

Międzynarodowy zespół astronomów zbada mechanizmy grzania korony słonecznej

P. Rudawy, Instytut Astronomiczny Uniwersytetu Wrocławskiego

Widoczna co dzieje na niebie rozjarzona tarcza Słońca jest obrazem najniższej warstwy jego niezwykle rozległej atmosfery, której najwęższa i najgorętsza, zewnętrzna część nazywana jest koroną słoneczną. Niestety, jasno korony słonecznej obserwowanej w świetle widzialnym jest tak znikoma, że można ją dostrzec gołym okiem tylko podczas całkowitych zaćmień Słońca, gdy światło tarczy zatrzymywane jest przez tarczę Księżycą. Jasno korony zależy od fazy 11-letniego cyklu aktywności Słońca oraz od chwilowego rozkładu struktur magnetycznych w koronie. Pomijając jednak te lokalne i czasowe niejednorodności, można stwierdzić, że typowa jasność korony obserwowanej w świetle widzialnym wynosi zaledwie dwie stumilionowe jasności tarczy Słońca już w odległości równej zaledwie promieniowi samej tarczy ponad jej brzegiem.

Wspaniałe obrazy korony słonecznej, rejestrowane w świetle widzialnym podczas całkowitych zaćmień Słońca, ukazują niezwykle skomplikowane systemy jaśniejszych i ciemniejszych, półprzezroczystych struktur koronalnych, określonych przez lokalną konfigurację pól magnetycznych: pętle, arkady pętli, obszary o zamkniętych i otwartych polach itd. Podczas zaćmienia, blisko nad brzegiem przysłoniętej przez Księżyc tarczy słonecznej, bardzo łatwo można dostrzec więc cechy protuberancje, czyli obszary stosunkowo gęstej i jak na koronę chłodnej plazmy, przy czym ich kształt, wielkość i rozmieszczenie są określone przez konfigurację podtrzymujących je lokalnych pól magnetycznych. Przy odrobinie szczęścia nie jest wykluczone dostrzeżenie także epizodów ewolucji bardziej dynamicznych zjawisk, takich jak erupcje protuberancji czy nawet koronalne wyrzuty materii.

Choć fotosfera Słońca ma temperaturę zaledwie 5800 K, to w spokojnych obszarach otulającej ją korony temperatura plazmy wynosi, paradoksalnie, dużo więcej, bo od 1 do 2 mln K, a w obszarach aktywnych, gdzie koncentrują się pola magnetyczne, nawet 4 mln K. Temperatura plazmy koronalnej zależy nie tylko od wysokości, lecz także od lokalnych i zmiennych w czasie procesów oddziaływania pól magnetycznych z plazmą, szczególnie spektakularnych w obszarach aktywnych i rozbłyskach słonecznych. Stąd w koronie słonecznej występują, niekiedy w bliskim sąsiedztwie, struktury chłodne i gorące: stosunkowo chłodne protuberancje o temperaturze rzędu 10^4 K, pętle koronalne z plazmą o temperaturze dochodzącej do kilku mln K jak i jądrowe rozbłyski w szczytach pętli, w których temperatura plazmy może przekraczać nawet 20 mln K. Co ciekawe, znaczne straty energii gorącej korony słonecznej w wyniku jej własnego promieniowania, przewodnictwa do chromosfery oraz energii wiatru słonecznego wynoszą około pięćsetnych części mocy promieniowania całego Słońca, czyli monstralne $2 \cdot 10^{22}$ W - a więc tyle, jakby co sekundę wyzwalało energię 5 milionów megatonowych bomb.

Pomimo tak wielkich strat, korona rozpatrywana jako całość utrzymuje w zasadzie stałą temperaturę. Niewątpliwie następuje więc kompensacja strat energii przez stale działający proces - lub kilka jednocześnie działających procesów - tak zwanego globalnego grzania korony. Jak dotychczas nie udało się jeszcze jednoznacznie zidentyfikować mechanizmów przenoszenia energii do korony, dominuje jednak pogląd, że globalne grzanie korony następuje w wyniku bardzo licznych ale małych - jak na skalę słoneczną - i dlatego niemożliwych do zaobserwowania epizodów wydzielania energii z pola magnetycznego, czyli tzw. nano-rozbłysków (o energiach rzędu 10^{16} J czyli, bagatela... 5 bomb megatonowych), oraz w wyniku dyssypacji w koronie energii fal magneto hydrodynamicznych.

Choć trudno przecenić rolę satelitarnych obserwacji korony a także pomiarów parametrów fizycznych plazmy in situ, to naziemne obserwacje atmosfery słonecznej w widzialnej części widma wciąż mają istotne znaczenie w badaniach struktury korony, transportu energii do korony i jej nagrzewania, analizie oddziaływania plazmy - pola magnetycznego, zmiennie i aktywności słonecznej i wielu innych, tym bardziej, że plazma koronalna emituje w przedziale widzialnym kilka silnych, dogodnych do obserwacji, linii widmowych wysoko zjonizowanych pierwiastków takich jak elaz i wap, przy czym do najbardziej znanych należą: „zielona” ($\lambda = 530.3$ nm, elazo FeXIV), „ółta” ($\lambda = 569.5$ nm, wap CaXV) oraz „czerwona” ($\lambda = 637.5$ nm, elazo FeX).

Międzynarodowy zespół badaczy z Wielkiej Brytanii (Queen's University Belfast), Francji (Observatoire de Paris) i Polski (Instytut Astronomiczny Uniwersytetu Wrocławskiego) przygotowuje właśnie nowatorski eksperyment obserwacyjny, mający na celu rozwiązanie problemu, w jaki sposób i jak cząsteczki energii niezbędnej dla globalnego grzania korony dostarczają do korony fale magneto hydrodynamiczne, a dokładniej, szczególnie ich rodzaj, zwany falami Alfvena.

Badania przeprowadzone zostaną w oparciu o unikatowe obserwacje lokalnych zmian prędkości radialnej plazmy korony słonecznej, zebrane podczas całkowitego zaćmienia Słońca w dniu 21 sierpnia 2017 roku przy zastosowaniu najnowocześniejszego instrumentu nazywanego Dopplerometrem Korony Słonecznej. Instrument ten budowany jest w oparciu o nowatorską koncepcję wielokanałowego spektrografu podwójnego przejścia ze zwierciadlanym dzielnikiem wiązki. W odróżnieniu od klasycznych spektrografów, dających informacje o własnościach obserwowanych obiektów tylko wzdłuż bardzo cienkiej szczeliny wejściowej, wielokanałowy spektrograf podwójnego przejścia będzie dostarczał jednocześnie obrazy dwuwymiarowe i widma dla wszystkich elementów obrazu w całym, bardzo dużym polu widzenia o rozmiarze około 5 minut łuku na 14 minut łuku (tarcza Słońca ma średnicę około 31 minut łuku), jednocześnie nie w „czerwonej” i „zielonej” liniach koronalnych, a dane rejestrowane będą pojedynczymi szybkimi kamerami w tempie około 10 ekspozycji na sekundę! Parametry techniczne i możliwości badawcze Dopplerometru Korony Słonecznej znacznie przekraczają parametry instrumentów wcześniej używanych do obserwacji korony słonecznej podczas całkowitych zaćmień Słońca.

Udział polskich astronomów z Wrocławia w eksperymencie obejmuje przygotowanie kilku kluczowych składników systemu obserwacyjnego, w tym: heliostatu, teleskopu horyzontalnego i części mechanicznej spektrografu. Przygotują także oprogramowanie do redukcji i analizy danych obserwacyjnych oraz wezmą udział w obserwacjach oraz w opracowaniu i analizie

wyników. Podczas realizacji projektu astronomowie wrocławscy skorzystają z bogatego do wiadczenia, zgromadzonego podczas wcześniejszych ekspedycji za mieniowych przeprowadzonych w latach 1992, 1999, 2001, 2006 i 2009.

Wykrycie i ilościowe zbadanie krótkookresowych ruchów oscylacyjnych plazmy w koronie wniesie bardzo istotny wkład w rozwiązanie jednego z najbardziej istotnych, a wciąż nierozwiązanych problemów badawczych heliofizyki: globalnego grzania korony słonecznej. Rezultaty analiz i badań zostaną opublikowane w czołowych czasopismach astronomicznych, nie jest wykluczona nawet publikacja w *Nature* lub *Sciences*. Dodatkowo, przygotowywany eksperyment umożliwi astronomom wrocławskim szeroką popularyzację wiedzy z zakresu heliofizyki oraz o istotnych badaniach prowadzonych w Instytucie Astronomicznym UWr i w jednostkach partnerskich w Wielkiej Brytanii i Francji, tym bardziej, iż całkowite za mienia Słońca i badania z nimi związane zawsze przyciąga uwagę szerokiego grona publiczności.

Na koniec warto wspomnieć kilka słów o całkowitym za mieniu Słońca, podczas którego prowadzone będą obserwacje. Pas widoczności za mienia przejdzie przez całe terytorium kontynentalne USA, od wybrzeża Pacyfiku po Ocean Atlantycki pomiędzy 17:15 UT (11:15 CST) a 18:45 UT (12:45 CST); wysokość horyzontalna Słońca sięgnie $\sim 63^\circ.8$. Za mienie będzie trwało maksymalnie $2^m40.3^s$ w stanach Kentucky, Tennessee i Missouri, ale najlepsze warunki pogodowe spodziewane są w pobliżu zachodniego wybrzeża USA, gdzie za mienie potrwa około 2^m10^s . Lokalizacja stanowiska obserwacyjnego zostanie ustalona przez zespół obserwacyjny dopiero na krótko przed za mieniem, w porozumieniu z astronomami i meteorologami amerykańskimi.