

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

- 1) Testy symetrii dyskretnych i koherencji kwantowej w rozpadach mezonów, oraz w rozpadach pozytonium (atomu e^+e^-)**
- 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 WŁOSZACH 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****

Pozyton wyemitowany w rozpadzie beta może w zetknięciu z elektronem utworzyć atom zbudowany z pozytonu i elektronu. Taki atom nazywa się pozytonium. Najczęściej występuje on w dwóch stanach kwantowych o prawie tysiąckrotnie różnych czasach życia. Pomiar korelacji pomiędzy kwantami gamma z rozpadu pozytonium umożliwia badanie podstawowych symetrii takich jak symetria parzystości (P), odwrócenia w czasie (T), sprzężenia ładunkowego (C) oraz ich kombinacji.

Do tej pory nikt jeszcze nie zaobserwował łamania symetrii C czy nawet P w procesach wywoływanych oddziaływaniem elektromagnetycznym. Nigdy też nie udało się do tej pory zaobserwować łamania symetrii CP w układzie z samych leptonów. Może nam się uda.

Prace mogłyby polegać na:

1) Wykonaniu symulacji komputerowych w celu określenia możliwości badania tych symetrii za pomocą tomografu PET.

2) Wykonywaniu pomiarów z detektorami scyntylacyjnymi na przykład w celu sprawdzenia w jak dobrze w budowanym tomografie będzie można określać względną polaryzację kwantów gamma emitowanych z pozytonium. W tym celu trzeba będzie zmierzyć rozkład kątowy kwantów gamma rozpraszających się w pojedynczym module detekcyjnym.

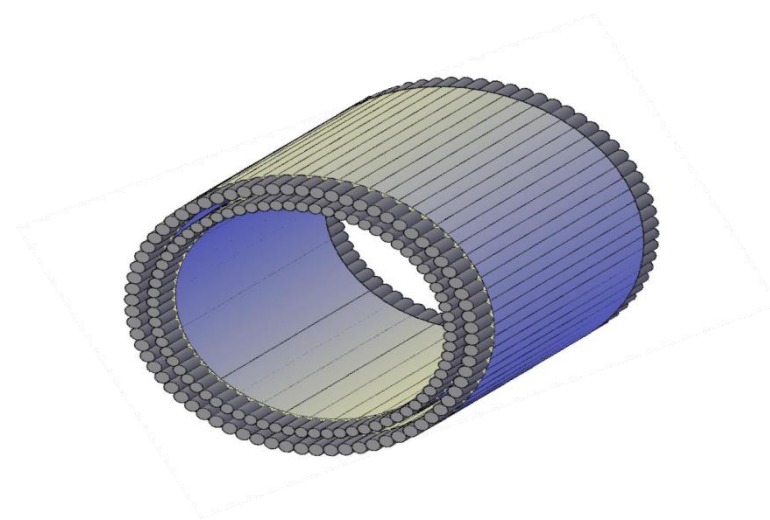
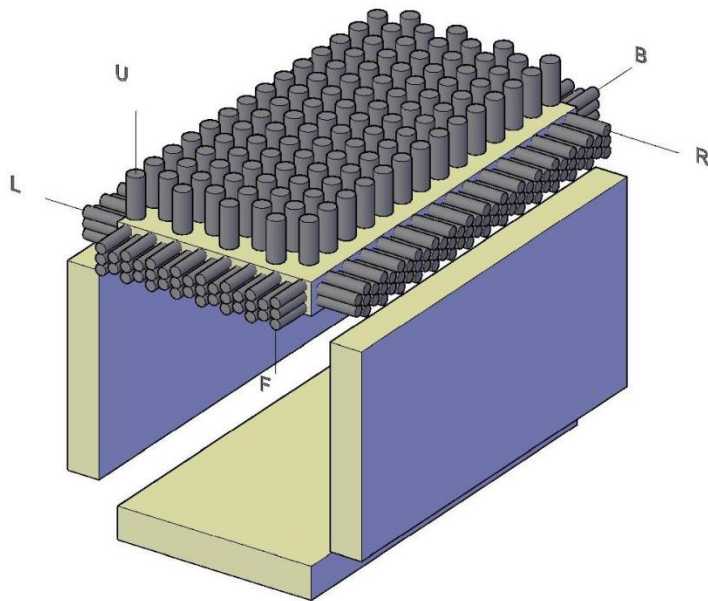
3) Zmierzeniu czasu życia pozytonium za pomocą dwupaskowego detektora scyntylacyjnego.

4) Wyjaśnieniu przyczyny dziwnego zjawiska, które obserwujemy przy badaniu różnicy czasów dotarcia kwantów gamma z rozpadu pozytonium do dwóch pasków scyntylacyjnych. Jak paski są ustawione tak że droga przez nie kwantu gamma jest krótka to dostajemy gorszą rozdzielczość czasową niż jak je przekręcimy tak, żeby ta droga była dłuższa. Może to ma coś wspólnego z zasadą nieoznaczoności? ponieważ rozdzielczości które uzyskujemy są wysokie. Rzędu 80 pikosekund.

NOWE POZYTONOWE TOMOGRAFY EMISYJNE

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

We współpracy z firmą **Silvermedia** realizujemy projektu finansowany przez **Narodowe Centrum Badań i Rozwoju** mający 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) Pomiary i analiza sygnałów z prototypu tomografu PET
z programowalnym odczytem elektronicznym
(Opiekun: Prof. Paweł Moskal, e-mail: p.moskal@uj.edu.pl)
- 2) Opracowywanie nowych algorytmów do rozpoznawania kształtu zdigitalizowanych sygnałów
z detektorów scyntylacyjnych. (Opiekun: Prof. Paweł Moskal, e-mail: p.moskal@uj.edu.pl)
- 3) 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)
- 4) Badanie właściwości fotopowielaczy pod kątem optymalizacji rozdzielczości czasowej tomografów TOF-PET.
(Opiekun: Prof. Paweł Moskal, e-mail: p.moskal@uj.edu.pl)
- 5) Badanie promieniotwórczości naturalnej kryształów używanych w tomografach PET.
(Opiekun: Prof. Paweł Moskal, e-mail: p.moskal@uj.edu.pl)
- 6) 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)

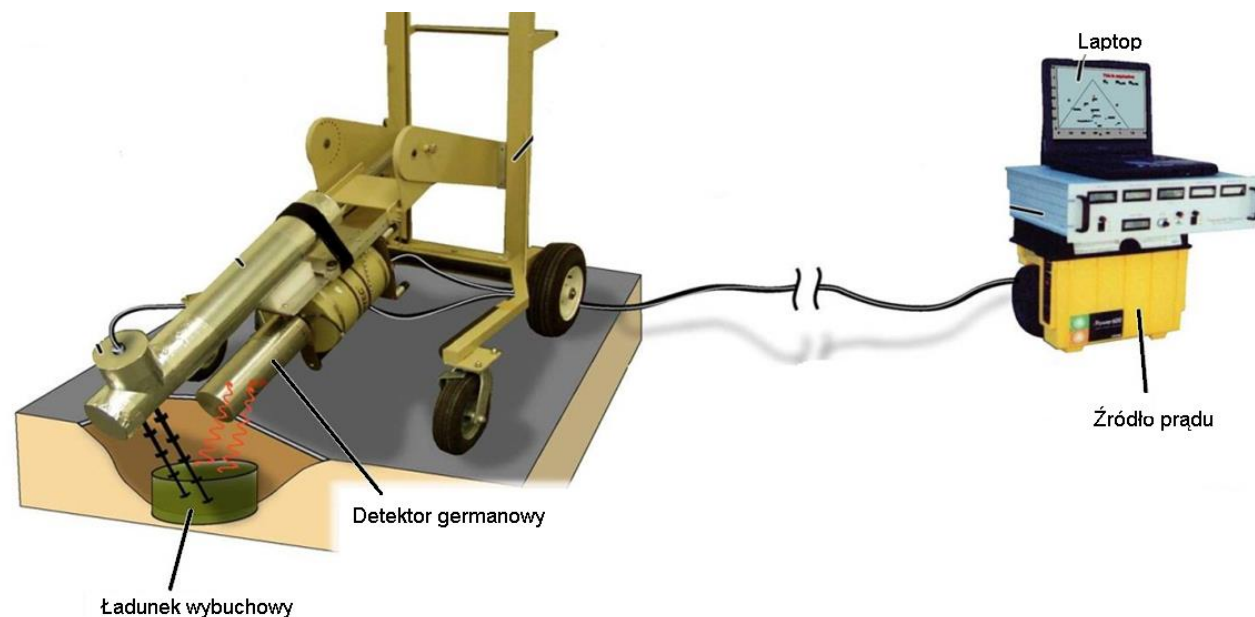
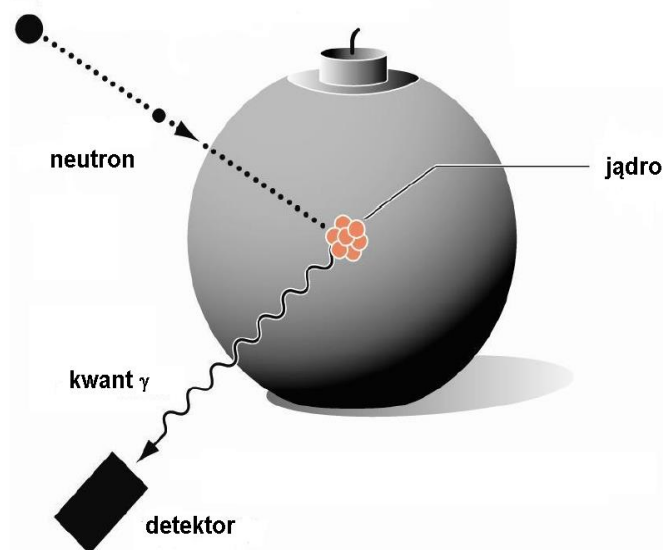
- 7) Nowe metody cechowania oraz monitorowania układu detekcyjnego tomografów TOF-PET
(Opiekun: dr Michał Silarski, michal.silarski@uj.edu.pl, praca w zespole Prof. Pawła Moskala)
Praca ma charakter doświadczalny komputerowy

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.

- 8) 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)

- 9) Opracowanie algorytmu do generacji raportów publikacji na podstawie baz danych typu INSPIRE, arxiv oraz implementacja rozwiązania w języku Perl lub Python."
wymagania: przynajmniej podstawowa znajomość jakiegoś języka skryptowego typu Python lub Perl.
Umiejętność logicznego myślenia.
(Opiekun: dr Wojciech Krzemień, wojciech.krzemien@if.uj.edu.pl)
Praca ma charakter informatyczny.



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

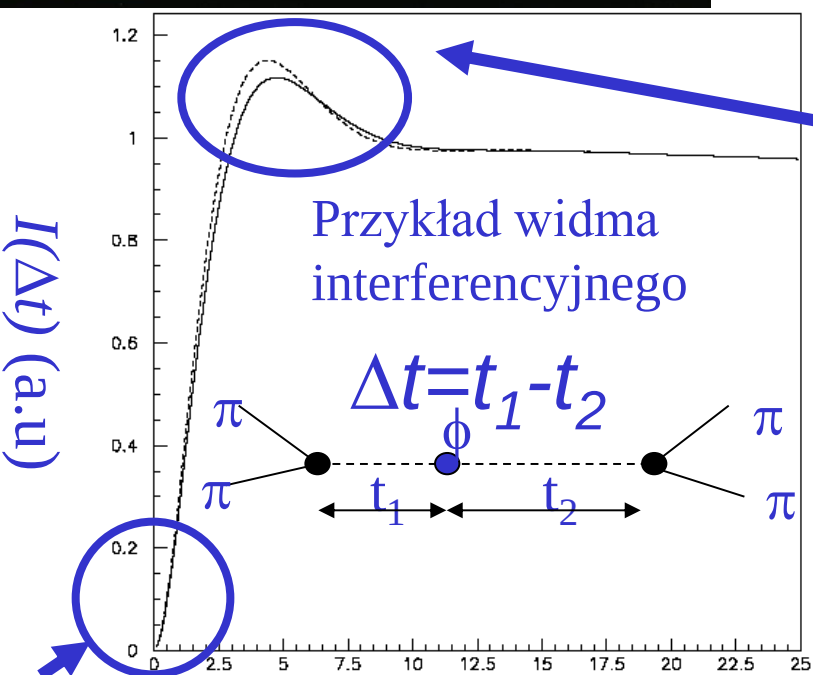
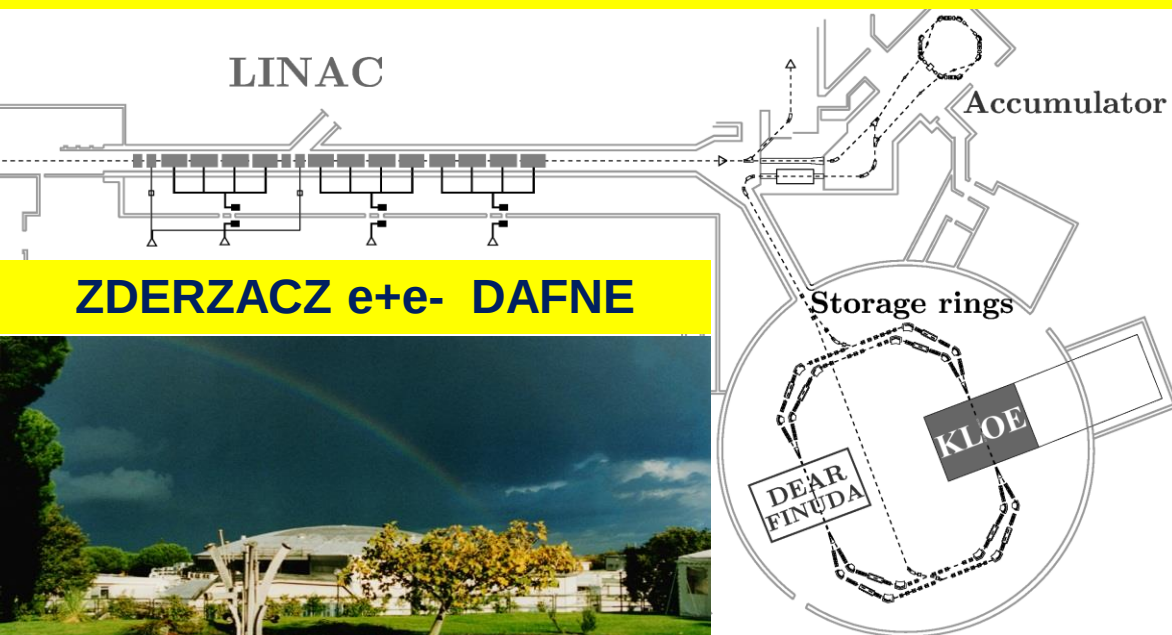
(Opiekun: dr Michał Silarski, michal.silarski@uj.edu.pl, praca w zespole Prof. Pawła Moskala)

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.

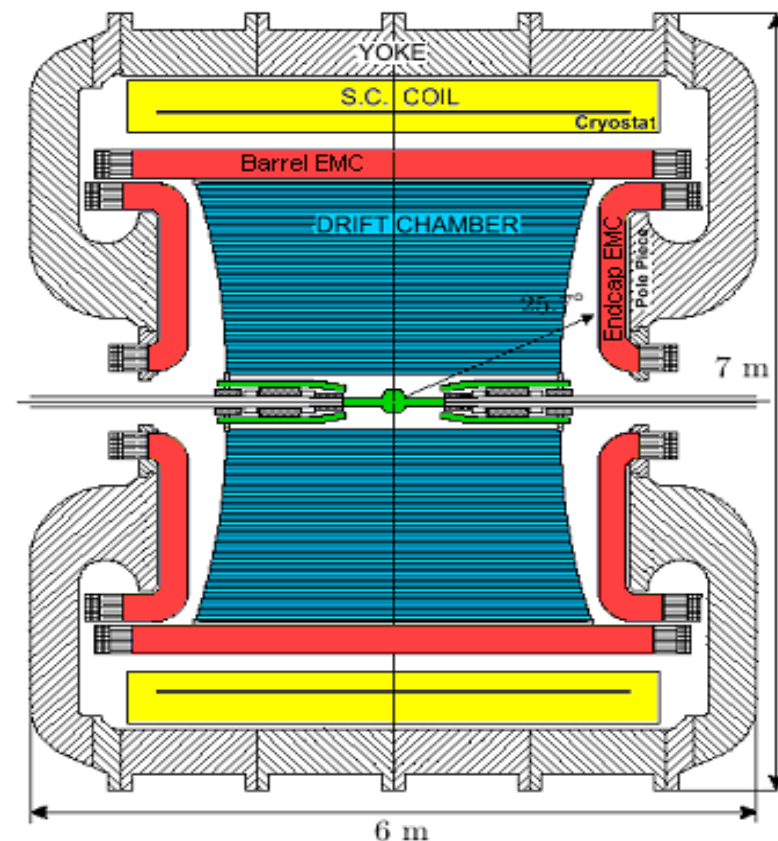
EKSPERYMENT KLOE-2: INTERFEROMETRIA KWANTOWO SPLĄTANYCH MEZONÓW

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



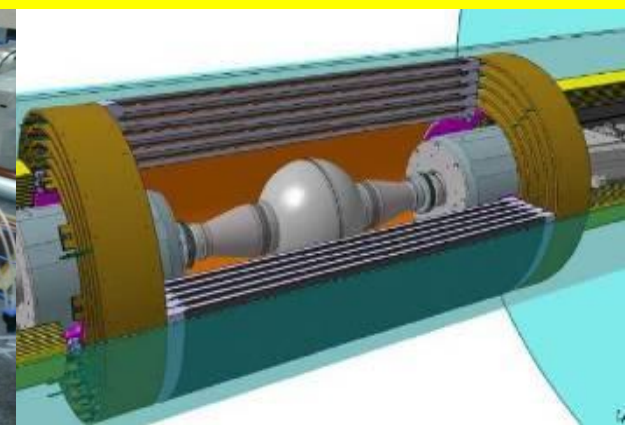
maksimum wynikające
z różnicy mas stanów
własnych hamiltonianu
opisującego mezon K

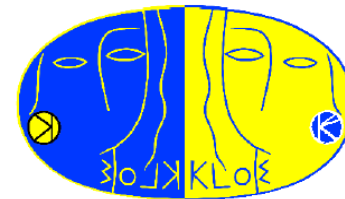
Brak zdarzeń dla $(\Delta t=0)$ z powodu
koherencji kwantowej na odległość
(paradoks: EPR: Einstein-Podolski-Rosen)



SYSTEM DETEKCYJNY KLOE-2

DETEKTOR C-GEM





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.

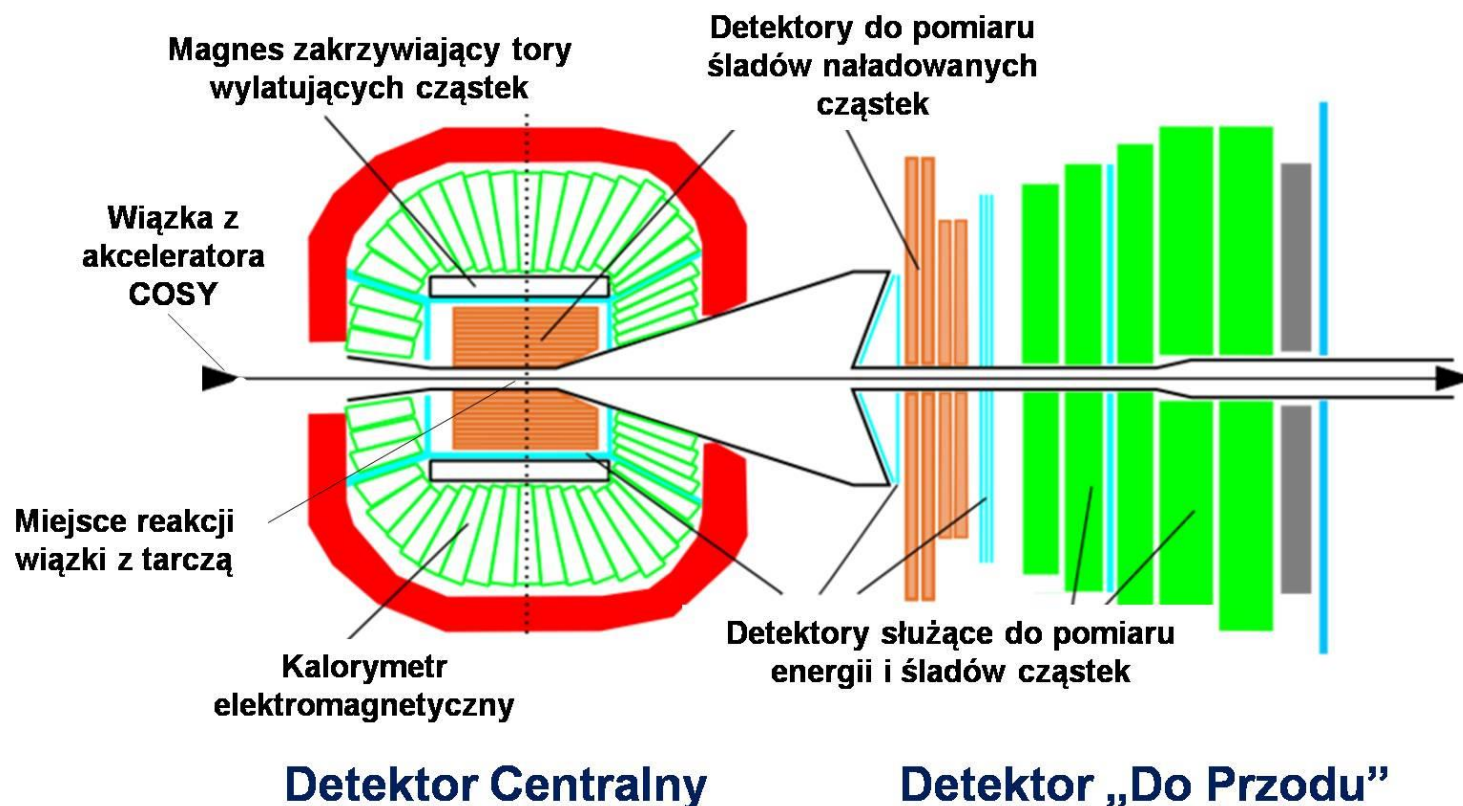


*B*adanie symetrii dyskretnych z wykorzystaniem splątanych kwantowo mezonów K oraz interferometrii kwantowej w oparciu o dane zebrane detektorem KLOE-2 znajdującym się w Narodowym Laboratorium we Frascati we Włoszech.

*A*pracowanie metod kalibracji energetycznej i czasowej prototypu Pozytonowego Emisyjnego Tomografu konstruowanego w Instytucie Fizyki UJ w oparciu o nowatorską ideę wykorzystania plastikowych scyntylatorów .

Oba proponowane zagadnienia dotyczą prac doświadczalnych i komputerowych zarówno licencjackich jak i magisterskich.. Będą one prowadzone w grupie prof. Pawła Moskala pod opieką dr. Eryka Czerwińskiego. Istnieje również możliwość wyboru tematyki pracy dopasowanej do indywidualnych predyspozycji.

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>



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:

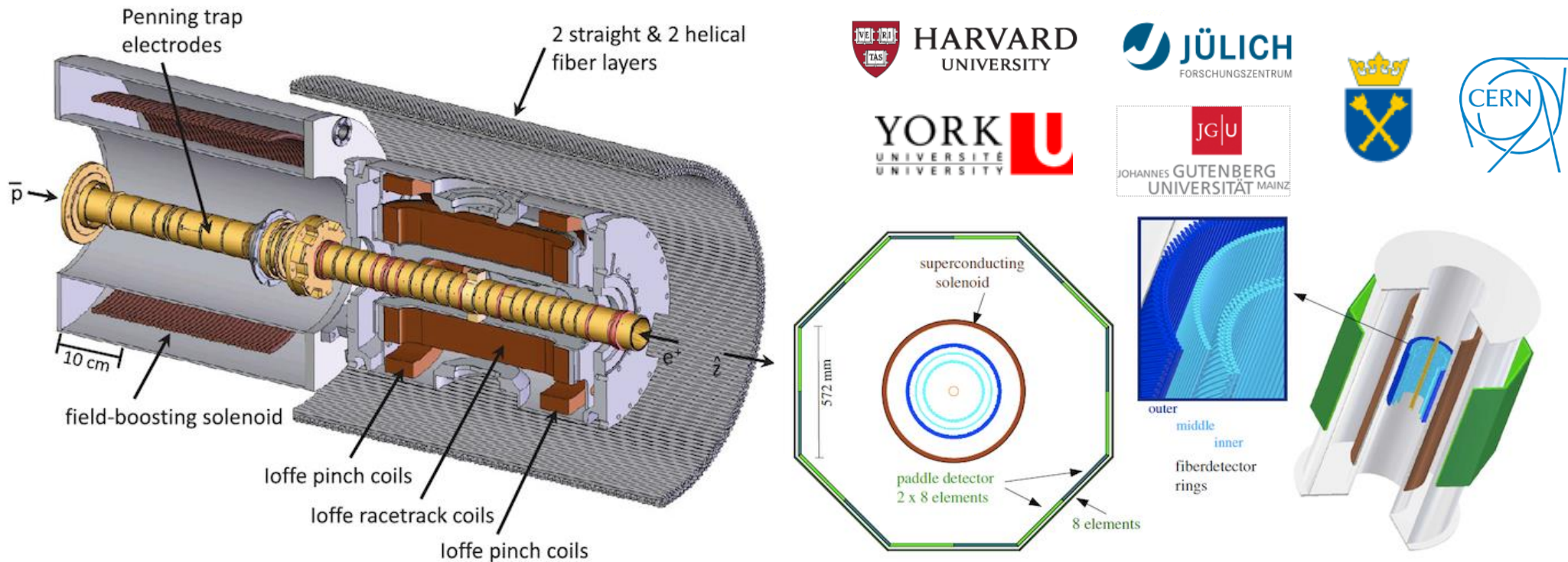
1) Wyznaczenie stopnia zachowania fundamentalnych symetrii dyskretnych oraz poszukiwanie zjawisk nie dających się opisać w ramach Modelu Standardowego fizyki cząstek. Badania prowadzimy poprzez pomiary rozpadów mezonu, który, co jest rzadkością w przyrodzie, jest stanem własnym operatorów parzystości 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) Pomiarem 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 wiązce 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