

AD ASTRA

Program badań nad astropolityką
i prawem kosmicznym

Nr 5/2022

Monitorowanie promieniowania kosmicznego w przemyśle lotniczym

DOI: 10.53261/adastra20220504

dr inż. Patrycja Bałdyga

Instytut Optoelektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna
im. Jarosława Dąbrowskiego
<https://orcid.org/0000-0003-2909-6846>

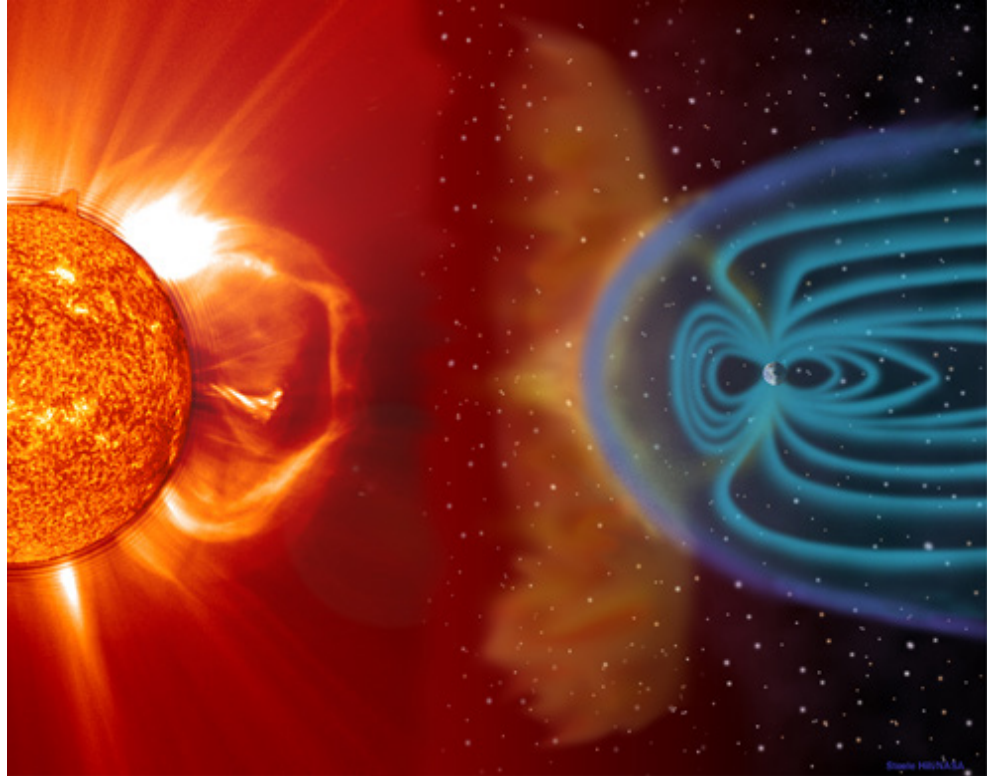
dr inż. Marcin Jakubaszek

Instytut Optoelektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna
im. Jarosława Dąbrowskiego
<https://orcid.org/0000-0001-9157-6627>

1. WPROWADZENIE

Promieniowanie kosmiczne to ogólne określenie promieniowania docierającego do Ziemi z przestrzeni międzygwiazdnej i ze Słońca. Z badań wynika, że jest to zarówno promieniowanie mikrofalowe (promieniowanie tła) jak i wysokoenergetyczne promieniowanie jonizujące. Natężenie promieniowania kosmicznego, które mierzymy na Ziemi i w jej okolicy zmienia się wraz z jedenastoletnim cyklem słonecznym. Wbrew pozorom w czasie maksimum aktywności Słońca natężenie zmniejsza się – odpowiada za to efekt Forbusha, którym określa się „powiększenie” magnetosfery Słońca osłaniającej Ziemię przed promieniowaniem kosmicznym pochodzącym spoza Układu Słonecznego. Na rysunku 1 przedstawiona została wizualizacja składowej słonecznej promieniowania kosmicznego docierającego do naszej planety. W wyniku aktywności Słońca powstaje wiatr słoneczny, który zostaje częściowo zatrzymany przez linie ziemskiego pola magnetycznego. W magnetosferze jednak znajdują się leje polarne (ang. *polar cusps*) przez które większa ilość cząstek może zbliżyć się do powierzchni Ziemi. Dzięki temu zjawisku można zaobserwować zorze polarne.

Rysunek 1. Wizualizacja promieniowania kosmicznego docierającego do Ziemi ze Słońca (Źródło: NASA/SOHO).



2. HISTORIA BADAŃ PROMIENIOWANIA KOSMICZNEGO

Historia badań promieniowania kosmicznego ma zaledwie niewiele ponad 100 lat. Odkrycie zjawiska przypisuje się najczęściej Victorowi Hessowi, który w roku 1912 przeprowadzał eksperymenty dotyczące poziomu jonizacji powietrza na różnych wysokościach. Pomiary wykonywane były poprzez lot balonem do maksymalnej wysokości 5200 m n.p.m. i okazało się, że wraz ze wzrostem wysokości jonizacja powietrza również zwiększa się. Zdjęcie przedstawiające V. Hessa przygotowującego się do lotu balonem przedstawiono na rysunku 2. Zależność ta została potwierdzona przez Wernera Kolhörstera, który wzniósł się na wysokość 9200 m i w roku 1936 otrzymał Nagrodę Nobla z dziedziny fizyki za odkrycie promieniowania kosmicznego¹.

Rysunek 2. Victor Hess przygotowujący się do lotu balonem (Źródło: American Physical Society).

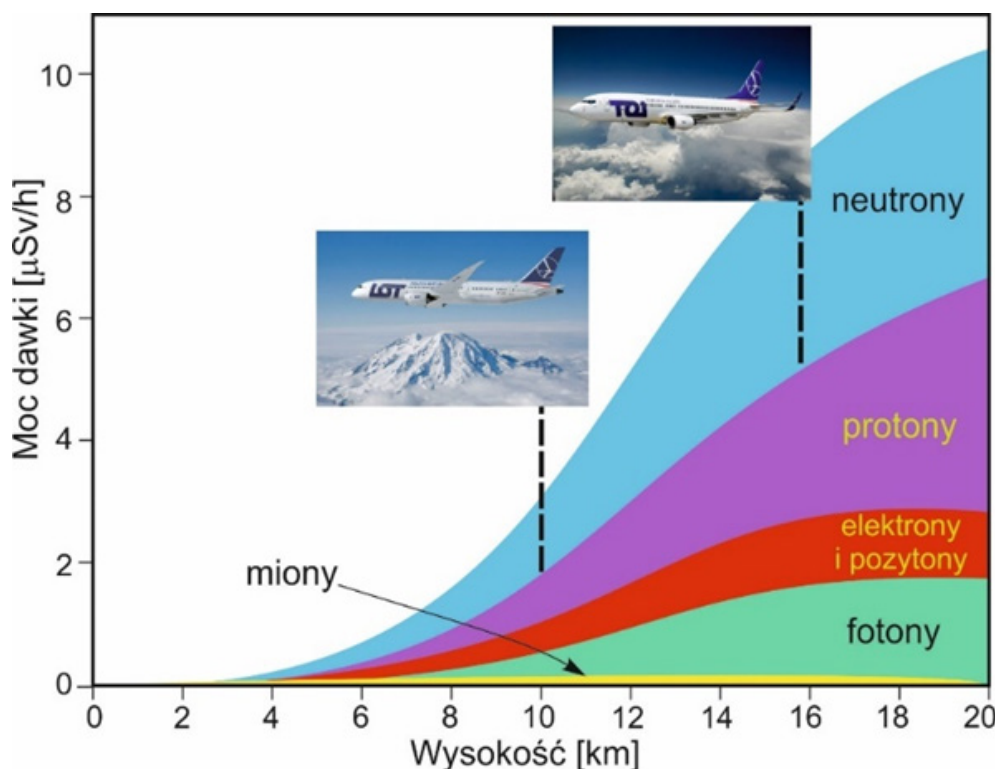


W roku 1938 Pierre Auger odkrył istnienie wielkich pęków atmosferycznych za pomocą sieci detektorów umieszczonych w dużej odległości od siebie. Jego imieniem nazwano obserwatorium w północnej Argentynie otwarte w 2008 r., którego celem jest wykrywanie wysokoenergetycznych cząstek promieniowania kosmicznego, a tym samym wielkich pęków atmosferycznych. Badania te zainspirowały pracowników Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk i w 2016 r. rozpoczęto projekt Cosmic-Ray Extremely Distributed Observatory (CREDO). Polega on na wykrywaniu pęków atmosferycznych za pomocą matryc aparatów znajdujących się w smartfonach. Dzięki temu obserwacje może prowadzić każdy w dowolnym miejscu na Ziemi.

3. ZNACZENIE PROMIENIOWANIA KOSMICZNEGO W PRZEMYSŁE LOTNICZYM

Jak już zostało opisane – wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza zwiększa się natężenie promieniowania kosmicznego. Uśredniona moc przyjętej dawki na różnych wysokościach znajduje się na rysunku 3. Dla bezpieczeństwa załóg lotniczych ustalono limity określające jaką dawkę promieniowania może przyjąć pracownik (osoba narażona na działanie promieniowania jonizującego) w ciągu roku i jest to 6 mSv, a przeciętny człowiek może przyjąć dawkę 1 mSv². W przybliżeniu jest to 20 lotów na trasie Warszawa-Nowy Jork.

Rysunek 3. Moc dawki promieniowania kosmicznego nad lotniskiem Okęcie (Opracowanie: WAT, na podstawie P. Bilski i inni „Raport nr 1905/D” IFJ PAN).



W celu oszacowania ilości przyjętej dawki przez załogi statków powietrznych stosuje się różnego rodzaju programy korzystające z modeli promieniowania kosmicznego występującego na Ziemi na różnych wysokościach. Jednym z nich jest CARI stworzone przez Medyczny Instytut Lotnictwa Cywilnego Federalnej Administracji Lotnictwa. Umożliwia on obliczenie dawki efektywnej galaktycznego promieniowa-

nia kosmicznego otrzymanego przez jednostkę na statku powietrznym zarówno na trasach lotów jak i według współrzędnych geodezyjnych, czyli według linii prostej. Dodatkowe funkcje umożliwiają podział przyjętej dawki ze względu na m. in. typ cząstki, rodzaj promieniowania oraz wysokość lotu (limit ok. 91 km).

W lotnictwie stosuje się dwa rodzaje detektorów: środowiskowe oraz indywidualne³. Dawkomierze środowiskowe znajdują się w kabinie pilotów i stosuje się je do pomiaru natężenia promieniowania kosmicznego w wybranym miejscu. Zdjęcie ilustrujące dawkomierze środowiskowe przedstawiono na rysunku 4.

Rysunek 4. Dawkomierze środowiskowe o różnych grubościach (od lewej): 2 mm, 2,5 cm oraz 5 cm (Źródło: IFJ PAN).



Dawkomierze indywidualne określają dawkę przyjętą przez jednostkę. Głównie stosowane są dozymetry termoluminescencyjne, które „magazynują” w sobie część energii cząstki przechodzącej przez detektor, dzięki czemu zbierane są informacje o przyjętej dawce promieniowania. Po określonym czasie dozymetry są zbierane i umieszczane w komorze grzewczej, ponieważ poprzez uzyskanie odpowiedniej temperatury detektor zaczyna emitować zmagazynowaną energię i za pomocą odpowiednich przeliczeń można określić dawkę przyjętą przez pracownika. Na rysunku 5 przedstawiono przykład dozymetru termoluminescencyjnego. Jego dużą zaletą jest mały rozmiar oraz brak konieczności zasilania detektora. Wadą jest brak możliwości sprawdzenia przyjętej dawki na bieżąco.

Rysunek 5. Dozymetr termoluminescencyjny (Źródło: <https://www.meditron.ch>).



Metody detekcji promieniowania kosmicznego

Promieniowanie kosmiczne można wykrywać również na inne sposoby. Należą do nich między innymi:

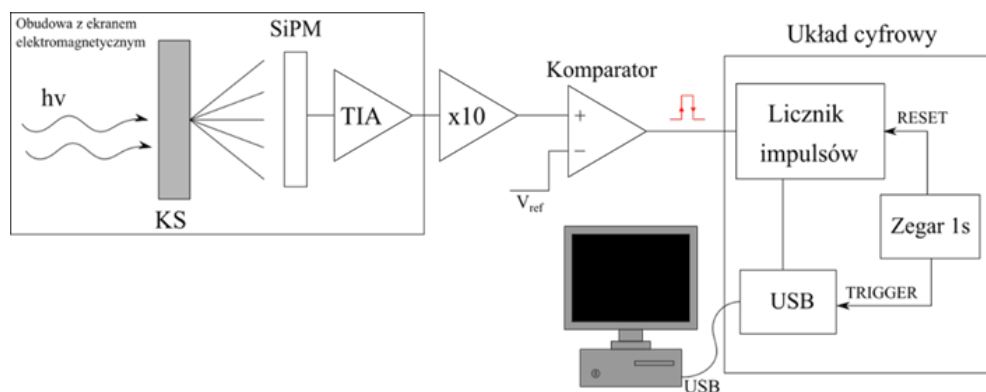
- Kryształy scyntylacyjne
- Detektory półprzewodnikowe
- Komory mgłowe
- Detektory promieniowania Czerenkowa

Każdy typ detektora stosuje się w zależności od potrzeb eksperymentu. Można je również łączyć, np. kryształ scyntylacyjny w połączeniu z detektorem półprzewodnikowym tworzy licznik scyntylacyjny. W detektorach promieniowania Czerenkowa również stosowane są detektory półprzewodnikowe.

4. PROJEKT OPTOELEKTRONICZNEGO DOZYMETRU

W ramach prac badawczych zaprojektowano i skonstruowano model laboratoryjny indywidualnego dozymetru, który umożliwiłby bieżący pomiar dawki promieniowania kosmicznego. Schemat układu przedstawiono na rysunku 6. W skład detektora wchodzi kryształ scyntylacyjny NaI(Tl) (KS), detektor półprzewodnikowy (ang. Silicon PhotoMultiplier – SiPM), wzmacniacz transimpedancyjny (TIA). Wymienione elementy umieszczono w obudowie z ekranem elektromagnetycznym w celu wyeliminowania jak największej ilości szumów. Poza obudowę znajduje się system wzmacniania sygnału i przetwarzania danych, które przesyłane są do komputera.

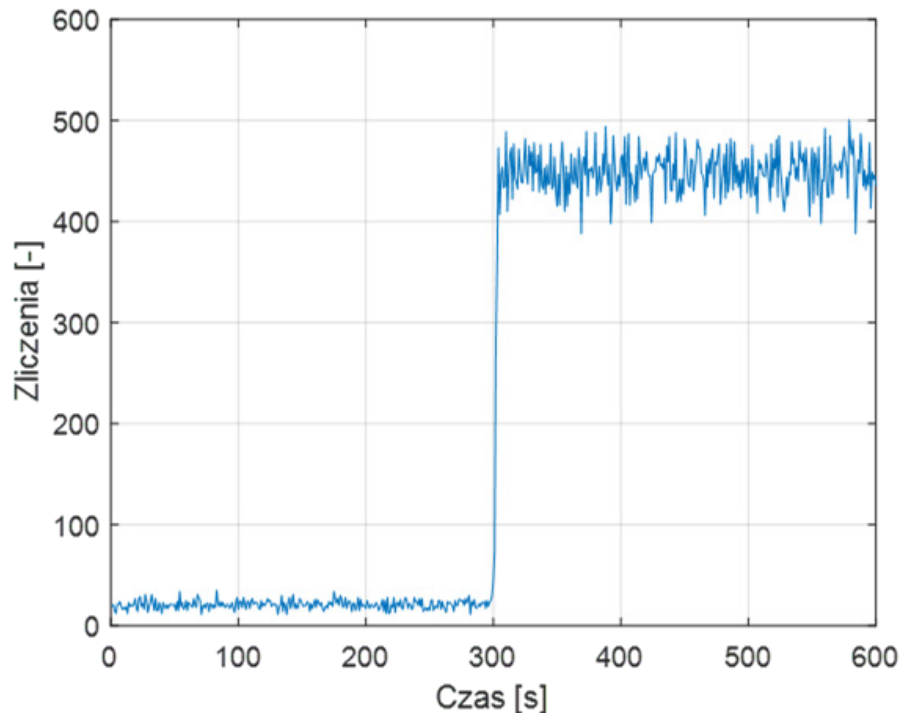
Rysunek 6. Schemat optoelektronicznego detektora promieniowania kosmicznego (Opracowanie własne)



Badania wykonano z pomocą dwóch naturalnych źródeł promieniowania jonizującego: zegara z luminoforem, gdzie do wzbudzenia świecenia zastosowano pierwiastek promieniotwórczy ($155 \mu\text{Sv/h}$) oraz autunit występujący w strefach utlenienia złóż uranu ($323 \mu\text{Sv/h}$). Źródła umieszczano w aluminiowych obudowach i w czasie pomiaru przystawiano do detektora. Przez 300 s wykonywany był pomiar kontrolny (bez obecności źródła w pobliżu), następnie na 300 s umieszczano źródło promieniotwórcze obok detektora.

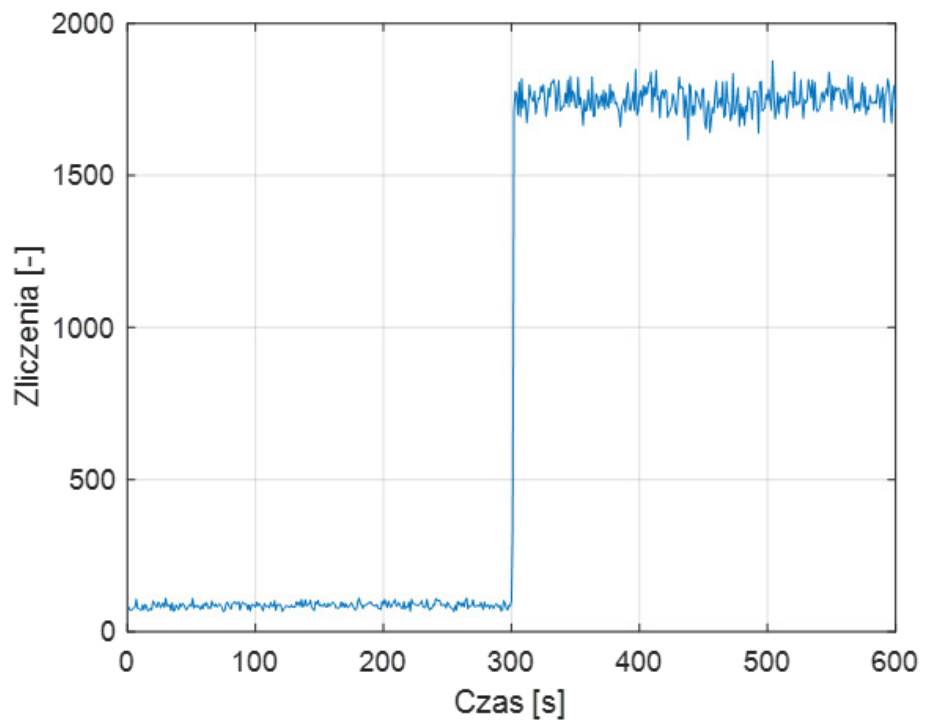
Wyniki pomiaru dla pierwszego źródła promieniowania jonizującego przedstawiono na rysunku 7. Można zauważyć wyraźny wzrost częstotliwości zliczeń z około 20 zliczeń/s do 450 zliczeń/s po umieszczeniu źródła w pobliżu detektora.

Rysunek 7. Charakterystyka częstotliwości zliczeń w funkcji czasu dla źródła o równoważniku mocy dawki promieniowania $155 \mu\text{Sv/h}$



Wyniki pomiaru dla drugiego źródła promieniowania jonizującego przedstawiono na rysunku 8. W tym przypadku wzrost częstotliwości zliczeń był jeszcze większy, ponieważ zwiększyła się z około 75 zliczeń/s do 1750 zliczeń/s. Oba wyniki wskazują, że detektor działa poprawnie i umożliwia wykrycie promieniowania wysokoenergetycznego.

Rysunek 8. Charakterystyka częstotliwości zliczeń w funkcji czasu dla źródła o równoważniku mocy dawki promieniowania $323 \mu\text{Sv/h}$.



5. PODSUMOWANIE

Badanie i ciągle monitorowanie promieniowania kosmicznego jest ważne z perspektywy bezpieczeństwa załóg statków powietrznych, czy stacji kosmicznych. W trakcie szacowania i pomiarów przyjętej dawki należy uwzględnić wiele zmiennych takich jak aktywność słoneczna, czy wysokość lotu. Istnieje wiele metod detekcji promieniowania kosmicznego. Każda w nich ma swoje wady i zalety i stosowana jest w zależności od potrzeb eksperymentu. Projektując detektor promieniowania kosmicznego należy o tym wszystkim pamiętać i dodatkowo należy uwzględnić komfort potencjalnego użytkownika urządzenia.

¹ M. Spurio, *Particles and Astrophysics*, Springer International Publishing, Szwajcaria 2015.

² Dyrektywa Rady nr.2013/59/EURATOM ustanawiająca podstawowe normy bezpieczeństwa w celu ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z narażenia na działanie promieniowania jonizującego oraz uchylająca dyrektywy 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom z dnia 5 grudnia 2013 r. art. 35 ust. 3. (Dz.U.U.E.L.2014.13.1).

³ P. Bilski, M. Budzanowski, T. Horwacik, B. Marczevska, E. Ochab i P. Olko, *Badania narażenia załóg lotniczych na promieniowanie kosmiczne – wyniki, wnioski i propozycje*, Kraków 2002.

ABSTRAKT:

PL: txt

ENG: txt

SŁOWA KLUCZOWE:

PL: txt

ENG: txt