

Nr umowy: UMO-2017/25/B/ST2/02550

Tytuł: Wyznaczenie energii symetrii przy dużych gęstościach:
konstrukcja detektora dla eksperymentu ASY-EOS II

Cel projektu

Strategicznym celem prowadzonych badań jest wyznaczenie zależności jądrowej energii symetrii, E_{sym} , od gęstości, dla gęstości 2-3 razy większych od gęstości normalnej, ρ_0 . Cel ten można osiągnąć poprzez jednoczesny pomiar funkcji wzbudzenia obserwabli związanych z emisją neutronów, protonów i lekkich cząstek naładowanych, w ramach eksperymentalnego programu kolaboracji ASY-EOS II. Program zakłada wykorzystanie infrastruktury oraz relatywistycznych radioaktywnych i stabilnych wiązek powstającego ośrodka FAIR. Bezpośrednim celem projektu jest **konstrukcja i testy kompaktowego, szybkiego detektora trygeryjącego o dużej segmentacji, umożliwiającego wyznaczenie orientacji płaszczyzny reakcji i centralności zderzeń relatywistycznych ciężkich jonów**. Detektor ten, określany w projekcie jako Kraków Barrel (**KRAB**), będzie stanowił istotną część planowanego układu eksperymentalnego.

Energia symetrii określa nadwyżkę energii wiązania nukleonu w materii czysto neutronowej w stosunku do energii wiązania w materii symetrycznej. Jest ona podstawową wielkością charakteryzującą *równanie stanu asymetrycznej materii jądrowej*. Równanie to opisuje zależność energii nukleonu w materii jądrowej od temperatury, gęstości i asymetrii izospinowej $\delta = (\rho_n - \rho_p) / \rho$, gdzie ρ_n , ρ_p i ρ są gęstościami neutronów (n) i protonów (p) oraz gęstością całkowitą. Równanie stanu dla zimnej materii jądrowej zwykle przedstawia się w postaci sumy członów dla materii symetrycznej i asymetrycznej: $E(\rho, \delta) = E(\rho, 0) + E_{sym}(\rho)\delta^2$. Energię symetrii przedstawia się natomiast w formie rozwinięcia wokół gęstości normalnej $\rho_0 \approx 0.16 \text{ fm}^{-3}$:

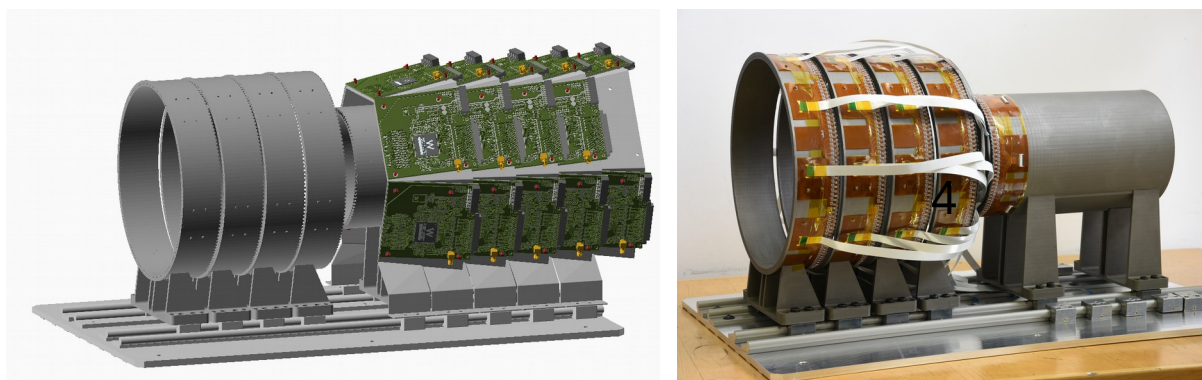
$$E_{sym}(\rho) \approx S_0 + \frac{L}{3} \left(\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \right) + \frac{K_{sym}}{18} \left(\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \right)^2 + \dots$$

gdzie parametry S_0 , L i K_{sym} są poszukiwanymi teoretycznie i eksperymentalnie niewiadomymi. Jedynym sposobem wyznaczenia parametrów energii symetrii przy dużych gęstościach w warunkach laboratoryjnych, jest badanie zderzeń relatywistycznych ciężkich jonów. Komplementarnym źródłem informacji są obserwacje astrofizyczne: pomiar widm promieniowania X gwiazd neutronowych w układach podwójnych, umożliwiające wnioskowanie o ich masach i promieniach, oraz detekcja fal grawitacyjnych generowanych w procesie fuzji dwóch gwiazd neutronowych.

Znajomość zależności energii symetrii od gęstości, $E_{sym}(\rho)$, w fizyce struktury jądra atomowego jest niezbędna do określania granic stabilności egzotycznych jąder

atomowych, ich mas, rozkładów gęstości czy wzbudzeń kolektywnych. W fizyce zderzeń ciężkich jonów jest ona niezbędna do opisu składu izotopowego i obserwowanych wzorców emisji (pływu) produktów reakcji oraz mechanizmu multifragmentacji. W astrofizyce energia symetrii odgrywa istotną rolę w modelowaniu wybuchu supernowych, procesu nukleosyntezy, a zwłaszcza gwiazd neutronowych. W tym ostatnim przypadku szczególnie istotna jest znajomość energii symetrii przy wysokich gęstościach, $1-3\rho_0$.

Projekt detektora KRAB (po lewej) i status konstrukcji na koniec lipca 2020 (po prawej) przedstawione są poniżej:



Podstawowe cechy/parametry detektora:

- 5 ringów z szybkich światłowodów scyntylacyjnych $4\times 4\text{ mm}^2$ (BCF-10)
- odczyt przez krzemowe fotopowielacze $3\times 3\text{ mm}^2$ (SensL MicroFJ-30035)
- struktura mechaniczna drukowana w wysokiej rozdzielczości 3D (ABS)
- zastosowanie układów scalonych CITIROC 1A do obróbki sygnałów - zapewnia kompaktowość elektroniki i okablowania
- szeroki zakres kątów polarnych od 30° do 165°
- wysoka wydajność geometryczna $\sim 87\%$ (w zakresie pokrywanych kątów) dzięki wysokiej rozdzielczości druku 3D (0.2 mm głowica, $10\text{ }\mu\text{m}$ dokładność)
- $\sim 5\%$ prawdopodobieństwo multi-hitów (dla reakcji 1 AGeV Au+Au)
- detektor będzie wystarczająco duży dla wiązek radioaktywnych
- i wystarczająco mały i kompaktowy aby nie zakłócać neutronów
- min promień - 7 cm ,
- max promień - 12 cm
- długość ok. 43 cm
- 4×160 segmentów w przednich ringach
- 96 segmentów w tylnym ringu
- 736 kanałów elektronicznych

Dzięki innowacyjnemu i unikalnemu projektowi detektor KRAB umożliwi generowanie szybkiego trygera dla zadanej krotności odpalonych segmentów, estymację orientacji płaszczyzny reakcji, estymację centralności zderzenia oraz redukcję tła. Dzięki małej ilości i niskiej gęstości użytych materiałów będzie on względnie transparentny dla neutronów, a dzięki planowanemu zastosowaniu rękawa helowego, także nieczuły na tło od δ -elektronów.