



Kraków, 22 października 2026

Artemis I: Kryształy eksperymentalnych detektorów zarejestrowały dawki promieniowania w pobliżu Księżyca

Czy dawki promieniowania kosmicznego w okolicach Księżyca różnią się znacząco od otrzymywanych przez astronautów na niskich orbitach wokółziemskich? Eksperymentalne detektory z fluorku litu, zainstalowane na pokładzie statku Orion w misji Artemis I, właśnie umożliwiły przeprowadzenie wstępnych oszacowań.

Gdy na przełomie listopada i grudnia 2022 roku kapsuła Orion bezzałogowej misji Artemis I krążyła wokół Księżyca, ponad dziesięć tysięcy niewielkich kryształów, rozmieszczonych w dwóch ludzkich fantomach, gromadziło dane o dawkach promieniowania kosmicznego. Wśród nich znajdowało się kilkadziesiąt eksperymentalnych detektorów fluorescencyjnych z fluorku litu, przygotowanych w Instytucie Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie. Obecnie na łamach czasopisma naukowego „Radiation Measurements” zaprezentowano sposób odczytu zawartej w nich informacji, pozwalający na wyciągnięcie interesujących wniosków zarówno o dawkach promieniowania, jak i o właściwościach samych detektorów.

„Fluorescencyjne detektory dawek promieniowania, rozwijane przez nasz instytut na bazie fluorku litu, mają charakter pasywny. Innymi słowy, działają one jak klisze fotograficzne: po napromienieniu kryształów ślady przelotów poszczególnych cząstek trzeba później analizować optycznie, pod mikroskopem”, wprowadza w zagadnienie prof. dr hab. Paweł Bilski (IFJ PAN), jeden ze współautorów omawianego artykułu.

Zasada działania pasywnych detektorów promieniowania z kryształów fluorku litu jest prosta. Cząstki promieniowania jonizującego podczas przelotu przez detektor wytwarzają defekty w strukturze krystalicznej materiału, które zaczynają funkcjonować jako centra barwne. Podczas odczytu w laboratorium centra te są pobudzane za pomocą światła niebieskiego, wskutek czego emitują światło fluorescencyjne w zakresie czerwonym, obserwowane pod mikroskopem.

W ramach eksperymentu MARE (Matroshka AstroRad Radiation Experiment) misji Artemis I w obu ludzkich fantomach zamontowano kilkadziesiąt eksperymentalnych detektorów z fluorku litu, w tym część silnie wzbogaconą izotopem ^7Li . Całkowity wkład IFJ PAN w eksperyment był jednak istotnie większy, bowiem z Krakowa pochodziło także niemal 600 detektorów krystalicznych innego typu (termoluminescencyjnych).

Dotychczas stosowane pasywne detektory śladowe, plastikowe, przed odczytem muszą być poddawane trawieniu. W przypadku kryształów fluorku litu kłopotliwa obróbka chemiczna nie jest potrzebna, a do przeprowadzenia obserwacji wystarcza zwykły mikroskop fluorescencyjny. Sam odczyt śladów cząstek z okolic Księżyca był więc szybki i nie przysparzał badaczom problemów. Te pojawiły się przy próbach wydobywania informacji ilościowych i wymagały opracowania nietrywialnych metod kalibracji wyników.

Podstawowy problem wynikał z charakteru promieniowania kosmicznego. W typowych eksperymentach fizycznych detektory są napromieniane wiązkami cząstek tego samego rodzaju, o dobrze ustalonej energii i jednoznacznie wyznaczonym kierunku. Tymczasem promieniowanie kosmiczne

nadlatuje ze wszystkich stron i zawiera wszelkie rodzaje naturalnie występujących cząstek i jąder atomowych, o bardzo szerokim zakresie energii. Podczas obserwacji pod mikroskopem ślady biegną więc w różnych kierunkach, co powoduje, że kamera oprócz odcinka śladu znajdującego się w obszarze ostrości (o rozmiarze około mikrometra) rejestruje także rozmytą poświatę z pozostałych fragmentów. W rezultacie zmienia się intensywność świecenia, czyli główny parametr służący do oceny gęstości jonizacji. Analizę gmatwał dodatkowo fakt, że ślady cząstek jonizujących silnie miały postać ciągłych, wyraźnych linii, podczas gdy cząstki jonizujące słabo potrafiły pozostawiać za sobą jedynie ciąg odseparowanych od siebie punktów, co także wpływało na intensywność świecenia śladu.

„Po uwzględnieniu szeregu poprawek i opracowaniu oprogramowania, w odpowiedni sposób usuwającego tło zaburzające pomiar, nasze wyniki różniły się od otrzymanych za pomocą typowych detektorów śladowych o nie więcej niż 15% w całym wspólnym przedziale wartości depozycji energii. Co więcej, zarejestrowaliśmy także wiele śladów cząstek, które zdeponowały mniejsze ilości energii niż wynosił dolny próg detekcji dotychczasowych detektorów”, podkreśla prof. Bilski.

Podczas eksperymentu MATROSHKA, zrealizowanego kilkanaście lat wcześniej na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej, za część dawki promieniowania zdeponowanej w fantomach odpowiadały niskoenergetyczne protony z wokółziemskich pasów Van Allena. Protony te traciły swoją energię na różnych głębokościach wewnątrz fantomów, w efekcie czego rozkład dawek promieniowania zarejestrowany w całej objętości manekinów był niejednorodny. W pobliżu Księżyca pasów Van Allena nie ma, jest za to więcej promieniowania galaktycznego o energiach tak dużych, że jego cząstki są zdolne przelecieć przez całe ciało człowieka, po drodze pozostawiając w nim tylko część swojej energii. Zarejestrowany podczas misji Artemis I rozkład dawek promieniowania wewnątrz fantomów był więc praktycznie jednorodny.

„Niskoenergetyczne protony, uwięzione przez pole magnetyczne naszej planety w pasach Van Allena, mogą odpowiadać nawet za większość dawki, na jaką są narażeni astronauta na niskich orbitach wokółziemskich. W okolicy Księżyca ten znaczący wkład znika. Z naszych pomiarów w ramach eksperymentu MARE wynika, że z uwagi na duże ilości promieniowania galaktycznego całkowite dawki przy Srebrnym Globie są więc co prawda większe niż na orbicie Ziemi, ale nie aż tak bardzo, jak można by się było intuicyjnie spodziewać”, zauważa prof. Bilski.

Użyte podczas misji Artemis I fluorescencyjne detektory śladowe na bazie fluorku litu, hodowane metodą Czochralskiego, zostały opracowane w IFJ PAN już dekadę temu i od tego czasu są ciągle rozwijane. Do ich największych zalet należą niewielkie rozmiary (rzędu milimetrów, a nie centymetrów) i wynikająca z tego faktu wygoda noszenia przez człowieka, lepsza rozdzielczość śladów niż w klasycznych, plastikowych detektorach trawionych chemicznie (co wiąże się z możliwością czytelnej zapisu większych dawek promieniowania) oraz szeroki zakres rejestrowanych rodzajów cząstek i ich energii, pozwalający lepiej oceniać globalną ekspozycję na promieniowanie. Ponadto detektory z fluorku litu, zwłaszcza po wzbogaceniu o izotop litu ^6Li , mogą być używane do rejestrowania dawek neutronów (ponieważ neutrony wchodzą wówczas w reakcje z jądrami litu i lokalnie produkują wtórne cząstki naładowane, oddziałujące z materiałem na podobnych zasadach jak zewnętrzne promieniowanie jonizujące).

Badania w ramach projektu MARE dofinansowano z grantu Opus Narodowego Centrum Nauki.

Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) w Krakowie prowadzi badania podstawowe i aplikacyjne w obszarze fizyki oraz nauk pokrewnych. Główna część działalności naukowej Instytutu koncentruje się na badaniu struktury materii, w tym własności oddziaływań fundamentalnych od skali kosmicznej po cząstki elementarne. Częścią Instytutu jest nowoczesne Centrum Cyklotronowe Bronowice, unikalny w skali europejskiej ośrodek, obok badań naukowych zajmujący się terapią protonową nowotworów. IFJ PAN prowadzi też cztery akredytowane laboratoria badawcze i pomiarowe. Wyniki badań – obejmujących fizykę i astrofizykę cząstek, fizykę jądrową i oddziaływań silnych, fizykę fazy skondensowanej materii, fizykę medyczną, inżynierię nanomateriałów, geofizykę, biologię radiacyjną i środowiskową, radiochemię, dozymetrię oraz fizykę i ochronę środowiska – są każdego roku przedstawiane w ponad 600 artykułach publikowanych w recenzowanych wysoko punktowanych czasopismach naukowych. Corocznie Instytut jest organizatorem lub współorganizatorem wielu międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych oraz szeregu seminariów i innych spotkań naukowych. IFJ PAN jest członkiem Krakowskiego Konsorcjum Naukowego „Materia-Energia-Przyszłość”, któremu, na lata 2012-2017, nadany został status Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego (KNOW). Wiele projektów i przedsięwzięć realizowanych przez Instytut jest wpisanych na Polską Mapę Infrastruktury Badawczej (PMIB). Instytut zatrudnia ponad pół tysiąca pracowników. Komisja Europejska przyznała IFJ PAN prestiżowe wyróżnienie „HR Excellence in Research” jako instytucji stosującej zasady „Europejskiej Karty Naukowca” i „Kodeksu Postępowania przy rekrutacji pracowników naukowych”. W klasyfikacji MEIN Instytut został zaliczony do najwyższej kategorii naukowej A+ w obszarze nauk fizycznych.

KONTAKT:

prof. dr hab. **Paweł Bilski**
Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk
tel.: +48 12 6628414
email: pawel.bilski@ifj.edu.pl

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„Application of LiF fluorescent nuclear track detectors for measurements of cosmic radiation at the lunar orbit within the MARE experiment”

P. Bilski, A. Kilian, M. Sankowska, T. Horwacik, T. Berger
Radiation Measurements 2026, 198, 107806
DOI: [10.1016/j.radmeas.2026.107806](https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2026.107806)

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://www.ifj.edu.pl/>

Strona Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk.

<http://press.ifj.edu.pl/>

Serwis prasowy Instytutu Fizyki Jądrowej PAN.

MATERIAŁY GRAFICZNE:

IFJ261022b_fot01s.jpg

HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2026/10/22/IFJ261022b_fot01.jpg

Pobudzany światłem niebieskim kryształ fluorku litu z zarejestrowanymi śladami cząstek jonizujących podczas obserwacji pod mikroskopem fluorescencyjnym. (Źródło: IFJ PAN)

IFJ261022b_fot02s.jpg

HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2026/10/22/IFJ261022b_fot02.jpg

Ślady cząstek promieniowania kosmicznego zarejestrowane w detektorach z kryształków fluorku litu podczas wokółksiężycowej misji Artemis I. (Źródło: IFJ PAN)

IFJ261022b_fot03s.jpg

HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2026/10/22/IFJ261022b_fot03.jpg

Przekroje fantomów użytych w misji Artemis I z widocznymi miejscami montażu detektorów promieniowania. (Źródło: DLR)

IFJ261022b_fot04s.jpg

HR: http://press.ifj.edu.pl/news/2026/10/22/IFJ261022b_fot04.jpg

Fantomy z detektorami promieniowania zainstalowane wewnątrz kapsuły Orion misji księżycowej Artemis I. (Źródło: NASA)