

THE FIRST EXPERIMENTAL PROJECT UTILIZING THE HUS PELLETRON IN NUCLEARASTROPHYSICS STUDY

L.X. Chung

Institute for Nuclear Science and Technology, VINATOM, P.O. Box 5T-160,
Nghia Do, Hanoi, Vietnam

Abstract: An overview on the first experimental project, which is granted by the Ministry of Science and Technology (MOST) as part of the project Grant No. ĐTDLCN.25/18 within the framework of the Physics Development Program until 2020, is given. The experiments will utilize the 5SDH-2 pelletron at Hanoi University of Science (HUS). This project aims at measuring the cross sections of $^{10}\text{B}(\alpha, p)^{13}\text{C}$ astrophysical reaction at the Gamov window energies (0.7-3.4 MeV). Firstly, the physics motivation is discussed. Then, the details of the project for astrophysics reaction measurements will be presented. Finally, we will report on the current status including detector test, simulation, and upcoming work.

Keywords: $^{10}\text{B}(\alpha, p)^{13}\text{C}$ reaction

Introduction:

Nuclear astrophysics aims at studying on the origin of chemical elements and the energy emission of stars. This is an interdisciplinary branch of physics concerning various subfields: stellar modeling, nuclear reaction rates, physical cosmology, gamma ray, ... Therefore, this field poses challenges for Vietnamese scientists when the domestic science and technology are at low level comparing to developed countries'. It, however, opens research opportunities in suitable aspects in term of both research region and investment. In this field, there are a few studies done by Vietnamese authors, for examples [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9] for experimental studies and [10, 11] for theoretical studies. It is noted that the experimental studies were carried out in international laboratories, mostly in Center of Nuclear Study (CNS), the university of Tokyo, Japan in a close collaboration between Vietnamese and Japanese scientists

At the end of 2010, a 5SDH-2 tandem pelletron accelerator was installed at Hanoi University of Science (HUS) and became operational in 2012 [12]. Its maximal acceleration voltage is 1.7 MV, resulting in the accelerating energy from 700 keV to 3.4 MeV for singly charged ions, to 5.1 MeV for doubly charged ions, and upto 6.8 MeV for triply charged ions. As the result, the pelletron is not only suitable for elementary analysis using Proton Induced X-ray Emission (PIXE) and Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS) methods [13, 14, 15] but also for nuclear astrophysics study. Up to now, the later has been not exploited yet.

The astrophysical origin of the proton-rich isotopes of heavy element (from Se to Hg) is not completely understood. For example, the production of some light p-nuclei, such as $^{93,94}\text{Mo}$ and $^{96,98}\text{Ru}$ could not be explained. The favored γ -process in core-collapse supernova can not produce enough p-nuclei. Thus, there should be other processes responsible for this deficiency. A new vp-process in the nucleon-synthetic

process, which is highly sensitive to the physical condition of neutron-driven winds [16], has significantly solved this problem [17, 18].

$^{10}\text{B}(\alpha, p)^{13}\text{C}$ reaction is one of the key reactions that bridge from $A < 12$ (the p-p chain region) to $A > 12$ (the CNO region), and responsible for the vp-process at the temperature $T_9 = 1.5\text{--}3$ as shown in Fig. 1. This temperature range corresponds to the alpha energy window which can be accelerated by the HUS pelletron.

For the effort to utilize the HUS 5SDH-2 pelletron in nuclear fundamental research via reactions, a research project to study the above astrophysical reaction has been accepted and supported by the Vietnam Ministry of Science and Technology (MOST) as part of the Physics Development Program Grant No. ĐTDLCN.25/18 project.

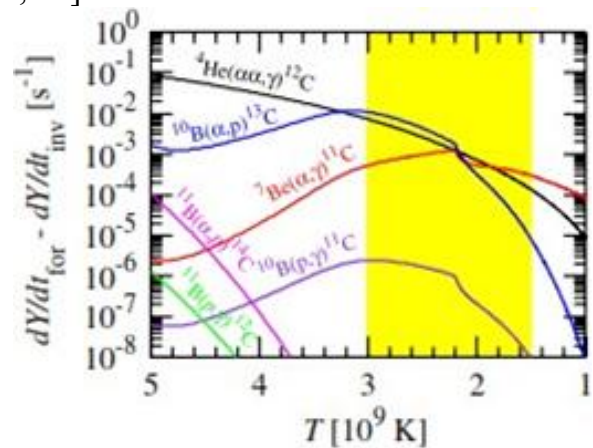


Fig. 1. Nuclear flows ($dY/dt_{\text{for}} - dY/dt_{\text{inv}}$) for the reaction that bridge from $A < 12$ to $A > 12$ as a function of temperature (T). The yellow band indicates the temperature range relevant to the vp-process ($T_9 = 1.5\text{--}3$). This figure is taken from [16].

REFERENCES

- [1] N.N. Duy et al., Nuclear Instrumentals and Methods in Physics Research A 723, (2013) 99.
- [2] H. Ymaguchi et al., Physical Review C 87, (2013) 034303.
- [3] S. Kubono et al., AIP Conf. Proc. 1533, (2013) 70-77.
- [4] D. Kahl et al., AIP Conf. Proc. 1594, (2014) 163-170.
- [5] H. Ymaguchi et al., AIP Conf. Proc. 1594, (2014) 220-225.
- [6] H. Ymaguchi et al., EPJ Web of Conferences 66, (2014) 07027.
- [7] H. Ymaguchi et al., Physics Letters B 766, (2017) 11.
- [8] S. Hayakawa et al., Physical Review C 93, (2016) 065802.
- [9] H. Ymaguchi et al., EPJ Web of Conferences 165, (2017) 01056.
- [10] Ngo Hai Tan, Doan Thi Loan, Dao T Khoa, Jerome Margueron, Physical Review C 93, (2016) 035806.
- [11] Dao T Khoa, Nguyen Hoang Phuc, Physical Review C 98, (2018) 064604.
- [12] Nguyen The Nghia, Vu Thanh Mai, Bui Van Loat, VNU Journal of Science, Mathematics-Physics 27(1S), (2011)180.
- [13] Nguyen The Nghia, Bui Thi Hoa, Nguyen Thi Thom, Le Hong Khiem, VNU Journal of Science, MathematicsPhysics 33, (2011) 53.
- [14] Le Hong Khiem, Vi Ho Phong, Nguyen The Nghia, Journal of Physics: Conference Series 627, (2015) 012005.
- [15] Le Hong Khiem, Nguyen The Nghia, Vi Ho Phong, and Bui Van Loat, Communication in Physics 24, (2014) 1.
- [16] Shinya Wanajo, Hans-Thomas Janka, and Shigeru Kubono, The Astrophysical Journal 729, (2011) 46.
- [17] C. Fröhlich et al., The Astrophysical Journal 637, (2006) 415.

[18] C. Fröhlich et al., Physical Review Letters 96, (2006) 142502.

DỰ ÁN THỰC NGHIỆM ĐẦU TIÊN SỬ DỤNG MÁY GIA TỐC PELLETRON CỦA HUS TRONG NGHIÊN CỨU VẬT LÝ THIÊN VĂN HẠT NHÂN

L.X. Chung

Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân, VINATOM, P.O. Box 5T-160, Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam

Tóm tắt: Bài nói trình bày về dự án thực nghiệm đầu tiên, đã được Bộ Khoa học và Công nghệ (MOST) tài trợ thông qua Đề tài Chương trình Phát triển Vật lý đến năm 2020 có mã số ĐTĐLCN.25/18, sử dụng máy gia tốc pelletron 5SDH-2 tại trường đại học Khoa học tự nhiên Hà Nội (HUS). Thí nghiệm thuộc dự án nhằm mục đích đo tiết diện phản ứng Thiên văn hạt nhân $^{10}\text{B}(\alpha, p)^{13}\text{C}$ với năng lượng trong cửa sổ Gamov (0.7-3.4 MeV). Phần mở đầu trình bày về các vấn đề vật lý. Sau đó là phần chi tiết về Dự án đo các phản ứng Thiên văn hạt nhân. Cuối cùng, chúng tôi sẽ giới thiệu về tình hình thực hiện bao gồm việc kiểm tra detector, mô phỏng và các công việc trong thời gian tới.

Keywords: phản ứng $^{10}\text{B}(\alpha, p)^{13}\text{C}$

Giới thiệu:

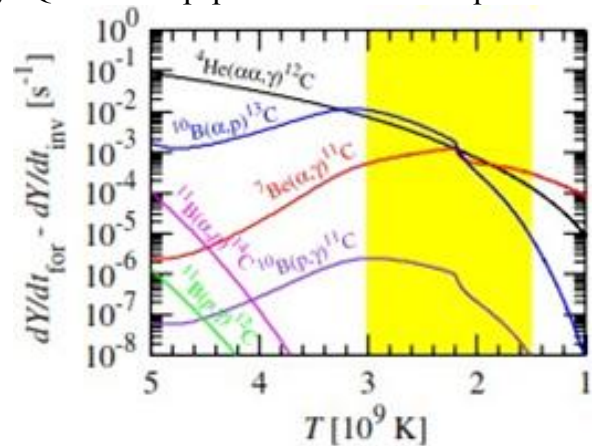
Mục đích của Vật lý Hạt nhân thiên văn là nghiên cứu nguồn gốc của các nguyên tố hóa học và nguồn gốc năng lượng bức xạ của các vì sao. Vật lý Hạt nhân thiên văn là một trong những lĩnh vực nghiên cứu liên ngành của Vật lý bao gồm: mô hình sao, tiết diện phản ứng hạt nhân, vũ trụ học vật lý, phân rã gamma,... Bởi vậy, lĩnh vực này đặt ra nhiều thách thức cho các nhà Khoa học Việt Nam trong điều kiện yếu kém về công nghệ khi so sánh với các nước phát triển. Tuy nhiên, nó đồng thời cũng đặt ra cơ hội nghiên cứu khi chúng ta biết lựa chọn những lĩnh vực phù hợp về đầu tư và thiết bị. Một số nghiên cứu về Vật lý Hạt nhân thiên văn đã được thực hiện bởi các tác giả Việt Nam bao gồm cả nghiên cứu thực nghiệm [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9] và nghiên cứu lý thuyết [10, 11]. Trong đó, các nghiên cứu thực nghiệm đều được thực hiện tại các phòng thí nghiệm quốc tế, điển hình là trung tâm Vật lý Hạt nhân thuộc trường Đại học Tokyo, Nhật Bản thông qua hợp tác giữa các nhà khoa học Việt Nam và các nhà khoa học Nhật Bản

Cuối năm 2010, máy gia tốc tĩnh điện 5SDH-2 đã được lắp đặt tại trường Đại học Khoa học tự nhiên (Đại học Quốc Gia Hà Nội) và đi vào vận hành năm 2012 [12]. Hệ máy gia tốc có thể gia tốc cực đại đạt 1.7 MeV, do đó, nó có thể đạt năng lượng gia tốc lên đến 3.4 MeV đối với ion mang điện tích +1, 5.1 MeV đối với ion mang điện tích +2 và 6.8 MeV đối với ion mang điện tích +3. Với những năng lượng đạt được, máy gia tốc không chỉ phù hợp được để phân tích nguyên tố bằng các phương pháp như: phương pháp phân tích tia X gây ra bởi chùm hạt tích điện (PIXE), phương pháp phân tích hạt tán xạ ngược Rutherford [13, 14, 15] mà còn được ứng dụng trong nghiên cứu Vật lý Hạt nhân thiên văn. Tính tới thời điểm hiện tại, lĩnh vực Vật lý hạt nhân thiên văn vẫn chưa được khai thác.

Nguồn gốc vật lý của các đồng vị các nguyên tố nặng giàu proton (từ Se tới Hg) vẫn chưa được hiểu rõ. Ví dụ, sự hình thành của một số hạt nhân nhẹ giàu proton ($^{93,94}\text{Mo}$, $^{96,98}\text{Ru}$) chưa giải thích được. Quá trình γ , hay được chú trọng, trong lõi

các vì sao khi chúng bị nổ cũng không thể sinh ra đủ hạt nhân giàu proton. Do đó, cần có một quá trình khác để cải thiện vấn đề này. Quá trình vp-process sinh ra từ quá trình tổng hợp hạt nhân, rất nhạy với các điều kiện vật lý của “bão neutrino” [16], đã giải quyết đáng kể vấn đề này [17, 18]. Phản ứng hạt nhân $^{10}\text{Bo}(\alpha, p)^{13}\text{C}$ là một chìa khóa của phản ứng kết nối giữa vùng $A < 12$ (vùng của chuỗi p-p) tới $A > 12$ (vùng CNO) và chịu trách nhiệm về quá trình vp-process tại vùng nhiệt độ $T_9 = 1.5 - 3$ như trên hình 1. Dải nhiệt độ này tương ứng với vùng cửa sổ năng lượng của hạt alpha mà hệ máy gia tốc tại HUS có thể gia tốc được.

Với sự ủng hộ của Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam (MOST), dự án nghiên cứu phản ứng hạt nhân nói trên đã được chấp nhận hỗ trợ theo đề tài số ĐTĐLCN.25/18 để nghiên cứu phản ứng hạt nhân sử dụng máy gia tốc 5SDH-2.



Hình 1. Lưu lượng hạt nhân ($dY/dt_{\text{for}} - dY/dt_{\text{inv}}$) đối với phản ứng hạt nhân từ vùng $A < 12$ đến $A > 12$ là một hàm của nhiệt độ (T). Vùng màu vàng là vùng nhiệt độ tương ứng với quá trình γ -process ($T_9 = 1.5 - 3$). Hình ảnh được trích dẫn từ tài liệu [16].

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] N.N. Duy et al., Nuclear Instrumentals and Methods in Physics Research A 723, (2013) 99.
- [2] H. Ymaguchi et al., Physical Review C 87, (2013) 034303.
- [3] S. Kubono et al., AIP Conf. Proc. 1533, (2013) 70-77.
- [4] D. Kahl et al., AIP Conf. Proc. 1594, (2014) 163-170.
- [5] H. Ymaguchi et al., AIP Conf. Proc. 1594, (2014) 220-225.
- [6] H. Ymaguchi et al., EPJ Web of Conferences 66, (2014) 07027.
- [7] H. Ymaguchi et al., Physics Letters B 766, (2017) 11.
- [8] S. Hayakawa et al., Physical Review C 93, (2016) 065802.
- [9] H. Ymaguchi et al., EPJ Web of Conferences 165, (2017) 01056.
- [10] Ngo Hai Tan, Doan Thi Loan, Dao T Khoa, Jerome Margueron, Physical Review C 93, (2016) 035806.
- [11] Dao T Khoa, Nguyen Hoang Phuc, Physical Review C 98, (2018) 064604.
- [12] Nguyen The Nghia, Vu Thanh Mai, Bui Van Loat, VNU Journal of Science, Mathematics-Physics 27(1S), (2011)180.
- [13] Nguyen The Nghia, Bui Thi Hoa, Nguyen Thi Thom, Le Hong Khiem, VNU Journal of Science, MathematicsPhysics 33, (2011) 53.
- [14] Le Hong Khiem, Vi Ho Phong, Nguyen The Nghia, Journal of Physics: Conference Series 627, (2015) 012005.
- [15] Le Hong Khiem, Nguyen The Nghia, Vi Ho Phong, and Bui Van Loat, Communication in Physics 24, (2014) 1.
- [16] Shinya Wanajo, Hans-Thomas Janka, and Shigeru Kubono, The Astrophysical Journal 729, (2011) 46.
- [17] C. Fröhlich et al., The Astrophysical Journal 637, (2006) 415.

[18] C. Fröhlich et al., *Physical Review Letters* 96, (2006) 142502.