

SZCZEGÓŁOWY PLAN
ZADANIOWY INSTYTUTU FIZYKI
JĄDROWEJ IM. HENRYKA
NIEWODNICZAŃSKIEGO
POLSKIEJ AKADEMII NAUK NA
2023 ROK



Aktualizacja: lipiec 2023 rok

Szczegółowy plan zadaniowy Instytutu Fizyki Jądrowej PAN na 2023 r.
- aktualizacja lipiec 2023 r.

Spis treści.....	1
Temat 1. BADANIA EKSPERYMENTALNE I TEORETYCZNE W ZAKRESIE FIZYKI I ASTROFIZYKI CZĄSTEK	3
<i>zadanie 1. Eksperyment Belle przy akceleratorze KEKB i eksperyment Belle II przy SuperKEKB (Japonia) (Andrzej Bożek).....</i>	<i>3</i>
<i>zadanie 2. Eksperymenty promieniowania kosmicznego: AUGER, CREDO i P-ONE (Dariusz Góra).....</i>	<i>4</i>
<i>zadanie 3. Badanie oddziaływań i oscylacji neutrin (Tomasz Wąchała).....</i>	<i>5</i>
<i>zadanie 4. Eksperyment ATLAS na akceleratorze LHC w CERN (Ewa Stanecka).....</i>	<i>6</i>
<i>zadanie 5. Eksperyment LHCb na akceleratorze LHC w CERN (Mariusz Witek).....</i>	<i>7</i>
<i>zadanie 6. Projekt zderzaczy elektron-pozyton (liniowych ILC i CLIC oraz kołowego FCC), badanie ich potencjału fizycznego (Marcin Kucharczyk).....</i>	<i>8</i>
<i>zadanie 7. Eksperyment MUonE na akceleratorze SPS w CERN (Marcin Kucharczyk).....</i>	<i>9</i>
<i>zadanie 8. Badania w zakresie astronomii gamma (Jacek Niemiec).....</i>	<i>10</i>
<i>zadanie 9. Badanie procesów elastycznego rozpraszania, miękkiej i twardej dyfrakcji (Janusz Chwastowski).....</i>	<i>11</i>
<i>zadanie 10. Teoria i fenomenologia oddziaływań fundamentalnych z uwzględnieniem eksperymentów fizyki cząstek elementarnych (Krzysztof Kutak).....</i>	<i>12</i>
<i>zadanie 11. Nietermiczne procesy w plazmie kosmicznej (Jacek Niemiec).....</i>	<i>12</i>
<i>zadanie 12. Wybrane problemy fizyki matematycznej (Katarzyna Górska).....</i>	<i>13</i>
Temat 2. BADANIA EKSPERYMENTALNE I TEORETYCZNE W ZAKRESIE FIZYKI JĄDROWEJ I ODDZIAŁYWAŃ SILNYCH.....	14
<i>zadanie 1. Mechanizm reakcji jądrowych i produkcja mezonów w zderzeniach hadronów (Adam Kozela).....</i>	<i>14</i>
A. Mechanizm reakcji jądrowych.....	14
B. Produkcja mezonów w zderzeniach hadronów.....	14
<i>zadanie 2. Ewolucja własności jąder w funkcji temperatury, spinu i izospinu (Piotr Bednarczyk).....</i>	<i>15</i>
<i>zadanie 3. Prace badawczo-rozwojowe nowych technik detekcji dla fizyki jądrowej (Piotr Bednarczyk) ...</i>	<i>16</i>
<i>zadanie 4. Projekt PARIS (Adam Maj).....</i>	<i>17</i>
<i>zadanie 5. Badania z fizyki jądrowej na wiązce protonów cyklotronu Proteus C-235 (Adam Maj).....</i>	<i>17</i>
<i>zadanie 6. Oddziaływania relatywistycznych jonów przy energiach LHC i SPS - eksperymenty ALICE i NA61/SHINE (Marek Kowalski).....</i>	<i>18</i>
<i>zadanie 7. Badanie struktury i dynamiki układów wielu ciał (Antoni Szczurek).....</i>	<i>19</i>
A. Badanie struktury i dynamiki układów wielu ciał – fizyka jądrowa.....	19
B. Badanie struktury i dynamiki układów wielu ciał – fizyka hadronów.....	19
<i>zadanie 8. Badania teoretyczne struktury materii w powiązaniu z obecnymi i przyszłymi eksperymentami (Krzysztof Golec-Biernat).....</i>	<i>20</i>
Temat 3. BADANIA FAZY SKONDENSOWANEJ MATERII.....	21
<i>zadanie 1. Badania strukturalnych i dynamicznych własności materiałów naturalnych i syntetycznych w różnych skalach wielkości i czasu (Miroslaw Gałazka).....</i>	<i>21</i>
<i>zadanie 2. Badania fazy skondensowanej metodą spektroskopii jądrowej; anihilacja pozytonów (Jerzy Dryzek).....</i>	<i>22</i>
<i>zadanie 3. Badanie struktury, własności chemicznych i magnetycznych materiałów i biomateriałów o rozmiarach mezo- i nanometrycznych (Michał Krupiński).....</i>	<i>22</i>

Szczegółowy plan zadaniowy Instytutu Fizyki Jądrowej PAN na 2023 r.
- aktualizacja lipiec 2023 r.

<i>zadanie 4. Prace nad poznaniem struktury i dynamiki materii miękkiej w tym materiałów funkcjonalnych i farmaceutyków przy pomocy komplementarnych metod doświadczalnych i obliczeniowych (Ewa Juszyńska-Gałązka)</i>	23
<i>zadanie 5. Projektowanie, synteza i charakteryzacja nanocząstek metalicznych do różnych zastosowań (Magdalena Parlińska-Wojtan)</i>	24
<i>zadanie 6. Badania teoretyczne struktury i dynamiki materiałów krystalicznych oraz nanomateriałów (Przemysław Piekarz)</i>	25
<i>zadanie 7. Opracowanie i fizyczna realizacja podstawowych elementów składowych molekularnej sieci neuronowej (Łukasz Laskowski)</i>	26
<i>zadanie 8. Badania właściwości magnetycznych materiałów molekularnych o różnej wymiarowości (Magdalena Fitta)</i>	27
Temat 4. BADANIA INTERDYSCYPLINARNE I STOSOWANE	28
<i>zadanie 1. Interdyscyplinarne aspekty fizyki układów złożonych (Stanisław Drożdż)</i>	28
<i>zadanie 2. Badania oddziaływania promieniowania jądrowego z różnymi ośrodkami (Wojciech Królas)</i> ..	29
<i>zadanie 3. Diagnostyka plazmy wysokotemperaturowej (Marek Scholz)</i>	30
<i>zadanie 4. Obrazowanie i zlokalizowana spektroskopia magnetycznego rezonansu w badaniach biomedycznych i materiałowych (Władysław Węglarz)</i>	32
<i>zadanie 5. Badanie struktury elektronowej materii metodami spektroskopii oraz mikroskopii rentgenowskiej (Joanna Czapla-Masztafiak)</i>	33
<i>zadanie 6. Multimodalne obrazowanie spektroskopowe układów złożonych wspomagane badaniami biomolekularnymi (Czesława Paluszkiwicz)</i>	34
<i>zadanie 7. Radiochemiczne i instrumentalne metody analizy i syntezy sztucznych pierwiastków promieniotwórczych w zastosowaniu do radioekologii, geochemii izotopowej i radiofarmaceutyków (Jerzy W. Mielcki)</i>	35
<i>zadanie 8. Pierwiastki promieniotwórcze w środowisku oraz w organizmie człowieka (Edyta Łokas)</i>	36
<i>zadanie 9. Izotopy promieniotwórcze w fizyce środowiska i ochronie radiologicznej (Krzysztof Kozak)</i>	37
<i>zadanie 10. Dozymetria luminescencyjna w pomiarach promieniowania jonizującego (Paweł Bilski)</i>	38
<i>zadanie 11. Wykorzystanie wiązek protonowych do badań w dziedzinie fizyki materiałowej, radiochemii, radiobiologii i fizyki medycznej (Paweł Olko)</i>	38
<i>zadanie 12. Badanie własności mikroukładów biofizycznych (Małgorzata Lekka)</i>	39
<i>zadanie 13. Badania translacyjne w dziedzinie fizyki medycznej na potrzeby rozwoju radioterapii protonowej (Renata Kopeć)</i>	40
Temat 5. PRACE APARATUROWE I METODYCZNE ORAZ BADANIA APARATUROWE STOSOWANE	41
<i>zadanie 1. Budowa detektorów i infrastruktury badawczej dla eksperymentów z fizyki i nauk pokrewnych (Jacek Świerblewski)</i>	41
<i>zadanie 2. Modernizacja i eksploatacja cyklotronu AIC-144 dla potrzeb badań z obszaru radiochemii, fizyki, biologii i inżynierii materiałowej (Jacek Sulikowski)</i>	42
<i>zadanie 3. Rozwój sieci lokalnej LAN oraz współpraca z akademicką siecią MAN (Zbigniew Natkaniec)</i>	43
<i>zadanie 4. Wykorzystanie technologii obliczeń w chmurze w badaniach naukowych i gospodarce (akronim CC1) (Mariusz Witek)</i>	43
<i>zadanie 5. Badania naukowe i prace rozwojowe w dziedzinie nadprzewodnictwa stosowanego (Dariusz Bocian)</i>	44

Szczegółowy plan zadaniowy Instytutu Fizyki Jądrowej PAN zawiera przedmiot działalności naukowych komórek organizacyjnych na 2023 rok.

Temat 1. BADANIA EKSPERYMENTALNE I TEORETYCZNE W ZAKRESIE FIZYKI I ASTROFIZYKI CZĄSTEK

BADANIA EKSPERYMENTALNE

zadanie 1. Eksperyment Belle przy akceleratorze KEKB i eksperyment Belle II przy SuperKEKB (Japonia) (Andrzej Bożek)

cel realizacji zadania

Badanie rzadkich rozpadów mezonów B.

1. Udział w analizach danych Belle (**Karol Adamczyk**).
2. Udział w eksperymencie Belle II przy SuperKEKB (**Andrzej Bożek**).
3. Projektowanie i prototypowanie układów ASIC i detektorów mozaikowych w technologiach SOI, DEPFET oraz budowa systemów detektora wierzchołka (**Andrzej Bożek**).

Na program badawczy eksperymentu Belle, przeprowadzonego w latach 1999-2010 przy zderzaczu KEKB w instytucie KEK, składają się przede wszystkim szczegółowe testy Modelu Standardowego (MS) w części dotyczącej fizyki zapachu, połączone z poszukiwaniem efektów wykraczających poza teorię oddziaływań elektroślabych. Program ten jest realizowany w sektorze mezonów pięknych i powabnych oraz ciężkich leptonów τ , w oparciu o unikalne próbki danych, sięgające blisko miliarda przypadków. Kontynuacją tego przedsięwzięcia jest eksperyment nowej generacji - Belle II, przy zderzaczu SuperKEKB. Zespół z IFJ PAN prowadzi analizy fizyczne danych z eksperymentu Belle, ze szczególnym uwzględnieniem rozpadów mezonów B z brakującą energią. Wkład do eksperymentu Belle II obejmuje udział w obsłudze i kalibracjach detektorów wierzchołka spektrometru Belle II, udział w analizie danych, oraz dyżury podczas naświetlań. Zespół z IFJ PAN uczestniczy także w pracach nad przyszłą modernizacją spektrometru Belle II i związanym z tym rozwojem nowych technologii, zwłaszcza w dziedzinie monolitycznych detektorów mozaikowych.

planowane efekty naukowe i praktyczne

Efektom prowadzonych prac będą precyzyjne pomiary obserwabli czułych na efekty spoza Modelu Standardowego w rozpadach mezonów B, B_s , $D_{(s)}$ i leptonów τ na podstawie czystych próbek danych, zebranych w warunkach fabryki B oraz publikacje otrzymanych wyników w recenzowanych czasopismach.

Zespół z IFJ PAN uczestniczy w rozwoju systemu zasilania dla detektorów monolitycznych w technologii SOI. Monolityczne detektory mozaikowe, rozwijane dla eksperymentów fizyki

wysokich energii, mogą w przyszłości znaleźć zastosowanie w obrazowaniu medycznym i w radiobiologii.

zadanie 2. Eksperymenty promieniowania kosmicznego: AUGER, CREDO i P-ONE (Dariusz Góra)

cel realizacji zadania

1. Analiza procesu detekcji wielkich pęków atmosferycznych, akwizycja i analiza danych w Obserwatorium Pierre Auger (**Dariusz Góra**).
Celem eksperymentu Pierre Auger jest badanie promieni kosmicznych o skrajnie wysokich energiach, powyżej 10^{18} eV. Pochodzenie tych cząstek nie jest znane – jego wyjaśnienie jest jednym z najważniejszych problemów współczesnej astrofizyki. Obserwatorium Pierre Auger jest wyposażone w tzw. hybrydowy układ detekcji wielkich pęków atmosferycznych, który umożliwia pomiary wielkich pęków z bezprecedensową dokładnością. Dodatkowo, prowadzona obecnie rozbudowa i modernizacja Obserwatorium (AugerPrime) znacznie zwiększy jego możliwości pomiarowe, szczególnie poprawi precyzję wyznaczania składu promieni kosmicznych. Aby wykorzystać te możliwości, potrzebna jest szczegółowa analiza procesów rozwoju wielkiego pęku i jego rejestracji w detektorach, a także uściślenie wielu stosowanych do tej pory przybliżeń. Prace prowadzone w IFJ PAN koncentrują się na tych właśnie zagadnieniach. Poza tym odbywane są dyżury w Obserwatorium w celu akwizycji danych eksperymentalnych oraz analiza fizyczna tych danych.
2. Globalna analiza danych dotyczących promieniowania kosmicznego w ramach Cosmic-Ray Extremely Distributed Observatory (CREDO) (**Piotr Homola**).
Celem międzynarodowej Współpracy CREDO jest wykonanie zbiorczej analizy danych, dotyczących promieniowania kosmicznego, rejestrowanych przez detektory działające dotąd niezależnie. Analiza ta obejmuje wszelkie dostępne dane w pełnym zakresie widma energii. Zostaną wykorzystane możliwości zarówno dużych obserwatoriów (np. Obserwatorium Pierre Auger, jak i sieci detektorów edukacyjnych (np. HiSPARC, Showers of Knowledge) oraz sieci smartfonów wyposażonych w aplikacje umożliwiające rejestrację cząstek (np. CREDO Detector).
3. Eksperyment P-ONE – budowa, kalibracja, symulacje i analizy (**Paweł Malecki**).
Eksperyment Pacific Ocean Neutrino Experiment (P-ONE) ma na celu badanie strumieni neutrin o energiach w zakresie 100 TeV- 100 PeV, pochodzących ze źródeł astrofizycznych, takich jak aktywne jądra galaktyk czy rozbłyski promieniowania gamma. Analiza danych obejmie zarówno obserwację znanych obiektów-źródeł, jak i poszukiwanie nowych, dotychczas nieobserwowanych. Eksperyment jest zlokalizowany na dnie Oceanu Spokojnego u wybrzeży Kanady (na głębokości przekraczającej 2,5 km). Rejestracja cząstek – produktów oddziaływań neutrin z dnem i wodą oceanu możliwa jest dzięki promieniowaniu Czerenkowa, które rejestrowane jest przez zestaw modułów optycznych, docelowo zgrupowanych

w tzw. klastry i pokrywających znaczną objętość wody. Eksperyment ten jest w fazie budowy, obecnie istnieją dwie pilotażowe linie pomiarowe, natomiast pierwsza docelowa linia powstanie w 2024 roku. Prace prowadzone w IFJ PAN dotyczą budowy systemu laserowej kalibracji detektora, rozwoju oprogramowania do symulacji detektora oraz analiz pierwszych danych z linii pilotażowych.

planowane efekty naukowe i praktyczne

Efektom prowadzonych prac będzie przede wszystkim wyznaczenie widma energii promieni kosmicznych skrajnie wysokich energii oraz ich składu masowego, a także rozkładu kierunków ich przylotu do Ziemi. Wyniki te umożliwią testowanie modeli pochodzenia promieni kosmicznych i – prawdopodobnie – wyjaśnienie pochodzenia cząstek o skrajnie wysokich energiach.

Efektom przeprowadzenia globalnej analizy danych w ramach CREDO będzie potwierdzenie istnienia bądź wyznaczenie górnych ograniczeń na występowanie w przyrodzie wielkich kaskad cząstek o pochodzeniu pozaatmosferycznym.

Efektom prowadzonych prac w eksperymencie P-ONE będzie lepsze poznanie astrofizycznych źródeł neutrin i głębsze zrozumienie zjawisk w nich zachodzących.

zadanie 3. Badanie oddziaływań i oscylacji neutrin (Tomasz Wąchała)

cel realizacji zadania

Celem prowadzonych prac jest poznanie własności neutrin poprzez badanie ich oddziaływań i oscylacji, głównie w oparciu o eksperymenty z wiązkami neutrin akceleratorowych.

1. Udział w akceleratorowym eksperymencie neutrinowym T2K prowadzonym w Japonii i przygotowania do drugiej fazy eksperymentu - T2K-II. T2K dostarcza dokładnego pomiaru dwóch z sześciu parametrów oscylacji neutrin, różnicy kwadratów mas Δm^2_{23} i kąta mieszania θ_{23} , oraz, jako pierwszy, ograniczył (z dokładnością trzech odchyłeń standardowych) zakres wartości parametru δ_{CP} , związanego z fundamentalną symetrią CP, czyli symetrią przestrzenno-ładunkową, której ewentualne złamanie objawia się różnym prawdopodobieństwem oscylacji dla neutrin i dla antyneutrin. Dokładniejszy pomiar δ_{CP} jest priorytetem T2K na następne lata. W eksperymencie T2K, grupa krakowska zajmuje się pomiarami przekrojów czynnych dla oddziaływań neutrin mionowych w bliskim detektorze ND280, rozwijaniem oprogramowania do rekonstrukcji i analizy danych oraz rozwojem strony publicznej T2K. W ramach przygotowań do T2K-II grupa bierze udział w modernizacji detektora ND280: projektuje i wytwarza elementy nowych komór TPC dla modernizowanego bliskiego detektora ND280, bierze udział w testach tych komór w CERN, uczestniczy w pracach związanych z integracją nowych poddetektorów w ND280 oraz bezpieczeństwem prac związanych z modernizacją na terenie ośrodka akceleratorowego J-PARC w Japonii. Zbieranie danych fizycznych w ramach T2K-II ma rozpocząć się w 2023 roku.

2. Prace przygotowawcze dla programu badań neutrin w eksperymencie SBN w Fermilab z krótką bazą pomiarową i z wykorzystaniem Europejskiej Platformy Neutrinowej w CERN. Eksperyment SBN w Fermilabie dedykowany jest poszukiwaniom neutrin sterylnych z wykorzystaniem trzech detektorów ciekło-argonowych: SBND, MicroBooNE i ICARUS. Prace z krakowskim udziałem dotyczą detektora ICARUS, a w szczególności systemów detekcji światła scyntylacyjnego i systemu wyzwalania. Detektor ICARUS rozpoczął zbieranie danych w 2021 roku.
3. Włączenie się w prace w projekcie Hyper-Kamiokande (HK) - następcy eksperymentu T2K. W ramach projektu zbudowany zostanie nowy daleki detektor, również o nazwie Hyper-Kamiokande (5-krotnie większy od obecnego dalekiego detektora Super-Kamiokande), oraz pośredni detektor IWCD (Intermediate Water Cherenkov Detector). HK będzie korzystał z, modernizowanych obecnie, wiązki neutrin i układu bliskich detektorów eksperymentu T2K. Uruchomienie eksperymentu HK planowane jest na 2027 rok. Grupa krakowska HK jest zaangażowana w popularyzację w ramach komitetu HK Outreach.

planowane efekty naukowe i praktyczne

Efektom prac prowadzonych w eksperymentach T2K, T2K-II, HK i programu badań neutrin w CERN będzie lepsze poznanie oscylacji i oddziaływań neutrin.

zadanie 4. Eksperyment ATLAS na akceleratorze LHC w CERN (Ewa Stanecka)

cel realizacji zadania

Badania oddziaływań proton-proton i ciężkich jonów przy energiach LHC.

1. Udział w analizie danych proton-proton (**Anna Kaczmarska, Paweł Brückman de Renstrom**).
2. Udział w analizie danych ołów-ołów i proton-ołów (**Adam Trzupek**).
3. Obsługa spektrometru ATLAS w trakcie naświetlań, rozwój oprogramowania do rekonstrukcji śladów cząstek naładowanych oraz identyfikacji cząstek, przygotowanie danych (**Krzysztof Woźniak**).
4. Zarządzanie systemem kontroli detektora TRT oraz prace inżynieryjne przy modyfikacji, wymianie lub naprawie aparatury detektora wewnętrznego (**Dominik Derendarz, Ewa Stanecka**).
5. Udział w pracach badawczo-rozwojowych dla Super (HL)-LHC (**Marcin Wolter, Paweł Brückman de Renstrom**).
6. Modernizacja i przystosowanie detektora ATLAS do eksperymentu przy akceleratorze HL-LHC w CERN (**Ewa Stanecka**).
7. Rozwój infrastruktury komputerowej typu Grid dla eksperymentów LHC, w tym udział w zarządzaniu i rozbudowie gridowego klastra komputerowego w IFJ PAN (**Bartłomiej Żabiński**).

planowane efekty naukowe i praktyczne

Prowadzone prace kontynuują badania szeregu szczegółowych przewidywań Modelu Standardowego i pozwolą wykryć lub wykluczyć istnienie dodatkowych bozonów pola Higgsa oraz ewentualnie badać ich własności, korzystając z licznych możliwych kanałów rozpadu. Szeroki program badawczy eksperymentu zawiera też analizy prowadzące do potwierdzenia przewidywań modeli supersymetrycznych. Prowadzone przez zespół IFJ PAN analizy przyczynią się do wykrycia lub istotnego przesunięcia granic obserwowalności efektów spoza Modelu Standardowego.

Istotnymi efektami naukowymi będą wyniki badań oddziaływań ciężkich jonów, które pozwolą na dalsze poznanie własności nowego stanu materii – plazmy kwarkowo-gluonowej. Grupa zaangażowana jest również w modernizację detektora ATLAS do eksperymentu przy akceleratorze HL-LHC, który będzie dostarczał zderzeń proton-proton ze świetnością o rząd wielkości większą niż obecny akcelerator LHC. W szczególności prowadzone są prace nad nowym, całkowicie krzemowym detektorem śladów cząstek naładowanych.

Do efektów praktycznych będą należeć liczne publikacje w renomowanych czasopismach naukowych oraz wystąpienia na ważnych międzynarodowych konferencjach. W ramach prowadzonych badań realizowane są prace doktorskie, prace magisterskie oraz praktyki studenckie.

zadanie 5. Eksperyment LHCb na akceleratorze LHC w CERN **(Mariusz Witek)**

cel realizacji zadania

Badania nad niezachowaniem parzystości kombinowanej CP w rozpadach mezonów B, badanie rzadkich rozpadów mezonów B oraz poszukiwanie efektów spoza Modelu Standardowego.

1. Udział w przygotowaniach eksperymentu LHCb do pracy przy zwiększonej świetności wiązki LHCb-Upgrade **(Mariusz Witek)**.
2. Rozwój i obsługa oprogramowania eksperymentu LHCb **(Marcin Kucharczyk)**.
3. Analiza danych eksperymentu LHCb **(Jolanta Brodzicka)**.
4. Rozbudowa lokalnej infrastruktury obliczeniowej i rozwój narzędzi do analizy danych eksperymentalnych w systemach rozproszonych typu Grid i systemach typu „Cloud Computing” **(Mariusz Witek)**.
5. Udział w projektach GAMBIT oraz HFLAV **(Marcin Chrząszcz)**.
6. Udział w projektowaniu i produkcji detektorów śladowych Magnet Station dla zmodernizowanego detektora LHCb **(Marcin Chrząszcz)**.

planowane efekty naukowe i praktyczne

Prowadzone prace związane są z badaniami, w które zaangażowana jest grupa z IFJ PAN w ramach współpracy eksperymentu LHCb. Głównymi efektami, oprócz wypełnienia

obowiązków obsługi i modernizacji detektora oraz rozwoju oprogramowania i infrastruktury obliczeniowej, będą wyniki prowadzonych analiz prezentowane na ważnych konferencjach naukowych i publikowane w recenzowanych czasopismach. Po zakończeniu fazy Run2 pod koniec 2018 roku, prace detektorowe koncentrują się na modernizacji detektora RICH oraz opracowaniu nowego oprogramowania spełniającego wymagania pracy przy wyższej świetlności. Prowadzone są także prace nad nowym detektorem śladowym Magnet Stations, który pozwoli na rekonstrukcję śladów niskopędowych.

Grupa LHCb z IFJ PAN jest zaangażowana w różnorodne analizy fizyczne. Prowadzone są badania łamania symetrii CP w sektorze kwarków pięknych i powabnych. Poszukiwane są procesy z łamaniem liczby leptonowej wzbronione w Modelu Standardowym oraz procesy bardzo rzadkie, mogące uwidocznić efekty Nowej Fizyki. W szczególności badane są rozkłady kątowe w rzadkich rozpadach mezonów pięknych, posiadające duży potencjał odkrycia takich efektów. Poszerzono zakres badań dla hadronów powabnych o badania rzadkich rozpadów barionów zawierających kwark powabny oraz poszukiwanie Nowej Fizyki w radiacyjnych rozpadach mezonów powabnych.

Kontynuowana jest współpraca z projektami GAMBIT i HFLAV. Przeprowadzane są dopasowania nowych modeli fizycznych do wyników doświadczalnych i wyznaczane są uśrednione właściwości leptonu tau.

Analizowane są procesy produkcji dżetów kwarków pięknych, zarówno w ramach Modelu Standardowego, jak i w jego rozszerzeniach. Prowadzona jest także analiza korelacji Bosego-Einsteina. W ramach prowadzonych badań realizowane są prace doktorskie, prace magisterskie oraz praktyki studenckie.

zadanie 6. Projekt zderzaczy elektron-pozyton (liniowych ILC i CLIC oraz kołowego FCC), badanie ich potencjału fizycznego (Marcin Kucharczyk)

cel realizacji zadania

Liniowy zderzacz (ILC) wykorzystujący zderzenia elektron-pozyton wielkiej energii rzędu 1 TeV w środku masy może zostać uruchomiony do końca trzeciej dekady naszego wieku. Równocześnie w ośrodku CERN rozwijany jest projekt liniowego zderzacza CLIC, o większej energii zderzeń (do 3 TeV), wykorzystującego nowatorską technologię przyśpieszania oraz projekt zderzacza kołowego o bardzo wysokiej świetlności o nazwie FCC (Future Circular Collider).

Realizacja programu fizycznego każdego z tych zderzaczy wymaga precyzyjnego pomiaru świetlności. Do tego celu zaprojektowano, przy aktywnym udziale grupy z IFJ PAN, detektor LumiCal zawierający dwa elektromagnetyczne kalorymetry. Trwają prace nad zastosowaniem programowalnych układów logicznych FPGA do nowej struktury elektroniki oraz systemu akwizycji danych. Przeprowadzenie dedykowanych symulacji Monte Carlo z udziałem detektora LumiCal pozwoli na oszacowanie czułości eksperymentalnej pomiaru wybranych

obserwacji Modelu Standardowego. Prace wykonywane są w ramach międzynarodowych współprac FCAL, ILD, CLICdp oraz FCC-ee (TLEP).

Zadania:

1. Udział w badaniach procesów fizycznych przy ILC/CLIC/FCC:
- Symulacje fizyczne zmierzające do oszacowania czułości eksperymentalnej poszukiwań łamania liczby leptonowej i neutrin Majorany w rozpadach bozonu Z i leptonu τ oraz czułości na rzadkie rozpady mezonów B (**Marcin Chrzęszcz**).
2. Uruchomienie na lokalnych zasobach obliczeniowych w IFJ PAN oficjalnego oprogramowania współprac związanych z wyżej wymienionymi zderzaczami (Cloud Computing, Grid) oraz udział w testach prototypu detektora LumiCal na wiązce elektronowej w ośrodkach DESY/CERN (**Tomasz Wojtoń**).
3. Symulacje fizyczne zmierzające do oszacowania czułości na obserwację egzotycznych cząstek przewidywanych przez modele Hidden Valley (**Marcin Kucharczyk**).

planowane efekty naukowe i praktyczne

Wyniki prac będą zamieszczane w raportach związanych z liniowym zderzaczem, prezentowane na konferencjach w ramach współpracy FCAL, ILD, CLICdp oraz FCC-ee i będą stanowiły bazę dla przyszłych publikacji.

zadanie 7. Eksperyment MUonE na akceleratorze SPS w CERN **(Marcin Kucharczyk)**

cel realizacji zadania

Precyzyjne pomiary poprawki hadronowej do anomalnego momentu magnetycznego mionu wykorzystujące elastyczne rozpraszanie mionów na elektronach atomów o niskiej liczbie atomowej w celu poszukiwania zjawisk spoza Modelu Standardowego.

1. Udział w przygotowaniach do uruchomienia eksperymentu MUonE (**Marcin Kucharczyk**).
2. Rozwój algorytmów rekonstrukcji w trybie *online* i *offline* (**Mariusz Witek**).
3. Wykorzystanie technik sztucznych sieci neuronowych do optymalizacji algorytmów rekonstrukcji przypadków (**Marcin Kucharczyk**).
4. Rozwój programu pełnej symulacji detektora (**Mariusz Witek**).

Prowadzone prace związane są z badaniami, w które zaangażowana jest grupa z IFJ PAN w ramach współpracy eksperymentu MUonE na akceleratorze SPS w CERN, który jest eksperymentem na wiązce mionów planowanym na lata 2022-2026. Obserwowane obecnie odstępstwo zmierzonego anomalnego momentu magnetycznego od wartości przewidzianej w Modelu Standardowym na poziomie 3.6σ sugeruje możliwość występowania zjawisk Nowej Fizyki. Eksperyment MUonE pozwoli precyzyjnie zmierzyć przyczynę od procesów

hadronowych, a co za tym idzie, ograniczyć znacząco błąd teoretyczny. Pozwoli to na zwiększenie znaczącości ewentualnego odkrycia do około 7σ . Głównymi efektami, oprócz wypełnienia obowiązków związanych z uruchomieniem eksperymentu MUonE, będzie przygotowanie algorytmów rekonstrukcji przypadków zarówno w trybie offline jak i online, za które grupa eksperymentu MUonE z IFJ PAN jest całkowicie odpowiedzialna, jak również przygotowanie pełnej symulacji detektora w ramach pakietu FairRoot. Ważnym rezultatem będą również wyniki prowadzonych analiz fizycznych na danych z testowej wiązki mionów zebranych w roku 2018, przeprowadzonych z wykorzystaniem opracowanych i rozwijanych przez krakowską grupę eksperymentu MUonE algorytmów rekonstrukcji przypadków. Grupa MUonE z IFJ PAN jest zaangażowana również w badania związane z wykorzystaniem technik sztucznych sieci neuronowych (*DNN – Deep Neural Network*) w celu możliwie maksymalnej optymalizacji algorytmów tzw. *pattern recognition* oraz algorytmów rekonstrukcji przypadków. Wyniki prowadzonych badań będą prezentowane na ważnych konferencjach naukowych i publikowane w recenzowanych czasopismach.

zadanie 8. Badania w zakresie astronomii gamma (Jacek Niemiec)

cel realizacji zadania

1. Udział w eksperymencie H.E.S.S. (High-Energy Stereoscopic System) **(Jacek Niemiec)**.
 - a. Akwizycja i analiza danych obserwacyjnych, w szczególności dotyczących pozostałości po supernowych oraz aktywnych jąder galaktyk.
 - b. Przygotowywanie projektów obserwacyjnych.
2. Udział w eksperymencie HAWC (High Altitude Water Cherenkov) **(Sabrina Casanova)**.
 - a. Akwizycja i analiza danych obserwacyjnych, w szczególności w celu poszukiwania źródeł promieniowania kosmicznego wysokich energii.
 - b. Udział w obsłudze detektora.
3. Udział w fazie projektowej obserwatorium CTA (Cherenkov Telescope Array) **(Jacek Niemiec)**.
 - a. Przygotowywanie podstaw naukowych projektu.
 - b. Prowadzenie i koordynowanie prac prototypowych nad strukturą mechaniczną teleskopu Czerenkova SST-1M (Single-mirror Small-Size Telescope). Akwizycja i analiza danych obserwacyjnych uzyskanych za pomocą mini sieci dwóch teleskopów SST-1M.
 - c. Konstrukcja zwierciadeł kompozytowych dla średnich teleskopów sieci CTA.
4. Badanie nietermicznej emisji Dysku Galaktycznego **(Sabrina Casanova)**.
 - a. Modelowanie procesów transportu promieniowania kosmicznego oraz emisji promieniowania gamma obiektów rozciągłych w Galaktyce, porównanie przewidywań modelowych z danymi obserwacyjnymi projektów Fermi-LAT, H.E.S.S. i HAWC.

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Publikacje prac naukowych.
- Określenie celów naukowych obserwatorium CTA.
- Dokończenie budowy oraz testów mini sieci dwóch teleskopów SST-1M.
- Produkcja oraz testy zwierciadeł kompozytowych dla średniego teleskopu CTA.

zadanie 9. Badanie procesów elastycznego rozpraszania, miękkiej i twardej dyfrakcji (Janusz Chwastowski)

cel realizacji zadania

1. Udział w analizie danych i w pracach nad detektorami ATLAS Roman Pots (ARP) **(Janusz Chwastowski)**.
 - a. Analiza rozpraszania elastycznego przy energiach LHC **(Rafał Staszewski)**.
 - b. Analiza wielocząstkowych stanów końcowych w pojedynczej dysocjacji dyfrakcyjnej w oddziaływaniach proton-proton z wykorzystaniem detektorów ARP **(Rafał Staszewski)**.
 - c. Analiza produkcji dżetów w procesach pojedynczej i ekskluzywnej produkcji dyfrakcyjnej **(Maciej Trzebiński)**.
 - d. Analiza produkcji dwu-fotonowej z tagowaniem protonu **(Rafał Staszewski)**.
 - e. Koordynacja działania detektorów ARP **(Maciej Trzebiński)**.
 - f. Zarządzanie systemem kontroli detektora ARP **(Elżbieta Banaś)**.
 - g. Zarządzanie systemem trygera i akwizycji danych detektorów ARP i ZDC **(Krzysztof Korcyl)**.
2. Udział w przygotowaniu eksperymentu ePIC na przyszłym akceleratorze Elektron Ion Collider (EIC) w Brookhaven National Laboratory, USA. **(Janusz Chwastowski, Rafał Staszewski)**.

planowane efekty naukowe i praktyczne

Prowadzone prace są związane z badaniem przewidywań Modelu Standardowego w zakresie rozpraszania elastycznego, miękkich i twardych procesów dyfrakcyjnych oraz procesów dwu-fotonowych i potencjalnych sygnatur rozszerzeń Modelu Standardowego.

Udział w przygotowaniach związanych z eksperymentem ePIC na przyszłym akceleratorze EIC w BNL, USA, które dotyczą układu precyzyjnego pomiaru świetlności maszyny, tagowania elektronów rozproszonych pod małymi kątami (wspólnie z AGH, BNL), tagowania protonów i innych cząstek wyprodukowanych w przód (wspólnie z BNL) oraz testów radiacyjnych detektorów LGAD (wspólnie z BNL, Rice University).

Badanie zderzeń spolaryzowanych protonów przy energiach RHIC jest kontynuacją prac skupiających się na analizie elastycznego rozpraszania proton-proton oraz procesów pojedynczej i podwójnej dysocjacji dyfrakcyjnej. Do efektów praktycznych będą należeć publikacje w renomowanych czasopismach naukowych oraz przedstawianie wyników prowadzonych analiz na konferencjach międzynarodowych.

BADANIA TEORETYCZNE

zadanie 10. Teoria i fenomenologia oddziaływań fundamentalnych z uwzględnieniem eksperymentów fizyki cząstek elementarnych (Krzysztof Kutak)

cel realizacji zadania

Wykonywanie obliczeń teoretycznych: analitycznych, numerycznych i symulacji Monte Carlo w celu precyzyjnego wyjaśnienia i dostarczenia przewidywań dla eksperymentów prowadzonych przy istniejących i planowanych zderzaczach cząstek (LHC, fabryki mezonów, ILC, CLIC, FCC-ee, FCC-hh, CEPC i EIC). Obliczenia są prowadzone w ramach kwantowej teorii pola, a ich precyzja jest istotnym parametrem i musi być wyższa niż precyzja pomiarów, aby nie pogarszać ostatecznej dokładności wyniku. Obliczenia swoim zakresem obejmują oddziaływania: elektromagnetyczne, słabe, silne.

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Publikacje prac naukowych: w formie artykułów wysłanych do archiwów internetowych ogólnodostępnych oraz międzynarodowych czasopism recenzowanych.
- Wystąpienia na konferencjach międzynarodowych i krajowych.
- Seminaria i wykłady, zarówno w macierzystej instytucji – IFJ PAN, jak i w zagranicznych oraz krajowych ośrodkach naukowych, seminaria on-line.
- Prezentacje popularnonaukowe do szerokiego kręgu odbiorców.
- Konstrukcja i rozwój oprogramowania dla potrzeb analizy danych w detektorach cząstek.
- Konstrukcja oprogramowania numerycznego ogólnego zastosowania.

zadanie 11. Nietermiczne procesy w plazmie kosmicznej (Jacek Niemiec)

cel realizacji zadania

Modelowanie zjawisk fizycznych i procesów zachodzących w skali mikroskopowej występujących w bezzderzeniowej plazmie kosmicznej za pomocą kinetycznych symulacji numerycznych Particle-In-Cell.

1. Badanie młodych pozostałości po wybuchach supernowych:
 - a. Procesy pre-akceleracji elektronów i protonów w nierelatywistycznych falach uderzeniowych.

- b. Procesy formowania się fal uderzeniowych, generacji turbulencji elektromagnetycznej w sąsiedztwie szoków oraz rozpraszania wysokoenergetycznych cząstek.
2. Badanie procesów pre-akceleracji elektronów i protonów w nierelatywistycznych falach uderzeniowych o małej liczbie Macha rozchodzących się w słabo zmagetyzowanej plazmie gromad galaktyk.
3. Badania dżetów aktywnych jąder galaktyk:
 - a. Procesy formowania się relatywistycznych fal uderzeniowych w zmagetyzowanej plazmie, przyspieszanie elektronów i protonów, efekty w plazmie o mieszanym składzie chemicznym.
 - b. Globalne modelowanie dżetów relatywistycznych.
4. Badanie niestabilności plazmowych i procesów generacji turbulencji elektromagnetycznej oraz przyspieszania i rozpraszania cząstek w innych układach plazmy kosmicznej.

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Publikacje wyników w renomowanych czasopismach naukowych, wystąpienia na międzynarodowych konferencjach, realizacja prac doktorskich.
- Rozwój oprogramowania oraz metod symulacji numerycznych techniką Particle-In-Cell.

zadanie 12. Wybrane problemy fizyki matematycznej (Katarzyna Górka)

cel realizacji zadania

1. Konstrukcja i zastosowanie modeli anomalnego transportu do opisu dyfuzji anomalnej oraz procesów relaksacyjnych, w szczególności relaksacji w dielektrykach (*współpraca z Uniwersytetem w Bari, Włochy; Uniwersytetem w Poczdamie, Niemcy; Uniwersytetem Obuda w Budapeszcie, Węgry; Macedońską Akademią Nauk i Sztuk i Uniwersytetem św. Cyryla i Metodego w Skopie, Macedonia Północna; Uniwersytetem w Ostrawie, Czechy*)
2. Badanie własności falowych nieujemnych rozwiązań równania Cattaneo (telegrafistów) zlokalizowanych na zwartym nośniku (*współpraca z Macedońską Akademią Nauk i Sztuk i Uniwersytetem św. Cyryla i Metodego w Skopie, Macedonia Północna*).
3. Własności uogólnionych stanów koherentnych budowanych w oparciu o własność reprodukcji. Konstrukcja i wykorzystanie uogólnień schematu Bargmanna. Analiza własności metod kwantowania bazujących na uogólnionych stanach koherentnych (*współpraca z Uniwersytetem Sorbony w Paryżu, Francja; Instytutem Matematyki UJ oraz Wydziałem Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH*).

planowane efekty naukowe i praktyczne

Publikacja wyników w czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Uczestnictwo w międzynarodowych konferencjach naukowych, prezentacja wyników w postaci wystąpień konferencyjnych, seminariów i wykładów.

Temat 2. BADANIA EKSPERYMENTALNE I TEORETYCZNE W ZAKRESIE FIZYKI JĄDROWEJ I ODDZIAŁYWAŃ SILNYCH

BADANIA EKSPERYMENTALNE

Badanie oddziaływań jądrowych w obszarze niskich i pośrednich energii

zadanie 1. Mechanizm reakcji jądrowych i produkcja mezonów w zderzeniach hadronów (Adam Kozela)

A. Mechanizm reakcji jądrowych

cel realizacji zadania

Badanie mechanizmu reakcji w zderzeniach ciężkich jonów:

1. Analiza danych z eksperymentów ciężkojonowych (*eksperymenty: INDRA w GSI, ALADIN w GSI*) (Jerzy Łukasik).
2. Badanie reakcji spalacji jądrowej wywołanej protonami (eksperymenty HADES i PISA) (Krzysztof Pysz).
3. Badanie zależności energii symetrii od gęstości (*współpraca ASY-EOS w GSI, Darmstadt oraz współpraca z ośrodkami w RIKEN, Japonia i MSU w USA*) (Jerzy Łukasik).
4. Badanie mechanizmu produkcji lekkich cząstek naładowanych w reakcjach proton-tarcza oraz pion-tarcza w eksperymencie HADES w GSI Darmstadt (*współpraca z GSI Darmstadt oraz z IF UJ*) (Krzysztof Pysz).

planowane efekty naukowe i praktyczne

Analiza danych eksperymentalnych, opracowanie modeli procesów jądrowych, opracowanie nowych metod analizy danych, publikacje naukowe.

B. Produkcja mezonów w zderzeniach hadronów

cel realizacji zadania

1. Produkcja mezonów w zderzeniach jądrowych; pomiary poświęcone strukturze i oddziaływaniu mezonów (*eksperyment WASA na synchrotronie COSY w FZ Jülich, Niemcy, współpraca z IF UJ*) (Krzysztof Pysz).

2. Poszukiwanie efektów łamania symetrii odwrócenia czasu poprzez pomiar elektrycznego momentu dipolowego neutronów (*współpraca nEDM w Instytucie Paula Scherrera PSI*), egzotycznych korelacji kątowych w rozpadzie neutronu (*eksperyment BRAND, ILL, Genoble*) **(Adam Kozela)**.
3. Poszukiwanie efektów działania oddziaływań trójciałowych w reakcji „breakup’u” $d(p,pp)X$, oraz $d(d,X)Y$ (*eksperyment w KVI, Groningen w Holandii*) **(Adam Kozela)**.
4. Poszukiwanie łamania liczby barionowej poprzez pomiar oscylacji neutron-antyneutron na Europejskim Źródle Spalacyjnym ESS w Lund **(Krzysztof Pysz)**.
5. Badanie produkcji i rozpadów mezonów i hiperonów w zderzeniach proton-proton oraz badanie reakcji indukowanych pionami ujemnymi dla energii dostępnych na akceleratorze SIS18/FAIR w eksperymencie *HADES@GSI* **(Izabela Ciepał)**.

Prace aparaturowe

1. Symulacje reakcji jądrowych, układów eksperymentalnych oraz detektorów, analiza danych, rozwój metod identyfikacyjnych, konstrukcja detektorów cząstek naładowanych (zastosowanie w badaniach energii symetrii przy wysokich gęstościach - *współpraca ASY-EOS II (GSI/FAIR), SPIRIT (MSU, RIKEN)*) **(Jerzy Łukasik)**.
2. Budowa i testy detektorów oraz rozwój systemów zbierania danych opartych o cyfrową analizę sygnałów dla układu pomiarowego PANDA na akceleratorze FAIR **(Krzysztof Pysz)**.

planowane efekty naukowe i praktyczne

Publikacje naukowe dotyczące podstawowych własności oddziaływań i składników materii, budowa aparatury do kilku eksperymentów, opracowanie nowych systemów pomiarowych i systemów analizy danych.

zadanie 2. Ewolucja własności jąder w funkcji temperatury, spinu i izospinu **(Piotr Bednarczyk)**

cel realizacji zadania

1. Badanie wysokospinowych stanów wzbudzonych w izotopach Sc i Ca, związanych ze wzbudzeniem rdzenia ^{40}Ca **(Piotr Bednarczyk)**.
2. Spektroskopowe badania efektów kolektywnych i deformacji kształtu w jądrach z różnych obszarów masowych przy wysokich spinach z użyciem: spektrometrów promieniowania gamma, m. in. *AGATA, PARIS, EAGLE*, nu-Ball, detektorów cząstek takich jak: *NEDA, DIAMANT* i krakowskiego detektora jąder odrzutu *RFD*, oraz metodą wzbudzenia kulombowskiego (*współpraca z GANIL (Francja), IJCLAB (Francja), LNL (Włochy), GSI/FAIR (Niemcy), ŚLCJ (Warszawa)*) **(Piotr Bednarczyk)**.
3. Pomiar spektroskopowy struktury egzotycznych jąder atomowych na wiązkach relatywistycznych fragmentów w *GANIL (Francja)* i *GSI/FAIR (Niemcy)*, jak

i z wiązkami wtórnymi typu *ISOL* w *GANIL*, *IJCLAB* (Francja) oraz *CERN-ISOLDE* (Szwajcaria) **(Piotr Bednarczyk)**.

4. Badanie własności gorących jąder atomowych z różnych obszarów masowych metodami dyskretnej spektroskopii gamma oraz poprzez rejestrację rozpadu gamma gigantycznych rezonansów i emisji cząstek naładowanych i neutronów (*współpraca z GANIL (Francja), LNL (Włochy), IJCLAB (Francja), RCNP (Japonia), ELI-NP (Rumunia)*) **(Maria Kmiecik)**.
5. Badania eksperymentalne stanów wzbudzonych i ich rozpadów w jądrach:
i) z obszaru podwójnie magicznych rdzeni: ^{78}Ni , ^{132}Sn i ^{208}Pb – stany izomeryczne, sprzężenie wzbudzeń jednocząstkowych i kolektywnych, ii) bogatych w neutrony z okolicy $N=60$ - przejście fazowe związane ze zmianą kształtu jądra, iii) $^{62-66}\text{Ni}$ - izomery kształtu, iv) z okolicy ^{18}O - manifestacja sił trójciałowych, v) ^7Li – rozpad gamma do continuum ze stanu po wychwycie neutronu (*współpraca z GANIL (Francja), LNL (Włochy), IJCLAB (Francja), CERN (Szwajcaria), ILL (Francja), IFIN-HH (Rumunia)*) **(Bogdan Fornal)**.
6. Badanie egzotycznej radioaktywności w procesach dwu- i jednofotonowego rozpadu gamma jąder: ^{137}Ba , ^{60}Ni i ^{54}Cr , z użyciem detektorów układu PARIS **(Michał Ciemała)**.

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Publikacje wyników w renomowanych czasopismach naukowych o międzynarodowym zasięgu.
- Wystąpienia i prezentacje na konferencjach międzynarodowych w formie referatów na zaproszenie, referatów zgłoszonych oraz posterów.
- Wykłady i seminaria w naukowych instytucjach zagranicznych i krajowych.
- Uzyskane wyniki będą stanowiły materiał do przygotowania prac doktorskich i magisterskich.

zadanie 3. Prace badawczo-rozwojowe nowych technik detekcji dla fizyki jądrowej (Piotr Bednarczyk)

cel realizacji zadania

1. Instalacja pomocniczych detektorów cząstek (m.in. detektor jąder odrzutu RFD) w połączeniu ze spektrometrami promieni gamma (*AGATA, EAGLE*) dla eksperymentów na wiązkach jonów (*współpraca z GANIL, IJCLAB (Francja) i LNL (Włochy), ŚLCJ (Warszawa)*).
2. Prototypowanie elektroniki dla nowych detektorów scyntylicyjnych (LaBr_3) oraz detektorów diamentowych czułych na pozycję (*współpraca z GSI/FAIR (Niemcy), GANIL (Francja), Uniwersytetem w Mediolanie (Włochy), Uniwersytetem w Huelvie i Uniwersytetem w Walencji (Hiszpania)*).
3. Rozwój systemów akwizycji danych dla kompleksowych układów detekcyjnych (*współpraca z GSI/FAIR (Niemcy), GANIL (Francja), LNL (Włochy)*).
4. Projektowanie i budowa segmentowych detektorów do monitoringu wiązek

fragmentów o dużym natężeniu oraz infrastruktury dla detektorów promieniowania dla eksperymentów spektroskopowych na wiązkach radioaktywnych (*współpraca z GSI/FAIR, (Niemcy)*).

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Wykonanie pomiarów i analiza danych z testów detektorów LaBr_3 na wiązce (*IFJ PAN, Kraków, TANDEM-ALTO, IJCLAB Orsay*) pozwoli na porównanie wyników eksperymentalnych z symulacjami i opracowanie algorytmów do rekonstrukcji pełnej energii rejestrowanego promieniowania.
- Modyfikacja detektora RFD i innych detektorów pomocniczych pozwoli na ich użycie w planowanych eksperymentach spektroskopii gamma.
- Opracowane algorytmy analizy kształtu impulsu pozwolą na rozwikłanie złożonych sygnałów generowanych w układzie scyntylatorów typu foswich: $\text{LaBr}_3\text{-NaI}$. Zostanie wykonany i przetestowany prototyp cyfryzatora do odczytu szybkich detektorów scyntylicyjnych. Opracowane zostaną metody analizy czasowej szybkich sygnałów z detektorów diamentowych.
- Wykonany zostanie prototyp programowalnego układu FPGA do integracji i synchronizacji cyfrowych i analogowych systemów akwizycji danych w laboratoriach *GANIL i GSI/FAIR*.

zadanie 4. Projekt PARIS (Adam Maj)

cel realizacji zadania

1. Projektowanie i budowa układu do detekcji wysokoenergetycznego promieniowania gamma – *PARIS*, testy prototypowych detektorów scyntylicyjnych.

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Wykonanie prototypu spektrometru wysokoenergetycznego promieniowania gamma- *PARIS Demonstrator-PD* (8 klastrów detektorów *phoswich* LaBr_3/NaI i CeBr_3/NaI)
- Wykorzystanie PD w pomiarach fizycznych, prowadzonych na wiązkach jonów w *IFJ PAN, ŚLCJ, GANIL, LNL, IJCLAB*.

zadanie 5. Badania z fizyki jądrowej na wiązce protonów cyklotronu Proteus C-235 (Adam Maj)

cel realizacji zadania

1. Poszukiwanie efektów działania oddziaływań trójciałowych w rozpraszaniu elastycznym i w reakcji „breakup’u” $d(p,pp)X$ i ${}^3\text{He}(p,pd)X$, z wykorzystaniem detektora *BINA (Adam Kozela)*.
2. Badanie efektów relatywistycznych w reakcji „breakup’u” $d(p,pp)n$ z wykorzystaniem detektora *KRATTA (Izabela Ciepał)*.

3. Badania konkurencji procesów rozszczepienia i spalacji, indukowanych przez szybkie protony z użyciem *detektora KRATTA* (**Krzysztof Pysz**).
4. Badanie kolektywnych wibracji jądra atomowego, wzbudzanych w reakcjach z wiązką protonów, metodami spektroskopii gamma z zastosowaniem układu scyntylatorów *HECTOR* oraz *LaBr₃ PARIS* (**Maria Kmiecik**).
5. Przeprowadzenie eksperymentów dyskretnej spektroskopii gamma (**Piotr Bednarczyk**).
6. Badanie rozpadu rezonansu M4 w jądrach ¹³C i ¹⁴N wzbudzanych w reakcji (p,p') (**Natalia Cieplicka**).
7. Prowadzenie testów różnych układów detekcyjnych na wiązce (**Michał Ciemąta**).
8. Implementacja metody czasu przelotu do precyzyjnej diagnostyki wiązki protonowej wykorzystywanej w Centrum Cyklotronowym Bronowice (**Wiktor Parol**).

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Określony zostanie udział sił trójciałowych w układach złożonych z trzech nukleonów w szerokim zakresie energii reakcji.
- Zmierzone zostaną charakterystyki gigantycznych rezonansów jądrowych przy niskim kręcie w funkcji energii wzbudzenia jądra.
- Zbudowany będzie system detekcyjny do dyskretnej spektroskopii gamma; opracowana zostanie metoda prowadzenia identyfikacji dyskretnych przejść w produktach reakcji indukowanych protonami o wysokich energiach.
- Zmierzone zostaną charakterystyki rozpadu rezonansu M4 w lekkich jądrach.
- Zmierzone zostaną funkcje odpowiedzi różnych detektorów na protony w szerokim zakresie energii oraz na wysokoenergetyczne kwanty gamma; wyniki będą stanowiły podstawę planowania pomiarów na wiązce z użyciem testowanych detektorów.

Badanie oddziaływań jądrowych w obszarze wysokich energii

zadanie 6. Oddziaływania relatywistycznych jonów przy energiach LHC i SPS - eksperymenty ALICE i NA61/SHINE (Marek Kowalski**)**

cel realizacji zadania

Celem zadania jest badanie zderzeń relatywistycznych jąder ołowiu i protonów przy energiach SPS i LHC, prowadzące do uzyskania informacji o gęstej i gorącej materii jądrowej.

1. Eksperyment ALICE na akceleratorze LHC w CERN:
 - a. Udział w zbieraniu danych w eksperymencie ALICE (**Marek Kowalski**).
 - b. Badanie zderzeń ultraperyferycznych i dyfrakcyjnych (**Adam Matyja**).
 - c. Badanie korelacji i fluktuacji w zderzeniach protonów i jąder atomowych (**Iwona Sputowska**).
 - d. Badanie charakterystyk cząstek produkowanych w zderzeniach jądro-jądro (**Jacek Otwinowski**).
 - e. Prace rozwojowe i modernizacyjne detektora FIT (**Jacek Otwinowski**).

- f. Prace projektowe detektora FOCAL (**Jacek Otwinowski**).
2. Eksperyment NA61/SHINE na akceleratorze SPS w CERN:
 - a. Badanie efektów elektromagnetycznych w zderzeniach jąder atomowych przy energiach SPS - studia zależności od wielkości jądra i energii zderzenia (**Andrzej Rybicki**).

planowane efekty naukowe i praktyczne

Efekty zadania to publikacje naukowe w renomowanych czasopismach i prezentacje na prestiżowych konferencjach i warsztatach. Efektem prac modernizacyjnych powinno być otrzymanie wyników symulacji i testów zmodernizowanych elementów detektorów FIT i FOCAL.

W roku 2022 został uruchomiony zmodernizowany zderzacz LHC i rozpoczęto zbieranie danych w zderzeniach proton-proton i jądro-jądro, również z wykorzystaniem nowego detektora FIT. Rozpoczęto także prace projektowe przy modernizacji detektora FIT, jak i prace przy projektowaniu nowego detektora – kalorymetru „ku przodowi” – FOCAL.

BADANIA TEORETYCZNE

zadanie 7. Badanie struktury i dynamiki układów wielu ciał (Antoni Szczurek**)**

A. Badanie struktury i dynamiki układów wielu ciał – fizyka jądrowa

cel realizacji zadania

1. Badanie atomów i molekuł egzotycznych (**Antoni Szczurek**).
2. Produkcja mezonów, cząstek elementarnych oraz par leptonów i mezonów lub innych obiektów w zderzeniach ultrarelatywistycznych ciężkich jonów (**Wolfgang Schäfer, Mariola Klusek-Gawenda**).
3. Badanie reakcji fuzji i rozszczepienia przy pomocy równań Langevina (**Katarzyna Mazurek**).

planowane efekty naukowe i praktyczne

Publikacje naukowe w czasopismach o zasięgu międzynarodowym, wystąpienia na renomowanych konferencjach.

B. Badanie struktury i dynamiki układów wielu ciał – fizyka hadronów

cel realizacji zadania

1. Badanie mechanizmów produkcji cząstek w zderzeniach proton-proton (**Rafał Maciuła**).

2. Badanie mechanizmów produkcji cząstek w zderzeniach nukleon-jądro atomowe **(Wolfgang Schäfer)**.
3. Ekskluzywna produkcja mezonów lub par mezonów i fotonów w zderzeniach proton-proton **(Piotr Lebedowicz)**.
4. Badanie czynników kształtu przejścia dla różnych mezonów i produkcja kwarkoniów **(Izabela Babiaryz)**.
5. Badanie mechanizmów reakcji w zderzeniach elektronów na protonach i jądrach atomowych **(Wolfgang Schäfer, Antoni Szczurek)**.

planowane efekty naukowe i praktyczne

Publikacje naukowe w czasopismach o zasięgu międzynarodowym, wystąpienia na renomowanych konferencjach.

zadanie 8. Badania teoretyczne struktury materii w powiązaniu z obecnymi i przyszłymi eksperymentami (Krzysztof Golec-Biernat)

cel realizacji zadania

Celem prac jest poznanie własności oddziaływań silnych i słabych oraz cząstek elementarnych im podlegających. Badana będzie zgodność przewidywań teoretycznych z danymi doświadczalnymi w ramach następujących zadań badawczych:

1. Badanie zastosowań modeli hydrodynamicznych do opisu zderzeń jądrowych o średnich i najwyższych energiach na akceleratorach FAIR, RHIC i LHC poprzez opis fluktuacji w modelu hydrodynamiki relatywistycznej z lepkością z uwzględnieniem polaryzacji spinowej materii.
2. Analiza wielokanałowych oddziaływań mezonów w stanach końcowych z rozpadów D i z procesów fotoprodukcji na podstawie nowych wyników eksperymentalnych z ośrodków KEK, LHCb i Jefferson Laboratory.
3. Poszukiwania lekkich mezonów egzotycznych na podstawie danych z detektora GlueX w Jefferson Laboratory przy pomocy analizy oddziaływań lekkich mezonów za pomocą relacji dyspersyjnych z wbudowaną symetrią skrzyżowania w kanałach sprzężonych.
4. Analiza teoretyczna procesów wielopartonowych na zderzaczu LHC.
5. Badanie nieperturbacyjnej struktury pionu i kaonu w powiązaniu z przyszłymi eksperymentami na EIC oraz symulacjami QCD na sieciach.

Planowane współprace zagraniczne: z *Uniwersytetem w Hamburgu i DESY*, z *Uniwersytetem w Grenadzie*, z *LPNHE Uniwersytetu P. i M. Curie w Paryżu (w ramach umowy z IN2P3)*, *Instytutem Badań Jądrowych w Rež koło Pragi i Uniwersytetem w Genui oraz Pennsylvania State University i Jefferson Laboratory w USA*).

planowane efekty naukowe i praktyczne

Wyniki prac zostaną opublikowane w wiodących czasopismach i przedstawione na konferencjach międzynarodowych. Rozwijane będzie specjalistyczne oprogramowanie.

Otrzymywane wyniki także będą popularyzowane poprzez seminaria, wykłady lub audycje radiowe.

Temat 3. BADANIA FAZY SKONDENSOWANEJ MATERII

zadanie 1. Badania strukturalnych i dynamicznych własności materiałów naturalnych i syntetycznych w różnych skalach wielkości i czasu (Mirośław Gałązka)

cel realizacji zadania

1. Modele struktury i dynamiki układów z powierzchniami i złączami oraz układów niskowymiarowych, w tym ferroelastycznych granic domenowych. Projektowanie eksperymentów na takich układach w różnych skalach wielkości. Badanie i modelowanie zjawisk związanych z propagacją sygnałów akustycznych (**Piotr Zieliński**).
2. Kwantowo-mechaniczne obliczenia własności materiałów i nanomateriałów oraz materiałów związanych z konwersją energii. Obliczenia stabilności, transportu oraz własności strukturalnych w wybranych substancjach (**Zbigniew Łodziana**).
3. Badanie przemian fazowych, witrifikacji, wpływu oddziaływań dalekozasięgowych i lokalnych na zmiany dynamiki wewnętrznej oraz morfologii substancji molekularnych w różnych fazach termodynamicznych, przechodzonych oraz stanach szklistych. Poszukiwanie materiałów ciekłokrystalicznych do zastosowań jako powierzchniowe czujniki temperatury (**Mirośław Gałązka, Marcin Piwowarczyk**).
4. Modelowanie analityczne oraz komputerowe symulacje nanostrukturyzowanych cienkich warstw oraz układów makrospinowych wraz z dynamiką fal spinowych. Badanie własności magnetycznych, struktury domen oraz ruchów ścian domenowych, procesów przemagnesowania, histerezy magnetycznej, wpływu zewnętrznych pól i temperatury na konfiguracje namagnesowania (**Paweł Sobieszczyk**).

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Dostarczanie wyników, metod i przewidywań teoretycznych do wykorzystania w badaniach podstawowych i stosowanych.
- Prezentowanie wyników na krajowych i międzynarodowych konferencjach specjalistycznych oraz publikowanie ich w czasopiśmie o wysokim współczynniku wpływu.
- Planowanie eksperymentów z udziałem podmiotów i jednostek współpracujących.

zadanie 2. Badania fazy skondensowanej metodą spektroskopii jądrowej; anihilacja pozytonów (Jerzy Dryzek)

cel realizacji zadania

1. Badania głębokościowego rozkładu defektów sieci krystalicznej w metalach i stopach generowanych tuż pod powierzchnią wskutek procesu tarcia. Przewidziane są badania stabilności termicznej wprowadzonych defektów, a także procesu dynamicznej rekrytalizacji zachodzące w warstwach podpowierzchniowych w wyniku tarcia. Do badań wykorzystane będą techniki pomiarów czasów życia pozytonów, spektroskopia poszerzenia dopplerowskiego, koincydencyjnego poszerzenia dopplerowskiego, mikrotwardości, SEM oraz EBDS (Jerzy Dryzek).
2. Badania odporności radiacyjnej materiałów. W szczególności zastosowanie technik spektroskopii anihilacji pozytonów opartych na wiązce powolnych pozytonów oraz konwencjonalnych źródłach do badań uszkodzeń strukturalnych generowanych przez energetyczne jony. Zarówno wysokoenergetyczne ciężkie jony (kilkaset MeV) oraz jony o energiach od kilkudziesięciu do kilkuset keV zostaną wykorzystane w naświetlaniach. Przedmiotem badań będzie profil defektów, ich zasięg oraz rodzaj (Paweł Horodek).
3. Badania defektów powstałych wskutek oddziaływania z promieniowaniem jonizującym w materiałach. Modyfikacja własności materiałów poprzez kontrolowane wprowadzenie defektów strukturalnych i nanostrukturyzacji. Analiza termodynamiki defektów w materiałach (Krzysztof Siemek).
4. Pomiary objętości swobodnych w materiałach molekularnych i polimerach metodą anihilacji. Badania defektów powstałych w wyniku modyfikacji powierzchni metali i stopów różnymi metodami np.: piaskowanie, peening laserowy i ich wpływu na odporność korozyjną (Ewa Dryzek).

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Publikacja wyników badań w międzynarodowych czasopismach naukowych.
- Prezentacja wyników na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych.

zadanie 3. Badanie struktury, własności chemicznych i magnetycznych materiałów i biomateriałów o rozmiarach mezo- i nanometrycznych (Michał Krupiński)

cel realizacji zadania

1. Badanie struktury i własności magnetycznych cienkowarstwowych stopów i układów wielowarstwowych nanostrukturyzowanych metodami fizycznymi, chemicznymi, wiązkami jonowymi i wiązką lasera (*współpraca z Uniwersytetem w Augsburgu, Akademickim Centrum Materiałów i Nanotechnologii AGH (ACMiN), Centrum Helmholtza Drezno-Rosendorf*) (Marta Wolny-Marszałek, Michał Krupiński).

2. Badanie własności strukturalnych, optycznych i magnetycznych nanokompozytowych cząstek magnetycznych otrzymywanych metodą naświetlania laserem impulsowym w zależności od długości fali promieniowania i czasu trwania impulsu (*współpraca z Uniwersytetem Hokkaido, Japonia i Laboratoire Hubert Curien, UMR CNRS, UJM/University of Lyon, Aix-Marseille Universite*) (**Żaneta Świątkowska-Warkocka**).
3. Opracowanie metody wytwarzania i funkcjonalizacji właściwości giętkich czujników pola magnetycznego i deformacji (*współpraca z Centrum Helmholtza Drezno-Rosendorf*) (**Yevhen Zabala**).
4. Przeprowadzenie badań zależności własności fizycznych i chemicznych materiałów metalicznych i półprzewodnikowych od rodzaju i dawki implantowanych jonów (*we współpracy z Katedrą Elektroniki AGH*) (**Marzena Mitura-Nowak**).

planowane efekty naukowe i praktyczne

Określenie własności magnetycznych, magnetotransportowych, elektrycznych i optycznych metalicznych materiałów nanostrukturyzowanych: nanodrutów, powłok i cienkich warstw oraz submikronowych cząstek magnetycznych.

Wyniki badań będą prezentowane na krajowych i międzynarodowych konferencjach, a także publikowane w czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Efektem realizacji zadania będą opracowane procedury formowania warstw oraz patenty, jak również prace magisterskie i doktorskie.

zadanie 4. Prace nad poznaniem struktury i dynamiki materii miękkiej w tym materiałów funkcjonalnych i farmaceutyków przy pomocy komplementarnych metod doświadczalnych i obliczeniowych (Ewa Juszyńska-Gałązka)

cel realizacji zadania

1. Badanie polimorfizmu i dynamiki w substancjach organicznych o różnym stopniu uporządkowania (*we współpracy z Research Center for Thermal and Entropic Science, Graduate School of Science, Osaka University*) (**Ewa Juszyńska-Gałązka**).
2. Badanie nowych materiałów funkcjonalnych i nowych mezogenów w próbkach objętościowych i w warunkach ograniczenia przestrzennego z wykorzystaniem metod rozpraszania neutronów (**Wojciech Zając, Oleksander Tomchuk**).
3. Badania dynamiki i przemian strukturalnych mieszanin ciekłokrystalicznych, szkieł faz częściowo nieuporządkowanych oraz nowych mezogenów o ferro- i antyferroelektrycznych własnościach (**Anna Drzewicz, Aleksandra Deptuch**).
4. Badania spektroskopowe wybranych faz rotacyjnych i ciekłokrystalicznych (**Ewa Juszyńska-Gałązka**).
5. Badanie przemian fazowych i amorfizacji wybranych farmaceutyków (**Natalia Osiecka-Drewniak**).

6. Badania stabilności fizykochemicznej substancji leczniczych i polimorfizmu wybranych farmaceutyków (*współpraca z Wydziałem Farmaceutycznym CMUJ*) (**Piotr M. Zieliński**).
7. Badanie wpływu ograniczenia przestrzennego na procesy relaksacyjne oraz kinetykę krystalizacji w układach molekularnych (**Małgorzata Jasiurkowska-Delaporte**).

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Ustalenie relacji struktura molekularna-dynamika-diagram fazowy dla wybranych ciekłych kryształów. Badania zeszklenia i krystalizacji.
- Uzyskanie informacji o wpływie budowy molekuł i oddziaływań międzymolekularnych na polimorfizm fazowy oraz dynamikę w poszczególnych fazach nowych mezogenów. Określenie parametrów uporządkowania molekuł i dynamiki grup molekularnych.
- Wykorzystanie procesu mechanosyntezy do tworzenia nowych form strukturalnych i amorficznych wybranych farmaceutyków.
- Poszukiwanie amorficznych lub amorfizowanych form wybranych farmaceutyków oraz poznanie ich własności pod kątem optymalizacji ich dawek leczniczych.
- Uzyskanie informacji o wpływie różnych form ograniczenia przestrzennego na dynamikę molekularną oraz proces krystalizacji wybranych cieczy, farmaceutyków, ciekłych kryształów oraz polimerów.
- Badanie wpływu nanometrowego ograniczenia przestrzennego na uporządkowanie bliskiego zasięgu wewnątrz próbki i w warstwach przyściennych w charakterystycznych dla tych warunków stanach termodynamicznych.
- Publikacja wyników w ważnych czasopismach specjalistycznych, prezentacje na konferencjach międzynarodowych oraz gromadzenie materiału dla pracy doktorskiej i habilitacyjnej.

zadanie 5. Projektowanie, synteza i charakteryzacja nanocząstek metalicznych do różnych zastosowań (Magdalena Parlińska-Wojtan)

cel realizacji zadania

1. Otrzymywanie metalicznych i tlenkowych materiałów nanostrukturalnych metodami elektrochemicznymi (**Magdalena Laskowska**).
2. Zastosowanie nanocząstek metali oraz tlenków metali jako materiałów anodowych w ogniach paliwowych wraz z monitorowaniem produktów pośrednich oraz końcowych reakcji utleniania etanolu (EOR) w czasie rzeczywistym techniką spektroskopii w podczerwieni (**Magdalena Parlińska-Wojtan, Tomasz Tarnawski**).
3. Elektrochemiczne osadzanie nanostrukturyzowanych filmów metali szlachetnych lub ich kombinacji (**Magdalena Parlińska-Wojtan, Tomasz Tarnawski**).
4. Synteza nanocząstek palladu modyfikowanych glukozą oraz chitozanem stosowanych w radioterapii protonowej nowotworów mózgu (**Bartosz Klębowski**).

5. Przyżyciowe długoczasowe badania dynamicznych procesów, takich jak absorpcja oraz interakcja nanocząstek o różnych kształtach z komórkami nowotworowymi oraz zdrowymi w mikroskopie Nanolive 3D (**Joanna Depciuch**).

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Określenie warunków przygotowywania mono-, bi- oraz wielopierwiastkowych metalicznych nanocząstek.
- Charakteryzacja fizyko-chemiczna otrzymanych nanocząstek metodami transmisyjnej mikroskopii elektronowej, spektroskopii UV-Vis, XRD.
- Funkcjonalizacja otrzymanych nanocząstek środkami biologicznie czynnymi – określenie stabilności chemicznej oraz termicznej wytworzonych nanosystemów.
- Określenie procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych występujących podczas oddziaływania otrzymanych nanocząstek oraz nanosystemów z komórkami żywymi.
- Wyniki badań zostaną opublikowane w międzynarodowych czasopismach naukowych oraz zaprezentowane na seminariach i konferencjach. Przyczynią się do realizacji jednej pracy doktorskiej oraz złożenia kolejnych wniosków o finansowanie badań.

zadanie 6. Badania teoretyczne struktury i dynamiki materiałów krystalicznych oraz nanomateriałów (Przemysław Piekarz**)**

cel realizacji zadania

1. Zbadanie ultraszybkich procesów i przejść fazowych w materiałach pod wpływem impulsów promieniowania X emitowanego przez laser na swobodnych elektronach (FEL) (**Beata Ziaja-Motyka**).
2. Zbadanie własności strukturalnych, dynamicznych i elektronowych heterostruktur zbudowanych z warstwy Fe o różnej grubości oraz krystalicznego podłoża GaAs (**Małgorzata Sternik**).
3. Zastosowanie opracowanej ostatnio metody próbkowania przestrzeni konfiguracyjnej (HECSS) do układów anharmonicznych oraz opracowanie narzędzi obliczeniowych koniecznych do jej wykorzystania (**Paweł Jochym**).
4. Badanie wpływu domieszkowania na widmo fononowe i podstawowe własności termodynamiczne matrycy na bazie obliczeń z pierwszych zasad (**Jan Łażewski**).
5. Badanie fononowych stanów powierzchniowych (**Andrzej Ptok**).
6. Zbadanie struktury elektronowej i magnetycznej cienkich warstw NdNiO₂ (**Przemysław Piekarz**).
7. Badanie własności silnie skorelowanych układów, w tym nadprzewodników o strukturze niecentrosymetrycznej (**Ipsita Mandal**).
8. Badanie transportu elektronowego w półmetalach Weyla z uwzględnieniem poprawek wyższego rzędu do modelu liniowego (**Ipsita Mandal, Shivam Yadav**).
9. Komputerowe symulacje uszkodzeń i modyfikacji ciał stałych przy rozpraszaniu promieni XUV (**Vladimir Lipp**).
10. Zbadanie własności elektronowych i strukturalnych pirofosforanu żelaza (**Przemysław**

Piekarz, Svitlana Pastukh).

11. Wyznaczenie dynamiki sieci i zbadanie fononów chiralnych w związkach FeSn
(Przemysław Piekarz, Surajit Basak).

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Głównym efektem naukowym przeprowadzonych badań będzie poszerzenie wiedzy na temat własności strukturalnych, elektronowych i dynamicznych układów krystalicznych i nanomateriałów.
- Opisanie zjawisk zachodzących w materiałach podczas rozpraszania wiązek fotonów o dużym natężeniu oraz zrozumienie zmian w strukturze elektronowej, magnetycznej i krystalicznej pod wpływem tych procesów.
- Ustalenie punktu odniesienia dla modeli obecnie używanych do badania własności transportowych półmetali Weyla.
- Opisanie na poziomie atomowym struktury krystalicznej i elektronowej oraz własności dynamicznych złącz heterokrystalicznych i cienkich warstw powstających na określonym podłożu.
- Wyjaśnienie wpływu temperatury na parametryzację modelu oddziaływań oraz uzyskanych wielkości fizycznych modelu. Opracowanie zestawu oprogramowania implementującego metodę HECSS i powiązane z nią narzędzia obliczeniowe. Uzyskanie temperaturowych zależności parametrów termodynamicznych (np. przewodnictwa cieplnego, czasu życia fononów itp.) dla wybranych materiałów.
- Rozszerzenie stosowalności metod wyznaczania widma fononowego używanych dla kryształów i układów symetrycznych na materiały domieszkowane i rozporządkowane.
- Wyjaśnienie mechanizmu powstawania uszkodzeń w materiałach poddanych promieniowaniu XUV.
- Wyniki badań zostaną opublikowane w międzynarodowych czasopismach naukowych oraz zaprezentowane na seminariach i konferencjach naukowych.

zadanie 7. Opracowanie i fizyczna realizacja podstawowych elementów składowych molekularnej sieci neuronowej (Łukasz Laskowski)

cele realizacji zadania

1. Synteza i badanie własności układów nanometrycznych jednostek magnetycznych (odpowiednik neuronów w sztucznych sieciach neuronalnych) opartych na porowatych matrycach krzemionkowych **(Łukasz Laskowski)**.
2. Otrzymywanie nanometrycznych jednostek magnetycznych metodą elektrodopozycji oraz analiza ich własności **(Małgorzata Kąc)**.
3. Wytwarzanie i badanie właściwości porowatych podłoży na bazie tlenku glinu do preparatyki nanometrycznych jednostek przetwarzających **(Mateusz Schabikowski)**.

4. Symulacyjna i eksperymentalna charakterystyka jednostek przetwarzających w molekularnych sieciach neuronowych oraz opracowanie ważonych połączeń magnetycznych pomiędzy nimi (**Oleksandr Pastukh**).
5. Symulacje oddziaływań magnetycznych pomiędzy uporządkowanymi w płaszczyźnie układami jednostek trwale magnetycznych (**Dominika Kuźma**).
6. Synteza i charakterystyka nanostrukturyzowanych substratów węglowych do depozycji jednostek magnetycznych opartych na magnetykach molekularnych (**Agnieszka Karczmarska**).

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Opracowanie procedury pozwalającej na uzyskanie matryc z porowatego tlenku aluminium zawierających pory o średnicach od 10 do 200 nm o wysokim stopniu uporządkowania. Przygotowanie matryc w formie wolnej od substratu (blachy aluminiowej), jak również w formie zawierającej substrat bezpośrednio kontaktujący się z wnętrzem porów (matryce przygotowane do elektrochemicznej depozycji drutów magnetycznych).
- Opracowanie procedury i określenie właściwości nowych nanokompozytów opartych na matrycach z krzemionki, węgla i tlenku aluminium zawierających jony metali, nanokrystality i molekuly magnetyczne.
- Opracowanie procedury depozycji nanodrutów metalicznych (nono- i multimetalicznych) wewnątrz matryc porowatych, zbadanie własności strukturalnych i magnetycznych otrzymanych nanostruktur, określenie zależności pomiędzy warunkami wzrostu nanodrutów, ich składem pierwiastkowym, a ich własnościami magnetycznymi.
- Opis oddziaływań pomiędzy jednostkami magnetycznymi w zależności od materiału i odległości pomiędzy jednostkami.
- Publikacja wyników badań w międzynarodowych, recenzowanych czasopismach.
- Przygotowanie wniosku patentowego związanego z zastosowaną metodologią.

zadanie 8. Badania właściwości magnetycznych materiałów molekularnych o różnej wymiarowości (Magdalena Fitta**)**

cele realizacji zadania

1. Badanie przejść fazowych, efektu magnetokalorycznego oraz wpływu czynników fizycznych na własności magnetyków molekularnych (**Magdalena Fitta**).
2. Badanie relaksacji i anizotropii magnetycznej w magnetykach molekularnych (**Piotr Konieczny**).
3. Synteza i badanie właściwości fizykochemicznych przetłaczalnych magnetyków molekularnych (**Jędrzej Kobylarczyk**).
4. Opracowanie kwantowo-mechanicznych modeli magnetycznych układów molekularnych, uwzględniających ich własności strukturalne, w celu estymacji parametrów oddziaływania i anizotropii (**Robert Pełka**).

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Głównym efektem naukowym przeprowadzonych prac będzie uzyskanie informacji na temat efektów magnetostrukturalnych oraz wpływu warunków zewnętrznych na energię oddziaływania magnetycznego, typ uporządkowania momentów magnetycznych i relaksację.
- Wyznaczenie efektu magnetokalorycznego w wybranych magnetykach molekularnych oraz jego dyskusja w powiązaniu z zachowaniem krytycznym i anizotropią.
- Przeprowadzenie analitycznej i numerycznej analizy wyników magnetometrycznych oraz kalorymetrycznych w oparciu o istniejące oraz nowe modele dostosowane do struktury badanych układów.
- Wyniki badań będą prezentowane na krajowych i międzynarodowych konferencjach, a także publikowane w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym. Efektem realizacji zadania będzie jedna praca doktorska.

Temat 4. BADANIA INTERDYSCYPLINARNE I STOSOWANE

zadanie 1. Interdyscyplinarne aspekty fizyki układów złożonych (Stanisław Drożdż)

cel realizacji zadania

1. Identyfikacja uniwersalnych charakterystyk złożoności:
 - a. krzyżowe korelacje multifraktalne w procesach stochastycznych,
 - b. uogólnienie formalizmu multifraktali na struktury dwuwymiarowe,
 - c. multifraktalność w deterministycznych układach dynamicznych,
 - d. zjawiska krytyczne i efekty synchronizacji w dynamice finansów,
 - e. efekty wieloskalowe w modelach oddziałujących agentów,
 - f. język naturalny w formalizmie systemów złożonych,
 - g. wieloskalowa organizacja utworów muzycznych,
 - h. fraktalna analiza naturalnych (biologicznych) sieci neuronowych,
 - i. analiza aktywności mózgu z wykorzystaniem uczenia maszynowego,
 - j. badanie efektów splątania kwantowego.

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Rozwój algorytmu ilościowego ujmowania krzyżowych korelacji wieloskalowych z optymalizacją procedury detrendowania fluktuacji oraz wskazanie nośników takich korelacji.
- Wypracowanie obliczeniowo wydajnego algorytmu wyznaczania multifraktalnych charakterystyk struktur dwuwymiarowych.

- Badanie wielkoskalowych korelacji pomiędzy różnymi instrumentami finansowymi świata w kontekście gwałtownych zmian w trendach globalnych.
- Ilościowe ujęcie efektów typu ciągłe przejścia fazowe w dynamice modeli oddziałujących agentów.
- Systematyczne zbadanie multifraktalnych charakterystyk różnego typu utworów muzycznych oraz wskazanie tych ich cech ilościowych w formalizmie miar korelacji nieliniowych, które optymalnie synchronizują z aktywnością ludzkiego mózgu.
- Dla różnego typu utworów muzycznych, zbadanie istnienia przedziałów częstości, w których korelacje mają charakter multifraktalny oraz określenie zakresu tego typu korelacji.
- Opis charakteru oraz znaczenia długo-zasięgowych korelacji nieliniowych w tekstach narracyjnych.
- Zidentyfikowanie potencjalnej składowej typu chaos deterministyczny lub fraktalność w szeregach czasowych generowanych przez naturalne układy złożone.
- Wytlumaczenie efektów wzmocnienia korelacji krzyżowych w szeregach czasowych wraz ze wzrostem skali czasowej.
- Badanie korespondencji pomiędzy różnymi wzorcami emocji w tekstach pisanych, a odpowiednimi korelacjami wieloskalowymi w rozkładach słów i długościach zdań.
- Systematyczne zbadanie multifraktalnych charakterystyk sygnałów mózgowych dla różnego typu, zarówno naturalnych sieci neuronalnych, jak i stosowanych bodźców.
- Efekty praktyczne to publikacja wyników w międzynarodowych periodykach naukowych, prezentacja wyników na naukowych konferencjach międzynarodowych i krajowych oraz zebranie materiałów do przewodów doktorskich prowadzonych w Zakładzie. W szczególności planowane jest przygotowanie obszernego artykułu przeglądowego pt. „Complexity approach to natural language” w większości bazując na wynikach uzyskanych w Zakładzie.

zadanie 2. Badania oddziaływania promieniowania jądrowego z różnymi ośrodkami (Wojciech Królas)

cel realizacji zadania

1. Opracowanie projektu akceleratorowego źródła neutronowego IFMIF-DONES (Demo Oriented Neutron Source) (*współpraca: Eurofusion*) **(Wojciech Królas)**.
2. Zastosowanie metod aktywacyjnych do określania pola promieniowania neutronów w urządzeniach fuzyjnych (*współpraca: Eurofusion*) **(Anna Wójcik-Gargula)**.
3. Modelowanie pól promieniowania jądrowego generowanych przez źródła plazmowe i neutronowe oraz odpowiedzi detektorów z uwzględnieniem wpływu otoczenia i innych zaburzających źródeł promieniowania (*współpraca: Eurofusion, ITER Organisation*) **(Urszula Wiącek)**.

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Opracowanie projektu modułu kalibracyjnego i monitorującego STUMM dla laboratorium IFMIF-DONES do określania parametrów strumienia neutronów w obszarze naświetlania próbek.
- Opracowanie koncepcji komplementarnych eksperymentów fizycznych (Complementary Experiments) w laboratorium IFMIF-DONES.
- Modelowania z użyciem metod Monte Carlo w zakresie neutroniki (transportu promieniowania) dla laboratorium IFMIF-DONES.
- Teoretyczna ocena stopnia aktywacji materiałów konstrukcyjnych pomocniczych tokamaka ITER, ich naświetlanie w tokamaku JET, pomiary i analiza wynikowej aktywacji.
- Zastosowanie metod aktywacyjnych do określania pola promieniowania neutronów w laboratorium IFMIF-DONES.
- Wyznaczenie rozkładów energetyczno-przestrzennych pól promieniowania mieszanego w otoczeniu źródeł jest niezbędne w toku opracowywania metod pomiarowych. Wyniki modelowania Monte Carlo rozkładów dawek promieniowania wokół źródła Plasma-Focus PF-24 i generatora IGN-14 (IFJ PAN) zostaną wykorzystane w testach nowych metod pomiarowych, m.in. z detektorami diamentowymi i quasi-punktowymi detektorami scyntylacyjnymi. Opracowane metody obliczeniowe będą zastosowane w analizach pól neutronowych modułu pomiarowego ITER-HRNS oraz STUMM dla IFMIF- DONES.

zadanie 3. Diagnostyka plazmy wysokotemperaturowej (Marek Scholz)

cel realizacji zadania

1. Wykorzystanie detektorów typu GEM oraz detektorów diamentowych do pomiaru parametrów emisji neutronów i jonów w plazmie termojądrowej (*współpraca: Eurofusion, ITER Organisation*) **(Marek Scholz)**.
2. Badanie zjawisk fizycznych towarzyszących szybkim impulsom plazmowym generowanym w układzie Plasma-Focus PF-24 **(Agnieszka Kulińska)**.
3. Opracowanie metod obrazowania rentgenowskiego plazmy w urządzeniach fuzyjnych w celu badania transportu zanieczyszczeń w rdzeniu plazmy (*współpraca: CEA Cadarache, Eurofusion*) **(Axel Jardin)**.
4. Opracowanie metod diagnostyki rentgenowskiej oraz neutronowej do badania plazmy w urządzeniach fuzyjnych (tokamak WEST, COMPASS-U) (*współpraca: CEA Cadarache, IPP Praga*) **(Jakub Bielecki)**.
5. Spektrometria neutronowa o wysokiej rozdzielczości energetycznej w celu określania parametrów plazmy termojądrowej pod kątem programu ITER (*współpraca: ITER Organisation*) **(Marek Scholz)**.
6. Badanie metodami obliczeniowymi procesów oddziaływania prędkich elektronów z jonami plazmy termojądrowej **(Jakub Bielecki)**.

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Opracowanie metody zastosowania detektorów GEM do pomiarów spektrometrycznych prędkich neutronów z wykorzystaniem generatora neutronów 14 MeV.
- Badania detektorów diamentowych CVD w celu ich zastosowania w spektrometrycznych pomiarach produktów syntezy termojądrowej D-T w warunkach pracy panujących przy tokamakach.
- Badanie dynamiki ogniska plazmowego o różnym składzie pierwiastkowym. Wykorzystane będą metody pomiarowe rozwijane w Zakładzie, w tym unikatowy układ do wizualizacji ogniska plazmowego w polu neutronowym, na podstawie rejestrowanej emisji neutronów 2.45 MeV oraz towarzyszącego promieniowania X.
- Rekonstrukcja tomograficzna emisyjności plazmy w zakresie promieniowania rentgenowskiego stanowi źle postawiony problem odwrotny. Powodem złego uwarunkowania zagadnienia rekonstrukcji jest ograniczony zbiór danych eksperymentalnych pochodzących z detektorów umieszczonych wokół urządzenia fuzyjnego. Stąd konieczność opracowania nowych, specjalnych metod rekonstrukcji. Głównym wynikiem naukowym zadania jest poznanie rozkładów emisyjności promieniowania X w poloidalnym przekroju urządzenia fuzyjnego. Rozkłady takie pozwalają na zbadanie transportu domieszek ciężkich jonów w rdzeniu plazmy termojądrowej.
- Rejestracja emisji miękkiego promieniowania rentgenowskiego ($E < 20$ keV) z plazmy termojądrowej w tokamaku dostarcza informacji na temat równowagi magnetycznej oraz rozkładu przestrzennego domieszek. Twarde promieniowanie rentgenowskie ($E = 20 \div 200$ keV) pozwala wnioskować o populacji elektronów nadtermicznych pojawiających się podczas działania systemów grzania plazmy. Prowadzone prace posłużą opracowaniu metodyki pomiarów tego promieniowania dla zastosowania w urządzeniach typu tokamak. Rejestrowane widma energetyczne neutronów prędkich (pierwotnych i rozproszonych) mają posłużyć do określania parametrów plazmy termojądrowej, istotnych dla efektywnej pracy reaktora termojądrowego (tokamaka). Na podstawie zmierzonego widma neutronów można określić parametry plazmy termojądrowej, takie jak skład paliwa deuterowo-trytowego, temperaturę jonów Ti w gorącej plazmie, itp. Prowadzone prace zmierzają do opracowania projektu diagnostyki High Resolution Neutron Spectrometer (HRNS) dla tokamaka ITER.
- Badania obliczeniowe będą prowadzić do opracowania przybliżonych modeli opisujących zjawiska elastycznych oraz nieelastycznych zderzeń elektronów prędkich z jonami plazmy. Modele te będą wykorzystane do konstrukcji operatora zderzeń w równaniu Fokkera-Planka (FP). Ze względu na ich uproszczoną postać, równanie FP dla plazmy termojądrowej będzie można rozwiązywać numerycznie w sposób obliczeniowo wydajny.

zadanie 4. Obrazowanie i zlokalizowana spektroskopia magnetycznego rezonansu w badaniach biomedycznych i materiałowych (Władysław Węglarz)

cel realizacji zadania

Rozwój oraz zastosowanie metod obrazowania i spektroskopii zlokalizowanej magnetycznego rezonansu (MRI/MRS) do badań biomedycznych *in vivo* i *ex vivo* z wykorzystaniem modeli zwierzęcych chorób, badań roślinnych obiektów biologicznych oraz do badań materiałowych poprzez:

1. Badanie struktury i procesów fizjologicznych tkanek i narządów małych zwierząt doświadczalnych w stanach normalnych lub patologicznych w warunkach *in vivo* i *ex vivo* metodami MRI/MRS (współpraca z Katedrą Farmakologii CMUJ, Katedrą Patofizjologii CMUJ, Instytutem Nauk o Środowisku UJ, Instytutem Zoologii i Badań Biomedycznych UJ, Instytutem Farmakologii PAN, Akademią Górniczo-Hutniczą, Uniwersytetem Medycznym w Lublinie) **(Krzysztof Jasiński, Barbara Błasiak)**.
2. Zastosowanie obrazowania i spektroskopii MR do badań własności teranostycznych nośników leków, nowoczesnych środków kontrastowych i materiałów porowatych (współpraca z University of Victoria, Kanada, University of Calgary, Kanada Uniwersytetem Pedagogicznym w Krakowie, Katedrą Farmacji CMUJ, IKiFP PAN, Wydziałem Chemii UJ, Akademią Górniczo-Hutniczą, Uniwersytetem Rolniczym w Krakowie) **(Barbara Błasiak, Natalia Łopuszyńska)**.
3. Rozwój metod i oprzyrządowania do obrazowania i spektroskopii zlokalizowanej MR (współpraca z University of Toronto, Kanada, Instytutem Fizyki UJ, Akademią Górniczo-Hutniczą, Uniwersytetem Medycznym w Lublinie) **(Krzysztof Jasiński, Wojciech Rutkowski)**.

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Określenie zmian struktury mózgu, poprzez zastosowanie obrazowania tensora dyfuzji i traktografii, w szczurzym modelu epilepsji indukowanej zaburzeniami w okresie rozwoju prenatalnego.
- Ocena zmian frakcji wyrzutowej oraz innych podstawowych parametrów hemodynamicznych lewej komory serca przy użyciu Cardiac-MRI, w grupie kontrolnej i grupie zwierząt (szczurów) poddanych terapii 5-Fluorouracylem.
- Określenie, przy pomocy badania hemodynamicznego MRI, czy brak endogennych enkefalin spowoduje zmiany kompensacyjne w anatomii serca (np. zmianę grubości ścian przedsionków) lub będzie przyczyniać się do upośledzenia funkcji serca wraz z wiekiem zwierząt, w zmodyfikowanych genetycznie myszach Penk KO (Penk.tm1Jrp).
- Określenie stopnia zwiększenia akumulacji dedykowanych środków kontrastowych typu rdzeń powłoka w guzie nowotworowym, w mysim modelu raka prostaty.
- Scharakteryzowanie własności relaksacyjnych oraz biodystrybucji nano-materiałowych teranostycznych nośników leków, z wbudowanym gadolinem, w warunkach *in vitro* i *in vivo*.

- Rozwój i wykorzystanie techniki obrazowania i spektroskopii ^{19}F MR do detekcji i oceny dystrybucji teranostycznych nośników leków i/lub środków kontrastowych.
- Rozwój techniki obrazowania na hiperspolaryzowanych jądrach ^{129}Xe i wykorzystanie ich do badań na materiale biologicznym in vivo i ex vivo.
- Rozwój dedykowanych cewek RF na jądra ^{19}F i ^{129}Xe .

zadanie 5. Badanie struktury elektronowej materii metodami spektroskopii oraz mikroskopii rentgenowskiej (Joanna Czapla-Masztafiak)

cel realizacji zadania

1. Badanie zmian zachodzących w układach biologicznych na poziomie komórkowym i molekularnym z wykorzystaniem technik synchrotronowych, laserów na swobodnych elektronach oraz laboratoryjnych źródeł promieniowania rentgenowskiego. Rozwój układów spektroskopii emisyjnej i absorpcyjnej z wykorzystaniem laboratoryjnych źródeł promieniowania rentgenowskiego (*współpraca: Wigner Research Institute, Budapest, Hungary; Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland; Uppsala University, Sweden; PTB Berlin, Germany; University of Vienna, Austria; Instytut Chemii Fizycznej PAN*) **(Joanna Czapla-Masztafiak, Wojciech M. Kwiatek)**.
2. Badanie zmian struktury elektronowej atomów w nanomateriałach i układach hybrydowych oraz w procesach chemicznych układów nieuporządkowanych z wykorzystaniem metod spektroskopii rentgenowskiej. Zastosowanie metod synchrotronowych do badania procesów chemicznych w czasie rzeczywistym (*współpraca: Extreme Light Infrastructure, Prague, Czech Republic; Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland; SACLA Facility, Japan; European XFEL, Hamburg, Germany; Linac Coherent Light Source, USA; Newcastle University, UK*) **(Gabriela Imbir)**.
3. Badanie nieliniowych oddziaływań promieniowania rentgenowskiego z materią oraz procesów wielokrotnej jonizacji atomów z wykorzystaniem impulsów lasera rentgenowskiego. Rozwój metod oraz układów pomiarowych do diagnostyki femtosekundowych impulsów rentgenowskich (*współpraca: SwissFEL, Villigen, Switzerland; SACLA Facility, Japan; European XFEL, Hamburg, Germany; Linac Coherent Light Source, USA; Newcastle University, UK*) **(Wojciech Błachucki)**.
4. Obrazowanie mikrotomografią komputerową oraz metodami mikroskopii rentgenowskiej mikrostruktur w układach złożonych. Rozwój laboratoryjnych metod tomografii komputerowej (*współpraca: Collegium Medicum UJ; Instytut Nauk Geologicznych UJ; Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH; WIMiC AGH; Wydział Matematyczno-Przyrodniczy Uniwersytetu Rzeszowskiego*) **(Artem Yakovliev)**.

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Określenie roli metali i ich wpływu na procesy zachodzące w układach biologicznych. Zastosowanie spektroskopii XAS i XES z wykorzystaniem laboratoryjnego układu spektroskopowego.
- Określenie dynamiki elektronowej atomów w układach chemicznych z wykorzystaniem promieniowania rentgenowskiego w eksperymentach typu in-situ oraz czasowo-rozdzielczych.
- Określenie procesów nieliniowego oddziaływania promieniowania X z materią z wykorzystaniem femtosekundowych impulsów promieniowania rentgenowskiego.
- Określenie składu pierwiastkowego i fazowego układów biologicznych, środowiskowych i materiałowych. Wykonanie obrazów przestrzennych materiałów biomedycznych i środowiskowych technikami tomografii z uwzględnieniem kontrastu fazowego oraz mikro-spektroskopii rentgenowskiej.

zadanie 6. Multimodalne obrazowanie spektroskopowe układów złożonych wspomagane badaniami biomolekularnymi (Czesława Paluszkiewicz)

cel realizacji zadania

1. Eksploracja zmienności środowiskowej i zmian patologicznych układów biologicznych z wykorzystaniem metod spektroskopii oscylacyjnej (*współpraca z INFN, Włochy, Śląskim Uniwersytetem Medycznym w Zabrze, Instytutem Nauk Fizycznych i Kolegium Nauk Medycznych Uniwersytetu Rzeszowskiego, Wydziałem Chemii UJ i Collegium Medicum UJ*) **(Czesława Paluszkiewicz, Wojciech Kwiatek)**.
2. Badanie substancji o działaniu adaptogennym jako potencjalnych terapeutyków wspomagających leczenie nowotworów (*współpraca z Universidad De Málaga, Hiszpania*) **(Ewa Pięta)**.
3. Analiza oddziaływania związków biologicznie aktywnych z powierzchnią nanocząstek metali przy użyciu metod spektroskopowych (*współpraca z Université Paris-Saclay Orsay, IKiFP PAN, Wydziałem Odlewnictwa AGH*) **(Natalia Piergies)**.
4. Monitorowanie skuteczności terapeutycznej potencjalnych leków wspomagających terapię guzów obwodowego układu nerwowego (PNS) (*współpraca z University of Valencia, Hiszpania*) **(Karolina Chrabąszcz)**.
5. Charakterystyka reologiczna i spektroskopowa materiałów biologicznych wykazujących oporność wielolekową (*współpraca z University of Pennsylvania USA, Syracuse University USA, Uniwersytetem Medycznym w Białymstoku*) **(Katarzyna Pogoda)**.
6. Badania cyto- i genotoksyczności nanocząstek i biomateriałów o potencjale aplikacyjnym w medycynie (*współpraca z WIMiC AGH, Oddziałem Otorynologią Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach*) **(Agnieszka Panek)**.

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Określenie markerów spektroskopowych zmian biochemicznych zachodzących w układach biologicznych podlegających procesom patologicznym (nowotwory, zmiany degeneracyjne, narażenie na niekorzystne działanie czynników środowiskowych).
- Zdefiniowanie panelu zmian biochemicznych wynikających ze stosowania leków oraz nanosystemów w komórkach prawidłowych i nowotworowych.
- Określenie mechanizmu wiązania wybranych leków z powierzchnią nanocząstek w kontekście zwiększenia efektywności ich działania terapeutycznego.
- Weryfikacja biokompatybilności materiałów do zastosowań w medycynie.
- Scharakteryzowanie cyto- i genotoksycznych skutków działania substancji i nanosystemów dedykowanych wsparciu radioterapii i chemioterapii.

zadanie 7. Radiochemiczne i instrumentalne metody analizy i syntezy sztucznych pierwiastków promieniotwórczych w zastosowaniu do radioekologii, geochemii izotopowej i radiofarmaceutyków (Jerzy W. Mietelski)

cel realizacji zadania

1. Rozwój metodyki badań skażeń promieniotwórczych środowiska:
 - a. Doskonalenie metod wydzielenia pierwiastków promieniotwórczych i preparatyki źródeł dla potrzeb monitoringu emiterów alfa i beta w środowisku naturalnym, w tym prace nad metodyką oznaczania trytu (Joanna Najman, Sylwia Błażej).
 - b. Rozwój metod poszukiwania substancji radioaktywnych wytwarzanych naturalnie na Ziemi w reakcjach jądrowych z wykorzystaniem spektrometrii jądrowej mas (Jerzy W. Mietelski).
 - c. Wykorzystanie pomiarów spektrometrycznych stężeń emiterów alfa, beta i gamma w badaniach środowiska i w badaniach czystości radiologicznej próbek materiałowych (Jerzy W. Mietelski, Sylwia Błażej).
 - d. Rozwój niskotłowej spektrometrii promieniowania gamma (Jerzy W. Mietelski, Renata Kierepko).
 - e. Rozwój metodyki pomiaru radioaktywnych gazów szlachetnych w atmosferze (Joanna Najman, Jerzy W. Mietelski).
2. Prowadzenie pomiarów zawartości substancji gamma-promieniotwórczych licznikiem całego ciała (Renata Kierepko, Renata Franczak).
3. Opracowanie metod wydzielenia radionuklidów z aktywowanych tarcz (Ryszard Misiak, Arshiya A. Ahmed).

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Uruchomienie ciągłego monitoringu trytu w opadzie atmosferycznym z wykorzystaniem metody zatężenia elektrolitycznego, celem stworzenia bazy danych

o poziomach trytu w Polsce przed rozpoczęciem programu rozwoju energetyki jądrowej.

- Poszukiwania długożyciowych izotopów radioaktywnych w minerałach, w tym w materiałach pochodzących z kominów kimberlitowych celem weryfikacji hipotezy o impaktowym charakterze procesu powstawania tych kominów z udziałem ciemnej materii barionowej wywołującej reakcje jądrowe w czasie zderzenia z materią ziemską.
- Badania wpływu promieniowania kosmicznego na tło dwóch niskotłowych cyfrowych spektrometrów promieniowania gamma z osłonami aktywnymi (z detektorami mionów promieniowania kosmicznego).
- Prace nad metodami wydzielania izotopów radioaktywnych z wykorzystaniem nowych materiałów analitycznych (jonity, żywice ekstrakcyjne).
- Prace przygotowawcze do budowy ultraniskotłowego laboratorium podziemnego.
- Wyniki prac stanowią przedmiot publikacji naukowych, będą także prezentowane na ważnych krajowych i międzynarodowych konferencjach, są też częściowo podstawą prowadzonych doktoratów.
- Pomiary spektrometryczne stężeń emiterów alfa, beta i gamma w próbkach środowiskowych i w badaniach czystości radiologicznej próbek materiałowych dla zleceńodawców zewnętrznych w ramach działalności laboratorium z akredytacją PCA: Laboratorium Analiz Promieniotwórczości.

zadanie 8. Pierwiastki promieniotwórcze w środowisku oraz w organizmie człowieka (Edyta Łokas)

cel realizacji zadania

1. Pomiary stężeń izotopów promieniotwórczych w próbkach środowiskowych z lodowców wysokogórskich, w celu określenia wielkości oraz źródeł skażeń promieniotwórczych **(Edyta Łokas, Katarzyna Kołtonik)**.
Głównymi celami badań są: określenie stopnia zanieczyszczenia izotopami sztucznymi (^{137}Cs , $^{238,239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am) i naturalnymi (^{210}Pb) m.in. krikonitów, torfów, kulek mszaków z lodowca oraz wskazanie źródeł zanieczyszczenia radionuklidami pochodzenia sztucznego poprzez wyznaczenie wartości stosunków izotopowych $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$, $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$, $^{239+240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ oraz $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$.
2. Badania dynamiki zmian antropogenicznych izotopów promieniotwórczych ($^{238,239,240}\text{Pu}$ i ^{241}Am) i ich stosunków masowych w filtrach powietrza ze Spitsbergenu **(Anna Cwanek, Edyta Łokas)**.
3. Metabolizm cytrynianów i glukonianów w komórkach nowotworowych **(Kamil Brudecki)**.
Celem realizowanych badań jest ocena roli zewnątrzkomórkowego cytrynianu na metabolizm komórek nowotworowych. W szczególności zbadany zostanie proces transportu zewnątrzkomórkowego cytrynianu do wybranych komórek

nowotworowych oraz jego wpływ na ich wzrost. Istotnym elementem badań jest również poznanie możliwości blokady transportu zewnątrzkomórkowego cytrynianu poprzez zastosowanie glukonianów i ich ewentualnego wpływu na zahamowanie proliferacji komórek nowotworowych. Badania będą prowadzone z wykorzystaniem hodowli nowotworowych linii komórkowych, cytrynianów i glukonianów wyznakowanych stabilnymi izotopami oraz spektrometru masowego.

4. Rozwój nowych metod badań skażeń promieniotwórczych środowiska z wykorzystaniem spektrometru masowego (**Anna Cwanek, Edyta Łokas**).

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Efektem prac będzie poszerzenie wiedzy na temat źródeł skażeń promieniotwórczych w obszarach wysokogórskich północnej i południowej półkuli.
- Wdrożenie metod pomiaru stosunku masowego $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ za pomocą ICP-MS oraz opracowanie nowych metod dla innych izotopów (np. Hg).
- Wyniki prac stanowią przedmiot publikacji naukowych, będą także prezentowane na ważnych krajowych i międzynarodowych konferencjach.

zadanie 9. Izotopy promieniotwórcze w fizyce środowiska i ochronie radiologicznej (Krzysztof Kozak)

cel realizacji zadania

1. Badanie stężeń radonu w różnych komponentach środowiska, doskonalenie technik pomiarowych (*współpraca z CLOR, PAA, UJ, AGH, Wydziałem Inżynierii Środowiska PK, Polskim Centrum Radonowym*).
2. Badanie wpływu poziomów radonu w budynkach na zdrowie mieszkańców (*współpraca z Głównym Inspektorem Sanitarnym*).
3. Kontynuacja opracowania metodyki pomiarów stężeń radonu w dużych obiektach użyteczności publicznej (żłobki, przedszkola, szkoły, zakłady pracy).
4. Pomiary stężeń izotopów promieniotwórczych oraz mocy dawek promieniowania w środowisku (*współpraca z CLOR, UJ, AGH, GIG, PK, Polskim Centrum Radonowym*).
5. Prace koncepcyjne i pomiarowe w celu utworzenia niskotłowego laboratorium podziemnego w Kopalniach Soli Bochnia i Wieliczka.

planowane efekty naukowe i praktyczne

Wyniki prac stanowią przedmiot publikacji naukowych, będą także prezentowane na krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych.

Pomiary spektrometryczne stężeń emiterów gamma w próbkach środowiskowych i w badaniach czystości radiologicznej próbek materiałowych dla zleceniodawców zewnętrznych w ramach działalności laboratorium z akredytacją PCA: Laboratorium Ekspertyz Radiometrycznych.

zadanie 10. Dozymetria luminescencyjna w pomiarach promieniowania jonizującego (Paweł Bilski)

cel realizacji zadania

1. Opracowanie i rozwój metod dozymetrycznych w oparciu o detektory luminescencyjne do pomiaru dawek promieniowania jonizującego. Prowadzone będą prace zmierzające do wytworzenia nowych materiałów luminescencyjnych, w tym w postaci kryształów otrzymywanych metodami Micro-Pulling Down (MPD) i Czochralskiego oraz badanie ich właściwości dozymetrycznych. Kontynuowane będą pomiary dawek promieniowania w kosmosie oraz wokół urządzeń fuzji jądrowej. Prowadzone będą badania nad rozwojem metody fluorescencyjnej detekcji śladów cząstek jądrowych przy pomocy kryształów LiF oraz badania nad luminescencją farmaceutyków pod kątem zastosowania w dozymetrii awaryjnej.
2. Rozwój metod pomiarowych w termoluminescencyjnej dozymetrii indywidualnej, środowiskowej oraz ochronie radiologicznej pacjenta (**Izabela Milcewicz-Mika**). Ocena narażenia osób pracujących w narażeniu na promieniowanie jonizujące w Polsce. W oparciu o prowadzone pomiary dawek indywidualnych i środowiskowych w ramach działalności Laboratorium Dozymetrii Indywidualnej i Środowiskowej (LADIS) powstaje szeroka baza do analizy narażenia osób pracujących w polu promieniowania jonizującego, zarówno w medycynie, jak i przemyśle. Celem zadania jest m.in. opracowanie i rozwój nowych technik i metod dozymetrycznych, dostosowanych do potrzeb indywidualnej dozymetrii termoluminescencyjnej. Rozwój badań związanych z możliwością powtórnego odczytu dawki oraz dozymetrii soczewek oczu oraz zakresu wykorzystania dawek w miejscu pracy do szacowania narażenia personelu.

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Efektem praktycznym będzie opracowanie nowych metod pomiaru dawki promieniowania jonizującego, publikacje naukowe oraz wystąpienia konferencyjne.
- Planowanym efektem praktycznym prac będzie analiza i ocena narażenia pracowników pracujących w polach promieniowania jonizującego oraz zakresy dawek otrzymywanych przez pacjentów w ramach różnorodnych procedur medycznych, publikacje naukowe i wystąpienia konferencyjne.

zadanie 11. Wykorzystanie wiązek protonowych do badań w dziedzinie fizyki materiałowej, radiochemii, radiobiologii i fizyki medycznej (Paweł Olko)

cel realizacji zadania

Celem zadania są badania poznawcze i aplikacyjne w obszarze fizyki, chemii, biologii i fizyki medycznej na unikatowych w Polsce wiązkach protonów.

1. Badanie materiałów luminescencyjnych z wykorzystaniem wiązki protonowej dla dozymetrii promieniowania kosmicznego i radioterapii protonowej (**Paweł Bilski**).
2. Opracowanie metod otrzymywania i wydzielania radionuklidów z wykorzystaniem cyklotronu AIC-144 (**Ryszard Misiak**).
3. Rozwój metod radioterapii protonowej oraz napromieniania materiałów biologicznych, systemów elektronicznych i próbek materiałowych na wiązkę protonowej (**Jan Swakoń**).
4. Opracowanie modeli radiobiologicznych RBE i modeli transportu wiązek protonowych i węglowych, mających zastosowanie w interpretacji eksperymentów radiobiologicznych oraz dla rozwoju systemów planowania leczenia w radioterapii (cel wieloletni) (**Leszek Grzanka**).

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Efektem prac będzie poszerzenie wiedzy w obszarze radioterapii protonowej, radiobiologii, fizyki detektorów luminescencyjnych i radiochemii, a w szczególności optymalizacja detektorów do pomiarów wiązek protonowych, nowe metody radiochemicznego wydzielania izotopów oraz nowe dane na temat skuteczności biologicznej wiązek protonowych.
- Optymalizacja metod napromieniania próbek biologicznych, elektronicznych i materiałowych.
- Procedury numeryczne do obliczeń transportu promieniowania i jego skuteczności biologicznej.

zadanie 12. Badanie własności mikroukładów biofizycznych **(Małgorzata Lekka)**

cel realizacji zadania

Badanie własności mechanicznych (elastyczność, adhezja, lepkość, etc.) tkanek oraz komórek z użyciem mikroskopu sił atomowych (AFM) pracującego w trybie spektroskopii siły (*współpraca: Katedra Biochemii Lekarskiej CMUJ, Instytut Fizyki UJ, Uniwersytet w Mediolanie, Uniwersytet w Bremie, Norweski Uniwersytet Naukowo-Techniczny, Uniwersytet w Grenoble, Uniwersytet w Tromsø*) poprzez:

1. Badanie roli cytoszkieletu i otoczenia w regulacji ilości fenestracji i elastyczności komórek śródbłonna zatok wątroby (**Bartłomiej Zapotoczny**).
2. Ocena efektywności nowych terapii z wykorzystaniem makro- i mikroreologii będącej narzędziem wspomagającym diagnostykę (**Joanna Zemła**).
3. Biomechaniczne zróżnicowanie komórek w ocenie zmian patologicznych i działania leków przeciwnowotworowych (**Małgorzata Lekka, Joanna Zemła**).

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Lepsze poznanie roli cytoszkieletu w regulacji morfologii i elastyczności komórek. Rozwój metodologii obrazowania komórek żywych opartej na spektroskopii sił atomowych pozwalającej na badanie zmian mechanicznych komórek w czasie.
- Ocena zmian oraz roli własności makro- i mikroreologicznych różnych typów komórek i tkanek w procesach chorobowych. Poszerzenie wiedzy dotyczącej relacji reologicznej w makro- i nano- skali.

zadanie 13. Badania translacyjne w dziedzinie fizyki medycznej na potrzeby rozwoju radioterapii protonowej (Renata Kopeć)

cel realizacji zadania

Celem zadania są interdyscyplinarne badania aplikacyjne i translacyjne w dziedzinie fizyki medycznej obejmujące prace eksperymentalne i obliczeniowe w celu rozwoju radioterapii protonowej. Badania obejmują rozwój nowych metod planowania leczenia i dozymetrii w celu ulepszenia obecnie stosowanych i opracowania nowych protokołów leczenia pacjentów.

1. Wykorzystanie metod dozymetrii względnej i absolutnej dla potrzeb radioterapii protonowej pacjentów (cel wieloletni) **(Dawid Krzempek)**.
2. Rozwój metod pomiarowych oraz prowadzenie radioterapii protonowej nowotworów oka (cel wieloletni) **(Tomasz Horwacik)**.
3. Opracowanie nowych metod pomiaru dawki dla wiązek protonowych z zastosowaniem detektorów luminescencyjnych, nowo opracowanych w IFJ PAN detektorów scyntylacyjnych i detektorów wolnych rodników (alaninowych) (cel wieloletni) **(Barbara Michalec)**.
4. Zastosowanie metod obliczeniowych Monte Carlo w celu kontroli jakości planów radioterapii protonowej pacjentów **(Jan Gajewski, Dawid Krzempek)**.
5. Opracowanie metod optymalizacji protonowych planów terapeutycznych z wykorzystaniem modeli zmiennego RBE oraz metod pomiarowych i obliczeniowych do charakterystyki mieszanych pól promieniowania produkowanych przez terapeutyczne wiązki protonowe uwzględniających jakość promieniowania (LET) **(Jan Gajewski, Magdalena Garbacz)**.
6. Rozwój i zastosowanie nowych metod pomiarowych i obliczeniowych do monitorowania zasięgu wiązki protonowej (detektor PET, metody MC) oraz nanodozymetrii do planowania leczenia **(Antoni Ruciński)**.
7. Wykorzystanie wiązki protonowej do rozwoju metod planowania leczenia w radioterapii nowotworów zlokalizowanych poza narządem wzroku (cel wieloletni) **(Renata Kopeć)**.
8. Badania skuteczności biologicznej oraz wpływu genotypu na odpowiedź komórkową po zastosowaniu różnych schematów terapeutycznych, w tym szczególnie opartych o radioterapię protonową (*współpraca z National Cancer Institute, National Institutes of Health, Bethesda USA; Central South University, China; Katedra Epidemiologii*

i Medycyny Zapobiegawczej, Collegium Medicum UJ; Zakład Genetyki Medycznej, Uniwersytecki Szpital Dziecięcy w Krakowie) (Justyna Miszczyk).

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Optymalizacja czasu wykorzystania wiązki protonowej, zarówno pod względem kontroli jakości i dozymetrii, jak i terapii pacjentów onkologicznych.
- Opracowanie systemu dozymetrii alaninowej wiązek hadronowych dla celów klinicznych.
- Postęp w opracowaniu nowych metod pomiarowych do pomiaru dawki i charakterystyki jakości promieniowania mieszanych pól produkowanych przez terapeutyczne wiązki protonowe oraz protokołów kontroli jakości.
- Postęp w opracowaniu nowych metod obliczeniowych do optymalizacji planów terapeutycznych oraz zapewnienia jakości radioterapii protonowej.
- Ewaluacja wyników radioterapii i opracowanie nowych protokołów leczenia.
- Pogłębienie wiedzy o mechanizmach odpowiedzi komórek prawidłowych i nowotworowych po zastosowaniu różnych schematów terapeutycznych, w tym szczególnie opartych o radioterapię protonową. Zaproponowanie nowych systemów oraz schematów terapeutycznych w oparciu o badania przedkliniczne z wykorzystaniem metod, szczególnie fizyki medycznej.

Temat 5. PRACE APARATUROWE I METODYCZNE ORAZ BADANIA APARATUROWE STOSOWANE

zadanie 1. Budowa detektorów i infrastruktury badawczej dla eksperymentów z fizyki i nauk pokrewnych (Jacek Świerblewski)

cel realizacji zadania

Udział w budowie infrastruktury i aparatury umożliwiającej prowadzenie naukowych badań w zakresie fizyki i nauk pokrewnych.

1. Udział w budowie European Spallation Source (ESS), Lund, Szwecja; w ramach polskiego wkładu rzeczowego (**Dariusz Bocian, Jacek Świerblewski**).
2. Udział w pracach grupy Electrical Quality Assurance (ELQA) w trakcie drugiej długiej przerwy technicznej Large Hadron Collider Long Shutdown 2 (LHC LS2), CERN, Genewa (**Jaromir Ludwin**).
3. Udział w pracach projektowo-prototypowych radialnego spektrometru neutronowego Radial Neutron Camera (RNC) dla tokamaka International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) prowadzonych w ośrodku ENEA we Frascati, Włochy & IFJ PAN (**Dariusz Bocian, Jacek Świerblewski**).
4. Przygotowanie i rozpoczęcie udziału w budowie Facility for Antiproton and Ion Research (FAIR), Darmstadt, Niemcy (**Dariusz Bocian, Jacek Świerblewski**).

5. Modernizacja infrastruktury cieczy kriogenicznych w IFJ PAN (**Jacek Świerblewski, Waldemar Maciocha**).
6. Projekt i budowa prototypu komory laminarnej z funkcją dygestorium, IFJ PAN (**Jacek Świerblewski**).
7. Udział w projekcie i budowie detektora FoCal-E, CERN, Szwajcaria (**Jacek Świerblewski**).
8. Projekt i budowa stanowiska do pomiarów przewodów nadprzewodnikowych, IFJ PAN (**Dariusz Bocian, Jacek Świerblewski**).

planowane efekty naukowe i praktyczne

Nowa infrastruktura, aparatura naukowo-badawcza, a także modernizacja już istniejących obiektów, umożliwiają prowadzenie badań naukowych w rozszerzonych zakresach, stwarzając warunki dla nowych odkryć oraz pogłębienia aktualnej wiedzy. Wykonanie planowanych prac umożliwi stały wzrost wiedzy, kompetencji i doświadczenia dużego zespołu naukowo-inżynieryjno-technicznego.

zadanie 2. Modernizacja i eksploatacja cyklotronu AIC-144 dla potrzeb badań z obszaru radiochemii, fizyki, biologii i inżynierii materiałowej (Jacek Sulikowski**)**

cel realizacji zadania

1. Utrzymanie w ruchu i modernizacja cyklotronu AIC-144, generującego stabilną wiązkę protonów o energii 60 MeV (energia, emitancja, stabilność, wielkość prądu wiązki, niezawodność) dla potrzeb ekspozycji naukowych.
2. Modernizacja stanowiska w hali eksperymentalnej nr 1 do wykorzystania wiązki protonów 60 MeV dla celów eksperymentów naukowych.

Zadania:

1. Kontrola stabilności pola magnetycznego dla utrzymania wartości maksymalnej energii oraz natężenia i stabilności prądu wiązki protonów (**Paweł Bogdali**).
2. Kontrola stabilności systemu wysokiej częstotliwości dla utrzymania wartości maksymalnej energii oraz natężenia i stabilności prądu wiązki protonów (**Robert Cieślik**).
3. Rozwój systemu diagnostyki i monitoringu wiązki (**Marek Ruszel**).
4. Optymalizacja transportu i stabilności wiązek na stanowisku badawczym (**Artur Sroka**).
5. Modernizacja stanowiska w hali eksperymentalnej wraz z oprzyrządowaniem pomiarowym wiązki do napromieniania materiałów biologicznych systemów elektronicznych i próbek materiałowych na wiązce protonowej (**Jan Swakoń, Jacek Sulikowski**).

planowane efekty naukowe i praktyczne

Postawione zadania mają na celu utrzymanie i ciągłą poprawę podstawowych parametrów akcelerowanej wiązki protonów.

Zmodernizowane stanowisko badawcze do ekspozycji wiązką protonów o energii 60 MeV będzie wykorzystywane przez zespoły badawcze IFJ PAN oraz współpracujące instytucje, w tym zagraniczne, w obszarach radiobiologii, radiochemii, fizyki radiacyjnej i inżynierii materiałowej.

zadanie 3. Rozwój sieci lokalnej LAN oraz współpraca z akademicką siecią MAN (Zbigniew Natkaniec)

cel realizacji zadania

1. Utrzymanie w ruchu oraz rozbudowa przewodowej i bezprzewodowej infrastruktury informatycznej Instytutu.
2. Rozbudowa sieci szybkiej transmisji danych oraz utrzymanie systemów operacyjnych w klastrach serwerów i stacjach roboczych w IFJ PAN.
3. Zapewnienie bezpieczeństwa i integralności sieci komputerowej.

planowane efekty naukowe i praktyczne

- Testy i wdrożenie produkcyjne nowych zoptymalizowanych metod szybkiej transmisji zaszyfrowanych danych wielkich rozmiarów w lokalnych sieciach LAN i globalnych sieciach WAN.
- Wykonanie okresowych audytów informatycznych systemów informatycznych nadzorowanych przez dział w celu poprawy bezpieczeństwa przetwarzanych danych osobowych.
- Rozwój własnych aplikacji i oprogramowania wykorzystywanego na potrzeby IFJ.
- Modernizacja i rozwój globalnej bazy autoryzacyjnej dla użytkowników sieci oraz infrastruktury komputerowej IFJ.
- Modernizacja stron www graficznie i funkcjonalnie.

zadanie 4. Wykorzystanie technologii obliczeń w chmurze w badaniach naukowych i gospodarce (akronim CC1) (Mariusz Witek)

cel realizacji zadania

Utrzymanie infrastruktury informatycznej chmury obliczeniowej CC1. Celem zadania jest zapewnienie pełnej funkcjonalności chmury obliczeniowej IFJ PAN, powstałej w wyniku realizacji projektu POIG 02.03.03-00-033/09-04.

planowane efekty naukowe i praktyczne

Prace obejmują uaktualnianie systemu elastycznych obliczeń, serwisowanie zakupionego sprzętu oraz obsługę użytkowników.

zadanie 5. Badania naukowe i prace rozwojowe w dziedzinie nadprzewodnictwa stosowanego (Dariusz Bocian)

cel realizacji zadania

Celem zadania są badania nadprzewodników i ich zastosowań, w szczególności obejmujące analizy elektromagnetyczne, analizy mechaniczne oraz analizy cieplno–przepływowe przewodów, kabli oraz cewek nadprzewodnikowych dla przyszłych akceleratorów cząstek oraz przyszłych urządzeń dla fuzji termojądrowej (w ramach współpracy z CERN (Szwajcaria), CEA Cadarache (Francja) i EPFL-SPC PSI Villigen (Szwajcaria)) poprzez:

1. charakterystykę przewodów nadprzewodnikowych dla akceleratorów cząstek **(Dariusz Bocian)**,
2. analizy magnesów nadprzewodnikowych projektowanych dla tokamaka DEMO **(Monika Lewandowska, Rafał Ortwein)**.

planowane efekty naukowe i praktyczne

Wyniki prowadzonych analiz dostarczą informacji zwrotnej, która pomoże udoskonalać projekty i kolejne wersje prototypów elementów magnesów nadprzewodnikowych dla akceleratorów i tokamaków. Będą też przedmiotem publikacji naukowych, raportów z projektów, a także będą prezentowane na krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych.