

Synteza jąder atomowych we wczesnym Wszechświecie rozpoczęła się od syntezy deuteru w reakcji  $p + n \rightarrow {}^2\text{H} + \gamma$ . Prawdopodobieństwo zachodzenia tej reakcji wpływa na rozpowszechnienie cięższych pierwiastków (helu i niewielkich ilości litu) produkowanych w kolejnych reakcjach pierwotnej nukleosyntezy. Pierwiastki cięższe od litu powstają w reakcjach termojądrowych zachodzących we wnętrzach gwiazd oraz w katastroficznych zdarzeniach jak np. wybuchy supernowych. W spokojnie ewoluujących gwiazdach proces syntezy nowych pierwiastków zachodzi etapami. Na początku swojego życia gwiazdy spalają wodór i przekształcają go hel. W gwiazdach, które spaliły niemal cały wodór zaczyna być spalany hel. Na tym etapie, w tzw. procesie  $3\alpha$ , dochodzi do łączenia trzech jąder helu w jądro węgla. Jądro węgla, przyłączając kolejne jądro helu, może utworzyć jądro tlenu i wyemitować jeden lub więcej kwantów gamma.

Tlen i węgiel są najbardziej rozpowszechnionymi pierwiastkami cięższymi od helu w Słońcu i w jemu podobnych gwiazdach. Pierwiastki te są podstawowymi składnikami związków organicznych i decydują o formach życia we Wszechświecie. Okazuje się, że o rozpowszechnieniu atomów węgla w stosunku do atomów tlenu (C/O) decyduje prawdopodobieństwo zachodzenia reakcji  ${}^{12}\text{C} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{16}\text{O} + \gamma$  w gwiazdach o temperaturze  $\sim 10^8$  K. W tych warunkach, wskutek kulombowskiego odpychania się oddziałujących cząstek, prawdopodobieństwo zachodzenia reakcji  ${}^{12}\text{C} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{16}\text{O} + \gamma$  jest niezwykle małe i pomiar tej wielkości w warunkach laboratoryjnych nie jest możliwy. Z tego powodu konieczne jest rozwijanie modeli jądrowych umożliwiających wiarygodną ekstrapolację przekrojów czynnych z obszarów energii dostępnych doświadczalnie do zakresów energii właściwych dla procesów syntezy termojądrowej w gwiazdach.

W niniejszym projekcie zamierzamy badać reakcje  $p + n \rightarrow {}^2\text{H} + \gamma$  oraz  ${}^{12}\text{C} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{16}\text{O} + \gamma$  poprzez pomiary reakcji odwrotnych:  ${}^2\text{H} + \gamma \rightarrow {}^1\text{H} + n$  oraz  ${}^{16}\text{O} + \gamma \rightarrow {}^{12}\text{C} + {}^4\text{He}$ , wywoływanych przez promieniowanie gamma o odpowiednio wysokiej energii. Symetria praw przyrody ze względu na odwrócenie biegu czasu umożliwi jednoznaczne powiązanie wyników badań reakcji  ${}^{16}\text{O} + \gamma \rightarrow {}^{12}\text{C} + {}^4\text{He}$  z własnościami reakcji odwrotnej  ${}^{12}\text{C} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{16}\text{O} + \gamma$ . Analogiczna relacja zachodzi dla reakcji  ${}^2\text{H} + \gamma \leftrightarrow {}^1\text{H} + n$ .

Pomiary zostaną przeprowadzone na wiązce kwantów gamma wytwarzanej w instalacji High Intensity Gamma Source (HIγS) działającej w kampusie Duke University w Stanach Zjednoczonych. W układzie HIγS wiązka promieni gamma jest wytwarzana w procesie rozpraszania światła laserowego na elektronach przyspieszanych do prędkości bliskich prędkości światła. Energia wiązki może być zmieniana w zakresie 2-100 MeV a jej natężenie sięga  $2 \cdot 10^8$   $\gamma$ /s.

Do badania reakcji wykorzystany zostanie dedykowany detektor HIγS TPC, którego głównym elementem jest komora wypełniona gazem zawierającym jądra, na których chcemy wywołać reakcje. W planowanych pomiarach będą to odpowiednio: jądra  ${}^{16}\text{O}$  związane w cząsteczkach dwutlenku węgla i jądra deuteru w cząsteczkach metanu. Jądra atomowe gazu wypełniającego komorę pełnią rolę tarczy, w którą uderzają kwanty promieniowania gamma rozbijając jądra  ${}^{16}\text{O}$  na  ${}^{12}\text{C}$  i cząstkę alfa a jądra deuteru na proton i neutron. Powstałe w wyniku takiego oddziaływania cząstki naładowane elektrycznie są hamowane w gazie i powodują jego jonizację. W obszarze aktywnym detektora wytworzone jest stałe pole elektryczne, które wymusza dryf elektronów powstałych w procesie jonizacji w kierunku struktur powielających pierwotny ładunek jonizacyjny. Wzmocniony ładunek jest zbierany przez układ paskowych elektrod detekcyjnych. Sygnały z detektora HIγS TPC przetworzone przez wyspecjalizowane procesory FPGA, umożliwią odtworzenie torów lotu produktów reakcji w przestrzeni, pomiar ich energii i pędów. Analiza tych wielkości pozwoli zbadać charakterystyczne cechy reakcji i dostarczy nowych, istotnych informacji, które umożliwią doprecyzowanie modeli teoretycznych wykorzystywanych do opisu astrofizycznych procesów nukleosyntezy.