

Z RENTGENEM NA STRAŻY KOSMICZNEJ POGODY

Prognozowanie pogody kosmicznej wymaga wiarygodnych modeli aktywności Słońca. Rozwój takich modeli nie może obyć się bez danych obserwacyjnych, informujących o faktycznym (a nie tylko teoretycznym) zachowaniu najbliższej nam gwiazdy. Tu do gry wkraczą rentgenowskie spektrometry i teleskopy kosmiczne, od lat konstruowane z udziałem naukowców Centrum Badań Kosmicznych PAN.

Ważnym przejawem aktywności słonecznej, który budzi szczególne zainteresowanie naukowców, są rozbłyski i towarzyszące im koronalne wyrzuty masy. Wywołane przez nie zmiany pogody kosmicznej niejednokrotnie skutkowały tzw. burzami geomagnetycznymi, uszkodzeniami satelitów na ziemskiej orbicie, a nawet awariami infrastruktury elektrycznej na powierzchni naszej planety.

Rozbłyski słoneczne obserwujemy, gdy w obrębie obszaru aktywnego na Słońcu dochodzi do gwałtownej zmiany układu pól magnetycznych. Uwolniona w rozbłysku energia jest zużywana na procesy, które wywołują emisję promieniowania rentgenowskiego. Rejestrowanie widm w tym właśnie zakresie jest kluczowe przy wyborze modelu rozbłysków, jaki uznamy za opis rzeczywistości, i z którego skorzystamy w prognozowaniu pogody kosmicznej.

Promieniowanie rentgenowskie jest blokowane przez ziemską atmosferę, dlatego by je analizować konieczne jest umieszczenie instrumentów w kosmosie. Pomagają w tym m.in. detektory półprzewodnikowe. Nie mierzą one energii fotonu, a jedynie pewien impuls prądowy, który następnie przeliczamy na odpowiednią energię. Fizyka procesów zachodzących podczas pochłaniania fotonu w półprzewodniku jest dobrze znana, ale dość skomplikowana.

Kluczem do wiarygodnego pomiaru jest macierz określająca prawdopodobieństwo, z jakim foton o danej energii wyprodukuje szereg zliczeń o różnych energiach. To tzw. macierz odpowiedzi detektora (ang. *detector response matrix*, DRM). Macierz pozwala przeliczyć zarejestrowane impulsy na jednostki fizyczne, co w konsekwencji umożliwia ilościową interpretację wyników i określenie własności fizycznych obserwowanych rozbłysków.

Zwykle macierze odpowiedzi wylicza się teoretycznie. Alternatywą jest uruchomienie detektora w otoczeniu źródeł rentgenowskich o znanych parametrach. Wtedy wartości macierzy odpowiedzi można przybliżyć eksperymentalnie. Jednak tego rodzaju pomiary są zwykle obciążone sporymi błędami. Dotychczasowe doświadczenia z detektorami półprzewodnikowymi pokazują, że proces pełnego zrozumienia działania instrumentu może zająć nawet kilka lat od momentu wystrzelenia detektorów na orbitę.

Czytaj też: [Parker Solar Probe po raz drugi zbliży się do Słońca](#)

Innowacyjnym podejściem do problemu jest budowanie instrumentów na tyle małych, by zmieściły się

w urządzeniu (np. synchrotronie), które oświetli detektory wiązką promieniowania rentgenowskiego o ściśle określonych parametrach. To otwiera drogę do precyzyjnej kalibracji instrumentu w warunkach ziemskich, a więc otrzymanie bardzo dokładnej macierzy odpowiedzi. Takiego rozwiązanie nie da się zastosować do dużych instrumentów, w efekcie czego małe kosmiczne teleskopy rentgenowskie są w stanie dostarczyć danych naukowych o większej wiarygodności, niż duże obserwatoria.

W budowaniu właśnie takich – niewielkich – instrumentów do rejestracji słonecznego promieniowania rentgenowskiego (0,5-15 keV) wyspecjalizował się Zakład Fizyki Słońca CBK PAN. Jednym z najważniejszych przyrządów skonstruowanych przez Zakład był spektrofotometr SphinX. Zaprojektowany i wykonany w pierwszych latach XXI wieku, 30 stycznia 2009 roku pomyślnie trafił na orbitę, na pokładzie rosyjskiego satelity naukowego Koronas-Foton.

Konstrukcja SphinX opierała się o układ trzech detektorów PIN wyposażonych w apertury wejściowe o różnych rozmiarach. Taka konstrukcja rozszerzyła zakres dynamiczny instrumentu, pozwalając mu na rejestrowanie zarówno najsilniejszych rozbłysków słonecznych, jak i rozbłysków słabych – w tym słabszych, niż próg detekcji innych podobnych urządzeń działających w kosmosie.

SphinX pracował do końca listopada 2009 roku, dostarczając niezwykle cennych obserwacji. Pomimo, że Słońce znajdowało się wtedy w minimum swojej aktywności (i to największym od stu lat!), SphinX zarejestrował ponad 1000 rozbłysków. Dla porównania, inne kosmiczne obserwatoria rentgenowskie odnotowały w tym samym czasie zaledwie kilkadziesiąt rozbłysków.

Zalety absolutnej kalibracji instrumentu na Ziemi ujawniły się także podczas analizy jednoczesnych obserwacji wykonanych przez SphinX i inne detektory. Okazało się, że dane z polskiego spektrofotometru są tak wiarygodne, że można je uznać za wzorcowe dla innych obserwatoriów, w szczególności dla należącego do NASA kosmicznego teleskopu RHESSI (Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager).

Czytaj też: [Konferencja Space Safety Industry Day. Wyzwania i szanse dla polskiego przemysłu związane z europejskim bezpieczeństwem kosmicznym \[RELACJA\]](#)

Doświadczenia z projektu SphinX, zwłaszcza te, wypracowane w kontekście RHESSI, spowodowały, że zespół Zakładu Fizyki Słońca CBK PAN został zaproszony do udziału w amerykańskiej misji FOXSI (Focusing Optics X-ray Solar Imager). Planowane przez NASA przedsięwzięcie ma stanowić kontynuację obserwacji RHESSI. Zbudowany i skalibrowany przez CBK PAN monitor aktywności Słońca będzie wspierał główny – duży – teleskop rentgenowski na pokładzie FOXSI.

Czytaj też: [Wymagające próby naziemne sondy Solar Orbiter](#)

Polski przyrząd uzupełni obserwacje amerykańskiego, ale także (co ważne) zadba o uwiarygodnienie jego pomiarów. To dość istotna rola. Każdy instrument kosmiczny jest bowiem wynikiem kompromisu między kosztami, technologią, a wymogami naukowymi misji. Małe, precyzyjnie skalibrowane instrumenty instalowane obok dużych, ale mniej precyzyjnych, mogą w znaczący sposób osłabić efekty poczynionych kompromisów i podnieść jakość obserwacji.

dr Tomasz Mrozek

Zakład Fizyki Słońca

