

Warszawa, 2 czerwca 2016

U źródeł tlenu: Nowy detektor odsłoni widok na wnętrza gwiazd

Najintensywniejsze z dotychczas zbudowanych źródeł promieniowania gamma rozbłyśnie niedługo w europejskim ośrodku badawczym Extreme Light Infrastructure – Nuclear Physics. Reakcje, które ujawnią szczegóły wielu procesów zachodzących we wnętrzach gwiazd, zwłaszcza prowadzących do powstania tlenu, będzie można prześledzić w warunkach laboratoryjnych. Ważną częścią aparatury jest konstruowany przez fizyków z Uniwersytetu Warszawskiego detektor cząstek, którego wersja demonstracyjna właśnie przeszła pierwsze testy.

Tlen to pierwiastek niezbędny dla życia na Ziemi. Jesteśmy w nim zanurzeni, lecz wcale nie pochodzi on z naszej planety: powstał w reakcjach termojądrowych głęboko we wnętrzach gwiazd. Laboratoryjne zbadanie procesów astrofizycznych prowadzących do narodzin tlenu jest niezwykle ważne. Będzie można je zrealizować już w 2018 roku, gdy w europejskim ośrodku Extreme Light Infrastructure – Nuclear Physics (ELI-NP) niedaleko Bukaresztu zostanie uruchomione nowe źródło intensywnego promieniowania gamma. Na drodze wysokoenergetycznych fotonów stanie wtedy specjalny detektor cząstek, pełniący jednocześnie funkcję tarczy. Wersja demonstracyjna detektora, konstruowanego na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW), właśnie przeszła pierwsze testy w Rumunii.

Pod względem masy materia we Wszechświecie składa się przede wszystkim z wodoru (74%) i helu (24%). Udział kolejnych, cięższych pierwiastków jest znacznie mniejszy, w szczególności: tlenu jest zaledwie 0,85%, a węgla 0,39% (dla porównania: udział wagowy tlenu w ludzkim ciele to 65%, a węgla – 18%). W przyrodzie warunki do produkcji tlenu istnieją tylko we wnętrzach zaawansowanych ewolucyjnie gwiazd, które przekształciły niemal cały wodór w hel i ten staje się teraz ich głównym paliwem. To na tym etapie dochodzi do łączenia trzech jąder helu w jądro węgla. Jądro to, przyłączając kolejne jądro helu, może uformować jądro tlenu i wyemitować jeden lub więcej fotonów gamma.

„Tlen to w zasadzie 'popiół' z termojądrowego 'spalania' węgla. Świetnie, ale jaki mechanizm powoduje, że węgiel i tlen tworzą się w gwiazdach zawsze w mniej więcej tej samej proporcji: 6 do 10?”, pyta dr Chiara Mazzocchi (FUW) i tłumaczy: „Gwiazdy ewoluują etapami. W pierwszym etapie przekształcają wodór w hel, w drugim hel w węgiel, tlen i azot, w kolejnych powstają jeszcze bardziej masywne pierwiastki. Tlen tworzy się z węgla w fazie spalania helu. Rzecz w tym, że teoretycznie produkcja tlenu mogłaby zachodzić na przykład nieco szybciej. Gdy w gwiazdzie zabrakłoby helu i przeszłaby ona do kolejnego etapu swej ewolucji, proporcje między ilością węgla i tlenu byłyby wówczas inne”.

Co ciekawe, w eksperymentach planowanych przy ELI-NP w ogóle nie będzie możliwe odtworzenie reakcji termojądrowej przekształcającej węgiel w tlen i fotony gamma. Naukowcy zamierzają za to zaobserwować reakcję odwrotną: zderzenie fotonów o dużej energii z jądrem tlenu i rozpad tegoż na jądra węgla i helu. Rejestracja produktów takich rozpadów pozwoli zbadać charakterystyczne cechy reakcji i doprecyzować obecne modele teoretyczne właściwej syntezy termojądrowej.

„Dla eksperymentu w ELI-NP przygotowujemy detektor eTPC, rodzaj komory dryfowej z projekcją czasu. Detektor ten jest unowocześnioną wersją wcześniejszego detektora, skonstruowanego w Instytucie Fizyki Doświadczalnej F UW i z powodzeniem sprawdzonego przez naszych naukowców m.in. przy pierwszej na świecie obserwacji rzadkiego procesu jądrowego: rozpadu dwuprotonowego”, mówi dr Mikołaj Ćwiok.

Głównym elementem detektora eTPC jest komora wypełniona gazem zawierającym dużo jąder tlenu (może nim być np. dwutlenek węgla). Gaz ten pełni rolę tarczy. Wiązka promieniowania gamma będzie przelatywała przez gaz, gdzie niektóre z fotonów gamma zderzą się z jądrami tlenu produkując jądra węgla i helu. Powstałe w wyniku reakcji jądra – cząstki naładowane elektrycznie – będą jonizować ośrodek gazowy. W celu zwiększenia zasięgu tych cząstek gaz w detektorze będzie się znajdował pod obniżonym ciśnieniem (rzędu 1/10 atmosfery). Pole elektryczne skieruje elektrony do struktur wzmacniających typu Gas Electron Multiplier (GEM), a następnie do paskowych elektrod detekcyjnych. Dane, przetworzone przez wyspecjalizowane procesory FPGA, umożliwią odtworzenie torów lotu cząstek w przestrzeni.

Obszar aktywny docelowego detektora będzie miał rozmiary 35x20x20 cm³ i przy nominalnej intensywności wiązki fotonów pozwoli dziennie rejestrować do 70 zderzeń fotonów z jądrami tlenu. Do testów w ośrodku ELI-NP użyto demonstratora, czyli nieco mniejszej, lecz w pełni funkcjonalnej wersji właściwego detektora, oznaczonej jako mini-eTPC. Przyrząd sprawdzano na wiązce cząstek alfa (czyli jąder helu).

„Jesteśmy bardzo zadowoleni z przebiegu dotychczasowych testów. Demonstrator zadziałał zgodnie z naszymi oczekiwaniami, z powodzeniem zarejestrował przeloty cząstek naładowanych. W przyszłości z pewnością użyjemy go w innych doświadczeniach jako w pełni wartościowy przyrząd pomiarowy. Natomiast do ośrodka ELI-NP trafi w 2018 roku większy detektor, który właśnie powstaje w naszych laboratoriach”, stwierdza dr Mazzocchi.

Projekt jest realizowany wspólnie z naukowcami z ośrodka ELI-NP / IFIN-HH (Magurele, Rumunia) oraz University of Connecticut (USA). W grupie warszawskiej, kierowanej przez prof. Wojciecha Dominika, są zaangażowani fizycy i inżynierowie z Zakładów Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych oraz Fizyki Jądrowej, a także studenci F UW: Jan Stefan Białowicz, Jerzy Mańczak, Katarzyna Mikszuta oraz Piotr Podlaski.

Extreme Light Infrastructure (ELI) jest projektem badawczym o wartości 850 mln euro, znajdującym się na Europejskiej Mapie Drogowej Infrastruktury Badawczej. W ramach konsorcjum naukowego ELI powstają trzy ośrodki – w Czechach, Rumunii i na Węgrzech – przeznaczone do badań nad oddziaływaniem światła z materią w warunkach największych mocy wiązek fotonów, w szerokim zakresie długości fal i w skalach czasowych liczonych w attosekundach (miliardowych części jednej miliardowej sekundy). Rumuński ośrodek ELI – Nuclear Physics znajduje się w Magurele koło Bukaresztu. Trwają tu prace nad dwoma źródłami promieniowania: laserem o dużej intensywności promieniowania (rzędu 10²³ watów na centymetr kwadratowy) oraz źródłem monochromatycznego promieniowania gamma, także o dużej intensywności. Wiązka gamma będzie powstawać w wyniku rozpraszania światła laserowego na elektronach przyspieszanych przez akcelerator liniowy do prędkości bliskich prędkości światła.

Fizyka i astronomia na Uniwersytecie Warszawskim pojawiły się w 1816 roku w ramach ówczesnego Wydziału Filozofii. W roku 1825 powstało Obserwatorium Astronomiczne. Obecnie w skład Wydziału Fizyki UW wchodzi Instytut: Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ok. 200 nauczycieli akademickich, wśród których jest 88 pracowników z tytułem profesora. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ok. 1000 studentów i ponad 170 doktorantów.

PUBLIKACJE NAUKOWE:

1. „Nuclear reactions at astrophysical energies with gamma-ray beams: A novel experimental approach”; M. Ćwiok; Acta Physica Polonica B Vol. 47 No 3 (2016); DOI:10.5506/APhysPolB.47.707
2. „Perspectives for photonuclear research at the Extreme Light Infrastructure – Nuclear Physics (ELI-NP) facility”; D. Filipescu et al.; Eur. Phys. J. A 51, 185 (2015); DOI:10.1140/epja/i2015-15185-9

KONTAKT:

dr **Chiara Mazzocchi**
Instytut Fizyki Doświadczalnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel.: +48 22 5532666
email: chiara.mazzocchi@fuw.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://www.eli-np.ro/>
Strona ośrodka ELI Nuclear Physics (ELI-NP)

<https://eli-laser.eu/>
Strona konsorcjum ELI.

<http://www.esfri.eu/roadmap-2016>
Europejska Mapa Drogowa Infrastruktury Badawczej.

<http://www.fuw.edu.pl/>
Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

<http://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html>
Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW160602_fot01s.jpg **HR:** http://www.fuw.edu.pl/press/images/2016/FUW160602b_fot01.jpg
Instalowanie prototypowego detektora mini-eTPC podczas testów na wiązce akceleratora Tandem 9 MV w IFIN-HH (Magurele, Rumunia). Od lewej: student Jan Stefan Białowicz, dr Łukasz Janiak, mgr inż. Marcin Zaremba. (Źródło: FUW)

FUW160602_fot02s.jpg **HR:** http://www.fuw.edu.pl/press/images/2016/FUW160602b_fot02.jpg
Tor cząstki alfa o energii 15 MeV pochodzący z wiązki testowej, zarejestrowany przez demonstrator mini-eTPC skonstruowany na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Elektrody odczytowe detektora są równoległe do płaszczyzny X-Y, zaś dryfowe pole elektryczne jest skierowane wzdłuż osi Z. (Źródło: FUW)

FUW160602_fot03s.jpg **HR:** http://www.fuw.edu.pl/press/images/2016/FUW160602b_fot03.jpg
Wizja artystyczna rejestracji procesu fotodezintegracji jądra tlenu w detektorze eTPC w ELI-NP. (Źródło: FUW)

FUW160602_fot04s.jpg **HR:** http://www.fuw.edu.pl/press/images/2016/FUW160602b_fot04.gif
Wizualizacja 3D toru cząstki alfa o energii 15 MeV pochodzącej z wiązki testowej i zarejestrowanej przez demonstrator mini-eTPC. Elektrody odczytowe detektora są równoległe do płaszczyzny X-Y, zaś dryfowe pole elektryczne jest skierowane wzdłuż osi Z. (Źródło: FUW)