianami w szkielecie aktywnym komórek na różnych podłożach. Unikalnym aspektem naszych prac jest zastosowanie endogennych biosensorów optycznych wykorzystujących efekt FRET do badania aktywacji lub interakcji poszczególnych białek związanych z regulacją procesów mechanotransdukcji.

Nie tylko badania naukowe są fascynujące. Już na drugim roku zaangażowałem się w żywiołowo rozwijany przez dr Dagmarę Sokołowską program prac nad tworzeniem zupełnie nowego curriculum edukacji nauk ścisłych i przyrodniczych, praktycznie od przedszkola do matury. Sukcesywnie brałem udział w corocznych akcjach dotyczących popularyzacji fizyki i przyrody na różnych poziomach kształcenia (Akademia Fizyki

dla szkół ponadpodstawowych, Ogólnopolski Konkurs Nauk Przyrodniczych „Świetlik” dla szkół podstawowych, Małopolska Noc Naukowców), a w realizacji pierwszej edycji warsztatów dla maturzystów „Ostatni Dzwonek” czy konkursu „Eksperyment Łańcuchowy”, który cieszy się ogromną popularnością, byłem współliderem projektów. Główną ideą konkursu „Eksperyment Łańcuchowy” jest zaprojektowanie i zbudowanie urządzenia, które przy wykorzystaniu różnego rodzaju zjawisk i praw fizycznych przetransportuje metalową kulkę otrzymaną od urządzenia poprzedzającego do urządzenia następnego. Podczas otwarcia dla publiczności finału, wszystkie urządzenia zostają połączone w jeden, kilkakrotnie uruchamiany łańcuch. M.in. za organizację konkursu „Eksperyment Łańcuchowy”, w 2013 roku wraz z Justyną Nowak oraz Urszulą Górską otrzymaliśmy dyplom Polskiego Towarzystwa Fizycznego za popularyzację fizyki.

Teoria układów kilku nukleonów



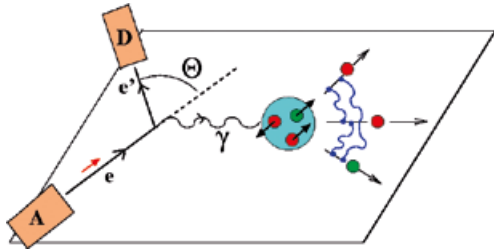
Pytanie o naturę i właściwości sił działających między składnikami jąder atomowych – nukleonami (protonami i neutronami) jest wciąż aktualne, pomimo wieloletnich badań nad tym zagadnieniem i wiedzy, którą zdobyliśmy od momentu odkrycia jądra atomowego w 1911 roku. To te siły są odpowiedzialne za to, że mamy takie, a nie inne jądra atomowe. To one decydują o prawdopodobieństwach zachodzenia reakcji jądrowych i rozpadów promieniotwórczych, w tym tych kluczowych dla energetyki jądrowej. Układy kilkunukleonowe są idealnym laboratorium do badania sił jądrowych. Dla takich układów możemy dokładnie rozwiązać fundamentalne równania, które prowadzą od oddziaływań pomiędzy nukleonami do właściwości jąder (energia wiązania, rozmiary, rozkład materii i ładunku elektrycznego) i prawdopodobieństwa różnych reakcji jądrowych. Dla układu trzech nukleonów (3N) równania te nazywane są równaniami Faddeeva. Jako magistralant, doktorant, a potem pracownik w Zakładzie Fizyki Jądrowej Instytutu Fizyki UJ, włączyłem się do badań teoretycznych prowadzonych przez prof. Henryka Witałę we współpracy z prof. Walterem Gloeckle z Uniwersytetu Ruhry w Bochum w Niemczech. Wielkim sukcesem tych badaczy, i jednym z największych osiągnięć w tej dziedzinie fizyki pod koniec XX wieku, było ścisłe rozwiązanie równania Faddeeva dla procesu rozpraszania nukleon-deuteron. W stanie końco-

Prof. dr hab. Jacek Gołak zajmuje się opisem teoretycznym układów kilkunukleonowych, które są idealnym laboratorium do badania sił działających między podstawowymi składnikami jąder atomowych. W badaniach prowadzonych w Zakładzie Fizyki Jądrowej wykorzystuje najszybsze superkomputery zawierające dziesiątki tysięcy procesorów, a wyniki obliczeń służą do projektowania i analizy eksperymentów przeprowadzanych w najnowocześniejszych centrach badawczych, m.in. w Niemczech, USA i Japonii.

jacek.golak@uj.edu.pl

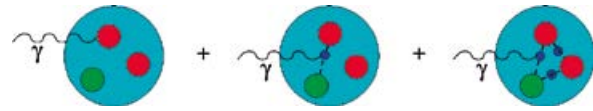
wym tej reakcji możemy mieć do czynienia albo z tymi samymi cząstkami (rozpraszanie sprężyste), albo z rozszczepieniem deuteronu na proton i neutron. Okazało się, że wyliczone prawdopodobieństwa wylotu cząstek pod różnymi kątami zależą od postaci sił jądrowych przyjętych do obliczeń, i w ten sposób, przez porównanie wyników obliczeń z danymi eksperymentalnymi, możemy ocenić, który model sił jądrowych jest lepszy. Badania, w których uczestniczyłem wykazały też jasno, że w układzie trzech i o większej liczbie nukleonów występują nie tylko oddziaływania między dwoma nukleonami, ale także oddziaływanie trójnukleonowe, w którym jednocześnie udział biorą trzy nukleony.

W moich badaniach wykorzystuję rozwiązania równań Faddeeva do opisu procesów, w których występują nie tylko trzy nukleony, ale także inne cząstki. Na rys. 1 przedstawiłem schematycznie rozpraszanie elektronów na jądrze ${}^3\text{He}$. Taki proces nie zachodzi bezpo-



Rys. 1

średnio, ale przez wymianę wirtualnego fotonu (γ) między elektronem i ${}^3\text{He}$. Nawet w najprostszej sytuacji, gdy znamy tylko parametry początkowego elektronu przyspieszonego przez akcelerator (A) i końcowego elektronu rejestrowanego w detektorze (D), musimy uwzględnić wiele możliwości oddziaływania γ z ${}^3\text{He}$, np. rozpad ${}^3\text{He}$ na proton i deutron lub na dwa protony i neutron. Należy uwzględnić skomplikowany mechanizm wyłapania fotonu przez układ 3N: ten proces może zajść z udziałem jednego, dwóch lub



Rys. 2

nawet trzech nukleonów (rys. 2). Wreszcie wylatujące nukleony nie są cząstkami swobodnymi, ale oddziałują ze sobą, opuszczając obszar reakcji. Te oddziaływania w stanie końcowym są przedstawione na rys. 1 w postaci falistych linii. W podobny sposób możemy opisać reakcje, w których różne cząstki (fotony, piony, miony, neutrino itp.) oddziałują z układami 3N. Obecnie w naszej Grupie Teorii Układów Kilkunukleonowych, oprócz prof. Witały i mnie, pracują dr hab. Roman Skibiński oraz doktoranci, mgr Kacper Topolnicki i mgr Alaa E. Elmeshneb. W badaniach wykorzystujemy potężne superkomputery zawierające dziesiątki tysięcy procesorów. Nasze obliczenia służą do projektowania i analizy eksperymentów przeprowadzanych w najnowocześniejszych centrach badawczych, m.in. w Niemczech, USA i Japonii. Obecnie koncentrujemy się na wykorzystaniu najnowszych, tzw. chiralnych, sił jądrowych, wyprowadzonych z fundamentalnej teorii opisującej silne oddziaływania kwarków (QCD).

Spacer po świecie płaszczyzn

Fizyka i matematyka układów dwuwymiarowych



Jednym z najważniejszych pojęć fizyki teoretycznej jest symetria. Informacja o tym, jak możemy zmieniać nasz „punkt widzenia” na układ fizyczny, pozwala w niektórych przypadkach w pełni zrozumieć jego zachowanie (jak często mówimy „dynamikę”). Dotyczy to w szczególności układów dwuwymiarowych, których właściwości nie zmieniają się, gdy w ich opisie przechodzimy do układów powiązanych transformacjami konforemnymi.

O ile nawet w bezpośrednio obserwowalnym świecie liczba interesujących układów dwuwymiarowych nie jest zbyt duża, to studia nad takimi układami okazują się być szczególnie ważne w kontekście teorii strun. Abstrahując od pytania, na ile teoria ta opisuje realny świat, nie ulega wątpliwości, że posiada ona bogatą, daleką od pełnego zrozumienia strukturę matematyczną.

Jednym z kierunków prowadzonych przeze mnie badań jest tak zwana odpowiedniość AGT: związek między szeroką klasą czterowymiarowych, supersymetrycznych teorii Yanga-Millsa i dwuwymiarowymi, konforemnymi teoriami pola. Odpowiedniość ta, udowodniona dotychczas jedynie w szczególnych przypadkach, pozwoliła między innymi na sformułowanie i zrozumienie związków pomiędzy teoriami konforemnymi. Dalsze badania odpowiedniości AGT mogą przybliżyć nas do odpowiedzi na pytanie o klasyfikację wszystkich możliwych modeli o tej symetrii.

Dr hab. Leszek Hadasz jest profesorem nadzwyczajnym, od 2012 roku pełni funkcję zastępcy dyrektora Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego d/s dydaktycznych. Jest autorem i współautorem 38 prac oryginalnych, współautorem monografii poświęconej teorii pola oraz podręcznika szkolnego z informatyki. Odbył roczne staże badawcze w C. N. Yang Institute of Theoretical Physics, State Univ. of NY at Stony Brook i na Université Paris XI, Orsay. Jako stypendysta Fundacji Humboldta prowadził w latach 2005-2007 badania na Uniwersytecie w Bonn.

leszek.hadasz@uj.edu.pl

Symetria konforemna pozwala na różnorakie uogólnienia: układy o tej symetrii mogą być także supersymetryczne, posiadać tak zwaną symetrię afiniczną lub być niezmiennicze względem transformacji opisywanych W -algebriami. Ostatni z wymienionych przykładów ma znaczenie dla szczególnego przypadku odpowiedniości AdS/CFT. „Dualnymi” teoriami są tu: dwuwymiarowa teoria pola z W -symetrią oraz trójwymiarowa teoria grawitacji na przestrzeni anty de Sittera, w której występują pola o spinach wyższych niż dwa. Przypadek ten charakteryzuje się symetrią na

tyle „dużą”, że realną jest nadzieja na uzyskanie dla niego matematycznego dowodu równoważności teorii dualnych.

Związek AGT opisuje sytuację, w których układy czterowymiarowe mają bogaty zestaw pól, a układy dwuwymiarowe nietrywialną topologię. W ostatnich latach rozwijane są prace nad odpowiednikiem relacji AGT wiążącym ze sobą układy trójwymiarowe, oraz nad sytuacją, w której dwuwymiarowe teorie pola pozwalają uzyskiwać wysoce nietrywialną informację o topologii i geometrii układów czterowymiarowych.

I w tej sytuacji pojęcia i narzędzia dwuwymiarowej, konformnej teorii pola okazują się być kluczowe.

Podsumowując: prowadzone przeze mnie badania dotyczą matematycznej struktury ważnej klasy teorii-pólowych, kwantowych modeli. W swojej pracy używam narzędzi matematycznych z zakresu analizy zespolonej, teorii reprezentacji grup i (nieskończenie wymiarowych) algebr, geometrii różniczkowej i algebraicznej. Uzyskiwane przeze mnie wyniki mają znaczenie zarówno dla zrozumienia badanych układów, jak i dla rozwoju stosownych matematycznych metod i pojęć.

Trójkąty w fizyce jądrowej



Wiemy, że materia zbudowana jest z cząsteczek, które z kolei tworzone są przez atomy różnych pierwiastków chemicznych. Pamiętamy też, że atom to taki „miniaturowy układ planetarny”: elektrony krążą po orbitach wokół jądra atomowego, które od całego atomu mniejsze jest wiele tysięcy razy, ale skupia w sobie praktycznie całą jego masę. W świetle naukowych teorii jest to ogromne uproszczenie, ale oddaje pewne cechy atomu jako struktury fizycznej oraz wpisuje się w naszą potrzebę zobrazowania niewidocznego poprzez znane (hmm, a kto z nas widział układ planetarny?)

Na kolejnym stopniu poznania dowiadujemy się, że jądra atomowe zbudowane są z dwóch rodzajów cząstek, zwanych wspólnie *nukleonami*: dodatnio naładowanych protonów oraz elektrycznie obojętnych neutronów. Pozostańmy na tym poziomie, mimo że współczesna nauka wie, że nukleony nie są elementarnymi obiektami, ale zbudowane są z tzw. kwarków oraz gluonów. Jednakże teoria obejmująca te obiekty (nosząca nazwę chromodynamiki kwantowej) nie potrafi jeszcze podać kompletnego opisu nawet pojedynczego nukleonu. Dlatego przedmiotem badań fizyki jądrowej pozostają oddziaływania pomiędzy nukleonami jako takimi. Siły te określamy nazwą sił jądrowych. Obecnie wiemy o nich stosunkowo dużo – istnieją modele teoretyczne, które potrafią niezwykle precyzyjnie odtworzyć wszystkie, określone na pod-

Prof. dr hab. Stanisław Kistryn od 2012 roku pełni funkcję Prorektora Uniwersytetu Jagiellońskiego ds. badań naukowych i funduszy strukturalnych. Jego zainteresowania naukowe obejmują m.in. badania dynamiki oddziaływania w układach kilkunukleonowych w precyzyjnych eksperymentach z wykorzystaniem spolaryzowanych wiązek i tarcz; testowanie fundamentalnych symetrii oddziaływań elementarnych; badanie mechanizmów reakcji jądrowych; układy modularnej elektroniki pomiarowej oraz logiki programowalnej we współczesnych eksperymentach fizyki jądrowej.

stanislaw.kistryn@uj.edu.pl

stawie wieloletnich eksperymentów, właściwości sił działających pomiędzy parą dwóch nukleonów. Są to tzw. potencjały oddziaływania nukleon-nukleon.

Znając szczegóły siły pomiędzy dwójkami nukleonów moglibyśmy się spodziewać, że potrafimy opisać dowolne jądro atomowe. Tak działa makroświat, na przykład grawitacja. Prawo Newtona, mówiące jak siła pomiędzy dwoma ciałami zależy od ich masy i odległości, pozwala nam dokładnie wyznaczyć siłę, która jest wywierana na jakiś obiekt otoczony przez wiele innych. Możemy też przewidywać trajektorie

wszystkich tych obiektów – tak wlicza się choćby tory planet czy satelitów, daty zaćmień itp. I tu niespodzianka – w świecie sił jądrowych jest inaczej! Gdy do układu dwóch nukleonów dodamy trzeci, pełna siła w tym układzie nie jest po prostu sumą oddziaływań w poszczególnych parach. Pojawia się dodatkowy (niewielki) przyczynok do potencjału, którego nie ma dla przypadku izolowanej pary – nazywamy to *nieredukowalną* siłą trzyciałową.

Dopiero niedawne, bardzo precyzyjne eksperymenty potwierdziły jednoznacznie istnienie sił trójnukleonowych i pozwoliły na zbudowanie ich teoretycznego modelu. Układem testowym są reakcje jądrowe z udziałem deuteronu (jądro atomowe zbudowane z protonu i neutronu, odmiana izotopowa wodoru) i nukleonu. Pewne wielkości mierzone dają się teoretycznie odtworzyć poprawnie tylko wtedy, gdy w opisie uwzględnimy nie tylko modele potencjału nukleon-nukleon, ale dodatkowo także model potencjału trójnukleonowego. W szczególności ważną rolę odgrywają badania reak-

cji, w której nukleon uderza w deuteron, który wskutek tego ulega rozszczepieniu. Reakcje takie są eksperymentalnie trudne i dopiero całkiem niedawno kierowanej przeze mnie grupie naukowców z Polski i Holandii udało się przeprowadzić odpowiednio precyzyjne pomiary, w których zaobserwowano znaczący wpływ oddziaływań trójnukleonowych. Badania te są obecnie kontynuowane w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie, do którego przeniesiony został skomplikowany zestaw eksperymentalny.

A skąd biorą się siły wielociałowe? Są one odbiciem naszego przybliżonego opisu rzeczywistości. Jak wspomniano, nukleony nie są obiektami elementarnymi. Siły trójciałowe są *efektywnym* sposobem uwzględnienia faktu złożoności obiektów oddziaływających. Gdybyśmy zaniedbali fakt istnienia na Ziemi oceanów i płytów wywołanych siłą grawitacji Księżyca (i Słońca), to nie dałoby się, bez wprowadzenia sił wielociałowych, wytłumaczyć detali ruchu orbitalnego naszego satelity.

Schemat układu detekcyjnego do pomiarów opisywanych procesów. Żółta, płaska struktura w środku układu obrazuje pozycyjnie czuły, wielodrutowy detektor gazowy do rejestracji torów cząstek (celem wyznaczenia kierunków ich emisji z reakcji). Za nią, w kolorach różowo-niebieskim, widoczne są elementy hodoskopu scyntylacyjnego do pomiaru energii tych cząstek. Na pierwszym planie widać „jeżowatą” strukturę 140 detektorów scyntylacyjnych oraz (od góry, kolor niebieski) układ ciekłej tarczy deuteronowej. Wiązka pada na tarczę z lewej strony



Podświetlona od środka „kula” 140 detektorów scyntylacyjnych przed ich zamontowaniem w układzie. Detektory te nie tylko spełniają rolę elementów rejestrujących cząstki, ale są też szczelnie posklejane, tworząc w swoim wnętrzu komorę próżniową, w której umieszczona jest ciekła tarcza (temperatura kilkunastu stopni Kelvina, czyli około – 250°C),

wymagająca zapewnienia ciśnienia o 8 rzędów wielkości mniejszego niż atmosferyczne

Od gekona do splątania kwantowego

czyli z naddźwiękową prędkością od molekuł do atomów

Co może łączyć kroczonego po pionowej szybie gekona z eksperymentalną realizacją kwantowego splątania między atomami? Aby poznać odpowiedź, należy zgłębić naturę oddziaływań van der Waalsa (vdW), wiązki naddźwiękowej, dysocjacji molekuł i suchej adhezji.

Zacznijmy od oddziaływania vdW. To jedno z najsłabszych oddziaływań elektrostatycznych. Jest odpowiedzialne za wiele zjawisk, takich jak dyfuzja, lepkość, czy adhezja. Jest oddziaływaniem krótkozasięgowym, działa na odległościach do kilku nanometrów. Obiektami oddziałującymi są te, których atomy posiadają trwałe lub chwilowy rozkład ładunku w chmurze elektronów, tzw. elektryczny moment dipolowy (emd). W Zakładzie Fotoniki najbardziej interesuje nas dyspersyjne oddziaływanie vdW, występujące między dwoma atomami, z których każdy posiada chwilowy emd.

Kolej na wiązkę naddźwiękową. Aby dwa atomy z chwilowymi emd mogły się zbliżyć i utworzyć molekułę, należy zapewnić im odpowiednie warunki. Oddziaływanie między takimi atomami jest bardzo słabe i, w warunkach normalnych (ciśnienia i temperatury), molekuły nie powstaną. Sprzyjające warunki stwarza środowisko wiązki naddźwiękowej. Jest to ekspansja atomów przez małą dyszę z obszaru źródła utrzymywanego pod wysokim ciśnieniem do próżni. Zderzenia zachodzące w dyszy i rozprężanie

Prof. dr hab. Jarosław Koperski w Zakładzie Fotoniki (<http://zf.if.uj.edu.pl/pl/czasteczki>) prowadzi badania molekuł van der Waalsa oraz mechanizmów kwantowo-mechanicznego splątania atomów. Jest autorem książki *Van der Waals complexes in supersonic beams: laser spectroscopy of neutral-neutral interactions*. Kieruje Centrum ATOMIN-Fizyka (www.atomin.uj.edu.pl/). Współpracuje z fizykami z Polski (Gdańsk, Warszawa) i z zagranicy (USA, Kanada, Niemcy, Austria, Australia). Jest członkiem paneli i ekspertem w wielu programach krajowych i zagranicznych, m.in. ERC. Od 2008 roku pełni funkcję prodziekana.

jaroslaw.koperski@uj.edu.pl

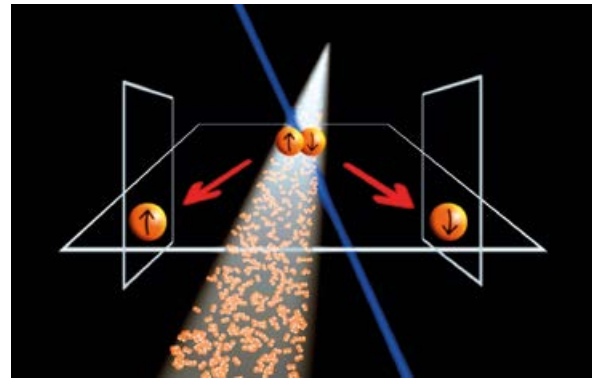
ekspandującego gazu atomów bez wymiany energii z otoczeniem powodują gwałtowny spadek temperatury, tworzenie molekuł i, co najistotniejsze, wydajną eliminację oscylacyjnych i rotacyjnych ruchów w jądrach atomowych. Mówimy o „wychłodzeniu” oscylacyjnych i rotacyjnych stopni swobody. Dzięki temu możliwe jest powstanie bardzo słabo związanych molekuł vdW np. ZnHe czy Cd₂, o energiach dysocjacji (czyli potrzebnych do zerwania wiązania) rzędu 0.001eV. Dla porównania, energie dysocjacji H₂



i CO wynoszą odpowiednio 4.52 eV i 11 eV. Molekuły w wiązce naddźwiękowej możemy badać obserwując, w jaki sposób, w wyniku oddziaływania z wiązką lasera, pochłaniają lub emitują promieniowanie. Jest to sposób na uzyskanie informacji o strukturze energetycznej, wynikającej z ruchów jąder „zanurzonych” w polu elektrycznym (potencjale) otaczających je elektronów. Pozwala to na określenie wielkości sił wiążących atomy w molekułę i odległości między nimi.

I wreszcie gekony. Tajemnica niezwykłych zdolności w szybkim poruszaniu się tych jaszczurek po gładkich powierzchniach tkwi w suchej adhezji, zjawisku, za które odpowiedzialne jest oddziaływanie vdW. W tym przypadku polega ono na elektrostatycznym przyciąganiu pomiędzy powierzchnią a zakończeniami milionów keratynowych mikrowłosek pokrywającymi ich odnóża. Szpadelkowe zakończenia mikrowłosek zwiększają powierzchnię kontaktu z podłożem i generują siłę kilkudziesięciokrotnie przewyższającą ciężar gekona. I tak, jak w przypadku atomów tworzących molekułę vdW w wiązce naddźwiękowej, istota zjawiska polega na oddziaływaniu emd, w tym przypadku trwałych, w atomach, z których zbudowana jest powierzchnia podłoża i włoski na odnóżach gekona.

Gdzie tu jest miejsce dla kwantowego splątania atomów, subtelnego związku między charakteryzującymi je wielkościami (np. momentami pędu)? Splątanie można wygenerować dysocjując (rozrywając) molekułę vdW zbudowaną z dwóch identycznych atomów.

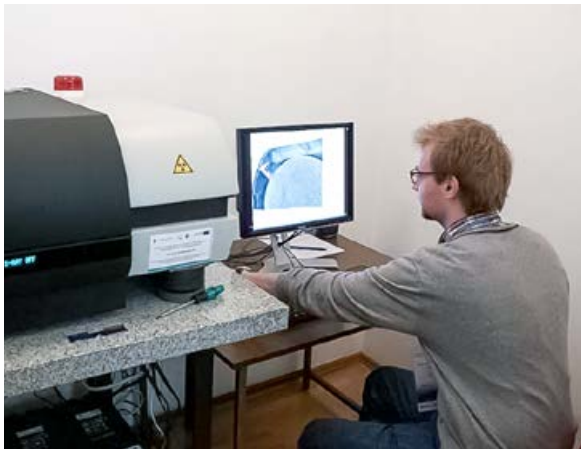


Dwuatomowa molekuła vdW w wiązce naddźwiękowej oddziałuje z promieniowaniem laserowym (niebieska wiązka). Dzięki dysocjacji powstają dwa atomy, które są kwantowo splątane ze względu na wzajemną relację pomiędzy wektorami momentu pędu (antyrownoległość). Po pewnym czasie przeprowadza się diagnostykę splątania w dwóch płaszczyznach detekcji

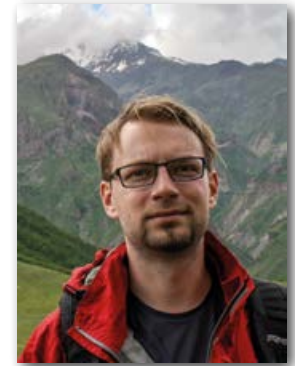
Źródłem molekuł jest wiązka naddźwiękowa, a wymagany stan energetyczny i dysocjacja zależą od oddziaływania molekuły z impulsami laserowymi o odpowiednio dobranych energiach. Warunkiem koniecznym jest, aby molekuła istniała w stanie energetycznym odpowiadającym sytuacji, w której oba atomy posiadają np. antyrownoległe (o przeciwnych zwrotach) wektory momentu pędu. Stwierdzenie, czy tak wygenerowane splątanie „przeżyje”, polega na sprawdzeniu utrzymania kierunku i zwrotów atomowych momentów pędu po pewnym czasie od aktu dysocjacji.

Mikrotomografia komputerowa

W dzisiejszym czasach niemal wszyscy znają pojęcie tomografii. Nie wszyscy natomiast wiedzą, że istnieje kilka odmian tomografii, które są wykorzystywane w medycynie, np. najpopularniejsza z nich tomografia komputerowa (CT), tomografia magnetycznego rezonansu jądrowego (MRI), czy też pozytonowa emisyjna tomografia komputerowa (PET) i inne. Metody te pozwalają na uzyskanie obrazu wnętrza ciała pacjenta w sposób całkowicie nieinwazyjny. Zdolność rozdzielcza takiego badania jest zwykle rzędu milimetrów.



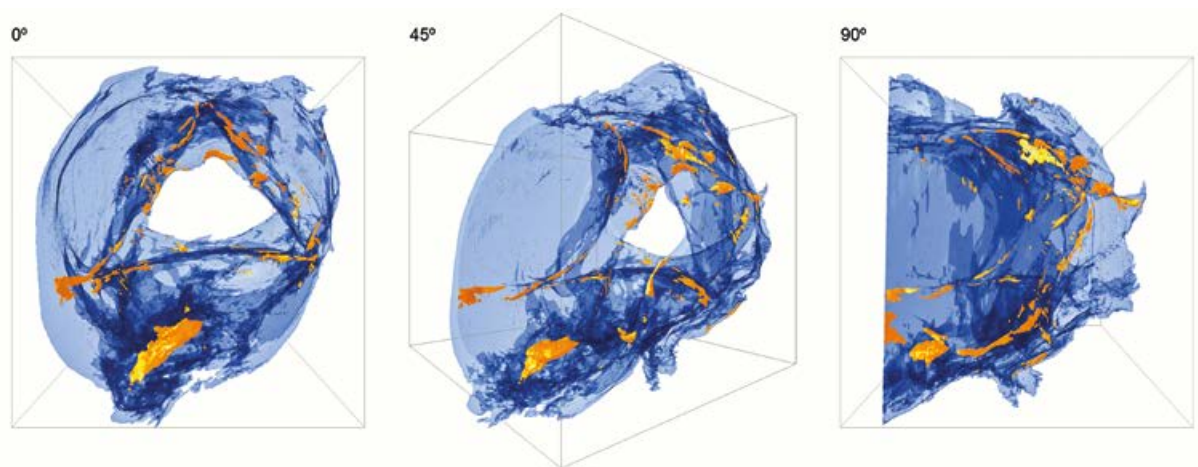
Mikrotomograf SkyScan 1172 znajdujący się w Zakładzie Fizyki Medycznej



Bartosz Leszczyński jest doktorantem w Zakładzie Fizyki Medycznej Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego. Od 2010 roku specjalizuje się w dziedzinie mikrotomografii komputerowej. W roku 2011 uzyskał tytuł magistra na podstawie pracy pt.: „Mikrotomografia komputerowa i jej zastosowania medyczne”. W ramach pracy doktorskiej oprócz mikrotomografii zajmuje się komputerową analizą i obróbką obrazu.

bartosz.leszczynski@uj.edu.pl

W Zakładzie Fizyki Medycznej wykorzystujemy technikę mikrotomografii komputerowej (micro-CT), która pozwala uzyskać zdolność rozdzielczą wielokrotnie wyższą niż kliniczna tomografia komputerowa. Rozdzielczość ta może wynosić maksymalnie $0,5 \mu\text{m}$ /piksel. Mikrotomografia komputerowa pozwala uzyskać precyzyjne, trójwymiarowe obrazy badanych obiektów wraz z ich strukturą wewnętrzną. Metoda ta przeznaczona jest do badania niewielkich próbek – rzędu kilku centymetrów, co czyni ją idealnym narzędziem do analizy fragmentów tkanek ludzkich i zwierzęcych. Spora część badań w ZFM dotyczy analizy mikrostruktury tkanki kostnej i mineralizacji tkanek miękkich. Metoda micro-CT stanowi w tym przypadku alternatywę dla analizy morfometrycznej (np. kości beleczkowej).



Zastawka aortalna z zaznaczonymi kolorem żółtym zwapnieniami

Wysoka rozdzielczość metody pozwala na bardzo precyzyjną detekcję mikrostruktur kostnych – przykładowo w uchu wewnętrznym. Ponieważ istotą tomografii rentgenowskiej jest zdolność do przestrzennego obrazowania rozkładu gęstości, mikrotomografia jest idealną metodą do detekcji kalcyfikacji w tkankach miękkich (np. zastawkach aortalnych). Metoda mikrotomografii komputerowej jest bardzo popularna również w innych dziedzinach nauki, np. geologii, mineraologii, elektro-

nice czy badaniach materiałowych w przemyśle. Jest wręcz idealną metodą do obrazowania i analizy geometrii struktury spienionych metali.

Na podstawie uzyskiwanych trójwymiarowych obrazów możliwe jest obliczenie rozkładu wymiarów porów, ich objętości, porowatości materiału, jak również dużo bardziej zaawansowanych parametrów, takich jak wymiar fraktalny czy tzw. Structure Model Index, SMI.

Terapia hadronowa

Poszukiwanie metod monitorowania lokalizacji dawki



Terapia hadronowa stała się dobrze opanowaną techniką wykorzystywaną do klinicznego leczenia nowotworów. Obserwowany jest bardzo szybki rozwój tego typu terapii i ciągle powstają nowe ośrodki, które ją wykorzystują. Jednym z takich ośrodków jest Narodowe Centrum Radioterapii Hadronowej w Centrum Cyklotronowym Bronowice (CCB – IFJ PAN) stanowiące dział Instytutu Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk w Krakowie. W 2013 roku w ośrodku CCB uruchomiony został cyklotron, który dedykowany będzie terapii hadronowej, ale równocześnie będzie mógł być wykorzystywany do badań związanych z fizyką jądrową.

W pewnych aspektach terapia hadronowa osiągnęła duży stopień perfekcji, jakkolwiek ciągle istnieją w niej niecałkowicie zbadane pola, które wymagają dokładnych badań. Jednym z ważniejszych, ciągle nierozwiązanych, problemów terapii hadronowej jest lokalizacja piku Bragga, czyli pozycji w ciele pacjenta odpowiadającej maksymalnej dawce absorbowanej, która powinna przypadać w miejscu ze zmianami nowotworowymi. Opracowanie takiej metody pozwoli w pełni wykorzystać bardzo dobrze zdefiniowany w terapii hadronowej profil deponowanej dawki. Poszukiwana metoda lokalizacji piku Bragga powinna być możliwa do zastosowania w czasie naświetlania, co pozwoli na ewentualne korekty planowanej terapii.

Prof. dr hab. Andrzej Magiera zajmuje się badaniami naukowymi z dziedziny fizyki jądrowej i cząstek elementarnych, a ostatnio także zastosowaniami fizyki jądrowej w terapii hadronowej nowotworów. Jest współautorem 85 artykułów w recenzowanych czasopismach naukowych. Badania prowadzi głównie we współpracy z Forschungszentrum Jülich. Prace nad terapią hadronową realizuje w Narodowym Centrum Radioterapii Hadronowej w Centrum Cyklotronowym Bronowice stanowiącym dział Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie oraz RWTH Aachen.

andrzej.magiera@uj.edu.pl

Obecnie jedyną metodą stosowaną *in vivo* jest monitorowanie oparte na pozytronowo-elektronowej tomografii. Jednakże metoda ta pozwala na weryfikację absorbowanej dawki tylko po zakończeniu naświetlania, co generuje dodatkowe problemy związane z rozmyciem lokalizacji spowodowane procesami biologicznymi, w wyniku których następuje przemieszczenie mierzonych tą metodą izotopów. Wydaje się, iż o wiele lepszą metodą lokalizacji piku Bragga powinna być detekcja wtórnego promieniowania gamma oraz X emitowanego w wyniku procesów oddziaływania wiązki z jądrami znajdującymi się w materiale tkanki.

Planowane są badania oddziaływania protonów z grubymi tarczami dobrze symulującymi tkankę ludzką. Wykonane zostaną pomiary korelacji emitowanego promieniowania gamma i X z miejscem, w którym to promieniowanie zostało wywołane przez wiązkę protonową. Wyniki będą stanowiły podstawę do poszukiwania metody określania pozycji piku Bragga, a docelowo planowana jest budowa systemu detekcyjnego pozwalającego na monitorowanie deponowanej dawki w czasie leczenia klinicznego.

Bardzo ważnym aspektem w terapii hadronowej jest także dokładne poznanie reakcji zachodzących wzdłuż całej drogi jaką przebywa wiązka w tkance. Wymaga to stworzenia odpowiednio precyzyjnych modeli opisujących te reakcje. Dlatego równolegle prowadzone będą pomiary elementarnych reakcji (p. gamma) dla różnych pierwiastków wchodzących w skład tkanki ludzkiej dla cienkich tarcz. Obecnie dostępne dane są ograniczone do dosyć niskich energii wiązki, więc informacja eksperymentalna, z którą były konfrontowane modele używane do obliczeń jest niepełna. Podobny problem niekompletności danych eksperymentalnych istnieje również w astronomii pro-

mieniowania gamma. Znajomość eksperymentalnych przekrojów czynnych na emisję promieniowania gamma jest tu bardzo istotna dla interpretacji widm tego promieniowania emitowanego w czasie rozbłysków słonecznych, pomiaru temperatury i przepływów w dyskach akrecyjnych oraz badaniu charakterystyk promieniowania kosmicznego. Dlatego uzyskane dane będą stanowiły również istotny wkład w badanie tych problemów astrofizycznych.

Zaraz po uruchomieniu cyklotronu w CCB wykonany został pierwszy eksperyment w celu przetestowania systemów detekcyjnych, które będą używane w pomiarach. Test wykonano dla grubych tarcz podzielonych na cienkie płytki wykorzystując trzy różne systemy detekcyjne. Wyniki wskazują, iż dostępne systemy detekcyjne w pełni spełniają te najbardziej niesprzyjające warunki eksperymentalne. Otrzymano także pierwsze rezultaty pokazujące pewne korelacje widm promieniowania gamma z miejscem jego emisji.

W projekt, oprócz fizyków z Zakładu Fizyki Jądrowej, zaangażowani są także naukowcy z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie, Instytutu Fizyki Uniwersytetu Śląskiego oraz RWTH Aachen.

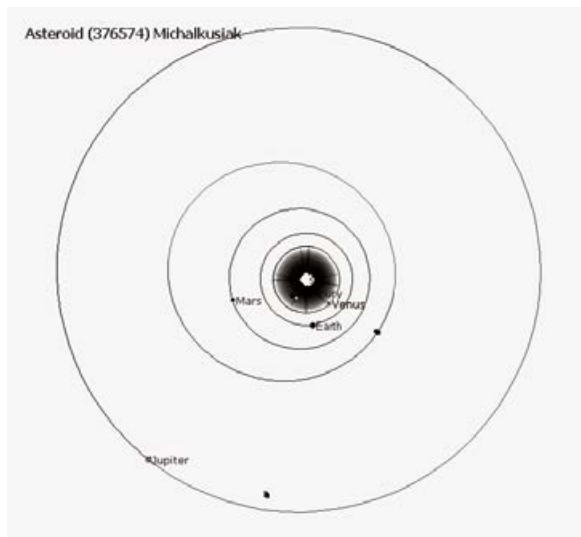
Poszukiwania i badania drobnych ciał w Układzie Słonecznym



Będąc nastoletnim miłośnikiem astronomii wielokrotnie spotykałem się z informacjami o odkryciach komet dokonywanych przez polskich badaczy nieba. Wówczas zrodziło się marzenie, ażeby samodzielnie takiego odkrycia dokonać. Szansa pojawiła się wraz z rozwojem projektów naukowych, w ramach których udostępniono uczestnikom dane za pośrednictwem Internetu. W latach 2007-2011 moje zainteresowania skupiały się na aktywnych poszukiwaniach

Michał Kusiak jest studentem astronomii na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej. Aktywna działalność popularyzatorska z zakresu astronomii oraz w dziedzinie poszukiwań drobnych ciał w Układzie Słonecznym przyniosły mu 16 stycznia 2014 roku wyróżnienie w postaci nazwania jego imieniem i nazwiskiem jednej z planetoid pasa głównego (376574) Michalkusiak.

michal.kusiak@uj.edu.pl



komet muskających Słońce w międzynarodowym projekcie SOHO Sungrazing Comets. Wykorzystując dane uzyskiwane za pośrednictwem sond kosmicznych SOHO i STEREO, zidentyfikowałem łącznie 151 niewielkich komet, poruszających się w ekstremalnie małych odległościach od Słońca. Ponadto, był to czas zdobywania elementarnej wiedzy w zakresie mechaniki klasycznej i mechaniki nieba, której zagadnienia wykorzystałem m.in. w opracowaniu efektywnej metody wykonywania astrometrii komet rejestrowanych za pośrednictwem koronografów LASCO i Heliospheric Imager. Przyniosło to identyfikację dwóch komet prawdopodobnie powiązanych ze sobą i z nową grupą ciał poruszających się po identycznej trajektorii jak strumień roju meteorów Południowe delta Akwarydy,

wchodzącego w skład Międzyplanetarnego Komplexu Komety Machholz 96P.

W latach 2009 i 2010 dwukrotnie z powodu tymczasowych cięć finansowych w NASA, jako wolontariusz pełniłem część obowiązków koordynatora projektu Sungrazing Comets. Pozwoliło to zachować zainteresowanie poszukiwaniami ze strony uczestników, a także ciągłość w odkrywaniu i katalogowaniu nowych obiektów.

W grudniu 2011 roku w ramach aktywnego uczestnictwa i współpracy z dr. Michałem Drahussem (UCLA, CALTECH) w innowacyjnym projekcie „Kreutz-sungrazing comet. A pilot study” wykonaliśmy pierwsze próby wykonania spektroskopii milimetrowej komety z grupy Kreutza. Dzięki dobrym przygotowaniom logistycz-

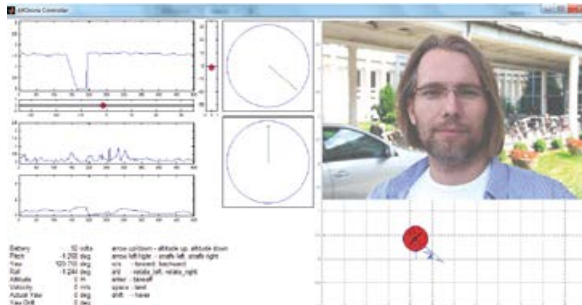
nym i efektywnie uzyskiwanej astrometrii dla komety C/2011 W3 Lovejoy, uzyskaliśmy pierwszy słaby sygnał pochodzący od molekuly HCN, zarejestrowany dzięki radioteleskopom JCMT oraz IRAM.

Od 2012 roku współtworzę wraz z panem Michałem Żołnowskim z Krakowa pierwszy polski projekt dedykowany poszukiwaniom planetoid i komet, wykorzystujący zdalnie sterowany i w pełni zautomatyzowany teleskop zlokalizowany na terenie północnych Włoch, co jak dotąd przyniosło rejestrację blisko 1200 potencjalnie nowych planetoid wymagających dalszego przebadania. Ponadto przez dwa lata obserwacji wykonanych zostało 13 tysięcy obserwacji dla blisko 3500 obiektów, co pozwoliło na ścisłe sprecyzowanie ich elementów orbitalnych.

Między nauką a rozrywką



Między nauką a rozrywką – tak właśnie mogę określić czas, jaki upływa mi podczas pracy na uczelni. Doskonałym przykładem może tu być uczestnictwo w Global Game Jam 2014. Na udział w zawodach



Mgr Leszek Nowak jest asystentem w Zakładzie Technologii Informatycznych i doktorantem na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej. Prowadzi badania z zakresu analizy cyfrowych obrazów barwnikowych zmian skórnych. Marzy o utworzeniu laboratorium oraz zespołu badawczego z zakresu wizji komputerowej i analizy obrazu.

leszek.nowak@uj.edu.pl

namówili mnie dwaj ambitni studenci: Krzysztof Siemiorek oraz Miłosz Majewski. Utworzony przez nas zespół, reprezentujący Uniwersytet Jagielloński, poradził sobie z wyzwaniem i w ciągu 48 godzin wymyśliliśmy, zaprojektowaliśmy i napisaliśmy w pełni grywalną grę wideo. Jestem przekonany, że odniesiony sukces zawdzięczamy wyzwaniom, jakie stawiane są przed nami na uczelni.

W moich badaniach nad analizą obrazu często czerpię inspirację z rozmaitych źródeł, w dużej mierze niezwiązanych z tematyką prowadzonych badań. Jako przykład mogę podać tutaj stworzenie metody rozpoznającej wzorzec siatki w obrazach cyfrowych opierając się o algorytm Flow Field Pathfinding. I tak przekształcenia morfologiczne, będące rdzennym narzędziem w dziedzinie analizy obrazu, świetnie

sprawdzają się w przypadku proceduralnego generowania, np. obszarów rozgrywki w grach video.

Swoją naukową „kariere” rozpocząłem studiami z informatyki, zwińczeniem których była praca inżynierska. Ta właśnie praca, dumnie zatytułowana „Algoritmy ewolucyjne w realizacji systemów uczących się” wprowadziła mnie w świat badań naukowych.

Podczas omawiania tematu, jakim miałem się zająć w ramach „inżynierki”, pojawiły się rozmaite pomysły na „odkrywanie koła na nowo”, czyli rozwiązywanie problemów informatycznych wcześniej już rozwiązanych, ale niekoniecznie do końca. Mój wybór padł jednak na coś, co uznałem za ciekawe. Inspirowany fantastyką naukową postanowiłem sprawdzić swoje umiejętności w zakresie sztucznej inteligencji i zaprojektować system, który jak wskazuje temat pracy, będzie się uczył. Problem został osadzony w świecie gry logicznej, gdzie zadaniem sztucznej inteligencji było rozpoznać zasady gry oraz zbudować bazę wiedzy, która pozwoli jej prowadzić rozgrywkę z człowiekiem. W ten sposób po raz pierwszy udało mi się połączyć świat rozrywki i nauki.

Moja badania zaowocowały dwoma publikacjami i niedługo później nadszedł czas na pracę magisterską. W tym przypadku wybór padł na: „Różnicowanie obrazów dermatoskopowych w oparciu o metody uczenia statystycznego”. Temat ten realizowany był pod przewodnictwem dr. Grzegorza Surówki. Badania opierały się o analizę obrazów cyfrowych bar-

wnikowych zmian skóry, pod kątem wyszukania charakterystyk geometrycznych i kolorymetrycznych, a następnie klasyfikacji zebranych informacji wykorzystując do tego ensembling rozmaitych technik klasyfikacji. Wyniki pracy magisterskiej posłużyły jako podstawy do kilku publikacji oraz poprowadziły mnie na studia doktoranckie, podczas których na realizację badań udało się pozyskać finansowanie w ramach programu VENTURES przyznanego mi przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej, oraz później programu PRELUDIUM oferowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

Realizowane przeze mnie badania prowadzą do stworzenia systemu wspomaganey diagnostyki zmian skórnych, z naciskiem na wczesne wykrywanie melanomy, czyli czerniaka złośliwego. W ramach tych badań i współpracy z prof. Maciejem Ogorzałkiem powstało wiele publikacji, do których zaliczyć należy bardzo popularny rozdział w ogólnodostępnej książce zatytułowanej: „Melanoma in the Clinic – Diagnosis, Management and Complications of Malignancy”.

Pośród wielu zajęć dodatkowych zajmuję się koordynacją projektu IEEE Academic Poland, w ramach którego tworzona jest darmowa i ogólnodostępna platforma edukacyjna. Jeśli posiadasz wiedzę lub umiejętności, którymi chcesz się podzielić, zapraszam do kontaktu pod adresem email: leszek.nowak@ieee.org

Stronę internetową projektu można znaleźć pod adresem: <http://academic.ieee.org/pl>

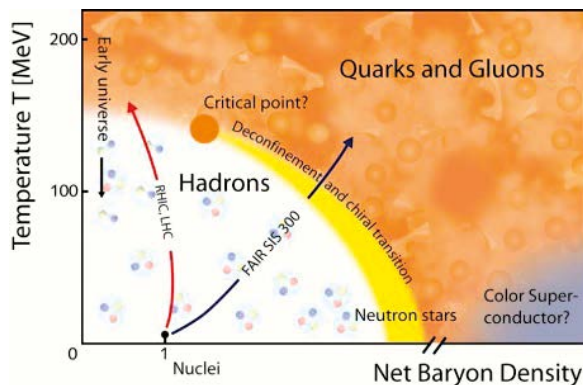
Badania silnie oddziaływującej materii



Zgodnie z powszechnie akceptowanym modelem ewolucji Wszechświata w chwili czasu 10^{-5} sekundy po Wielkim Wybuchu nastąpiło przejście fazowe pomiędzy plazmą kwarkowo-gluonową a materią hadronową. Przez krótką chwilę Wszechświat był wypełniony protonami, neutronami, elektronami, fotonami i neutrinami. Po upływie około sekundy temperatura obniżyła się wystarczająco, aby rozpoczęła się synteza jąder atomowych. W tej wczesnej fazie ewo-

Prof. dr hab. Roman Płaneta prowadzi badania naukowe w dziedzinie fizyki materii jądrowej. Pełni funkcję Dyrektora Instytutu Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego na kadencję 2012-2016 oraz Kierownika Zakładu Fizyki Gorącej Materii (ZFGM) na kadencję 2013-2017.

roman.planeta@uj.edu.pl



lucji Wszechświata uformowały się najlżejsze jądra atomowe o masach mniejszych niż 8 jednostek masy atomowej (jądro ^{12}C ma masę 12 j. m. a.). W następnych etapach ewolucji Wszechświata w procesach

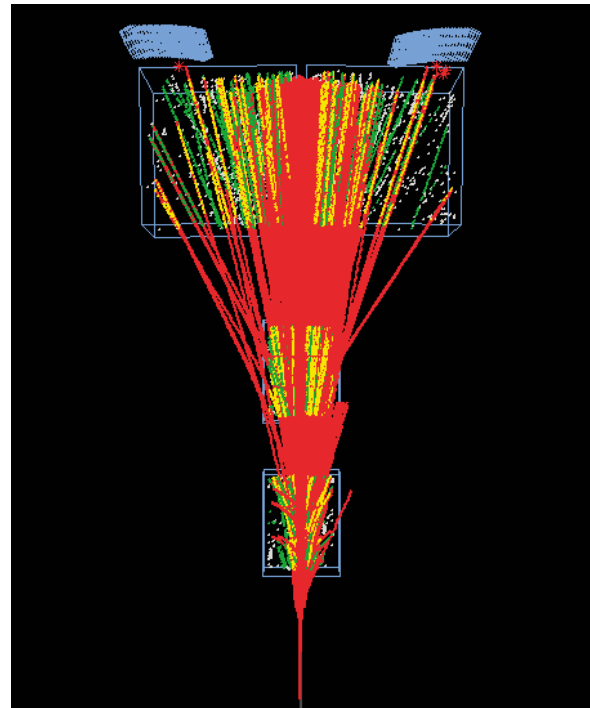
odbywających się we wnętrzach gwiazd były i są formowane jądra atomowe cięższych pierwiastków. W przypadku gwiazd o masie 10 razy większej niż masa Słońca w końcowej fazie ich życia w procesie eksplozji przestrzeń międzygwiazdowa wzbogacona jest o jądra atomowe od helu do uranu. W wyniku tego procesu formowane są także gwiazdy neutronowe. Są one makroskopowymi obiektami jądrowymi o masach około 1.4 masy Słońca i promieniach rzędu 10 km.

Jedyną drogą poznania właściwości tej formy materii w szerokim zakresie temperatur i gęstości jest studiowanie zderzeń jąder atomowych. W takich zderzeniach tworzymy na krótką chwilę gorące obiekty jądrowe, których gęstość może znacznie odbiegać od gęstości zimnych jąder atomowych. Badania właściwości takich mikroskopowych kawałków materii jądrowej pomagają w konstrukcji diagramu fazowego (patrz rysunek) oraz poznaniu równania stanu tej formy materii.

Po prawie pięćdziesięciu latach badań zderzeń ciężkich jąder ich mechanizm jest relatywnie dobrze poznany. Odkryto wiele interesujących zjawisk towarzyszących oddziaływaniu jąder atomowych przy różnych energiach zderzeń. Przy najniższych energiach zaobserwowano zjawisko kompletnej fuzji, w czasie którego obydwie zderzające się jądra łączą się w jeden gorący obiekt jądrowy, który po krótkim czasie rozpada się emitując lekkie cząstki lub rozszczepia się na dwa fragmenty o podobnych masach. Dla najniższych energii zderzeń, porównywalnych z wysokością bariery kulombowskiej, w procesie fuzji udało się wytworzyć najcięższe znane do tej pory jądra. Na przykład w reakcji $^{48}\text{Ca} + ^{249}\text{Cf}$ wytworzono jądro atomowe o liczbie atomowej 118.

Przy bardzo wysokich energiach zderzeń dostępnych na akceleratorach: AGS, RHIC (BNL, Brookhaven), SPS, LHC (CERN, Genewa) istnieje możliwość badania właściwości materii jądrowej przy wysokich gęstościach i temperaturach. Takie warunki umożliwiają poznanie właściwości przejścia fazowego pomiędzy materią hadronową a plazmą kwarkowo-gluonową. W eksperymentach prowadzonych na akceleratorach RHIC i LHC bada się właściwości plazmy kwarkowo-gluonowej przy temperaturach rzędu 150 MeV w warunkach, jakie panowały w chwili 10^{-5} sekundy po Wielkim Wybuchu. Nowobudowany akcelerator SIS100 (FAIR, Darmstadt) zapewni możliwość badania właściwości materii jądrowej przy gęstościach, jakie panują we wnętrzach gwiazd neutronowych.

Badania materii jądrowej w pobliżu oczekiwanego punktu krytycznego prowadzone są w ramach eksperymentów STAR i NA61/SHINE. Frank Wilczek, laureat nagrody Nobla z roku 2004, wyraził następującą opinię



o projekcie eksperymentu NA61/SHINE: „(...) według mnie należy podkreślić, że istnienie tego punktu krytycznego jest ważnym przewidywaniem teorii QCD oraz że określenie jego lokalizacji dostarczy bardzo wartościowych wskazówek dla skonstruowania diagramu fazowego silnie oddziaływującej materii”.

Jeśli jesteś zainteresowana/y badaniem właściwości silnie oddziaływującej materii w pobliżu jej punktu krytycznego i/lub poszukiwaniem najcięższych jąder atomowych, to zapraszam do Zakładu Fizyki Gorącej Materii.

Podglądanie nanoświata



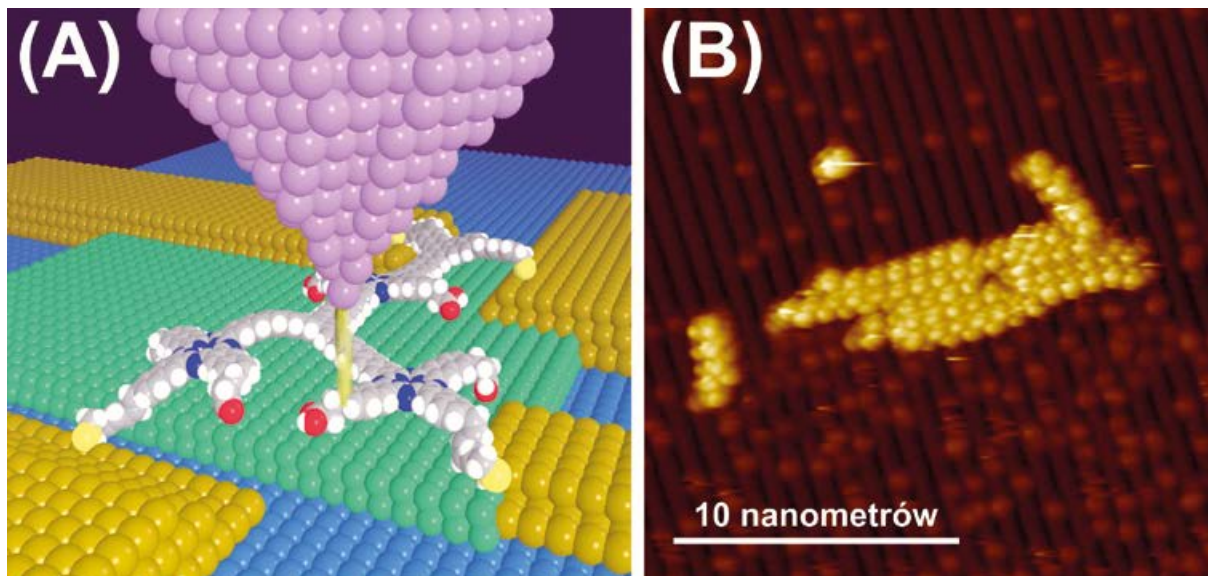
Przędostek *nano* oznacza miliardową część jakiejś wielkości, np. 1 nanometr oznacza miliardową część metra. Ile to jest? Najłatwiej wyobrazić to sobie przez porównanie: 1 nanometr ma się do metra tak, jak kulka o promieniu ok. 5 milimetrów (to tyle, ile ma kratka w zeszytcie do matematyki) do kuli ziemskiej. Spora różnica, co? Wydawać by się mogło, że nie warto sobie zaprzątać głowy obiektami, które są tak małe. No bo cóż może znaczyć mała kuleczka w porównaniu z Ziemią... Nic bardziej mylnego. Okazuje się, że podglądając naturę w skali nanometrów i mniejszej możemy bardzo wiele dowiedzieć się o tym, jak zbudowane są substancje nas otaczające i poznać sekrety ich właściwości, np. dlaczego niektóre materiały są twardsze od innych. Z tej wiedzy da się zrobić dobry użytek – możemy nauczyć się modyfikować strukturę materiałów, właśnie w skali nanometrów, w taki sposób, aby wzmocnić pożądane cechy. Jest to dość podobne do gotowania: jeśli chcemy, by zupa była smaczna musimy dodać soli – nie za dużo i nie za mało.

Ale czy jest urządzenie, które pozwala widzieć obiekty o rozmiarach nanometrów? I czym właściwie są takie obiekty? Zacznijmy od tego drugiego pytania: 1 nanometr to dziesięć razy więcej niż typowy rozmiar atomu. Zatem podglądając świat w skali *nano* będziemy widzieć atomy i molekuly. Co do drugiego pytania, odpowiedź jest twierdząca. Tak, są takie urzą-

Dr Jakub S. Prauzner-Behcicki w Zakładzie Fizyki Nanostruktur i Nanotechnologii zajmuje się tworzeniem i badaniem układów molekularnych dla potrzeb elektroniki monomolekularnej.

jakub.prauzner-behcicki@uj.edu.pl

dzenia. Jednym z nich jest mikroskop sondy skanującej. Jak działa taki mikroskop? Wyobraź sobie osobę niewidomą. Jedyne sposob, w jaki może ona czytać, to jest użycie tekstu napisanego alfabetem Braille'a. W alfabecie tym, każdej literze przypisana jest kombinacja sześciu wypukłych punktów ułożonych po trzy w dwóch pionowych kolumnach. Osoba niewidoma przesuując opuszką palca po kartce z wytłoczonymi znakami odczytuje zapisany tekst poprzez wycucie obecności wypukłych punktów. Pojedynczy punkt ma średnicę ok. 1,5 milimetra, a odstęp pomiędzy punktami (w jednym znaku) to ok. 2,5 milimetra. Opuszek palca wskazującego jest ok. 10 razy większy od pojedynczego punktu, a mimo to osoba czytająca go wyczuwa. Podobnie jest w mikroskopie sondy skanującej. Owa sonda z nazwy, pełni rolę czytającego palca, który przesuwa się (skanuje) nad powierzchnią badanego materiału i czuje położenie pojedynczych atomów, tak jak palec wyczuwał obecność kropek w znaku/literze Braille'a. I znów, podobnie jak palcem



Rysunek (A) Wizja artystyczna elektronicznego urządzenia monomolekularnego. W centralnej części widzimy urządzenie molekularne oraz ostrze mikroskopu skanującego dokonujące pomiaru/manipulacji. Na niebiesko zaznaczono podłoże (pół)przewodzące, na zielono warstwę izolującą, na złoto – metaliczne kontakty (wyk. J. S. Prauzner-Bechcicki). (B) Obraz z mikroskopu sondy skanującej przedstawiający polimer (poliantrylen) otrzymany bezpośrednio na powierzchni tlenku tytanu (wyk. M. Kolmer)

możemy przesuwając różne obiekty, tak sondą skanującą mikroskopu można przesuwając pojedyncze atomy czy całe molekuly.

W Zakładzie Fizyki Nanostruktur i Nanotechnologii zajmujemy się właśnie podglądaniem świata w skali *nano*. Wykorzystując mikroskopy sondy skanującej patrzymy jak wyglądają powierzchnie różnych materiałów, jak zachowują się na tych powierzchniach molekuly, próbujemy je przesuwając, wymuszając na nich reakcje chemiczne, by łączyły się w większe obiekty. Wszystko po to, by móc budować urządzenia, których rozmiary będą rzędu kilkudziesięciu-kilkuset nanometrów. Czy

są nam potrzebne tak małe urządzenia? Nawet bardzo potrzebne. Weźmy, np. komputery osobiste. Procesor takiego komputera składa się z kilkuset milionów tranzystorów, z których każdy ma rozmiary 32 i 45 nanometrów (w starszych procesorach tranzystory mają 65 nanometrów i więcej). W dużym uproszczeniu: im mniejsze tranzystory, tym więcej można ich upakować w procesorze, i tym mocniejszy procesor – wydajniejszy komputer. A co jeśli zechcemy zbudować mniejsze tranzystory? Czy nie będzie potrzeba wymyśleć czegoś w zamian? To są pytania, które nas interesują. Jeśli jesteś ciekaw naszych odpowiedzi, zapraszamy.

Magnetyzm zaawansowanych materiałów



Kryształy molekularne wykazujące właściwości magnetyczne zadziwiają różnorodnością zachowań. Jest to związane z ich podatnością na warunki zewnętrzne, ze złożonością struktur krystalicznych, różnymi możliwymi źródłami momentu magnetycznego i różnymi rodzajami oddziaływań pomiędzy tymi momentami. Istnieją na przykład molekuly, które wykazują powolne relaksacje magnetyzacji w niskich temperaturach, pomimo że składają się z zaledwie kilkunastu atomów – są to nano-magnesy. Układy takie zostały odkryte kilkanaście lat temu i wywołały duże zainteresowanie z powodu związku z fundamentalnymi zagadnieniami, jak współistnienie kwantowych i klasycznych zjawisk, oraz z nadziei na stworzenie nowych nośników pamięci magnetycznych. W Zakładzie Inżynierii Nowych Materiałów, razem z dr. hab. Zbigniewem Tomkowiczem, badamy szeroko rozumiane właściwości magnetyczne i magnetoptyczne kryształów syntetyzowanych przez chemików, m.in. z Krakowa, Darmstadt, Lyon i Kiel.

Szczególnie ciekawe są dla nas niskowymiarowe układy magnetyczne. W tym roku odkryliśmy kryształ zbudowany z łańcuchów jonów magnetycznych (rys. 1), który wykazuje powolne relaksacje magnetyzacji. Znanych jest zaledwie kilkanaście takich układów. Wcześniej znaleźliśmy nową podklasę magnesów jednołańcuchowych – Mn^{III} -TCNE-, które

Dr hab. Michał Rams jest adiunktem w Zakładzie Inżynierii Nowych Materiałów. Choć ukończył fizykę ze specjalizacją teoretyczną, zajmuje się eksperymentalną fizyką materii skondensowanej. Jego habilitacja dotyczyła właściwości magnetycznych i elektronowych złożonych tlenków rutenu. Obecnie zajmuje się głównie magnetyzmem kryształów molekularnych. Przez rok pracował w Max-Planck-Institut CPFS, Dresden. Jest współautorem ok. 60 publikacji cytowanych łącznie ponad 1000 razy.

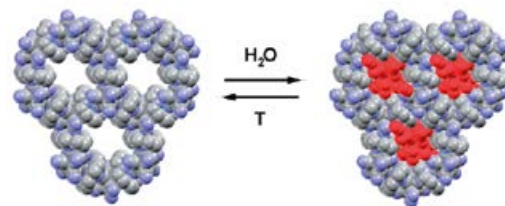
m.rams@uj.edu.pl

wykraczają poza tzw. model Glaubera – obecną teorię takich relaksacji. Niektóre kryształy molekularne tworzą dwuwymiarową sieć połączeń magnetycznych. W jednym z takich materiałów, podwójnych warstwach $Cu(\text{tetren})[W(\text{CN})_8]$ zaobserwowaliśmy kilka lat temu przejście fazowe typu Kosterlitz-Thouless, przewidywane w układach dwuwymiarowych o planarnej anizotropii. To pierwszy taki klarowny przypadek przejścia K-T zaobserwowany w kryształach.

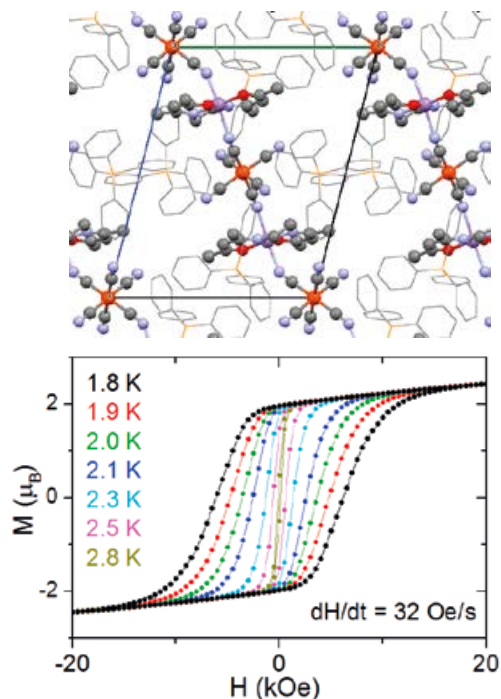
W magnetykach molekularnych obserwujemy również foto-magnetyzm (przełączanie właściwości magnetycznych światłem), badamy wpływ obecności i rodzaju cząsteczek rozpuszczalników (wody, alkoholi)

na właściwości magnetyczne (rys. 2). To jest podstawa do użycia takich materiałów jako sensorów.

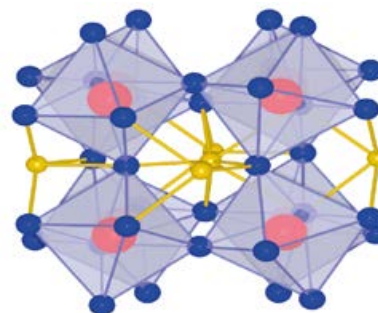
Drugą tematyką naszych obecnych badań, realizowaną razem z prof. Krzysztofem Tomalą, są właściwości elektronowe i magnetyczne tlenków rutenu o strukturze perowskitu (rys. 3). CaRuO₃ to metal, w którym przy odpowiednim domieszkowaniu Sr obserwuje się kwantowe przejście fazowe ferro-paramagnetyk przy T → 0. Skutkuje to anomalnym zachowaniem oporu, ciepła właściwego i podatności, odbiegającym od



Rys. 2. Związek molekularny [Ni(cyclam)]₃[W(CN)₈]₂, w którym odwracalna absorpcja wody zmienia właściwości magnetyczne



Rys. 1. Struktura magnezu jednołańcuchowego (Ph₄P)₂[Mn^{III}(acacen)(CN)₆Os^{III}] oraz jego histereza magnetyczna



Rys. 3. Struktura CaRuO₃, w którym deformacje oktaedrów RuO₆ decydują o właściwościach magnetycznych i elektronowych

modelu cieczy Fermiego. Żeby badać takie zjawiska przygotowujemy próbki tych materiałów i wykonujemy dla nich pomiary magnetyczne, pomiary ciepła właściwego oraz oporu w bardzo niskich temperaturach, aż do 0.4 K i w wysokich polach magnetycznych.

Prowadzone przez nas pomiary wymagają używania ciekłego helu. Jest to możliwe dzięki posiadanej w Zakładzie instalacji do skraplania helu.

Atomowy laser przypadkowy



Określenie laser atomowy nie jest najszcześniejsze, ale zostało powszechnie przyjęte do określenia urządzeń emitujących koherentne fale materii w analogii do optycznych laserów emitujących koherentne fale elektromagnetyczne. Lasery atomowe wytwarzające ciągłą wiązkę fal materii, bądź strzelające pakietami fal materii, zostały zrealizowane eksperymentalnie, wykorzystując kondensat Bosego-Einsteina zimnych gazów atomowych. Kondensat to bardzo ciekawy kwantowy stan układu wielu cząstek. Zwykle mechanika kwantowa uwidoczni się dopiero w skali atomowej. W kondensacie milion atomów robi to samo i efekty kwantowe widać niemal gołym okiem.

Bardzo specyficznym rodzajem optycznego lasera jest laser przypadkowy, który w odróżnieniu od tradycyjnych urządzeń tego typu nie wykorzystuje tzw. rezonatora do selekcji fal elektromagnetycznych, które ulegają wzmocnieniu i wyemitowaniu. W optycznym laserze przypadkowym nieporządek pełni rolę selektora fal.

W zimnych gazach atomowych nieporządek może być wytworzony w kontrolowany sposób. Jednym ze sposobów jest przepuszczenie wiązki światła przez matowe szkło. Dyfrakcja powoduje, że w dużej odległości od matówki natężenie światła zmienia się przypadkowo w przestrzeni. Jeżeli klasyczna cząstka porusza się w potencjale przypadkowym, to ruch taki

Prof. dr hab. Krzysztof Sacha od 14 lat w Zakładzie Optyki Atomowej prowadzi badania teoretyczne ultra-zimnych gazów atomowych. Więcej informacji można znaleźć na stronie <http://chaos.if.uj.edu.pl/~sacha/>

krzysztof.sacha@uj.edu.pl

charakteryzuje dyfuzja, tzn. nieokreśloność położenia cząstki rośnie w czasie. Inaczej sytuacja wygląda w opisie kwantowym. Funkcja falowa opisująca cząstkę ulega wielokrotnemu rozproszeniu w obecności potencjału przypadkowego. W konsekwencji destruktywna interferencja powoduje, że ruch dyfuzyjny zamiera i cząstka ulega lokalizacji Andersona. Wspólnie z doktorantem Marcinem Płodzieniem pokazaliśmy, że używając np. dwóch matówek do wytworzenia potencjału przypadkowego dla zimnych atomów, jesteśmy w stanie manipulować właściwościami nieporządku. W szczególności możemy stworzyć taki nieporządek, w którym lokalizacja Andersona pojawia się selektywnie. Aby zilustrować taką sytuację klasycznym modelem, proponuję wyobrazić sobie most, w którym deski zostały rozmieszczone w przypadkowych odległościach między sobą, ale w taki sposób, że człowiek biegnący z określoną prędkością (a dokładniej stawiający kroki o odpowiedniej długości) jest w stanie



Szkic atomowego lasera przypadkowego. Nieporządek selekcjonuje fale materii, które są emitowane z ośrodka (rysunek Ola Sacha)

z dużym prawdopodobieństwem przebiec przez most. Jeżeli jednak pobiegnie za szybko lub za wolno, wpadnie w szczelinę między deskami, tzn. ulegnie lokalizacji. Wiemy jak w układach zimnych atomów wytworzyć przypadkowy potencjał, w którym lokalizują się wszystkie atomy z wyjątkiem atomów poruszających

się z określoną prędkością. Umieszczenie kondensatu Bosego-Einsteina w takim potencjale spowoduje, że z obszaru nieporządku uciekną atomy tylko o określonej prędkości. Atomy te utworzą wiązkę koherentnych fal materii emitowanych z przypadkowego ośrodka na wzór optycznego lasera przypadkowego.

Geometria nieprzemienne



Geometria to przede wszystkim nauka o mierzeniu i to dzięki niej wiemy jak obliczyć długość krzywej, pole powierzchni trójkąta czy objętość stożka – obiektów, jakie dobrze znamy i potrafimy sobie znakomicie wyobrazić. Kiedy jednak słyszymy „geometria nieprzemienne” nasza wyobraźnia nie podpowiada nam o co chodzi: czym bowiem może być sztuka mierzenia jakichś nieprzemiennych obiektów? No i – przede wszystkim – co to są za obiekty? Żeby to wyjaśnić musimy spojrzeć na geometrię niejako od jej drugiej strony, opisując ją w sposób, w jaki ją naprawdę widzimy. Popatrzmy sobie na najprostszy możliwy świat – składający się z kilku punktów. Co potrafimy na takim świecie (matematycznego) zrobić? Potrafimy stworzyć na nim funkcję (powiedzmy o wartościach 0 i 1) – umieszczając w każdym punkcie tego świata włączoną bądź wyłączoną lampę. Pojedyncza taka funkcja niewiele nam powie, jednak mając i badając wszystkie możliwe funkcje na naszym obiekcie, będziemy mogli znaleźć odpowiedzi na wiele pytań, choćby to z ilu punktów składa się taki świat.

Współczesna fizyka teoretyczna używa geometrii jako podstawowego narzędzia opisu świata: opis przestrzeni i konstrukcji, opis tego jak wyglądają odległości w tej przestrzeni jest w bezpośredni sposób związany z oddziaływaniami między fundamentalnymi obiektami, z których zbudowany jest świat fizyczny. Prawie

Dr hab. Andrzej Sitarz prowadzi w Zakładzie Teorii Pola badania związane niekomutatywną geometrią. Przeważająca część badań dotyczy trójek spektralnych i właściwości operatorów Diraca w geometrii niekomutatywnej, a w szczególności działania spektralnego. Studiował w Oxfordzie i pracował na Uniwersytecie Johanna Gutenberga w Moguncji, Uniwersytecie Pierre et Marie Curie w Paryżu, Uniwersytecie Paris-Sud oraz w Instytucie Matematyki Uniwersytetu Heinrich-Heine w Düsseldorfie i Instytucie Matematyki PAN (Warszawa).

andrzej.sitarz@uj.edu.pl

wszystkie modele, w tym w szczególności te opisujące oddziaływania podstawowe między cząsteczkami, oparte są o zaawansowaną geometrię: na przykład opisując galaktyki czy czarne dziury używamy stworzonej przez Einsteina geometrii znanej jako Teoria Względności. Problem pojawia się jednak przy opisie zjawisk fizycznych zachodzących w świecie kwantowym: oddziaływań między cząstkami elementarnymi na odległościach, które są miliony razy mniejsze od rozmiarów atomu. Jak wyglądają te oddziaływania? Jak wygląda przestrzeń w takiej skali? Odpowiedzi na pytania wymykają się naszej intuicji – nie możemy

bowiem takich odległości w żaden sposób zobaczyć, gdyż fizyką na takiej skali rządzi mechanika kwantowa i kwantowa teoria pola. Jedną z fundamentalnych właściwości tych teorii jest relacja nieoznaczności, która mówi, iż równoczesny dokładny pomiar różnych wielkości fizycznych, na przykład takich jak pęd i położenie, nie jest możliwy. Według matematycznego opisu tego zjawiska, położenie i pęd przestają być tym co doskonale znamy – wielkościami, którym możemy przypisać zawsze jakąś liczbę (bądź kilka liczb), a stają się obiektami pewnej nieprzemiennej algebry – jakby nieprzemiennymi funkcjami. Rozszerzając tę ideę na samą przestrzeń (i czas) można podejrzewać, iż na bardzo małych odległościach przestrzeń (jaką sobie dobrze wyobrażamy) nie istnieje i jest zastąpiona

przez „nieprzemienią przestrzeń”. Geometria nieprzemienna to po prostu nauka „mierzenia” w tej nieprzemiennej przestrzeni, badania jej w taki sam sposób jak badanie świata składającego się z kilku punktów, badając wszystkie funkcje na nim.

Zabawa w mierzenie na nieprzemiennych przestrzeniach jest zabawą w zrozumienie jak wygląda świat, dlaczego jest taki, jaki jest, skąd bierze się cząstka Higgsa (nieprzemienna geometria tłumaczy jak geometria wymusza istnienie tej cząstki) i ma zastosowanie w teorii strun, teoriach grawitacji kwantowej czy nawet opisie efektów kwantowych (jak kwantowy efekt Halla).

Jeśli chcesz „mierzyć” to, co nie jest mierzalne – zapraszam!

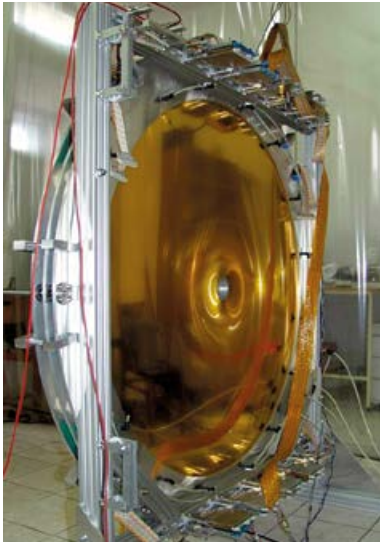
Projektowanie i budowa detektora PANDA



Dlaczego nie obserwujemy pojedynczych kwarków? Dlaczego masa protonów jest znacznie większa niż suma mas ich składników – kwarków? Czy istnieją hipotetyczne cząstki – glueballe, których masa powstaje wyłącznie wskutek oddziaływania pomiędzy ich bezmasowymi składnikami gluonami, będącymi kwantami oddziaływań silnych?

Prof. dr hab. Jerzy Smyrski uczestniczy w prowadzonych na akceleratorze COSY-Juelich badaniach produkcji i oddziaływań mezonów. Angażuje się również w prace badawczo-rozwojowe w dziedzinie detektorów cząstek. Jest koordynatorem prac nad detektorem śladowym do spektrometru przedniego w eksperymencie PANDA.

jerzy.smyrski@uj.edu.pl



Prototypowy detektor śladowy do PANDY zbudowany w Zakładzie Fizyki Jądrowej Instytutu Fizyki UJ

Odpowiedzi na te i wiele innych podstawowych pytań dotyczących struktury materii na poziomie kwarków poszukiwane będą z wykorzystaniem wiązki antyprotonów o niespotykanym dotąd natężeniu i precyzji, która dostępna będzie na powstającym w pobliżu Darmstadt w Niemczech nowoczesnym kompleksie akceleratorów FAIR, finansowanym przez kilkanaście krajów, w tym także przez Polskę.

Grupa fizyków i techników z Zakładu Fizyki Jądrowej Instytutu Fizyki UJ uczestniczy w projektowaniu i budowie układu detekcyjnego PANDA, w którym najnowsze techniki rejestracji cząstek wykorzystane zostaną do badań anihilacji wiązki antyprotonów z protonami na FAIR.

Nasza grupa jest odpowiedzialna za konstrukcję detektora rejestrującego ślady cząstek naładowanych,

emitowanych w procesie anihilacji pod małymi kątami w stosunku do wiązki antyprotonów. Opracowana przez nas koncepcja tego detektora oparta jest na niezwykle lekkich licznikach słomkowych, których stabilność mechaniczną osiąga się dzięki zastosowaniu nadciśnienia gazu roboczego. Pozwala to na uzyskanie wysokiej precyzji pomiaru śladów cząstek równej 0.1 mm przy rozmiarach powierzchni czynnej detektora sięgającej kilka metrów kwadratowych. Wspólnie z fizykami z Akademii Górniczo-Hutniczej i Instytutu GSI-Darmstadt pracujemy również nad przygotowaniem elektroniki do odczytu naszych detektorów.

Zastosowane nowatorskie rozwiązania przetwarzania impulsów z detektorów pozwolą na rejestrację i rekonstrukcję bardzo wysokich strumieni cząstek osiągających 50 milionów śladów na sekundę.

Budowa PANDY ukończona zostanie w 2018 roku, a po jej uruchomieniu nastąpią wieloletnie pomiary. Uzyskiwane dane eksperymentalne, które analizowane będą m.in. przez naszą krakowską grupę, posłużą do lepszego zrozumienia oddziaływań między kwarkami oraz struktury tworzonych przez nie protonów i neutronów, stanowiących podstawowy składnik występującej w przyrodzie materii.

Tajemnice kosmologii



W 1922 roku prof. Aleksander Friedmann z Petersburga opublikował artykuł otwierający nowy rozdział w historii kosmologii. Formuły matematyczne, które się pojawiły w tej pracy, niosły ze sobą treści przełomowe. Po raz pierwszy w historii kosmologii dopuszczono myśl, na razie tylko jako jedną z matematycznie niesprzecznych możliwości, że budowa Wszechświata nie jest niezmienna. Ta i kolejna praca Friedmanna pozostawały niezauważone przez parę lat. Jakiś czas później okazało się, że obserwacje galaktyk sugerują, iż Wszechświat jest opisywany właśnie przez jedno z tego typu dynamicznych, ekspandujących rozwiązań. Skąpe dane obserwacyjne przez długie dziesięciolecie nie pozwalały dokładnie wyznaczyć parametrów charakteryzujących kosmologiczną czasoprzestrzeń. Obecnie sytuacja ta uległa zmianie. Żyjemy w epoce, o której twórcy kosmologii: Friedmann, Lemaître, Einstein mogli tylko marzyć. Postęp technologiczny wprowadził nas w erę kosmologii niemal precyzyjnej. To, co było snem jeszcze w połowie lat dziewięćdziesiątych, dziś staje się rzeczywistością.

Jak dotychczas prosty model matematyczny, którego podstawy stworzono prawie 100 lat temu, wytrzymał próbę czasu. Jest on zgodny ze wszystkimi danymi docierającymi do nas z odległych zakątków Wszechświata. Pojawiły się jednak tajemnicze koincydencje. Dane obserwacyjne zinterpretowane w ramach tego

Dr Sebastian Szybka pracuje w Zakładzie Astrofizyki Relatywistycznej i Kosmologii w Obserwatorium Astronomicznym UJ. Jego główne zainteresowania dotyczą teorii grawitacji Einsteina, a w szczególności czarnych dziur oraz kosmologii.

sebastian.szybka@uj.edu.pl

modelu implikują, że żyjemy w bardzo szczególnym momencie istnienia Wszechświata, a on sam w dominującej części wypełniony jest egzotyczną, jak na ziemskie warunki, formą energii. Nowa era kosmologii rzuciła nowe wyzwania teoretykom.

Czy tajemnicze właściwości modelu kosmologicznego nie są skutkiem przyjętych upraszczających założeń? Może pozwolą się one wytłumaczyć za pomocą subtelnych efektów związanych z teorią grawitacji Einsteina – efektów, które nie zostały dotychczas uwzględnione w rachunkach. Na przykład wiadomo, że drobne niejednorodności rozłożenia materii mogłyby zmienić globalną dynamikę Wszechświata. Istotnie, niejednorodności takie są obserwowane, bo przecież istnieją gwiazdy, galaktyki i struktury znacznie od nich większe. Te zaburzenia gęstości mają również wpływ na trajektorie fotonów docierających do nas z odległych obiektów, a tym samym na nasze

$$\begin{aligned}
 M_{abcdef} &= -\frac{4}{3}(\alpha_c(ab)def + \alpha_e(ab)fed - \alpha_e(cd)fab) + \beta_{abc}def + \beta_{nba}fed - \beta_{cde}fab \\
 m &= \text{[diagram]} = \text{[diagram]} = \text{[diagram]}, \quad \alpha = \text{[diagram]} = \text{[diagram]}, \quad \beta = \text{[diagram]} = \text{[diagram]}, \quad f^{(0)} = \text{[diagram]} \\
 \text{[diagram]} &= -\frac{4}{3}(\text{[diagram]} + \text{[diagram]} - \text{[diagram]}) + \text{[diagram]} + \text{[diagram]} - \text{[diagram]} \\
 \pi \uparrow &= \frac{1}{8} \pi \left[-\text{[diagram]} - \text{[diagram]} + 2 \text{[diagram]} \right] + \dots = \frac{1}{8} \pi \left[\frac{4}{3}(\text{[diagram]} + \text{[diagram]} - \text{[diagram]}) - \text{[diagram]} - \text{[diagram]} + \text{[diagram]} \right. \\
 &+ \frac{4}{3}(\text{[diagram]} + \text{[diagram]} - \text{[diagram]}) - \text{[diagram]} - \text{[diagram]} + \text{[diagram]} - \frac{8}{3}(\text{[diagram]} + \text{[diagram]} - \text{[diagram]}) + 2(\text{[diagram]} + \text{[diagram]} - \text{[diagram]}) \left. \right] = \\
 &= \frac{1}{8} \pi \left[\frac{4}{3}(\text{[diagram]} + \text{[diagram]} - \text{[diagram]} + \text{[diagram]} - 2 \text{[diagram]} - 2 \text{[diagram]} + 2 \text{[diagram]}) \right] + \dots = \\
 &= \frac{4}{6} \pi \left[\text{[diagram]} + \text{[diagram]} + \text{[diagram]} - \frac{1}{2} \text{[diagram]} - \frac{1}{2} \text{[diagram]} - \text{[diagram]} - \text{[diagram]} - \text{[diagram]} - \text{[diagram]} + \text{[diagram]} + \text{[diagram]} \right] + \dots = \\
 &= \frac{4}{6} \pi \left[\text{[diagram]} + 2 \text{[diagram]} + \frac{4}{2} \text{[diagram]} + \text{[diagram]} + \text{[diagram]} - \text{[diagram]} \right] = \frac{1}{6} \pi \left[\frac{3}{2} \text{[diagram]} + 3 \text{[diagram]} \right] + \dots = \\
 &= \frac{1}{4} \pi \left[- \text{[diagram]} + 2 \text{[diagram]} \right] + \dots \quad \text{[diagram]} = - \text{[diagram]} = \text{[diagram]}
 \end{aligned}$$

Notacja diagramatyczna w zastosowaniu do analizy tensorowej wymyślona przez Rogera Penrosa

oszacowania parametrów kosmologicznych. Obecnie w środowisku naukowym nie ma zgody co do skali efektów związanych z niejednorodnościami. Jest tak z powodu trudności rachunkowych i koncepcyjnych przy uwzględnianiu ich w ramach teorii grawitacji Einsteina. Właśnie tutaj pojawia się pole do popisu dla teoretyków, którzy konstruują różne matematyczne formalizmy umożliwiające efektywny opis niejednorodności i ich wpływu na strukturę czasoprzestrzeni. Jednym z tego typu podejść zajmujemy się w Zakładzie Astrofizyki Relatywistycznej i Kosmologii.

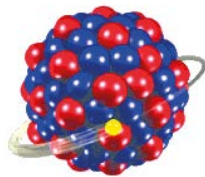
Prostota i piękno koncepcyjne teorii Einsteina idą w parze z nieintuicyjnością i złożonością rachunkową.

Dlatego postęp i zrozumienie odlicza się tutaj nie dniami i miesiącami, ale dziesiątkami lat. Większość ważnych, nierozwiązanych zagadnień w teorii grawitacji Einsteina pozostaje nierozwiązanych, ponieważ obroniły one swoje tajemnice przed największymi umysłami naszej planety. Jednak względem dawnych mistrzów jesteśmy na pozycji uprzywilejowanej. Wspierają nas potężne superkomputery i dokonania tych, co pracowali przed nami. Niedługo nagromadzona wiedza powinna przekroczyć próg graniczny, po którym obecne zagadki modelu kosmologicznego zostaną rozwiązane. Wtedy zapewne Wszechświat objawi przed nami nowe i jeszcze bardziej ekscytujące tajemnice.

Mikro-laboratoria rozpędzone do szybkości światła



Badaniami fizyków kieruje w znacznym stopniu ciekawość. Jak wyglądają obiekty, np. atomy, których nie można zobaczyć gołym okiem? Jak zmienia się właściwości metalowego przedmiotu, jeśli poddać go działaniu bardzo wysokich temperatur, albo bardzo wysokich ciśnień? Czy nastąpią jakieś niewyjaśnione dotąd zjawiska, gdy badany obiekt umieścimy w bardzo silnym polu elektromagnetycznym? W tym



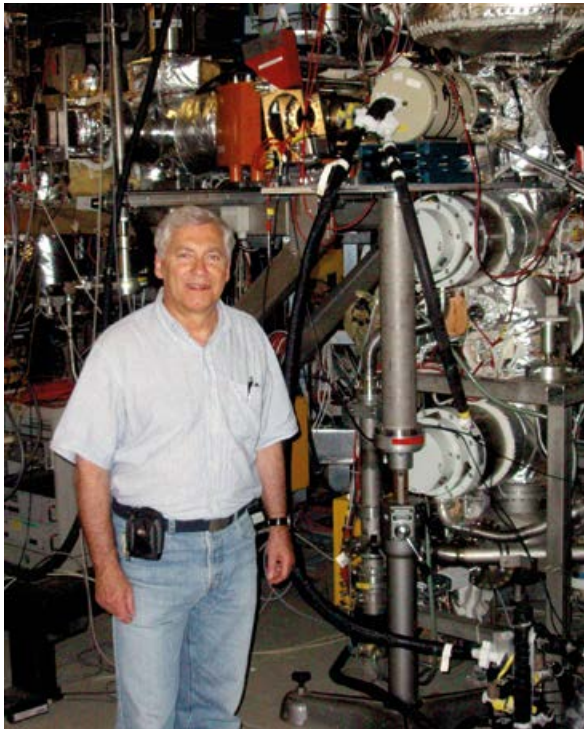
Mikro – laboratorium: Jądro uranu z krążącym wokół niego elektronem, na który działają siły ponad tysiąc razy większe niż w przypadku laboratoriów laserowych

ostatnim przypadku do wytworzenia takich silnych pól fizycy często wykorzystują urządzenia, o których z pewnością słyszeliście – lasery. Okazało się jednak, że niektórzy z nich nie są w pełni zadowoleni z wielkości sił jakie działają na cząsteczki obdarzone ładunkiem elektrycznym (np. elektrony), w warunkach wytworzonych przez lasery. Nie udawało się tam przetestować, z wystarczającą precyzją, najnowszych teorii budowy atomu – siły działające za sprawą laserów wciąż były za małe. Zaproponowano więc, aby do tego celu badań wykorzystać, pozbawione

Prof. dr hab. Andrzej Warczak w Zakładzie Fizyki Jądrowej zajmuje się eksperymentalną fizyką atomową, w szczególności badaniem procesów zachodzących w powłokach elektronowych podczas zderzeń ciężkich jonów z atomami. W tej dziedzinie współpracuje, od ponad trzydziestu lat, z zespołami Instytutu Badań Ciężkich Jonów (GSI) w Darmstadt, gdzie obecnie jest członkiem Rady Naukowej. W latach 2005 - 2012 pełnił funkcję Dyrektora Instytutu Fizyki UJ, a od roku 2012 jest Dziekanem Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego.

andrzej.warczak@uj.edu.pl

powłoki elektronowej, jądra atomowe najcięższego, stabilnego pierwiastka, jakim jest uran. Okazało się, że w pobliżu takiego jądra, obdarzonego bardzo dużym ładunkiem elektrycznym, na pojedynczy elektron mogą działać siły ponad tysiąc razy większe niż w przypadku pól elektromagnetycznych wytworzonych przez współczesne lasery. Ten pomysł był „strzałem w dziesiątkę”. W otoczeniu takich jąder atomowych, na obszarze porównywalnym z rozmiarami atomu, można było stworzyć mikro – laboratoria dysponujące wymaganymi warunkami. Realizacja



Przygotowania do obserwacji sygnałów z rozpędzonych mikro – laboratoriów w Instytucie GSI w Darmstadt

tego pomysłu stwarzała jednak konieczność użycia potężnych urządzeń (akceleratorów), aby najpierw rozpędzić atomy uranu do ogromnych prędkości.

Dopiero przy prędkościach zbliżonych do prędkości światła można było otrzymać jądra atomowe całkowicie pozbawione elektronów. Tylko w takim pędzącym mikro-laboratorium udało się spreparować, w ziemskich warunkach, otoczenie sprzyjające obserwacji zjawisk w bardzo silnych polach elektromagnetycznych. Sygnały przesyłane z rozpędzonych mikro-laboratoriów są rejestrowane metodami typowymi dla fizyki jądrowej i dlatego badania te są prowadzone w ramach działalności Zakładu Fizyki Jądrowej. Obserwacje umożliwiają rozszyfrowanie wielu tajemnic związanych z budową atomów oraz pozwalają testować teorie ich budowy, szczególnie w przypadkach ekstremalnych. Badania te często prowadzą do obserwacji nowych, egzotycznych zjawisk atomowych oraz do ich praktycznych zastosowań, np. w terapii nowotworów. Zauważcie, że w ten sposób wyniki tzw. badań podstawowych spletają się z ich praktycznym, i często unikalnym, wykorzystaniem. Należy dodać, że opisane eksperymenty wykonywane są we współpracy z międzynarodowymi ośrodkami, dysponującymi odpowiednimi akceleratorami.

Astrofizyka wysokich energii

Promieniowanie kosmiczne – strumień wysokoenergetycznych protonów, elektronów, cięższych jąder atomowych – dociera do Ziemi ze wszystkich stron przestrzeni kosmicznej. Pierwotne cząstki tego promieniowania mogą posiadać energie kilka rzędów większe niż te, jakie naukowcy są dziś w stanie osiągnąć w największych naziemnych akceleratorach cząstek.

W Zakładzie Astrofizyki Wysokich Energii (ZAWE) Obserwatorium Astronomicznego podejmujemy z jednej strony próby wyjaśnienia fizycznych procesów w kosmicznych obiektach przyspieszających takie



Dr Alicja Wierchołska swoją rozprawę doktorską przygotowywała pod kierunkiem prof. dr. hab. Michała Ostrowskiego w Zakładzie Astrofizyki Wysokich Energii UJ. Aktualnie kontynuuje pracę naukową w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN. W trakcie swoich studiów doktoranckich wielokrotnie wyjeżdżała na krótkie staże naukowe do ośrodków badawczych we Francji i w Niemczech; otrzymała szereg prestiżowych stypendiów, w tym w roku 2012, jako najwyższej oceniona doktorantka, stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

alicja.wierchołska@uj.edu.pl

cząstki, a z drugiej zrozumienia jak wpływają one na obserwowane przez nas obiekty, takie jak przykładowo relatywistyczne strugi („dżety”) wyrzucane z otoczenia czarnych dziur w aktywnych jądrach galaktyk, błyski promieniowania gamma czy pozostałości po wybuchach supernowych.

Zrozumienie procesów fizycznych wymaga wykorzystania obserwacji z szerokiego zakresu widma promieniowania elektromagnetycznego począwszy od częstotliwości radiowych, aż do promieniowania gamma najwyższych energii, zgromadzonych przy wykorzystaniu wielu instrumentów zarówno naziemnych, jak

i satelitarnych oraz analizy teoretycznej wykorzystującej zaawansowane symulacje komputerowe i rachunki analityczne.

Wiele projektów realizowanych w Zakładzie Astrofizyki Wysokich Energii skupia się na badaniu wciąż słabo poznanego jak dotąd zakresu promieniowania gamma wysokich i najwyższych energii. W ramach współpracy z naukowcami z zagranicznych ośrodków bierzemy aktywny udział w dwóch projektach H.E.S.S. oraz CTA, badających właśnie ten zakres energetyczny.

H.E.S.S., czyli High Energy Stereoscopic System, to działające od 2002 roku obserwatorium promieniowania gamma najwyższych energii (100 GeV – 100 TeV). Aktualnie w ramach obserwatorium pracuje 5 teleskopów wykorzystujących technikę obserwacji promieniowania Czerenkowa do detekcji źródeł promieniowania gamma. H.E.S.S. został zlokalizowany w Namibii, na Wyżynie Khomas, w miejscu o idealnych warunkach do prowadzenia obserwacji astronomicznych.

Dziś znamy około 100 kosmicznych źródeł wysokoenergetycznego promieniowania gamma. Odkrycie setek kolejnych ma stać się możliwe dzięki CTA (Cherenkov Telescopes Array), czyli obserwatorium, które stanie się następcą projektów takich jak H.E.S.S..

W ramach CTA powstaną dwa olbrzymie naziemne obserwatoria promieniowania gamma wysokich i najwyższych energii (każde składające się z 50-100 teleskopów Czerenkowa), zlokalizowane na obu półkulach – obserwujące fotony gamma w zakresie od około 20 GeV do znacznie ponad 100 TeV. Będzie to pierwsze tak duże obserwatorium dostępne dla szerokiej społeczności astronomów i astrofizyków. Pierwsze obserwacje planowane są na rok 2020. Polscy naukowcy i inżynierowie, również pracownicy i studenci Zakładu Astrofizyki Wysokich Energii, aktywnie uczestniczą w pracach nad prototypem małego teleskopu, nad konstrukcją kamer i lusterek dla teleskopów oraz przy rozwoju narzędzi i infrastruktury informatycznej.



Szlachetne gazy w szlachetnej służbie



Każdy z nas na pewno raz w życiu widział obraz ludzkiego ciała wykonany techniką Magnetycznego Rezonansu Jądrowego (MRJ). Jest to bardzo dokładna metoda pozwalająca obrazować tkanki, ponadto może być stosowana często ze względu na jej nieinwazyjny charakter. Technika MRJ opiera się na badaniu sygnału emitowanego przez jądra atomów wodoru i tworzeniu obrazu na podstawie rozkładu ich gęstości w ludzkim organizmie. Jedyne organ, który

Mgr Anna Wojna-Pelczar zajmuje się badaniami naukowymi z dziedziny optyki atomowej i magnetycznego rezonansu jądrowego. W ramach doktoratu realizowanego w Zakładzie Optyki Atomowej zbudowała polaryzator do produkcji spolaryzowanego ^{129}Xe .

anna.wojna@uj.edu.pl



praktycznie nie może być obrazowany techniką MRJ to płuca – widoczne na obrazie jako czarna plama. Dzieje się tak dlatego, iż płuca są ubogie w wodę, a zatem w atomy wodoru, będące jej składnikiem. Co zrobić, by móc zobaczyć płuca? Istnieje wiele konkurencyjnych technik, takich jak tomografia komputerowa (TK), zdjęcia RTG, spirometria... Niestety, TK oraz RTG nie są tak dokładnymi metodami jak MRJ i nie mogą być zbyt często wykonywane ze względu na potencjalną dawkę promieniowania jonizującego, otrzymywaną w trakcie badania. Spirometria natomiast pozwala uzyskać informację tylko o całkowitej objętości płuc, bez konkretnych informacji o miejscach zaatakowanych chorobą. Na ratunek przychodzi technika wykorzystująca izotopy spolaryzowanych gazów szlachetnych: hel ^3He oraz ksenon ^{129}Xe .

W laboratorium Optycznej Polaryzacji Gazów Szlachetnych w Zakładzie Optyki Atomowej Instytutu Fizyki

UJ przygotowuję gazy do wykorzystania ich jako kontrast w badaniach MRJ. ^3He i ^{129}Xe grają teraz rolę wodoru. Gazy te wstępnie muszą być przygotowane. Polega to na ustawieniu spinów jąder w polu magnetycznym tak, by sygnał z ośrodka rzadkiego, jakim jest gaz, był wystarczająco silny do odtworzenia obrazu płuc. Istnieją dwie metody polaryzowania optycznego gazów szlachetnych: pompowanie optyczne z wymianą metastabilności (ang. Metastability Exchange Optical Pumping – MEOP) oraz pompowanie optyczne z wymianą spinu (ang. Spin Exchange Optical Pumping – SEOP), które pozwalają osiągnąć hiperpolaryzację – stan polaryzacji jąder, w którym do obrazowania jest przygotowanych kilka tysięcy razy więcej jąder niż w warunkach równowagowych. Obie metody są dwustopniowe. Najpierw zachodzi pompowanie optyczne z wykorzystaniem technik laserowych. Dokonujemy wtedy zmian w obsadzeniu poziomów energetycznych atomów ^3He lub metalu alkalicznego (np. Rb). Następnie wskutek zderzeń ^3He - ^3He (MEOP) lub Rb- ^{129}Xe (SEOP) następuje przekaz polaryzacji do jąder atomowych (zmiana ustawienia spinów). Procesy te zachodzą w jednorodnym polu magnetycznym, w czystych komórkach szklanych, gdyż jakiegokolwiek zderzenie z jądrami paramagnetycznymi obecnymi np. w szkle naczynia lub gradienty pola magnetycznego powodują niekorzystną depolaryzację. Odpowiednie warunki fizyczne dla procesów MEOP i SEOP są stwarzane w urządzeniach – polaryzatorach.

Spolaryzowane gazy podawane są pacjentowi w skanerze MRJ i po kilku sekundach tworzony jest wysokiej rozdzielczości obraz płuc. Zaaplikowanie obojętnego biologicznie znacznika (spolaryzowanego ^3He czy ^{129}Xe) polega na wykonaniu przez pacjenta jednego wdechu. Badanie to jest całkowicie bezpieczne i może być stosowane u osób z trudnościami z oddychaniem. Metoda ta pozwala na wykrycie raka płuc wcześniej niż z użyciem innych metod diagnostycznych, pozwala także na kontrolę postępu choroby w przypadku przewlekłej obturacyjnej choroby płuc, mukowiscydozy oraz astmy, czy obserwację pracy płuc po przeszczepach. Obrazowanie płuc MRJ nie jest ograniczone dawką promieniowania, a zatem można je powtarzać dowolnie często. Badanie trwa krótko, nie jest uciążliwe dla pacjenta. Podczas badania wykorzystywane są dostępne skanery MRJ, dzięki czemu można uniknąć dodatkowych kosztów zakupu sprzętu. Ponadto obrazowanie spolaryzowanymi ^3He lub ^{129}Xe pozwala na śledzenie drogi gazu w płucach, i tym samym utworzenie klatki po klatce filmu. Analiza rozchodzenia się gazu w płucach umożliwia natychmiastowe rozpoznanie miejsc wyłączonych z oddychania.

Spolaryzowane gazy szlachetne rzucają nowe światło na niezwykle trudną diagnostykę płuc, a dzięki interdyscyplinarnym i nowatorskim badaniom z zakresu technik laserowych i magnetycznego rezonansu jądrowego eliminowane są wszystkie ograniczenia dotychczas stosowanych metod, uznanych za klasyczne.

Fakty, mity i zagadki modelu standardowego



Odkrycie bozonu Higgsa zamyka ważny okres w historii fizyki. Potwierdza bowiem dobitnie, że tzw. model standardowy jest poszukiwaną od ponad pół wieku teorią oddziaływań cząstek elementarnych.

Istnienie bozonu Higgsa było najbardziej dramatycznym przewidywaniem teorii. Bez niego cała subtelna konstrukcja tłumacząca naturę słabych oddziaływań ległaby w gruzach. Chodzi o tzw. spontaniczne łamanie symetrii cechowania. Symetria ta jest jedną z najbardziej podstawowych właściwości mikroświata: faza funkcji falowej może być dowolnie zmieniona w każdym punkcie przestrzeni, jeśli tylko skompensujemy to modyfikacją potencjałów.

Symetrię taką mają oddziaływania elektromagnetyczne, silne, a także i grawitacyjne. Wymaga ona jednak, aby nośniki tych sił były bezmasowe. Rzeczywiście, fotony, gluony oraz, nieodkryty jeszcze graviton, są pozbawione masy. Natomiast bozony W i Z – nośniki słabych oddziaływań – mają masę i to dużą w stosunku do wcześniej odkrytych cząstek. Jej wartość jest związana z dobrze znaną doświadczalnie stałą Fermiego.

Czyżby więc oddziaływania słabe nie miały tej podstawowej symetrii? Otóż nie, i właśnie za teoretyczne wytłumaczenie tej zagadki Peter Higgs i François Englert dostali nagrodę Nobla w 2013 roku.

Prof. dr hab. Jacek Wosiek w Zakładzie Dyskretnej Teorii Pola specjalizuje się w nieperturbacyjnych aspektach kwantowych teorii pól i cząstek. Jego wychowankowie pracują w wielu ośrodkach w kraju i za granicą.

jacek.wosiek@uj.edu.pl

Od czasów Goldstone'a i Nambu wiadomo, że symetryczne prawa ruchu mogą mieć niesymetryczne rozwiązania. Przykłady spontanicznego łamania symetrii są wszędzie: od ołówka postawionego na grafitowym ostrzu, do fredrowskiej „ośliny pośród jądła”. Tak więc rozwiązanie Higgsa i innych polega, mówiąc popularnie, na spontanicznym złamaniu albo naruszeniu symetrii cechowania oddziaływań słabych.

I tutaj napotykamy pierwszy, dobrze znany specjalistom mit, który może jednak sprawić dociekliwemu studentowi pewien kłopot. Lokalnej symetrii cechowania nie można złamać spontanicznie. Udowodnił to ściśle Elitzur w 1975 roku. Symetria, której naruszenie nadaje masę bozonom W i Z, jest widoczna dopiero po ustaleniu konkretnego wycechowania. Jest to więc symetria ukryta (O'Rai feartaight) – ukryta w tle transformacji cechowania. Dlatego też podręcznikowe dowody mechanizmu Higgsa są konstruowane na ogół w ustalonym wycechowaniu.

Innym nieporozumieniem jest często powtarzane stwierdzenie, że bozon Higgosa jest źródłem całej masy w Naturze. Nieprawda, Twoja i moja masa, Czytelniku, pochodzą głównie od mas protonów i neutronów, które z kolei są wynikiem oddziaływań silnych (QCD) między kwarkami i gluonami. Rzeczywiście higgs „nadaje” masę kwarkom, ale jest to poniżej 3 promili masy z oddziaływań silnych. Z kolei masa elektronu w całości pochodzi z mechanizmu Higgosa i nie można nie docenić jej roli w fizyce atomów i molekuł.

Po trzecie, potoczne określenie bozonu Higgosa jako „boskiej cząstki” pochodzi z popularnonaukowej książki Ledermana i Teresiego o tym tytule. Sęk w tym, że jak twierdzi sam Peter Higgs, tytuł oryginalny brzmiał „The Goddamned Particle” (bo tak trudno było ją znaleźć), ale wydawca nie przyjął tego emocjonalnego określenia.

Czy model standardowy jest więc teorią ostateczną? Czy jego sukces oznacza koniec fizyki cząstek? Czy młodzi, zdolni ludzie nie mają już szans na odkrycie nowych, jeszcze bardziej fundamentalnych praw Natury?

Nie, nie i jeszcze raz nie! Wręcz przeciwnie, spektakularne odkrycie bozonu Higgosa nie tylko ugruntowało model standardowy, ale także jeszcze bardziej uświadomiło nam jego efektywną, a tym samym tymczasową, naturę.

Model standardowy zawiera 61 cząstek „elementarnych”. Ich masy, sprzężenia i amplitudy mieszania są teoretycznie dowolne. Daje to co najmniej 19 swobodnych parametrów. Jest to najprostsza i najbardziej naturalna wskazówka, że hen, gdzieś tam na jeszcze mniejszych odległościach, istnieje bardziej fundamentalna, prostsza i piękniejsza teoria. I czeka na Einsteina XXI wieku.

Poszukiwanie rzadkich zjawisk

Rzadkie zjawiska w naszym rozumieniu są to pewne pojedyncze zderzenia cząstek lub wywołane nimi reakcje oraz rozpady promieniotwórcze zachodzące w obiektach o masach wielu ton. Przysłowiowo bardzo trudne i z góry skazane na niepowodzenie „poszukiwanie igły w stogu siana” jest dzieciinną zabawą w porów-



fot. Współpraca GERDA

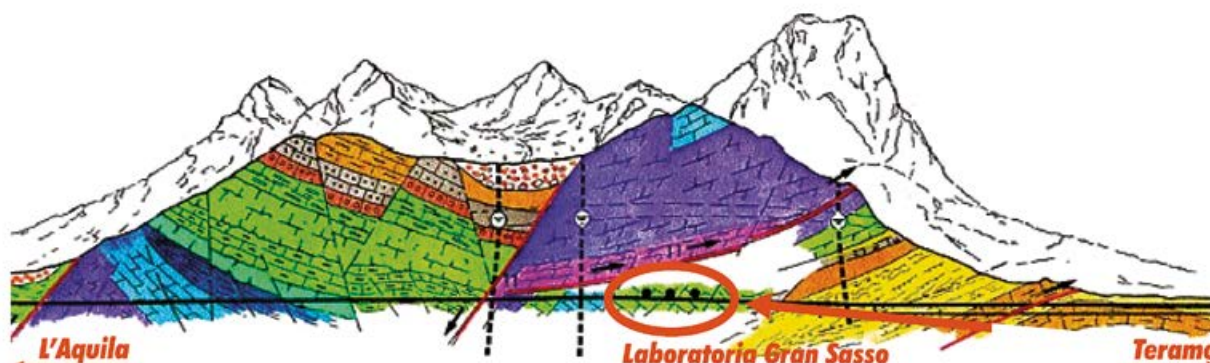


Prof. dr hab. Marcin Marian Wójcik prowadzi badania naukowe z dziedziny słabo oddziałujących cząstek pochodzenia astrofizycznego. Jest ekspertem różnych gremiów naukowych, m.in. Europejskiej Rady ds. Badań Naukowych (ERC) i Narodowego Centrum Nauki, a także współorganizatorem europejskiej sieci naukowej ILIASNext, ogólnopolskiej grupy ICARUS oraz Polskiej Sieci Fizyki Neutrin.

ufwojcik@if.uj.edu.pl

naniu z wykrywaniem i identyfikacją na przykład pojedynczych atomów rozproszonych w dziesiątkach ton innej substancji. Czy warto zatem podejmować w pracowniach fizycznych tak złożone prace, których wynik nie jest do przewidzenia? Zdecydowanie warto! Jest to często jedyna droga, aby poznać otaczający nas Wszechświat w makro- i mikroskali.

W Zakładzie Doświadczalnej Fizyki Komputerowej od wielu lat zajmujemy się tego typu zagadnieniami. Interesuje nas między innymi rejestracja neutrin, bardzo lekkich cząstek nie posiadających ładunku elektrycznego, powstających we wnętrzu Słońca i docierających do Ziemi w olbrzymich ilościach. Oddziałują one z materią bardzo „niechętnie”, co umożliwia im wydostanie się bez przeszkód z miejsca ich powstania,



Eksperymenty poszukujące niezwykle rzadkich zjawisk (BOREXINO/SOX, GERDA i DarkSide) prowadzone są w podziemnym laboratorium Gran Sasso (Włochy)

czyli jądra słonecznego. To niezwykle słabe oddziaływanie neutrin z materią jest z drugiej strony olbrzymią przeszkodą w ich wykrywaniu w laboratorium. Mimo ogromnej liczby tych cząstek przenikających przez nasze bardzo duże, wielotonowe detektory (im większy detektor, tym większa szansa na „zatrzymanie” pojedynczego neutrina) wykrywamy zaledwie od kilku do kilkuset neutrin w ciągu miesiąca w zależności od typu detektora. Dodatkowo nasze detektory musimy „ukryć” głęboko w podziemnych laboratoriach, aby promieniowanie kosmiczne nie zakłócało ich pracy. Nasze dotychczasowe badania umożliwiły rejestrację neutrin słonecznych i przyczyniły się do wyjaśnienia natury tych tajemniczych cząstek oraz dostarczyły informacji o sposobie produkcji energii we wnętrzu naszej najbliższej gwiazdy.

Podajemy również próbę wykrycia hipotetycznej ciemnej materii, która według niektórych teorii

powinna stanowić ponad 90 % masy naszej Galaktyki. Jeżeli założymy, że ciemną materią są pewne nieznanne cząstki o stosunkowo dużych masach uwięzione w polu grawitacyjnym Galaktyki, poruszające się z pewnymi niezbyt dużymi prędkościami, wówczas możemy podjąć próbę ich wykrycia przy użyciu równie dużych detektorów, jak w przypadku neutrin, lecz o nieco zmodyfikowanej budowie, umieszczonych także głęboko pod ziemią. Oczekiwany sygnał w tym przypadku jest jeszcze mniejszy niż sygnał pochodzący od neutrin słonecznych. Niedawno uruchomiliśmy taki detektor i oczekujemy na pierwszy impuls pochodzący od cząstki ciemnej materii.

Jeżeli chcesz poznać naturę neutrin, zbadać szczegółowo mechanizm produkcji energii w gwiazdzie lub uczestniczyć w próbie rozwiązania jednej z najciekawszych zagadek współczesnej astrofizyki, jaką jest ciemna materia – dołącz do nas.

Symulatory kwantowe



Fizyka pozwala realizować dwa marzenia: zrozumienie otaczającego nas świata oraz, wykorzystując poznane prawa natury, jego kształtowanie czy modyfikowanie. Takimi zadaniami zajmuje się optyka nieliniowa i kwantowa, gdy silna fala laserowa wykorzystywana jest do modyfikacji właściwości materii „ubierając atomy w fotony”. Podobne cele przyświecają fizyce bardzo zimnych atomów, których ruch musi być opisany kwantowo. Ten ruch może być precyzyjnie kontrolowany (poprzez wykorzystanie bogatej struktury wewnętrznej atomów oraz precyzyjnego adresowania światłem laserowym) w stopniu niespotykanym w innych dziedzinach fizyki kwantowej. Tzw. siły optyczne używane są do chłodzenia i pułapkowania atomów pozwalając kontrolować i zmieniać potencjał, w którym są atomy. Można też zmieniać charakter oddziaływań międzyatomowych (np. ze słabych odpychających na silne przyciągające) wykorzystując rezonansowe właściwości zderzeń. Fale stojące przeciwbieżnych wiązek laserowych pozwalają wiązać atomy w periodycznych potencjałach (sieciach optycznych) na podobieństwo kryształów. O ile w fizyce materii skondensowanej to atomy tworzą potencjał dla ruchu elektronów (a parametry układu zmieniają się tylko w nieznacznym stopniu), my kontrolujemy w pełni potencjał optyczny, a dodatkowo mamy do dyspozycji atome pozioy energetyczne. Pozwala to na realizację nowych interesujących układów ograniczonych

Prof. dr hab. Jakub Zakrzewski od 30 lat prowadzi w Zakładzie Optyki Atomowej teoretyczne badania z zakresu optyki kwantowej, chaosu kwantowego i fizyki zimnych atomów. Więcej informacji jest dostępne na stronie: <http://chaos.if.uj.edu.pl/~kuba/>

jakub.zakrzewski@uj.edu.pl

prawie wyłącznie poprzez wyobraźnię fizyka oraz na niezwykle precyzyjne badania w typowych modelach.

Pewnym ograniczeniem w fizyce zimnych atomów wydaje się fakt, że atomy są elektrycznie obojętne, podczas gdy elektrony w metalu, niosąc ładunek, pozwalają na obserwację szeregu zjawisk, takich jak np. (kwantowy) efekt Halla. Wykorzystując wewnętrzną strukturę atomową można zrealizować sztuczne pola (tzn. układy, których zachowanie jest opisane w sposób w pełni analogiczny do np. elektronu w polu magnetycznym). Wykorzystanie wewnętrznych poziomów atomowych poprzez odpowiednią realizację przeskoków między oczkami sieci pozwala na otrzymanie modeli realizujących tzw. nieprzemienne pola (nonabelian gauge fields).

Jednym z ciekawszych zadań jest konstrukcja symulatorów kwantowych. W fizyce wielu ciał istnieją pozornie proste układy fizyczne, nierozwiązywalne przy

użyciu współczesnych komputerów wskutek złożoności odpowiednich algorytmów. Powiedzmy, że potrafimy znaleźć rozwiązanie dla takiego układu w znacznie zmniejszonej skali. Możemy taki układ zbudować eksperymentalnie i sprawdzić zgodność teorii i rezultatów pomiarów. Zamiast próbować prowadzić obliczenia dla dużego układu – budujemy, w znany nam już sposób, układ doświadczalny i poprzez pomiar znajdujemy „wyniki obliczeń” nieosiągalnych klasycznymi metodami. Ta idea, pochodząca od Feynmana,

jest już na prostych przykładach realizowana w fizyce zimnych atomów. Jest to możliwe, powtórzmy, dzięki precyzyjnej kontroli eksperymentu i jednoczesnym rozwojem nowoczesnych metod obliczeniowych dla złożonych układów.

Badania te realizujemy obecnie w ramach projektu MAESTRO Narodowego Centrum Nauki „Od symulatorów kwantowych do laserów atomowych: fizyka zimnych atomów z zastosowaniami” we współpracy z grupami m.in. z Barcelony i Paryża.

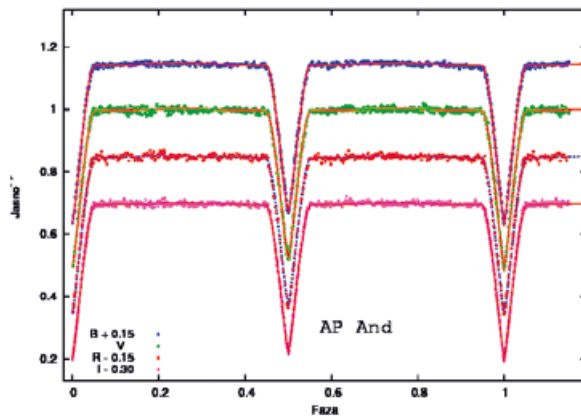
Astrofizyka gwiazdowa



Gdy w nocy spojrzemy na bezchmurne niebo zobaczymy wiele gwiazd. Wszystkie one, włącznie ze Słońcem, naszą najbliższą gwiazdą, znajdują się w galaktyce zwanej Drogą Mleczną. Ale nie wszystkie gwiazdy są samotne tak jak Słońce. Wprost przeciwnie – większość gwiazd obserwuje się w parach i układach wielokrotnych. Ta cecha jest bardzo korzystna dla astronomów: układy podwójne stały się kopalnią wiedzy o podstawowych właściwościach gwiazd. Ale w jaki sposób, mimo że gwiazdy są od nas oddalone bardzo daleko, od kilku po tysiące lat świetlnych,

Prof. dr hab. Stanisław Zoła zajmuje się badaniami naukowymi w dziedzinie gwiazdowej astrofizyki obserwacyjnej. Jest członkiem Polskiego Towarzystwa Astronomicznego i Międzynarodowej Unii Astronomicznej oraz Dyrektorem Obserwatorium Astronomicznego UJ na kadencję 2012-2016.

stanislaw.zola@uj.edu.pl



Krzywa zmian blasku układu AP And wraz z krzywą teoretyczną wynikającą z opracowanego modelu

możliwe jest wyznaczenie ich parametrów? Z pomocą przychodzą ich obserwacje. Zwłaszcza układów podwójnych gwiazd. Obiegając siebie nawzajem, co pewien czas jedna przestania drugą. Obserwujemy wtedy spadek ich jasności, zwykle niedostrzegalny gołym okiem. Ale z pomocą teleskopów wyposażonych w bardzo czułe detektory światła, astronomowie mogą mierzyć zmiany jasności gwiazd w czasie. Dodatkową informację uzyskują z obserwacji spektroskopowych. Każda gwiazda, czyli kula gazowa, wysyła w przestrzeń światło dla niej charakterystyczne, zależnie od tego, jaką ma temperaturę i z jakich pierwiastków się składa. Astronomowie mając taki komplet informacji, obserwacje spektroskopowe i fotometryczne, mogą zbudować model zjawiska zachodzących zaćmień w układzie podwójnym i na tej podstawie wyznaczyć najważniejsze parametry gwiazd, składników układu: ich rozmiary, masy i temperatury.

Gwiazdy nie żyją wiecznie, choć bardzo długo w porównaniu z czasem życia człowieka. Czas życia gwiazd może sięgać miliardów lat. Dlatego niemożliwe jest prześledzenie ich ewolucji nawet w czasie kilku czy nawet kilkudziesięciu pokoleń. Wyznaczając właściwości wielu gwiazd astronomowie doszli do wniosku, że poszczególne gwiazdy obserwujemy w różnych stadiach ewolucyjnych. Mając odpowiednio dużo elementów, możliwe staje się poznanie całej ścieżki ewolucyjnej i poznanie reguł rządzących ewolucją gwiazd. Jeszcze ciekawsze są procesy ewolucyjne zachodzące w układach podwójnych. Oprócz tych długoskalowych procesów starzenia się gwiazd, zachodzą w nich niezwykle interesujące i szybko zachodzące zmiany. Gwiazda starzejąc się zwiększa swój rozmiar, a gdy znajduje się w układzie podwójnym, może przerzucić gaz na towarzysza. Taki przepływ masy pomiędzy gwiazdami może doprowadzić do utworzenia się wokół składnika akreującego materię struktur nazywanych dyskami akrecyjnymi.



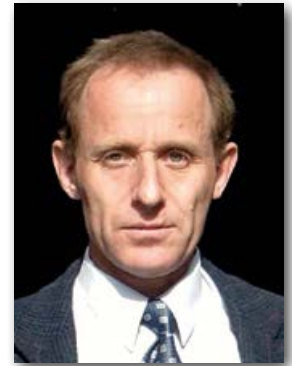
Wizualizacja modelu układu z dyskiem akrecyjnym KU Cyg

Gdy gwiazda akreująca jest składnikiem zwartym, zjawisko akrecji wytworzy bardzo energetyczne promieniowanie nawet w zakresie rentgenowskim.

Gdy zabraknie paliwa w gwiazdach, ustają reakcje jądrowe, które wcześniej nieprzerwanie dostarczały z ich wnętrza energię wypromieniowaną później na powierzchni. Gwiazda staje się białym karłem. Takim czeka większość gwiazd, w tym nasze Słońce. Jest to końcowy etap ewolucji – gwiazdy już tylko mogą wyświecać wcześniej zgromadzoną energię. Jest to względnie nieskomplikowane stadium, tym niemniej poznawczo bardzo ważne, gdyż nakłada więzy na modele opisujące wcześniejsze etapy ewolucji. Na tym etapie w białych karłach mogą powstać niestabilności powodujące ich pulsacje, czyli okresowe zmiany jasności. Gdy wyznaczy się schemat tych pulsacji, przez porównanie z modelami teoretycznymi, astrosejsmologia umożliwia poznanie budowy wewnętrznej białych karłów, ich rozmiarów czy też składu chemicznego.

Astronomowie z Zakładu Astronomii Gwiazdowej i Pozagalaktycznej zajmują się obserwacjami fotometrycznymi i spektroskopowymi układów podwójnych gwiazd z wykorzystaniem teleskopów optycznych w Polsce i za granicą, uściślając niezbyt dobrze poznane etapy ich ewolucji (np. układów kontaktowych czy bardziej zaawansowanych ewolucyjnie układów), a w ramach ogólnoswiatowego projektu teleskopu Globalnego biorą udział w badaniach pulsujących wielo- okresowo białych karłów i gwiazd typu sdB/O.

Od chaosu i informacji kwantowej do teorii systemów wyborczych



Nie jest łatwo cokolwiek przewidywać. Szczególnie przyszłość. Wyjątkiem od tej zasady jest ruch okresowy. Patrząc na położenie Słońca na niebie nietrudno określić, kiedy schowa się za horyzontem. Przewidywanie pogody jest znacznie trudniejsze, gdyż w grę wchodzi wielka liczba zmiennych opisująca temperaturę i ciśnienie w różnych miejscach globu.

Istnieją także znacznie prostsze układy fizyczne, opisywane zaledwie kilkoma parametrami, których dynamika jest bardzo czuła na warunki początkowe: nawet niewielka zmiana wyjściowego położenia lub prędkości cząstki powoduje, że jej trajektoria zmienia się diametralnie. Jeśli odległość $l(t)$ dwóch punktów w przestrzeni fazowej rośnie wykładniczo w czasie, taki układ zwany jest *chaotycznym*, a jego zachowanie można przewidzieć jedynie w krótkim przedziale cza-

$$l(t) = l_0 e^{\lambda t}$$

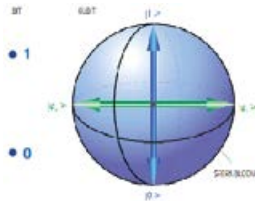
Prof. dr hab. Karol Życzkowski jest pracownikiem Zakładu Optyki Atomowej. Interesuje się sportem, językami obcymi, podróżami, historią i polityką. W książce *Notatki Szeregowca* (Universitas, 1990) opisał swą służbę wojskową, a w roku 2004 wydał przewodnik narciarski po Polskich Tatrach Wysokich. W lipcu 1990 na nartach zjechał ze szczytu Piku Lenina (7134 m) w Kirgizji.

karol.zyczkowski@uj.edu.pl

su. Celem moich badań jest opis właściwości takich nieliniowych układów dynamicznych oraz analiza wielkości używanych do charakteryzacji chaosu, takich jak wykładnik Lapunowa λ i entropia dynamiczna.

Do opisu układów fizycznych wielkości pojedynczych atomów stworzono *mechanikę kwantową*. Jest to teoria probabilistyczna: nie mogąc dokładnie wyznaczyć położenia i pędu cząstki, bada się prawdopodobieństwo jej znalezienia w określonym miejscu w danej chwili czasu. Ponieważ pojęcie trajektorii cząstki nie jest używane w teorii kwantowej, także definicja chaosu kwantowego wymaga doprecyzowania. W mojej pracy badam kwantowe odpowiedniki klasycznych układów chaotycznych oraz analizuję ich granicę klasyczną.

Dynamikę układów kwantowych można rozpatrywać pod kątem przepływu informacji. Klasyczną informację można zapisać przez ciąg bitów. Jeden *bit* to jednostka binarna, której wartość wynosi zero lub jeden. W teorii kwantowej podobną rolę odgrywa kubit (*quantum bit*), który możemy sobie wyobrazić jako strzałkę zajmującą dowolne położenie na sferze, zwanej sferą *Blocha*. Stan kubitu można przedstawić przez superpozycję dwóch stanów klasycznych, odpowiadających biegunom sfery.



Dla większej liczby kubitów zbiór dozwolonych stanów kwantowych ma znacznie bogatszą i bardziej skomplikowaną strukturę. Jej analizę przedstawiłem w monografii „*Geometry of Quantum States*” napisanej wspólnie z Ingemarem Bengtssonem ze Szwecji, a wydanej w Cambridge w roku 2006. W ciągu ostatniej dekady wiele czasu poświęciłem badaniom właściwości kwantowych *stanów splątanych*, które wykazują zadziwiające nieklasyczne korelacje pomiędzy podukładami i stanowią kluczowy zasób stosowany w teorii przetwarzania informacji kwantowej. Obecnie zajmuję się także teorią kwantowej korekcji błędów,

dynamiką entropii kwantowej oraz uogólnionymi relacjami nieoznaczoności.

Lubię dyskutować z matematykami. Nie zawsze idzie to łatwo, ale satysfakcja ze wspólnie rozwiązanych problemów bywa wielka. Badając matematyczne podstawy mechaniki i informacji kwantowej współpracowałem z matematykami z Polski (Gdańsk, Gliwice, Kraków, Toruń, Warszawa, Wrocław) i z zagranicy (Francja, Kanada, Niemcy, USA).

Analiza dynamiki kwantowej powiązana jest także z fizyką statystyczną oraz rachunkiem prawdopodobieństwa. Pracując wspólnie z Wojciechem Słomczyńskim z Instytutu Matematyki UJ wykorzystywaliśmy narzędzia matematyczne do rozwiązywania problemów teorii gier i teorii głosowań. W latach 2004-2007 opracowaliśmy nowy system głosowania w Radzie Unii Europejskiej nazwany *Kompromisem Jagiellońskim*. Następnie zajmowaliśmy się zagadnieniem rozdziału miejsc w Parlamencie Europejskim pomiędzy poszczególne kraje Unii. Obecnie kontynuujemy

badania nad teorią systemów wyborczych, których opis i rezultaty zawarliśmy w wydanej niedawno książce *Każdy głos się liczy!*



Spis treści

Historia Wydziału	5
Prezesa Kolegium Fizycznego oraz Dziekani Wydziałów	15
Zakłady naukowe	19
Zakład Doświadczalnej Fizyki Komputerowej	21
Zakład Fizyki Gorącej Materii	23
Zakład Fizyki Ciała Stałego	25
Zakład Fizyki Jądrowej	27
Zakład Fizyki Materiałów Organicznych	31
Zakład Fizyki Nanostruktur i Nanotechnologii	33
Zakład Fotoniki	35
Zakład Inżynierii Nowych Materiałów	37
Zakład Metodyki Nauczania i Metodologii Fizyki	39
Zakład Optyki Atomowej	41
Zakład Promieniowania Synchrotronowego	43
Zakład Fizyki Medycznej	45
Zakład Radiospektroskopii	47
Zakład Dyskretnej Teorii Pola	49
Zakład Fizyki Statystycznej	51
Zakład Kwantowej Teorii Wielu Ciał	53
Zakład Teorii Cząstek	55
Zakład Teorii Materii Skondensowanej i Nanofizyki	57
Zakład Teorii Pola	59
Zakład Teorii Układów Złożonych	61
Zakład Teorii Względności i Astrofizyki	63
Zakład Zastosowań Metod Obliczeniowych	65



Zakład Projektowania i Grafiki Komputerowej	67
Zakład Technologii Gier	69
Zakład Technologii Informatycznych	71
Zakład Astrofizyki Relatywistycznej i Kosmologii	73
Zakład Astrofizyki Wysokich Energii	75
Zakład Astronomii Gwiazdowej i Pozagalaktycznej	77
Zakład Radioastronomii i Fizyki Kosmicznej	79
W kilku zdaniach o...	81
Programowanie kart graficznych - P. Białas	83
Medycyna w skali nano - G. Brzezinka	85
Jak zmieścić laboratorium w układzie scalonym - A. Budkowski	87
Miłe dobrego początku - D. Dziob	89
Teoria układów kilku nukleonów - J. Gołak	91
Spacer po świecie płaszczków - L. Hadasz	93
Trójkąty w fizyce jądrowej - S. Kistryn	95
Od gekona do splątania kwantowego - J. Koperski	97
Mikrotomografia komputerowa - B. Leszczyński	99
Terapia hadronowa - A. Magiera	101
Poszukiwania i badania drobnych ciał w Układzie Słonecznym - M. Kusiak	103
Między nauką a rozrywką - L. Nowak	105
Badania silnie oddziaływującej materii - R. Płaneta	107
Podglądanie nanoświata - J. Prauzner-Bechcicki	109
Magnetyzm zaawansowanych materiałów - M. Rams	111
Atomowy laser przypadkowy - K. Sacha	113
Geometria nieprzemiana - A. Sitarz	115
Projektowanie i budowa detektora PANDA - J. Smyrski	117
Tajemnice kosmologii - S. Szybka	119
Mikro-laboratoria rozpedzone do szybkości światła - A. Warczak	121
Astrofizyka wysokich energii - A. Wierchołska	123
Szlachetne gazy w szlachetnej służbie - A. Wojna-Pelczar	125
Fakty, mity i zagadki modelu standardowego - J. Wosiek	127
Poszukiwanie rzadkich zjawisk - M. Wójcik	129
Symulatory kwantowe - J. Zakrzewski	131
Astrofizyka gwiazdowa - S. Zoła	133
Od chaosu i informacji kwantowej do teorii systemów wyborczych - K. Życzkowski	135







Jubileusz 650-lecia
Uniwersytetu Jagiellońskiego

ISBN: 978-83-919954-5-7

