



Dr hab. Adam Kozela
tel. 12 6628290
NZ24 IFJ PAN

Kraków, 18.06.2015

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Sushila Sharmy
pt. „Validation of Spallation Models”

Rozprawa doktorska magistra Sushila Sharmy została złożona na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego w czerwcu 2015 roku. Jest napisana w języku angielskim, składa się z sześciu rozdziałów, pięciu appendiksów, liczy 158 stron. Tematem pracy jest ocena jakości modeli reakcji spalacji.

Pierwszy rozdział pracy zawiera krótkie wprowadzenie. Tak tu, jak i w rozdziale następnym Autor przekonywająco wyjaśnia znaczenie reakcji jądrowych, określanych mianem spalacji, dla zastosowań technicznych (energetyka jądrowa, medycyna) oraz dla pełniejszego zrozumienia zagadnień tak podstawowych jak na przykład nukleosynteza w kosmologii. Czytelnik dowiaduje się, że wobec niemożności eksperymentalnego zbadania wszystkich kombinacji pocisku, jego energii i tarczy, jesteśmy skazani na posługiwanie się modelami teoretycznymi opisującymi reakcje spalacji. Szybko rosnąca ilość tych modeli postawiła społeczność fizyków przed koniecznością weryfikacji ich jakości, co rzecz jasna dokonuje się poprzez ich konfrontacje z danymi eksperymentalnymi. W swej pracy Autor podejmuje to zadanie dokładając starań, by wykonać je możliwie rzetelnie. W konsekwencji nie tylko przeprowadza weryfikację modeli, ale także dokonuje oceny powszechnie stosowanych kryteriów ich zgodności z eksperymentem.

Obecnie stosowane teorie dzielą skomplikowany proces samej reakcji spalacji na dwie fazy czasowe. Do opisu fazy pierwszej, modelem używanym ostatnio z największym sukcesem jest *Intra nuclear cascade of Liege University (INCL4.6)*. Właśnie ten model Autor wybiera do dalszych porównań, choć dla pełniejszego obrazu przedstawia też podstawy innych podejść. Fazę drugą reakcji spalacji opisuje wiele, często dość równorzędnych modeli. Na podstawie szerokiego przeglądu dostępnych danych do przeprowadzenia własnego porównania Autor wybiera cztery z nich. W rozdziale drugim wybiera również pulę danych eksperymentalnych użytych później do walidacji modeli. Wybór ten wydaje się dostatecznie szeroki by zagwarantować reprezentatywność próbek.

sprawdzenie działania modeli w całym obszarze ich stosowalności oraz poprawić selektywność testu w stosunku do poprzednich rankingów poprzez dodanie nowych danych, głównie z produkcją jąder lekkich.

Rozdział trzeci zawiera rys historyczny rozwoju modelu INCL, nieco bardziej szczegółową prezentację jego założeń jak również prezentację wybranych modeli drugiej, wolnej fazy spalacji. Do wybranej czwórki Autor zalicza *Generalized Evaporation Model* (GEM2), *Statistical Multifragmentation* (SMM), GEMINI++ oraz ABLA07. Ta część pracy jest bardzo dydaktyczna i pozwala nawet słabo zorientowanemu w temacie czytelnikowi wyrobić sobie zdanie o jakości i metodach stosowanych w teoretycznym opisie reakcji spalacji. Bardziej zainteresowany czytelnik z łatwością może pogłębić swą wiedzę, korzystając z bogatego zbioru cytowań (całkowita liczba cytowań w pracy jest stosunkowo duża i wynosi 126).

W ramach przygotowania właściwego narzędzia do walidacji wybranych modeli reakcji spalacji, w rozdziale czwartym Autor przeprowadza dyskusję różnych używanych w literaturze miar odchylenia teorii od eksperymentu. Dyskusja ta obejmuje określenie wymagań stawianych idealnej definicji takiej miary, próbę znalezienia w sposób analityczny rozkładu jej gęstości prawdopodobieństwa i sprawdzenie, jak niewielka statystyka zliczeń, często spotykana w omawianych eksperymentach, wpływa na jej działanie. Spośród spotykanych w literaturze miar (tu przytoczono sześć) Autor ostatecznie wybiera dwie – pierwszą z nich (w pracy: „deviation factor H ”) można utożsamiać z szeroko stosowanym testem χ^2 , druga ($\langle F \rangle$ -factor), nieuwzględniająca niepewności eksperymentalnych, wyraża się dość skomplikowanym wzorem potęgowo-logarytmicznym. W celu ułatwienia możliwości interpretacji stosowanych miar Autor definiuje dwie kolejne. Pierwsza z nich (czynnik M) jest w zasadzie odpowiednikiem miary H , co zostaje pokazane najpierw teoretycznie, a później w konkretnych zastosowaniach. Druga (czynnik A) ma wszystkie cechy miary $\langle F \rangle$, ale wyraża się prostym i intuicyjnym wzorem. W rozdziale tym Autor zauważa także, że obliczenia teoretyczne często bazują na metodzie Monte Carlo, w związku z czym ich przewidywania, podobnie jak dane eksperymentalne, są obarczone błędem statystycznym. Proponuje też sposób jego uwzględnienia w konstrukcji miar.

Rozdział piąty zawiera dyskusję jakości opisu różnych obserwabli mierzonych w reakcjach spalacji przez wybrane modele teoretyczne. W porównaniach teorii z eksperymentem Autor przechodzi od obserwabli bardziej inkluzyjnych, jak rozkłady izobarowe i izotopowe, do ekskluzyjnych, jak podwójnie różniczkowe przekroje czynne na produkcję określonych izotopów. Dla kolejnych zestawów obserwabli wyliczane są standaryzowane do rozkładu Gaussa wartości miar zgodności H i M oraz niestandaryzowane dla miary A , dla wszystkich czterech modeli fazy wolnej. Wartości te, wraz z przypisanymi modelom stopniami zgodności, Autor prezentuje w tabelach, obok rysunków zawierających porównanie teorii z eksperymentem. Autor wskazuje na ekwiwalentność miar H i M oraz komplementarność informacji niesionej przez miarę A . Jest to wyraźnie widoczne na przykładzie rozkładów izotopowych w reakcji $p + Xe$ dla energii 500 MeV. Doskonała zgodność modeli z eksperymentem sugerowana przez miary H i M okazuje się efektem wynikającym z dużego błędu pomiarowego – tak określenie stopnia zgodności jak i miary A ujawniają ten fakt – widoczny zresztą także na rysunkach. Do kompletu informacji brakuje wyliczeń miar oraz stopni zgodności dla podwójnie

różniczkowych przekrojów czynnych na produkcję neutronów w reakcjach protonów o energiach 256, 1200 i 3000 GeV na aluminium indzie i ołowiu (Rozdział 5.2.3). Jednak, jak zauważa Autor, i co doskonale widać na rysunkach, w tym przypadku wszystkie wybrane modele teoretyczne dają niemal identyczne rezultaty, tak więc brakujące wyliczenia i tak nie wniosłyby żadnej nowej informacji do przeprowadzonej dyskusji.

Rozdział szósty zawiera podsumowanie wyników pracy. Przeprowadzona analiza nie wyłoniła zdecydowanego lidera spośród modeli drugiej fazy reakcji, choć wydaje się, że model SMM najczęściej daje najlepsze wyniki. Modele GEM2 i ABLA02 są równorzędne i dają gorszy opis niż GEMINI++, szczególnie jeśli chodzi o emisję jąder lekkich. Dla wszystkich modeli (także INCL) Autor identyfikuje obszary, w których ich przewidywania systematycznie i znacząco rozmiągają się z danymi eksperymentalnymi. Otrzymane wyniki z pewnością będą stanowić wartościową wskazówkę dla grup zaangażowanych w rozwój poszczególnych podejść.

Praca napisana jest językiem zrozumiałym, z niemal pedantyczną dbałością o kompletność wypowiedzi. Ta, skądinąd bardzo pozytywna cecha, czasem prowadzi do nieco uciążliwych powtórzeń. Pomijając okolicę strony 33, znalazłem bardzo nieliczne błędy, których nie warto nawet wymieniać. Można do nich zaliczyć dość dowolne stosowanie znaków przestankowych w okolicy wzorów matematycznych. Stronę graficzną pracy należy pochwalić: rysunki stanowią dużą jej część i są wykonane prawie perfekcyjnie - znakomicie ułatwiając czytelnikowi ogarnięcie pełni, zebranej przez Autora informacji. Prawie – odnosi się do rysunków 2.1, 2.3, na których znajdziemy czcionki tak małe, że niemal nieczytelne. Prawdopodobnie aby nie psuć graficznego układu pracy, Autor zrezygnował z pokazania rozkładu energetycznego przekroju czynnego na produkcję izotopów ${}^9\text{B}$, ${}^{19}\text{O}$ i ${}^{16}\text{Na}$ w reakcji $p+\text{Ag}$, podając jedynie wyniki w odpowiednich tabelach. Zabieg ten pozwolił utrzymać stały podział na 2x4 paneli dla całej serii rysunków (od 5.8 do 5.17).

Reasumując: zakres i jakość prezentowanej pracy, osiągnięte wyniki oraz ich potencjalna użyteczność dla wszystkich zainteresowanych reakcją spalacji skłaniają mnie do podjęcia decyzji o wnioskowaniu o dopuszczenie magistra Sushila Sharmy do dalszej części przewodu doktorskiego.

Z poważaniem,



Adam Kozela