

Studiul nucleosintezei de la Big Bang la p-proces folosind fascicule gama

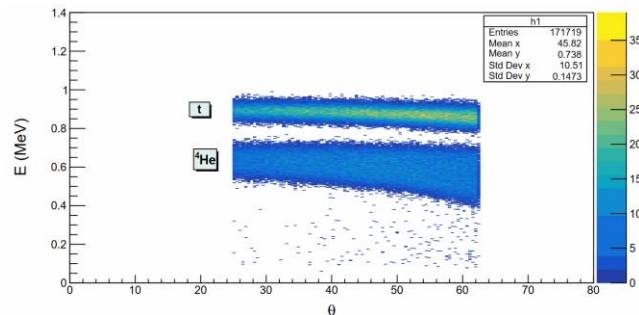
Expanding Big Bang and p-process nucleosynthesis understanding by using gamma-ray beams

(You can find the English version after the Romanian version)

REZULTATE

1. Dezvoltarea unei noi configurații experimentale pentru măsurarea reacției de fotodezintegrare Li-7 și reacții de tip p-proces (2022-12-31)

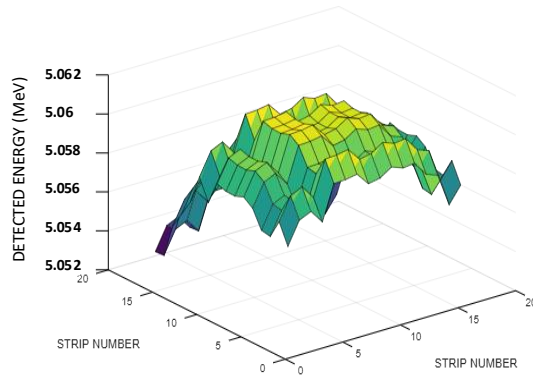
- Folosind codul de simulare Monte Carlo NPTool, a fost simulată configurația experimentală, inclusiv implementarea diferitelor tipuri de detectoare și ținte.



Kinematic plots of ${}^7\text{Li}(\gamma, t){}^4\text{He}$ reaction channels generated using the NPTool (disk-type geometry).

Simularea a arătat că detectoarele MMM de 300 μm cuplate cu o țintă LiF de 100 μg/cm² sunt ideale pentru îndeplinirea cerințelor de detecție. Calculele analitice ulterioare ale pierderilor de energie în țintele LiF și Li au confirmat rezultatele simulării.

- O nouă configurație de caracterizare a țintei a fost implementată la ELI-NP folosind un detector cu bandă de siliciu cu două fețe și electronică front-end disponibilă în "Laboratorul de detectare și spectroscopie" de la ELI-NP. Grosimea corespunzătoare a fost evaluată folosind LISE++ și SRIM/TRIM. Două straturi diferite de LiF depuse prin evaporare termică pe substraturi de carbon au fost măsurate cu succes.

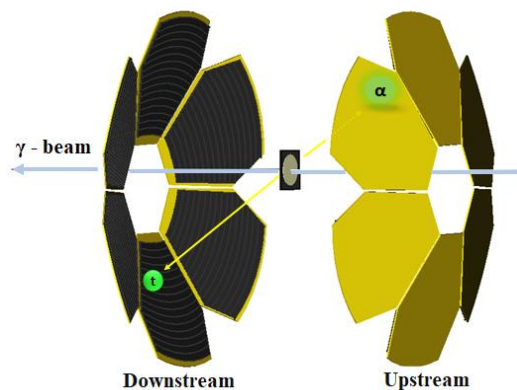


The detected energy of the 5.0805 MeV alpha particle after the LiF layer

Grosimea propusă a țintei LiF este de 0,5 μm pentru energiile fasciculului gamma între 3,7 MeV și 4,5 MeV și 1 μm pentru energiile fasciculului gamma între 4,65 MeV și 6 MeV. Evaporarea termică reprezintă cea mai potrivită metodă de depunere pentru o țintă de această grosime și compoziție.

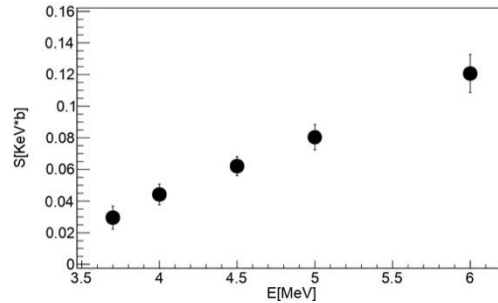
2. Desfasurare campanie experimentală la HIγS și analiza datelor pentru reacția de fotodezintegrare Li-7 și reacții de tip p-proces (2023-12-31)

- 4 detectoare MMM cu bandă de siliciu cu o grosime de 300 μm au fost livrate către ELI-NP în februarie 2023. Detectoarele au fost caracterizate folosind o configurație dedicată la ELI-NP. Rezultatele demonstrează că detectoarele MMM au o rezoluție mai bună (0,5%-1%) decât detectoarele YY1, care este de obicei peste 1%.
- Membrii echipei de proiect, Cătălin Matei, Haridas Pai și Ioana Kuncser, au călătorit la High Intensity Gamma-ray Source (HIγS) din Durham, Carolina de Nord, în perioada martie-aprilie 2023, pentru a desfășura campania de proces p și experimentul $7\text{Li}(\gamma,\alpha)^3\text{H}$.



- Grosimea a trei ținte LiF și suportul mylar utilizat în campania experimentală din aprilie 2023 au fost determinate la ELI-NP folosind o sursă alfa cu trei vârfuri și un detector de benzi de siliciu cu două fețe.

- Valorile preliminare ale secțiunilor transversale ale stării fundamentale ${}^7\text{Li}(\gamma,\alpha){}^3\text{H}$ ale inversului, respectiv ale reacției directe ${}^3\text{H}(\alpha,\gamma){}^7\text{Li}$, precum și factorul S astrofizic au fost extrase cu succes pentru energii ale fascicului gamma între 3,7 – 6 MeV, interval de energie care corespunde decalajului dintre datele anterioare. Procesul de încadrare a datelor în formalismul matricei R este în curs de desfășurare.

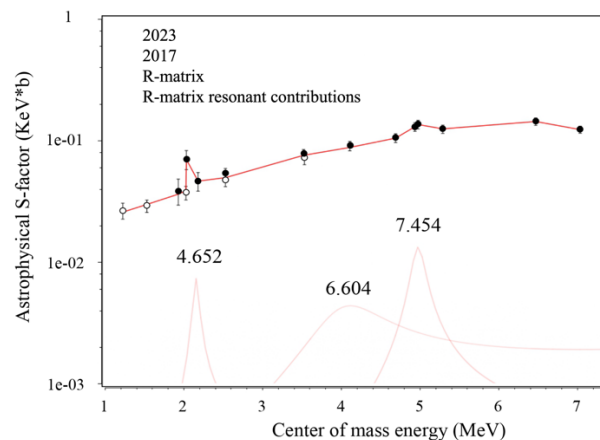


The astrophysical S-factor of the ${}^3\text{H}(\alpha,\gamma){}^7\text{Li}$ reaction in function of the gamma beam energy.

- Nucleele de proces p ${}^{11}\text{Sn}$ și ${}^{102}\text{Pd}$ au fost studiate pentru prima dată cu fascicule de raze gamma la HIgS în perioada 4-31 martie 2023. Analiza datelor a început în octombrie 2023, după ce a fost determinată intensitatea fascicului de raze gamma. Modelele optice de bază au fost dezvoltate și au putut fi constrânse prin ajustarea secțiunii transversale calculate la datele fotonucleare experimentale.

3. Dezvoltarea de calcule la scara larga a secțiunilor eficace și a ratelor de reacție cu implicații astrofizice pentru reacții de captura și reacții de fotodezintegrare (2024-12-31)

- Formalismul R-matrix a fost dezvoltat pentru reacția ${}^3\text{H}(\alpha,\gamma){}^7\text{Li}$. Modelul R-matrix a fost aplicat pentru datele preliminare din 2023 împreună cu datele din 2017, adică pentru energiile fascicului gamma între 3,7 și 10 MeV. Datele au fost ajustate cu succes ($\chi^2 \sim 1,5$).



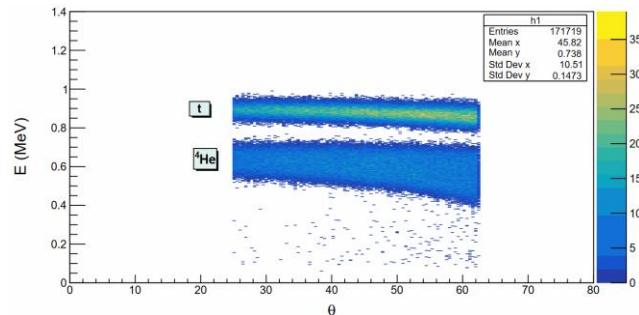
Preliminary R-matrix fitting of the S-factor of the ${}^3\text{H}(\alpha,\gamma){}^7\text{Li}$ reaction

- Fotonul vortex poate fi generat prin radiația sincrotron în câmpul magnetic puternic asociat cu obiectele astrofizice. Prin urmare, fotonul vortex poate fi implicat în fotodezintegrarea nucleosintezei procesului p. Ratele de reacție astrofizică ale reacțiilor induse de fotoni vortex au fost calculate și comparate cu viteza de reacție indusă de fotoni cu undă plană. Sunt propuse măsurători ale secțiunilor transversale ale canalelor de emisie de raze γ și de producție de neutroni cu parametri diferiți ai fasciculelor de γ de raze vortex.

RESULTS

1. Development of a new experimental configuration for measuring the photodissociation of Li-7 and p-process reactions (2022-12-31)

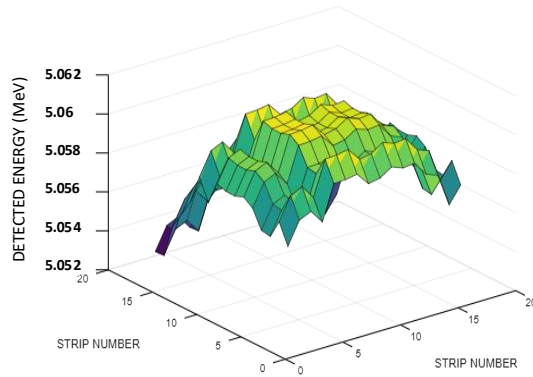
- Using the Monte Carlo simulation code NPTool, the experimental configuration was simulated, including the implementation of various detector types and targets.



Kinematic plots of ${}^7\text{Li}(\gamma, t){}^4\text{He}$ reaction channels generated using the NPTool (disk-type geometry).

The simulation revealed that MMM detectors of 300 μm coupled with a 100 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ LiF target are ideal for meeting the detection requirements. Further analytical calculations of energy loss in LiF and Li targets confirmed the simulation results.

- A new target characterization setup was implemented at ELI-NP using a double-sided silicon strip detector and front-end electronics available in the “Detector and Spectroscopy Laboratory” at ELI-NP. The corresponding thicknesses were evaluated using LISE++ and SRIM/TRIM. Two different LiF layers deposited by thermal evaporation on carbon substrates have been successfully measured.

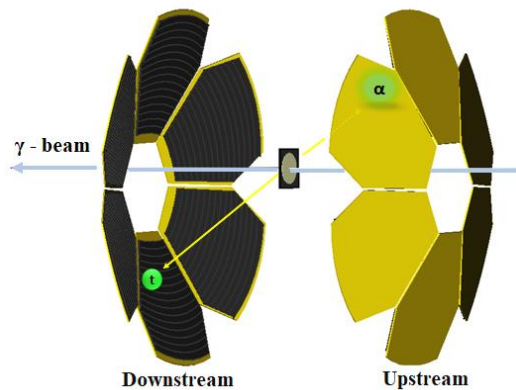


The detected energy of the 5.0805 MeV alpha particle after the LiF layer

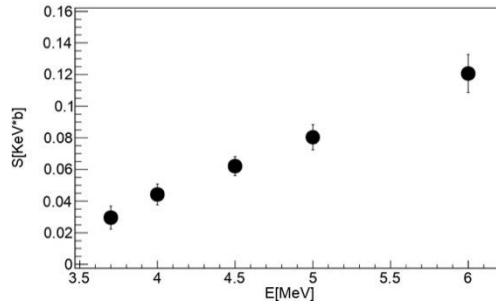
The proposed thickness of the LiF target is 0.5 μm for gamma beam energies between 3.7 MeV and 4.5 MeV and 1 μm for gamma beam energies between 4.65 MeV and 6 MeV. The thermal evaporation represents the most suitable deposition method for a target of this thickness and composition.

2. Perform experimental campaign at HIyS and data analysis for the photodissociation of Li-7 and p-process reactions (2023-12-31)

- 4 MMM double sided silicon strip detectors of 300 μm thickness were delivered to ELI-NP in February 2023. The detectors were characterized used a dedicated setup at ELI-NP. The results prove that MMM detectors have a better resolution (0.5%-1%) than YY1 detectors, which is typically above 1%.
- Members of the project team, Catalin Matei, Haridas Pai, and Ioana Kuncser, traveled to High Intensity Gamma-ray Source (HIgS) in Durham, North Carolina, during March-April 2023, to carry out the p-process campaign and the ${}^7\text{Li}(\gamma,\alpha){}^3\text{H}$ experiment.



- The thicknesses of three LiF targets and the mylar backing used in the experimental campaign from April 2023 have been determined at ELI-NP using a three-peak alpha source and a double-sided silicon strip detector.
- The preliminary values of the ${}^7\text{Li}(\gamma,\alpha){}^3\text{H}$ ground state cross sections of the inverse, respectively of the ${}^3\text{H}(\alpha,\gamma){}^7\text{Li}$ direct reaction, as well as the astrophysical S-factor have been successfully extracted for gamma beam energies between 3.7 – 6 MeV, energy range which corresponds to the gap between the previous data. The process of fitting the data under the R-matrix formalism is underway.

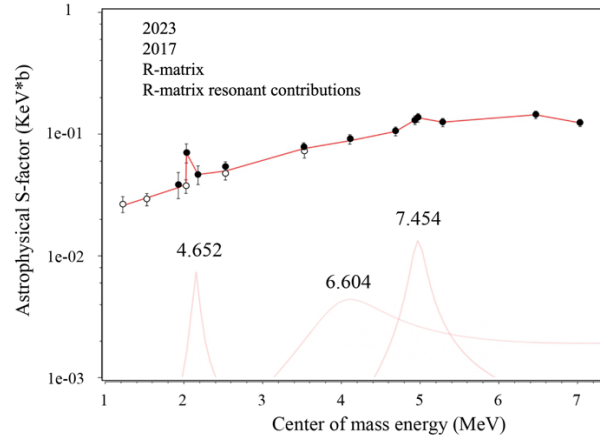


The astrophysical S-factor of the ${}^3\text{H}(\alpha,\gamma){}^7\text{Li}$ reaction in function of the gamma beam energy.

- The p-process nuclei ${}^{111}\text{Sn}$ and ${}^{102}\text{Pd}$ were studied for the first time with gamma-ray beams at HIGS during March 4-31, 2023. The data analysis has started during October 2023 after the gamma-ray beam intensity was determined. The underlying optical models were developed and could be constrained by fitting the calculated cross section to the experimental photonuclear data.

3. Development of large-scale calculations of cross sections and astrophysical reaction rates for the charged-particles capture and photo-disintegration reactions (2024-12-31)

- R-matrix formalism was developed for the ${}^3\text{H}(\alpha,\gamma){}^7\text{Li}$ reaction. The R-matrix model was applied for the preliminary 2023 data together with the 2017 data, i.e. for gamma beam energies between 3.7 and 10 MeV. The data were successfully fitted ($\chi^2 \sim 1.5$).



Preliminary R-matrix fitting of the S-factor of the ${}^3\text{H}(\alpha,\gamma){}^7\text{Li}$ reaction

- Vortex photon can be generated via synchrotron radiation in the strong magnetic field associated with astrophysical objects. Therefore, vortex photon can be involved in the photodisintegration for the p-process nucleosynthesis. The astrophysical reaction rates of the vortex photon induced reactions were calculated and compared with the plane wave photon induced reaction rate. Measurements of the cross-sections of the γ -ray emission and neutron production channels with different parameters of the vortex γ -ray beams are proposed.