



Misja NASA MMS – badanie zjawisk w ziemskiej magnetosferze

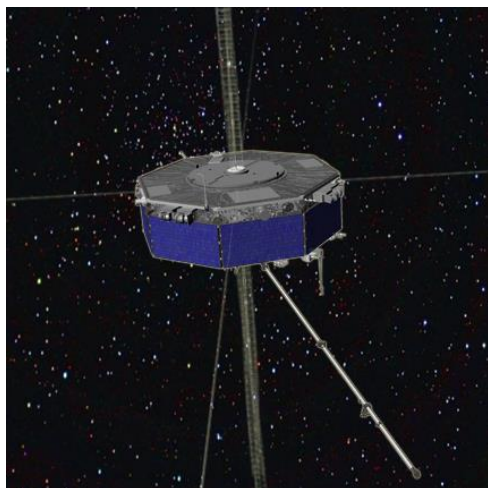
Krzysztof Sajewicz

Instytut Fizyki UJ

Jednymi z ciekawszych i stosunkowo mało zbadanych dotychczas zjawisk zachodzących w magnetycznej otoczce Ziemi – magnetosferze, są tzw. burze geomagnetyczne. Burza geomagnetyczna, która wystąpiła w marcu 1989 roku, spowodowała całkowity „blackout” kanadyjskiej prowincji Quebec. Miliony ludzi zostało pozbawionych dostępu do energii elektrycznej, co więcej – burza ta była na tyle silna, że w jej wyniku uszkodzone zostały transformatory w odległym New Jersey w Stanach Zjednoczonych. Bywają też burze znacznie silniejsze, jak ta w 1859 roku. Gdyby zdarzyła się dzisiaj, jej skutki mogłyby być trudne do oszacowania. Dlatego tak ważne jest zbadanie procesów zachodzących w ziemskiej magnetycznej „tarczy”.

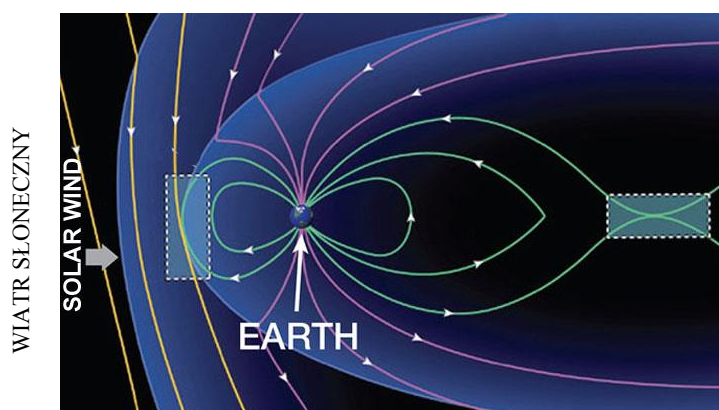
Kosmiczny kwartet

12 marca tego roku z przylądka Canaveral na Florydzie wystrzelona została rakietą Atlas V, mająca na pokładzie cztery identyczne sondy NASA, tzw. wieloskalowe obserwatoria magnetosferyczne (ang. *Magnetospheric Multiscale Observatories* – MMS) (rys. 1). Badając zjawisko rekoneksji magnetycznej w ziemskiej magnetosferze dostarczą informacji o naturze tego procesu także w innych rejonach Wszechświata i w wielu skalach (stąd nazwa urządzenia). Zachodzi ono bowiem również w magnetosferze Słońca i innych gwiazd, oraz m.in. w niezwykle silnych polach czarnych dziur i gwiazd neutronowych.

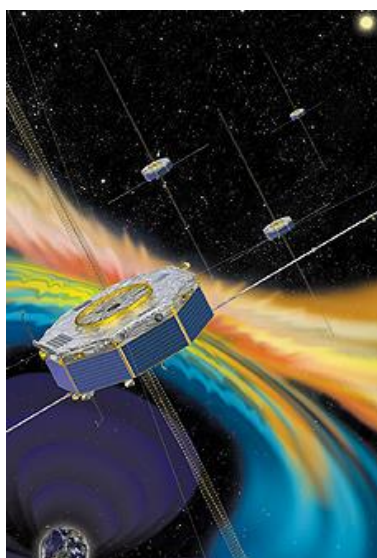


Rys. 1. Wygląd jednej z czterech sond zespołu MMS (źródło: NASA)

Rekoneksja magnetyczna polega (mówiąc w dużym uproszczeniu) na rozrywaniu i łączeniu linii pola magnetycznego. Zjawisku temu towarzyszy emisja energii. MMS jest pierwszą misją NASA poświęconą głównie badaniu rekoneksji magnetycznej. Misja ma potrwać dwa lata. Podczas pierwszego etapu trwającego 1,5 roku badana będzie dzienna strona Ziemi, gdzie wiatr słoneczny zderza się z ziemską magnetosferą. W drugim etapie, przez sześć miesięcy MMS zbada stronę nocną, gdzie cząstki z wiatru słonecznego przepływają w obszar „magnetycznego ogona”. Na rys. 2 przedstawiono przekrój ziemskiej magnetosfery płaszczyzną przecinającą Ziemię i zaznaczono obszary będące obiektem badań MMS.



Rys. 2. Schematyczny przekrój przez ziemską magnetosferę z zaznaczonymi obszarami gdzie dochodzi do rekoneksji magnetycznej (prostokąty linią przerywaną) (źródło: NASA)



Rys. 3. Artystyczna wizja zespołu sond MMS na orbicie (źródło: NASA)

Obszary ziemskiej magnetosfery, w których dochodzi do rekoneksji linii pola, są objętościowo niewielkie – przelot sondy przez taki obszar trwa mniej niż sekundę. Jednak dzięki precyzyjnym przyrządom umieszczonym na pokładzie możliwe jest zmierzenie indukcji pola magnetycznego nawet w tak krótkim czasie. Cztery jednakowe sondy MMS, współdziałając, dostarczą po raz pierwszy w historii trójwymiarowy obraz tego zjawiska.

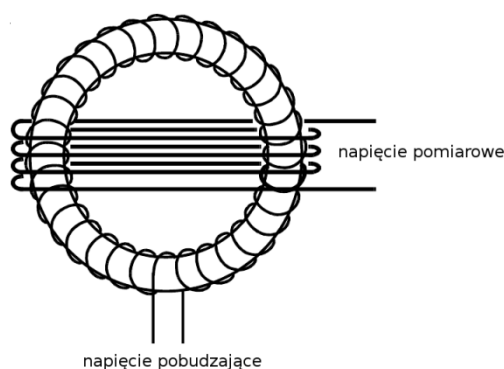
Pomiary pola magnetycznego

Każda sonda MMS zawiera trzy grupy przyrządów: do pomiarów gorącej plazmy, do detekcji cząstek o dużej energii oraz do pomiarów pól elektrycznych i magnetycznych. W przypadku tych ostatnich, na wyniki pomiarów mają wpływ pola wytwarzane przez samą sondę. Aby ograniczyć ich wpływ, magnetometry montuje się na długich sztywnych wysięgnikach (długości zwykle około 4–10 metrów). Pola elektryczne i magnetyczne maleją silnie z odległością, podczas gdy zewnętrzne pole pozostaje lokalnie bez zmian, co pozwala na dokładniejszy pomiar.

Główne typy sensorów pola na pokładzie każdej z sond MMS to magnetometry typu fluxgate i magnetometry indukcyjne (znane również pod angielską nazwą Search Coil Magnetometer).

Magnetometry fluxgate zbudowane są z rdzenia o dużej podatności magnetycznej, na który nawinięte są dwa uzwojenia (rys. 4). Przez pierwsze z nich przepuszczany jest prąd zmienny, wywołujący w rdzeniu naprzemienny cykl namagnesowania, rozmagnesowania i namagnesowania o przeciwnym zwrocie. Zmienne pole magnetyczne (zgodnie z równaniami Maxwella) wywołuje w drugim uzwojeniu prąd elektryczny. Przebieg zmienności tego prądu – przy braku zewnętrznego pola magnetycznego – jest zgodny z prądem w pierwszej cewce. Natomiast w przypadku obecności zewnętrznego pola magnetycznego powstaje asymetria w magnetyzacji rdzenia, gdy oś rdzenia ustawiona jest zgodnie z liniami pola lub przeciwnie do nich. Przebieg zmienności mierzonego prądu wyjściowego w drugiej cewce jest wówczas inny niż prądu w pierwszej. Różnica ta jest tym większa, im większa jest wartość indukcji pola zewnętrznego.

Magnetometry indukcyjne zbudowane są z cewek nawiniętych wokół rdzeni o dużej przenikalności magnetycznej. Zgodnie z prawem indukcji Faradaya, siła elektromotoryczna indukcji \mathcal{E} w cewce



Rys. 4. Schemat magnetometru typu fluxgate

jest proporcjonalna do zmiany strumienia indukcji magnetycznej Φ_B i do liczby zwojów N :

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}.$$

Magnetometry tego typu mają tę zaletę, że mierzą zmienne pola magnetyczne – mogą zatem wykrywać szybkie zmiany pola zachodzące w przedziałach milisekundowych. Zwykle używa się wersji trójosiowej magnetometru indukcyjnego, takiego jak pokazany na rys. 5.



Rys. 5. Magnetometr indukcyjny (źródło: Wikipedia)

Źródła:

http://www.nasa.gov/mission_pages/mms/

https://en.wikipedia.org/wiki/Spacecraft_magnetometer