



PHYSICS DEPARTMENT

NEW YORK CITY

COLLEGE OF TECHNOLOGY

THE CITY UNIVERSITY OF NEW YORK

300 JAY STREET • BROOKLYN, NEW YORK 11201-2983

Phone: (718) 260 5276 • Fax: (718) 254 8595

Roman Kezerashvili, PhD, D.Sc.

Professor of Physics

Director of the Center for Theoretical Physics

Phone: (718) 260 5276 • Fax: (718) 254 8595

Email: Rkezerashvili@citytech.cuny.edu

June 24, 2024

REVIEW

for the dissertation by Yeleusheva Badigul Maratovna

“Radiative capture reactions on light nuclei in stellar and interstellar plasma”,

submitted for the degree of Doctor of Philosophy (PhD)

in the specialty 8D05308 – “Nuclear physics”

Ms. B. M. Yeleusheva's Ph.D. dissertation, “Radiative capture reactions on light nuclei in stellar and interstellar plasma”, is devoted to the interesting topic in nuclear physics related to the theoretical description and analysis of the neutron and proton radiative capture in the reactions ${}^8\text{Li}(n,\gamma){}^9\text{Li}$, ${}^9\text{Be}(n,\gamma_{0+1+2+3+4+5}){}^{10}\text{Be}$, ${}^{13}\text{B}(n,\gamma_{0+1}){}^{14}\text{B}$, and ${}^{15}\text{N}(p,\gamma){}^{16}\text{O}$ within the framework of the modified potential cluster model (MPCM). These processes have attracted intense theoretical and experimental research in modern nuclear astrophysics.

The dissertation consists of Introduction, five Sections, Conclusion, a list of references and is organized in the following way. The Introduction provides an overview of the dissertation, the purpose and objectives of the research, scientific novelty, and theoretical and practical significance of the presented studies. Section 1 presents the modified potential cluster model approach and elements of formalism for radiative capture processes. Astrophysical processes of ${}^8\text{Li}(n,\gamma){}^9\text{Li}$, ${}^9\text{Be}(n,\gamma_{0+1+2+3+4+5}){}^{10}\text{Be}$, ${}^{13}\text{B}(n,\gamma_{0+1}){}^{14}\text{B}$, and ${}^{15}\text{N}(p,\gamma){}^{16}\text{O}$ are considered in Sections 2, 3, 4 and 5, respectively. At the end of dissertation, the general conclusions of the performed research were described, and research beyond this dissertation is discussed.

Let us review the dissertation step by step, following each Section. In Section 2, for the first time, a model-free criterion for evaluating the reliability of the calculated reaction rates is proposed due to the binding energy in the nucleon channels ${}^6\text{Li}(n,\gamma){}^7\text{Li}$, ${}^7\text{Li}(n,\gamma){}^8\text{Li}$, and ${}^8\text{Li}(n,\gamma){}^9\text{Li}$. The same criterion allows to estimate the range of the asymptotic normalizing coefficients (ANCs) providing correct long-range behavior of radial bound state functions. In Section 3, the partial and total cross-sections of the ${}^9\text{Be}(n,\gamma_{0+1+2+3+4+5}){}^{10}\text{Be}$ reaction calculated in the energy range from 10 eV to 5 MeV allows to consider five resonances and estimate their signature in the total cross-

section. The inclusion of resonances shows their impact on the reaction rate within the factor 4-5 rising at $T_9 > 1$, comparing the recent results of Wallner et al., 2019 and Mohr et al., 2019. In Section 4, the unique in sense calculations of the total cross sections of $^{13}\text{B}(n, \gamma_{0+1})^{14}\text{B}$ reaction performed in MPCM from 10^{-2} eV to 5 MeV provide the proposal for new experimental measurements ISOLDE. The presented data on the reaction rates substantiate the role of the $^{13}\text{B}(n, \gamma_{0+1})^{14}\text{B}$ reaction in the Boron-Carbon-Nitrogen chains, this is not the break-point of the Boron sequence. In Section 5, the $^{15}\text{N}(p, \gamma)^{16}\text{O}$ reaction rate has negligible dependence on the variation of asymptotic constant, but shows a strong impact of the interference of $^3\text{S}_1(312)$ and $^3\text{S}_1(962)$ resonances, especially at T_9 referring to the CNO Gamow windows. The accounting of the $^{15}\text{N}(p, \gamma_{(6.050)})^{16}\text{O}$, $^{15}\text{N}(p, \gamma_{(6.130)})^{16}\text{O}$, and $^{15}\text{N}(p, \gamma_{(7.117)})^{16}\text{O}$ cascade processes leads to the enhancement of the total reaction rate contrary to the ground state proton capture at $T_9 > 3$.

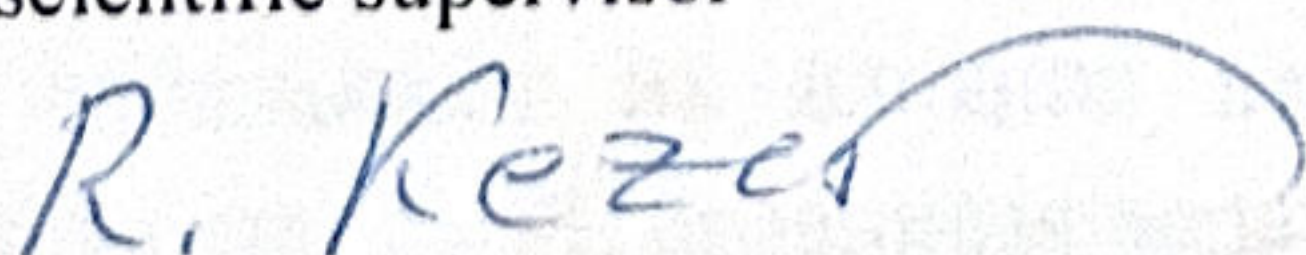
The topic of the dissertation is interesting enough and very timely due to current experimental and theoretical research in low energy nuclear astrophysics to explain the primordial nucleosynthesis in the Universe. This work is clearly communicated, the dissertation is written in a clear and understandable style, the references are relevant to the subject and show the recent status and past developments in the subject of research. The figures, tables are shown properly as well. Ms. Yeleusheva clearly demonstrates a high level of professionalism and deep knowledge of the subject. To sum up, the dissertation represents a good level of scientific work with scientific novelty and an extensive range of research.

During the conducted research, Badigul Yeleusheva has established herself as a competent young scientist, able to independently solve the scientific problems assigned to her. Badigul has proven her excellent analytical skills, and the high quality of her work is demonstrated by coauthoring four peer-reviewed publications in reputable journals in the field of research. She is an excellent presenter and her presentations at international conferences including the International Conference of Few-Body Problems in Physics (EFB25), Mainz, Germany, 2023 attracted great interest.

In summary, Ms. Yeleusheva's PhD thesis represents the original and high level of scientific work. The conducted research is logically arranged, and methods are clearly described. The results are very well presented and justified, and the explanations are reasonable as well as suitable, and focused on the relevant topics. The results of each Section are summarized in concluding remarks.

To conclude, the reviewed dissertation fulfills all requirements posed on the dissertation of Doctor of Philosophy, and the research conducted by Ms. Yeleusheva and presented in the dissertation "Radiative capture reactions on light nuclei in stellar and interstellar plasma" is on the cutting edge in low energy nuclear physics. In the dissertation thesis, Ms. Yeleusheva has demonstrated her creative abilities in the relevant research area. I am recommending the dissertation thesis for defense, and she undoubtedly deserves to be granted the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in the specialty 8D05308 – "Nuclear physics".

Foreign scientific supervisor



Roman Kezerashvili, PhD., D. Sc.

Professor of Physics

Academician of the International Academy of Astronautics, Paris, France

Кезерашвили Р. Я.
Д.ф.-м.н., профессор
Директор центра теоретической физики
Тел: (718) 260 52 76
Почта: RKezerashvili@citytech.cuny.edu

24 Июнь, 2024

ОТЗЫВ

на диссертационную работу Елеушевой Бадигуль Маратовны «**Реакции радиационного захвата на легких ядрах в звездной и межзвездной плазме**», представленную на соискание ученой степени доктора философских наук (PhD) по специальности 8D05308 – «Ядерная физика»

Диссертационная работа Б. М. Елеушевой «Реакции радиационного захвата на легких ядрах в звездной и межзвездной плазме» посвящена интересной теме ядерной физики, связанной с теоретическим описанием и анализом радиационного захвата нейтронов и протонов в реакциях ${}^8\text{Li}(n, \gamma_{0+1}){}^9\text{Li}$, ${}^9\text{Be}(n, \gamma_{0+1+2+3+4+5}){}^{10}\text{Be}$, ${}^{13}\text{B}(n, \gamma_{0+1}){}^{14}\text{B}$, и ${}^{15}\text{N}(p, \gamma){}^{16}\text{O}$ в рамках модифицированной потенциальной кластерной модели (МПКМ). Эти процессы привлекли интенсивные теоретические и экспериментальные исследования в современной ядерной астрофизике.

Диссертация состоит из Введения, пяти Разделов, Заключение, списка литературы и организована следующим образом. Введение дает обзор диссертации, цели и задач исследования, научной новизны, а также теоретической и практической значимости представленных исследований. Раздел 1 представляет модифицированный подход потенциальной кластерной модели и элементы формализма для процессов радиационного захвата. Астрофизические процессы ${}^8\text{Li}(n, \gamma_{0+1}){}^9\text{Li}$, ${}^9\text{Be}(n, \gamma_{0+1+2+3+4+5}){}^{10}\text{Be}$, ${}^{13}\text{B}(n, \gamma_{0+1}){}^{14}\text{B}$, и ${}^{15}\text{N}(p, \gamma){}^{16}\text{O}$ рассматриваются в Разделах 2, 3, 4 и 5, соответственно. В конце диссертации описаны общие выводы выполненного исследования, а также обсуждаются исследования за пределами данной диссертации.

Рассмотрим диссертацию пошагово, следуя каждому разделу. В разделе 2 впервые предложен безмодельный критерий оценки достоверности рассчитанных скоростей реакций за счет энергии связи в нуклонных каналах ${}^6\text{Li}(n, \gamma){}^7\text{Li}$, ${}^7\text{Li}(n, \gamma){}^8\text{Li}$ и ${}^8\text{Li}(n, \gamma){}^9\text{Li}$. Этот же критерий позволяет оценить диапазон асимптотических нормирующих коэффициентов (ANC), обеспечивающих правильное дальноедействующее поведение радиальных функций связанных состояний. В разделе 3 парциальные и полные сечения реакции ${}^9\text{Be}(n, \gamma_{0+1+2+3+4+5}){}^{10}\text{Be}$, рассчитанные в диапазоне энергий от 10 эВ до 5 МэВ, позволяют рассмотреть пять резонансов и оценить их сигнатуру в полном сечении. Включение резонансов показывает их влияние на скорость реакции в пределах фактора 4-5, возрастающего при $T_9 > 1$, сравнивая недавние результаты Wallner et al., 2019 и Mohr et al., 2019. В разделе 4 уникальные по смыслу расчеты полных сечений реакции ${}^{13}\text{B}(n, \gamma_{0+1}){}^{14}\text{B}$, выполненные в МПКМ от 10^{-2} эВ до 5 МэВ, дают предложение о новых экспериментальных измерениях ISOLDE. Представленные данные о скоростях реакции обосновывают роль реакции ${}^{13}\text{B}(n, \gamma_{0+1}){}^{14}\text{B}$ в цепочках Бор-Углерод-Азот, это не точка разрыва

последовательности Бора. В разделе 5 скорость реакции $^{15}\text{N}(p,\gamma)^{16}\text{O}$ имеет незначительную зависимость от изменения асимптотической константы, но показывает сильное влияние интерференции $^3\text{S}_1(312)$ и $^3\text{S}_1(962)$ резонансов, особенно при T_9 относящихся к окнам Гамова CNO. Учет каскадных процессов $^{15}\text{N}(p,\gamma_{(6.050)})^{16}\text{O}$, $^{15}\text{N}(p,\gamma_{(6.130)})^{16}\text{O}$, и $^{15}\text{N}(p,\gamma_{(7.117)})^{16}\text{O}$ приводит к усилению общей скорости реакции в отличие от захвата протона в основном состоянии при $T_9 > 3$.

Тема диссертации достаточно интересна и очень своевременна в связи с текущими экспериментальными и теоретическими исследованиями в области ядерной астрофизики низких энергий для объяснения первичного нуклеосинтеза во Вселенной. Эта работа четко изложена, диссертация написана в ясном и понятном стиле, ссылки соответствуют теме и показывают недавнее состояние и прошлые разработки в предмете исследования. Рисунки, таблицы также показаны должным образом. Елеушева Б. М. явно демонстрирует высокий уровень профессионализма и глубокие знания предмета. Подводя итог, диссертация представляет собой хороший уровень научной работы с научной новизной и обширным спектром исследований.

В ходе проведенных исследований Бадигуль Елеушева зарекомендовала себя как компетентный молодой ученый, способный самостоятельно решать поставленные перед ней научные задачи. Бадигуль доказала свои превосходные аналитические способности, а высокое качество ее работы подтверждается соавтором четырех рецензируемых публикаций в авторитетных журналах в области исследований. Она является превосходным докладчиком, и ее доклады на международных конференциях, включая Международную конференцию по проблемам немногих тел в физике (EFB25), Майнц, Германия, 2023, вызвали большой интерес.

Подводя итог, можно сказать, что докторская диссертация Елеушевой Бадигуль представляет собой оригинальную и научную работу высокого уровня. Проведенное исследование логично организовано, а методы четко описаны. Результаты очень хорошо представлены и обоснованы, а объяснения разумны и уместны, и сосредоточены на соответствующих темах. Результаты каждого раздела суммированы в заключительных замечаниях.

В заключение следует отметить, что рецензируемая диссертация соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертации доктора философских наук, а проведенные Елеушевой Бадигуль и представленные в диссертации исследования «Реакции радиационного захвата на легких ядрах в звездной и межзвездной плазме» находятся на переднем крае ядерной физики низких энергий. В диссертационной работе Елеушева Бадигуль продемонстрировала свои творческие способности в соответствующем научном направлении. Я рекомендую диссертацию к защите, и она, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени доктора философских наук (PhD) по специальности 8D05308 – «Ядерная физика».

Зарубежный руководитель:

/подпись имеется/

Д.ф.-м.н., профессор Кезерашвили Р. Я.

Профессор физики

Академик Международной Академии Астронавтики, Париж, Франция