

PRACE MAGISTERSKIE PROPONOWANE DO WYKONANIA W ZESPOLE
Prof. Pawła Moskala (<http://koza.if.uj.edu.pl>)

PROWADZIMY ZARÓWNO BADANIA PODSTAWOWE JAK I APLIKACYJNE.
MAJĄ ONE NA CELU:

- 1) Testy symetrii dyskretnych i koherencji kwantowej w rozpadach mezonów, testy nierówności Bella, symetrii Lorentza, modeli kwantowej grawitacji, oraz Chiralnej Teorii Zaburzeń**
- 2) Poszukiwanie nowych rodzajów materii (np. jąder mezonowych czy bozonów ciemnej materii)**
- 3) Rozwój Pozytonowej Tomografii Emisyjnej tak by można było diagnozować całe ciało pacjenta jednocześnie i aby obrazy były bardziej ostre**

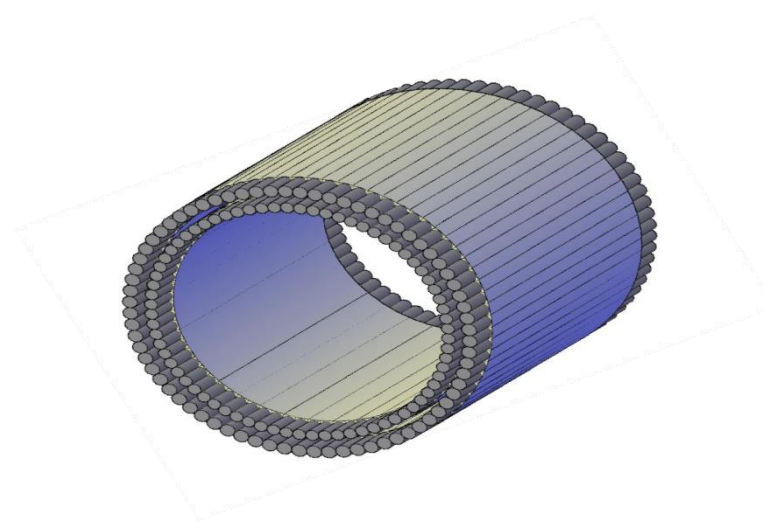
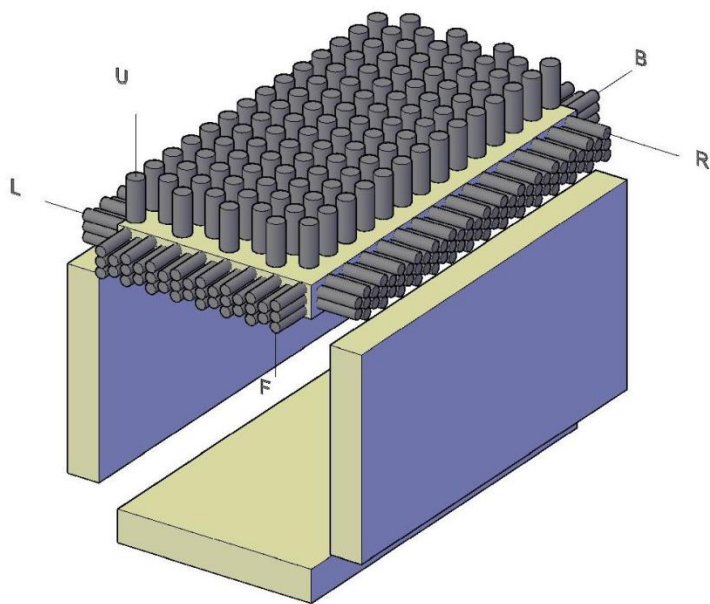
BADANIA WYKONUJEMY:

- I) PRZY UŻYCIU DETEKTORA **WASA** W NIEMCZECH NA SYNCHROTRONIE PROTONOWYM COSY**
- II) PRZY UŻYCIU DETEKTORA **KLOE-2** WE WŁOSZECH NA ZDERZACZU POZYTONÓW Z ELEKTRONAMI**
- III) PRZY UŻYCIU DETEKTORA **ATRAP-II** W EUROPEJSKIM CENTRUM BADAŃ JĄDROWYCH CERN W SZWAJCARII**
- IV) W LABORATORIUM DETEKTORÓW **ZAKŁADU FIZYKI JĄDROWEJ UJ****

NOWE POZYTONOWE TOMOGRAFY EMISYJNE

<http://koza.if.uj.edu.pl>

W tym roku we współpracy z firmą **Silvermedia** rozpoczęliśmy realizację projektu finansowanego przez **Narodowe Centrum Badań i Rozwoju** mającego na celu zbudowanie, uruchomienie, przetestowanie oraz zoptymalizowanie prototypu nowych pozytonowych tomografów emisyjnych (PET) do diagnostyki medycznej, umożliwiających jednocześnie przestrzenne obrazowanie całego ciała pacjenta, z wykorzystaniem organicznych materiałów scyntylacyjnych. Organiczne detektory promieniowania gamma znacząco obniżą koszty wytworzenia urządzenia oraz zwiększą efektywność i szybkość odtwarzania obrazu dzięki zastosowaniu metody czasu przelotu (zwanej TOF – z ang. Time of Flight) z precyzją o około rząd wielkości lepszą niż w obecnych urządzeniach. Innowacyjność rozwiązania polega na rejestrowaniu kwantów gamma emitowanych z wnętrza ciała pacjenta za pomocą dużych bloków polimerowych, w których miejsce i czas uderzenia kwantu gamma określane jest na podstawie rozkładu czasu dotarcia sygnałów świetlnych do fotopowielaczy. Nowe urządzenie będzie nie tylko tańsze, ale także szczególnie efektywne przy wykrywaniu przerzutów nowotworowych pojawiających się w dowolnym miejscu ciała pacjenta oraz w badaniach klinicznych nowych leków. Wdrażane rozwiązania zostały nagrodzone złotym medalem na **Światowych Targach Wynalazczości, Badań Naukowych i Nowych Technologii: BRUSSELS INNOVA 2009**. Poniżej przedstawione są schematycznie dwa przykładowe detektory PET: Tomograf Matrycowy (z lewej) oraz Tomograf Paskowy (z prawej).



Wyzwaniem technologicznym projektu jest osiągnięcie rozdzielczości czasowej pomiaru czasu reakcji w detektorze anihilacyjnych kwantów gamma z dokładnością do kilkudziesięciu pikosekund. Prace magisterskie dotyczą do wyboru następującej tematyki: elektronika; pomiary kwantów anihilacyjnych przy użyciu detektorów scyntylacyjnych; symulacje komputerowe z użyciem metod Monte-Carlo; komputerowa analiza danych. Proponujemy wykonanie następujących prac:

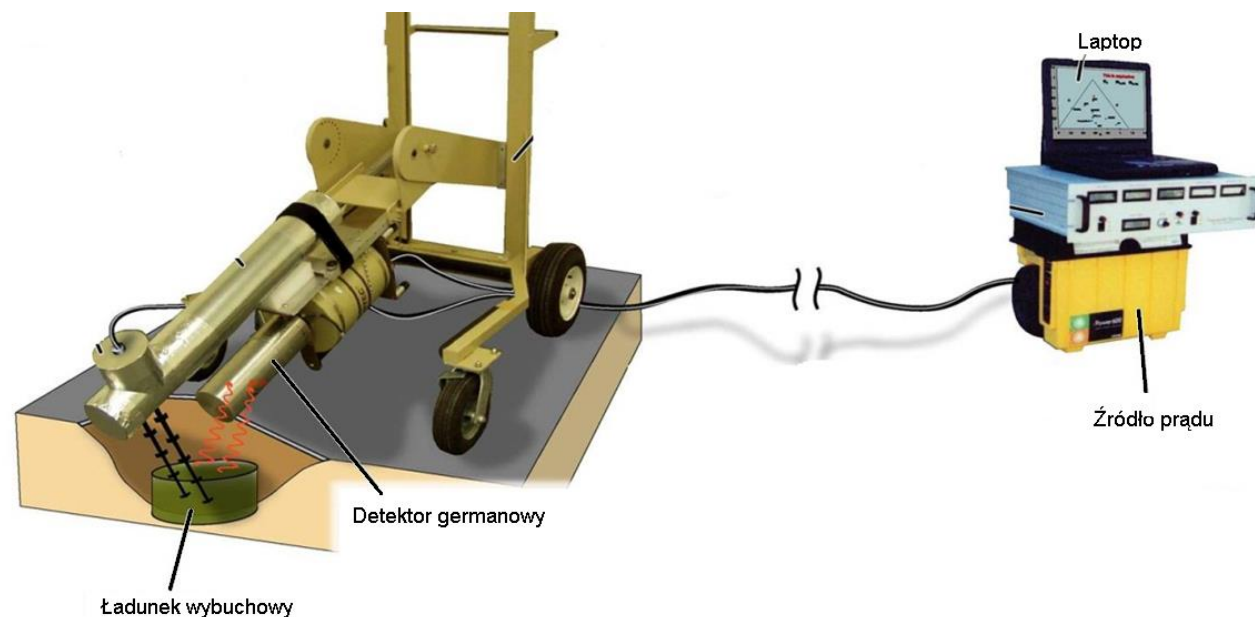
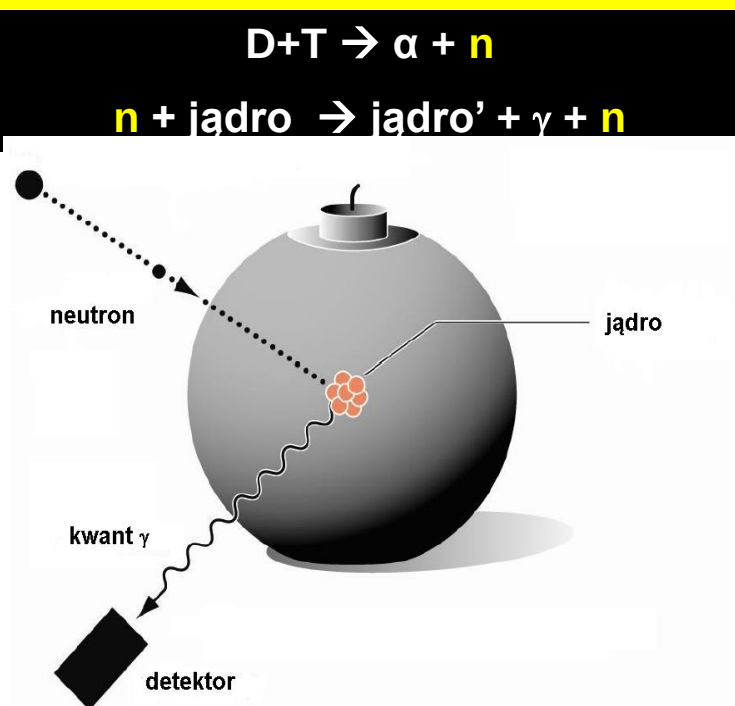
- 1) Przygotowanie programu do wizualizacji obrazów tomograficznych dla uczenia się interpretowania obrazów przez studentów medycyny.
(Opiekun: Prof. Paweł Moskal, e-mail: p.moskal@uj.edu.pl)
- 2) Pomiary i analiza sygnałów z jedno-modułowego prototypu tomografu PET z programowalnym odczytem elektronicznym
(Opiekun: Prof. Paweł Moskal, e-mail: p.moskal@uj.edu.pl)
- 3) Zestawienie układu detekcyjnego i prowadzenie testów rozdzielczości czasowej nowych scyntylatorów organicznych wytwarzanych w Zakładzie Technologii Chemicznej Wydziału Chemii UJ.
(Opiekun: Prof. Paweł Moskal, e-mail: p.moskal@uj.edu.pl)
- 4) Opracowywanie nowych algorytmów do rozpoznawania kształtu zdigitalizowanych sygnałów z detektorów scyntylacyjnych. (Opiekun: Prof. Paweł Moskal, e-mail: p.moskal@uj.edu.pl)
- 5) Opracowanie sposobu wyznaczania głębokości interakcji kwantów anihilacyjnych w detektorach używanych w pozytonowej tomografii emisyjnej. (Opiekun: Prof. Paweł Moskal, e-mail: p.moskal@uj.edu.pl)
- 6) Badanie właściwości fotopowielaczy pod kątem optymalizacji rozdzielczości czasowej tomografów TOF-PET.
(Opiekun: Prof. Paweł Moskal, e-mail: p.moskal@uj.edu.pl)
- 7) Badanie promieniotwórczości naturalnej kryształów używanych w tomografach PET.
(Opiekun: Prof. Paweł Moskal, e-mail: p.moskal@uj.edu.pl)
- 8) Badanie rozdzielczości czasowej i przestrzennej dwu-paskowego prototypu tomografu PET.
(Opiekun: Prof. Paweł Moskal, e-mail: p.moskal@uj.edu.pl , Michał Silarski, e-mail: michal.silarski@uj.edu.pl)

- 9) Nowe metody cechowania oraz monitorowania układu detekcyjnego tomografów TOF-PET
(Opiekun: dr Michał Silarski, michal.silarski@uj.edu.pl, praca w zespole Prof. Pawła Moskala)
Praca ma charakter doświadczalny komputerowy

Obecnie stosowane metody cechowania energetycznego oraz synchronizacji czasowej modułów detekcyjnych skanerów TOF-PET opierają się na zastosowaniu izotopów promieniotwórczych (na przykład sodu ^{22}Na czy germanu ^{68}Ge). Przedstawione powyżej metody nie pozwalają na cechowanie i monitorowanie działania skanerów PET w trakcie obrazowania bez dodatkowego napromieniowania pacjentów, stwarzają komplikacje związane z dodatkową aparaturą zwiększającą rozmiary tomografu oraz nie pozwalają na uwzględnienie wpływu np. wahań temperatury lub napięcia na własności czasowe i energetyczne detektorów. Ponadto metody te nie są wygodne w przypadku długich detektorów, wykorzystywanych w nowych skanerach STRIP-PET.

Celem pracy jest opracowanie algorytmów komputerowych do cechowania oraz monitorowania prototypu skanera STRIP-PET wykorzystujących promieniowanie kosmiczne w oparciu o zgłoszenie patentowe, którego współautorem jest opiekun.

- 10) Symulacje komputerowe w celu wyznaczenia macierzy kowariancji do wyznaczania podobieństw między sygnałami z detektorów scyntylacyjnych.
(Opiekun: Prof. Paweł Moskal, e-mail: p.moskal@uj.edu.pl)



Ograniczenia standardowych metod wykrywania materiałów niebezpiecznych skłaniają do poszukiwania alternatywnych rozwiązań. Jedną z najbardziej obiecujących metod jest atomometria, polegająca na analizie stechiometrii badanej substancji za pomocą wiązek neutronów. Napromieniowany neutronami przedmiot emituje kwanty gamma, których energia jest charakterystyczna dla każdego pierwiastka. Pomiary energii tych kwantów pozwala zatem na określenie składu chemicznego badanej substancji. Dotychczas dokonywano ich za pomocą detektorów półprzewodnikowych, które wymagają chłodzenia i obniżają tym samym mobilność urządzenia. Detektory te mogą być potencjalnie zastąpione scyntylatorami polimerowymi, dużo tańszymi oraz zapewniającymi mobilność.

1) Detekcja neutronów za pomocą scyntylatorów polimerowych w kontekście wykrywania materiałów niebezpiecznych

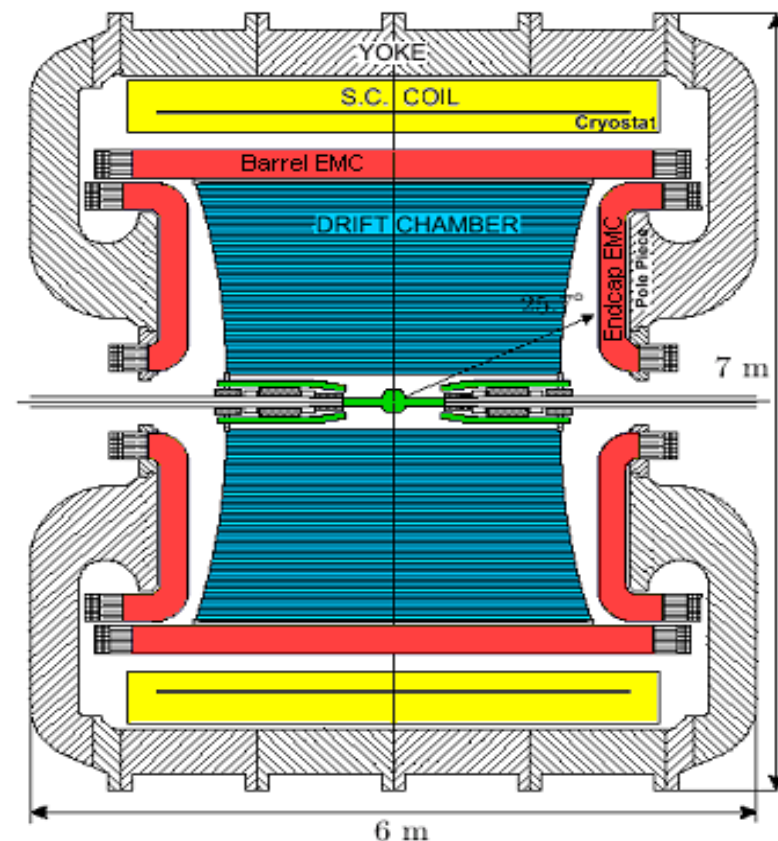
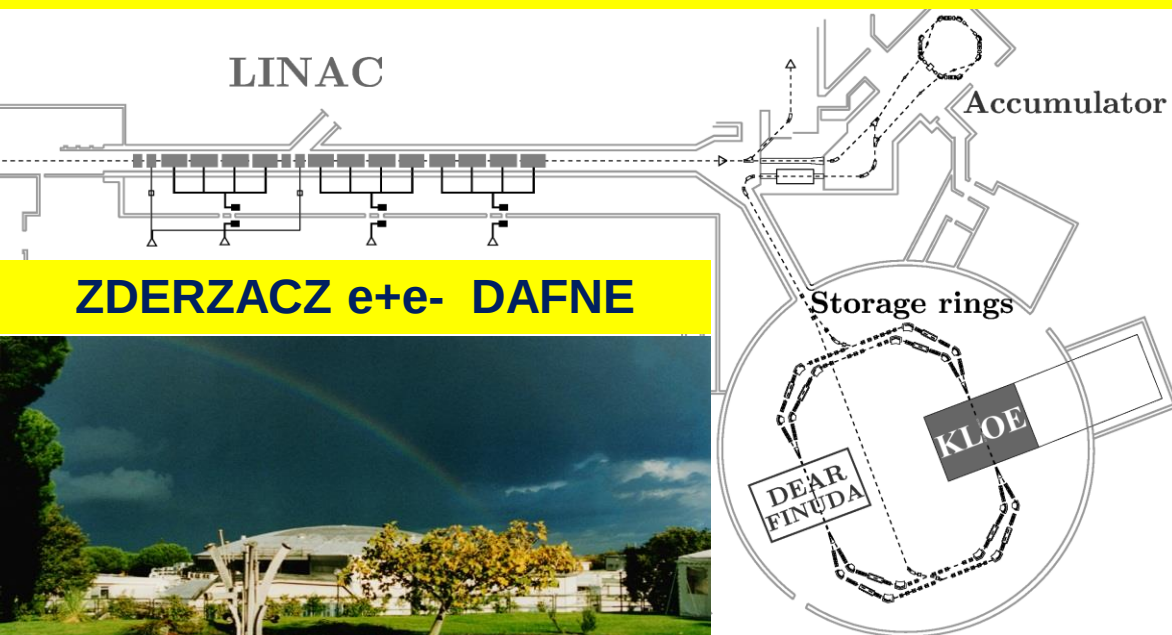
(Opiekun: dr Michał Silarski, michal.silarski@uj.edu.pl, praca w zespole Prof. Pawła Moskala)

Praca ma charakter doświadczalny

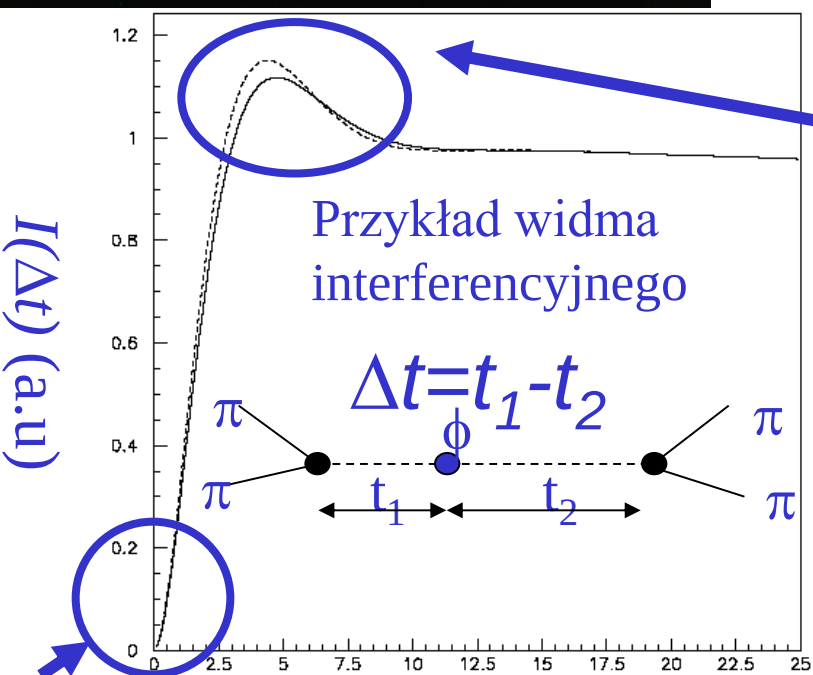
Praca polega na doświadczalnym pomiarze wydajności detekcji neutronów i kwantów gamma, oraz osiągniętych energetycznych oraz czasowych zdolności rozdzielczych dla dostępnych polimerowych materiałów scyntylacyjnych. Pozwoli to na wybranie optymalnego scyntylatora do budowy prototypu wykrywacza materiałów niebezpiecznych opartego na neutronowych technikach aktywacyjnych rozwijanych w Zakładzie Fizyki Jądrowej UJ.

EKSPERYMENT KLOE-2: INTERFEROMETRIA KWANTOWO SPLĄTANYCH MEZONÓW

<http://koza.if.uj.edu.pl>



SYSTEM DETEKCYJNY KLOE-2

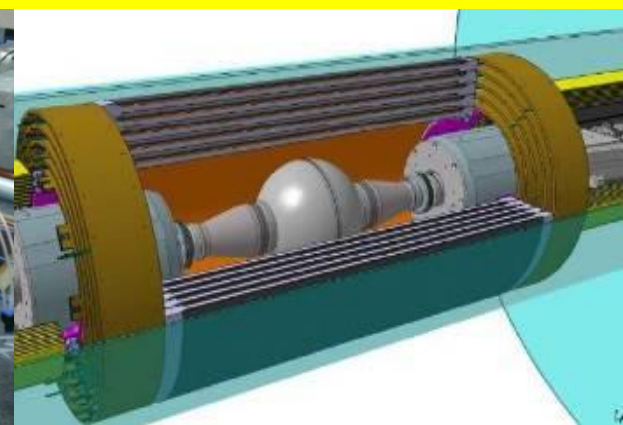


Przykład widma interferencyjnego

*maksimum wynikające
z różnicy mas stanów
własnych hamiltonianu
opisującego mezon K*

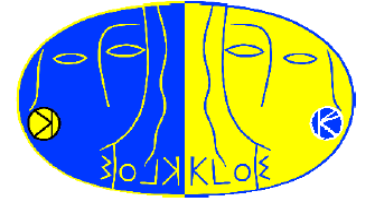
Brak zdarzeń dla $(\Delta t=0)$ z powodu koherencji kwantowej na odległość (paradoks: EPR: Einstein-Podolski-Rosen)

DETEKTOR C-GEM





Fundacja na rzecz Nauki Polskiej



Temat:

Alignment of the KLOE-2 Inner Tracker detector

Opiekun: Dr Eryk Czerwiński (praca w zespole Prof. Pawła Moskala)

W oparciu o nową technologię detekcji cząstek (Cylindrical-Gas Electron Multiplier) w Narodowym Laboratorium we Frascati został skonstruowany pierwszy na świecie cylindryczny detektor GEM do pomiaru trajektorii cząstek powstających w zderzeniach pozytonów z elektronami. Celem pracy jest przygotowanie procedur kalibracyjnych do tego detektora wraz z automatyzacją całego procesu cechowania.

Temat:

Selection cuts optimisation for kaon interferometry with $\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$ final state

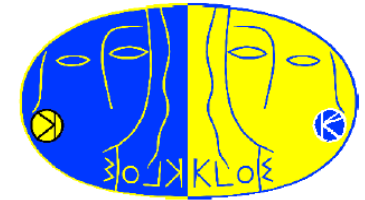
Opiekun: Dr Eryk Czerwiński (praca w zespole Prof. Pawła Moskala)

Tematem pracy jest wyznaczenie optymalnych kryteriów selekcji zdarzeń $\phi \rightarrow K_L K_S \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$ z danych eksperymentalnych oraz symulacji Monte Carlo w celu badania interferometrii kwantowej w oparciu o dane zebrane przy użyciu detektora KLOE w Narodowym Laboratorium we Frascati (Włochy).

Prace będą realizowane w ramach programu **Homing Plus Fundacji na rzecz Nauki Polskiej**.

Magistrant przyjęty do projektu będzie otrzymywał stypendium w wysokości 1000 zł miesięcznie.

W roku akademickim 2013/2014 przewidziane są dwa stypendia.



Badanie oddziaływania mezonów K pod kątem struktury rezonansów skalarnych $a_0(980)$ i $f_0(980)$

(Opiekun: dr Michał Silarski, michal.silarski@uj.edu.pl, praca w zespole Prof. Pawła Moskala)

Praca ma charakter doświadczalny komputerowy

Struktura oraz własności mezonów skalarnych jest od kilkadziesiąt lat przedmiotem intensywnych badań zarówno teoretycznych, jak i doświadczalnych. Wskazują one na to, że cząstki te mogą być egzotycznymi molekułami utworzonymi przez mezony K^+ i K^- . Weryfikacja tej hipotezy wymaga określenia siły oddziaływania tych mezonów. Może być ona oszacowana z największą czułością eksperymentalną na podstawie danych zebranych za pomocą detektora KLOE dla reakcji $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\gamma$. Praca obejmuje przeprowadzenie szczegółowych symulacji Monte Carlo procesów tłowych dla wspomnianej reakcji oraz określenie na ich podstawie strategii analizy danych. W ramach pracy przewiduję się również możliwość uczestniczenia w pomiarach reakcji $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\gamma$ na akceleratorze wiązek przeciwbieżnych DAΦNE we Frascati prowadzonych za pomocą detektora KLOE-2.

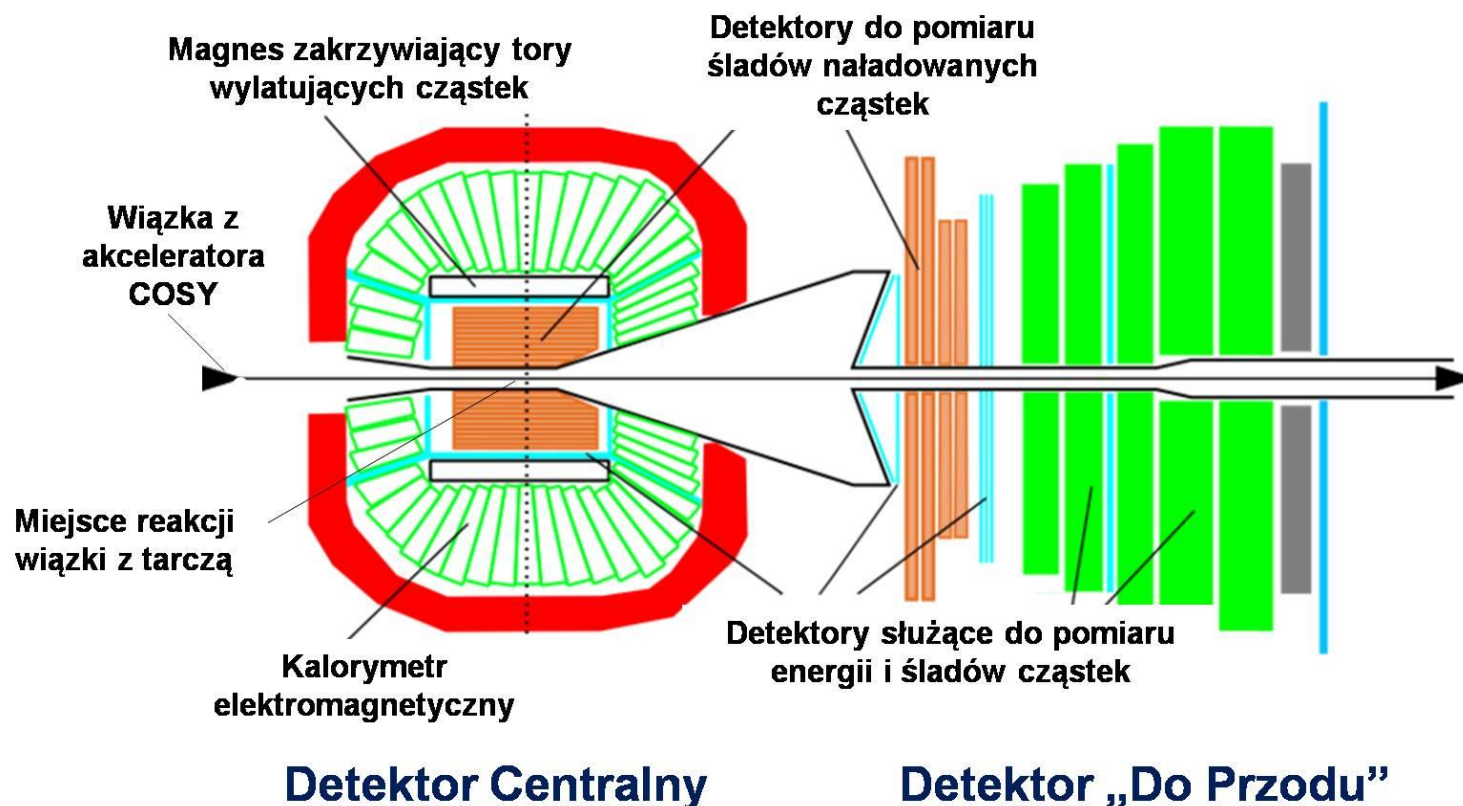
Badanie łamania symetrii CP w rozpadach mezonu K_S

(Opiekun: dr Michał Silarski, michal.silarski@uj.edu.pl, praca w zespole Prof. Pawła Moskala)

Praca ma charakter doświadczalny komputerowy

Badania niezmienniczości wobec podstawowych symetrii daje możliwość poznania fundamentalnych praw rządzących w świecie cząstek elementarnych, a w przypadku symetrii CP mogą rzucić nowe światło na problem asymetrii między materią i antymaterią we Wszechświecie. Niezachowanie symetrii CP zauważono po raz pierwszy w 1964 roku w rozpadach mezonu KL, a jego stopień został dobrze oszacowany w wielu eksperymentach. Analogiczne łamanie symetrii CP powinno zachodzić dla krótkożyłowego kaonu K_S , dla którego dotychczas nie udało się oszacować precyzyjnie parametrów niezachowania CP. Celem pracy jest oszacowanie z unikalną dokładnością eksperymentalną stosunku rozgałęzień oraz stopnia niezachowania symetrii CP w rozpadzie $KS \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ z wykorzystaniem danych zebranych za pomocą detektora KLOE pracującego na zderzaczu e^+e^- DAΦNE we Frascati. W ramach pracy przewiduję się również możliwość uczestniczenia w nowych pomiarach tego rozpadu prowadzonych aktualnie za pomocą detektora KLOE-2.

EKSPERYMENT WASA-at-COSY:
BADANIE SYMETRII DYSKRETYCH W ROZPADACH MEZONÓW;
POSZUKIWANIE BOZONU CIEMNEJ MATERII
PRÓBA ODKRYCIA NOWEGO RODZAJU MATERII JĄDROWEJ
W POSTACI JĄDER MEZONOWYCH HELU
<http://koza.if.uj.edu.pl>



Detektor Centralny

Detektor „Do Przodu”

Bazę eksperymentalną stanowi pokazany powyżej układ detekcyjny WASA zainstalowany na wiązce synchrotronu COSY w Centrum Badawczym Juelich w Niemczech. **Obecnie dysponujemy już próbką danych, która pozwoli na zrekonstruowanie ponad 10^9 zdarzeń z produkcją mezonu eta. Jest to największa na świecie liczba zarejestrowanych mezonów eta. Badania finansowane są w ramach dwóch projektów Narodowego Centrum Nauki.**

Proponujemy wykonanie prac magisterskich w ramach tematyki opisanej na następnej stronie. Badania mogą dotyczyć analizy badanych reakcji i symulacji komputerowych przy użyciu metod Monte-Carlo. Kandydat po zapoznaniu się z eksperymentem może samodzielnie wybrać szczegółowy temat pracy w ramach tematyki opisanej na następnej stronie.

**EKSPERYMENT WASA-at-COSY:
BADANIE SYMETRII DYSKRETNYCH W ROZPADACH MEZONÓW;
POSZUKIWANIE BOZONU CIEMNEJ MATERII
PRÓBA ODKRYCIA NOWEGO RODZAJU MATERII JĄDROWEJ
W POSTACI JĄDER MEZONOWYCH HELU
<http://koza.if.uj.edu.pl>**

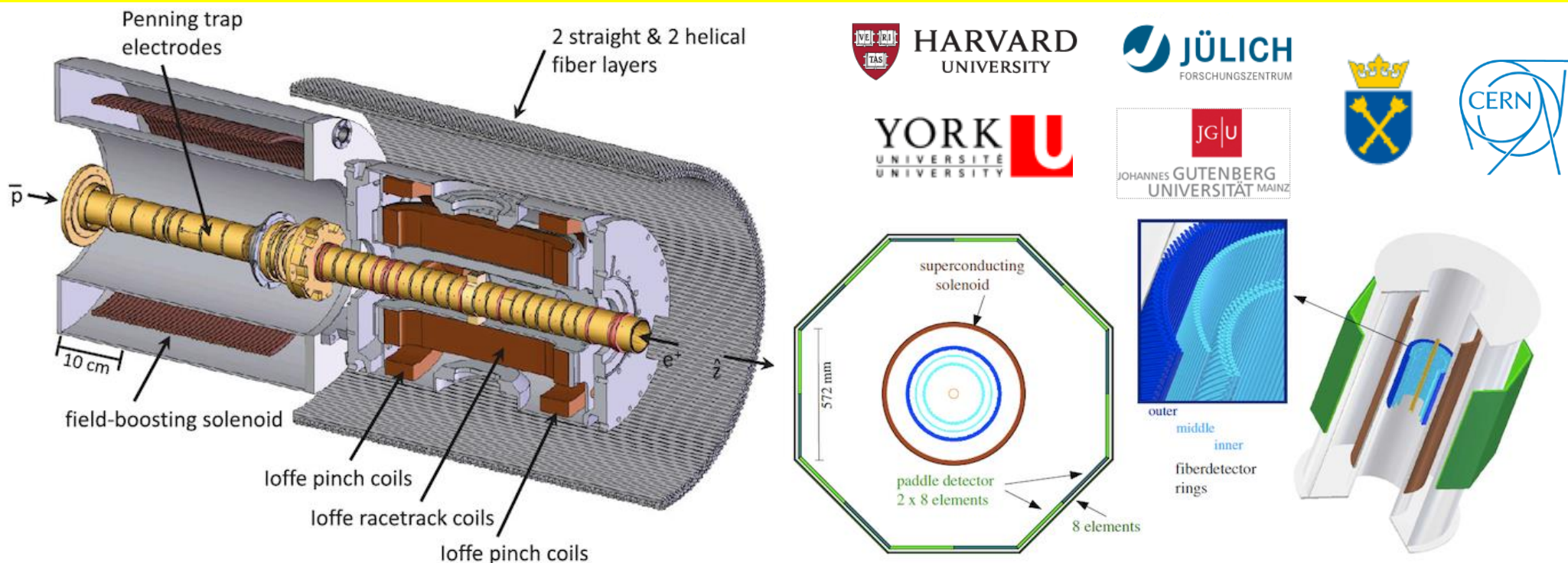
Celem naukowym prowadzonych badań jest:

1) Wyznaczenie stopnia zachowania fundamentalnych symetrii dyskretnych oraz poszukiwanie zjawisk nie dających się opisać w ramach Modelu Standardowego fizyki cząstek. Badania prowadzimy poprzez pomiary rozpadów mezonu, który, co jest rzadkością w przyrodzie, jest stanem własnym operatorów parzystości przestrzennej P , parzystości ładunkowej C oraz parzystości kombinowanej CP . Koncentrujemy się na leptonowych i pół-leptonowych rozpadach mezonu, które pozwolą na testowanie stopnia zachowania symetrii C w oddziaływaniach silnych i elektromagnetycznych oraz na badania, zachowującego liczbę kwantową zapachu, łamania symetrii CP . Proponowane doświadczenia są także intrygujące w kontekście poszukiwania wyjaśnienia przyczyn asymetrii pomiędzy materią i anty-materią, w obserwowalnym Wszechświecie, jak również otwierają możliwość testowania hipotez co do natury ciemnej materii.

2) Empiryczne potwierdzenie istnienia jąder mezonowych.

Jądro etowe, czyli układ mezonu η i jądra atomowego związany za pośrednictwem oddziaływania silnego, zostało przewidziane ponad dwadzieścia lat temu. Jego istnienie nie zostało jednak do tej pory potwierdzone empirycznie. Pośrednim efektem badań będzie poznanie oddziaływania hadronowego mezonów η z jądrami helu, a w konsekwencji także lepsze zbadanie bardziej elementarnego oddziaływania mezonu η z nukleonem. Istnienie stanów związanych mezonów η z jądrami atomowymi, stworzyłoby także możliwość zbadania oddziaływania tych mezonów z nukleonami wewnątrz materii jądrowej. Ponadto, wiązanie mezonu η wewnątrz materii jądrowej jest czułe na zawartość singletowej składowej w kwarkowo-gluonowej funkcji falowej tego mezonu, a zatem czyni badanie stanów związanych mezonu η ważnymi także z punktu widzenia zrozumienia struktury mezonów η i η' . Unikalność otrzymanych przez nas danych w stosunku do innych eksperymentów przejawia się w: (i) Istotnie większej statystyce, (ii) Ekskluzywnym pomiarze wszystkich produktów reakcji, (iii) Ciągłą zmianą pędu wiązki w trakcie każdego cyklu pomiarowego, (iv) Pomiarom dwóch reakcji równocześnie, (v) Monitorowaniem świetlności za pomocą dwóch różnych reakcji. **Istnieją zatem realne szanse, że w wyniku realizacji tego eksperymentu, po raz pierwszy na świecie, istnienie jąder mezonowych zostanie potwierdzone empirycznie.**

EKSPERYMENT ATRAP-II: PRODUKCJA I PUŁAPKOWANIE ATOMÓW ANTYWODORU; BADANIE SYMETRII CPT METODAMI SPEKTROSKOPII LASEROWEJ ANTYWODORU; BADANIE ODDZIAŁYWANIA GRAWITACYJNEGO MATERII I ANTYMATERII; BADANIA MOMENTU MAGNETYCZNEGO ANTYPROTONU; <http://koza.if.uj.edu.pl>



HARVARD
UNIVERSITY



Bazę eksperymentalną stanowi pokazany powyżej układ detekcyjny ATRAP-II zainstalowany na wiązkę akceleratora anty-protonowego AD w Europejskim Centrum Badań Jądrowych CERN w Szwajcarii. W ciągu kilku ostatnich lat zrobiono ogromny postęp w metodach wydajnej produkcji i pułapkowania atomów antywodoru co przybliża prowadzone badania do wykonania bardzo precyzyjnego pomiaru spektroskopowego atomów antywodoru i porównanie go z takim samym pomiarem na atomach wodoru. **Odkrycie różnicy w widmach spektralnych tych dwóch atomów mogłoby świadczyć o niezachowaniu symetrii CPT.**

Proponujemy wykonanie prac magisterskich w ramach tematyki opisanej na następnej stronie. Badania mogą dotyczyć analizy badanych eksperymentalnych zebranych w dotychczasowych pomiarach i symulacji komputerowych przy użyciu metod Monte-Carlo. Kandydat po zapoznaniu się z eksperymentem może samodzielnie wybrać szczegółowy temat pracy w ramach tematyki opisanej na następnej stronie.

**EKSPERYMENT ATRAP-II:
PRODUKCJA I PUŁAPKOWANIE ATOMÓW ANTYWODORU;
BADANIE SYMETRII CPT METODAMI SPEKTROSKOPII LASEROWEJ ANTYWODORU;
BADANIE ODDZIAŁYWANIA GRAWITACYJNEGO MATERII I ANTYMATERII;
BADANIA MOMENTU MAGNETYCZNEGO ANTYPROTONU;
<http://koza.if.uj.edu.pl>**

Atomy antywodoru wytwarzane w zagnieżdżonej pułapce Penninga są elektrycznie obojętne i nie podlegają działaniu pól elektrostatycznych, dlatego aby je utrzymać w środku pułapki stosuje się gradient pola magnetycznego. Niestety atomy antywodoru i tak powoli poruszają się w stronę ścianek pułapki, gdzie po zderzeniu ulegają natychmiastowej anihilacji przeważnie na kilka mezonów pi oraz dwa kwanty gamma o energii 511keV. Detekcja zdarzenia anihilacyjnego jest bardzo trudna ponieważ obciążona jest tłem pochodzącym od anihilacji swobodnych antyprotonów, które nie uformowały atomów antywodoru. Proponowane poniżej tematy prac magisterskich/licencjackich w szerszym kontekście mają na celu stworzenie dokładnych metod identyfikacji i rekonstrukcji procesów anihilacji antyprotonów i atomów antywodoru. Tematyka obejmuje opracowanie metod cechowania hodoskopów scyntylacyjnych oraz wyznaczenia ich wydajności co ma bardzo duże znaczenie dla przygotowywanych metod identyfikacji procesów anihilacji.

Proponowana tematyka prac licencjackich/magisterskich:

1) Wyznaczenie wydajności detekcji produktów anihilacji antywodoru za pomocą układu eksperymentalnego ATRAP-II

(Opiekun: Dr Marcin Zieliński, m.zielinski@uj.edu.pl, praca w zespole Prof. Pawła Moskala)

Praca ma charakter doświadczalny komputerowy

2) Opracowanie, implementacji i przetestowanie algorytmów do rekonstrukcji procesów anihilacji atomów antywodoru w pułapce Penninga z użyciem detektorów scyntylacyjnych.

(Opiekun: Dr Marcin Zieliński, m.zielinski@uj.edu.pl, praca w zespole Prof. Pawła Moskala)

Praca ma charakter doświadczalny komputerowy

3) Opracowanie procedur do kalibracji indywidualnych modułów scyntylacyjnych układu detekcyjnego ATRAP-II.

(Opiekun: Dr Marcin Zieliński, m.zielinski@uj.edu.pl, praca w zespole Prof. Pawła Moskala)

Praca ma charakter doświadczalny komputerowy