A. Odrzywołek, Zakład Teorii Względności i Astrofizyki, Uniwersytet Jagielloński, Kraków

Astronomia i astrofizyka na orbicie.

Referat wygłoszony na Posiedzeniu Komisji Astrofizyki PAU
Piątek, 5.11.2010, 17:00.

1. WSTĘP

W czasach przed-współczesnych istniał tylko jeden sposób badania kosmosu: obserwacja. Starożytni nie uważali Ziemi za ciało niebieskie, zakładając, że inne prawa ,,fizyki" obowiązują tu i tam. Dopiero XX wiek wprowadził nową jakość: eksplorację przestrzeni pozaziemskiej, a w XXI wiek wkraczamy z naukowymi eksperymentami i laboratoriami na orbicie. Wyróżniłem trzy kategorie badań: obserwację, eksplorację i eksperyment. Każda z nich zasługuje na omówienie w osobnym rozdziale.

2. Obserwacja

W tradycyjnym rozumieniu astronomia jest nauką *stricte* obserwacyjną. To, co ulega zmianie, to narzędzia i technologia użyta przez uczonych. Starożytnym wystarczały gołe oko i proste kątomierze. Rewolucja kopernikańska dokonała się bez użycia teleskopu. Wprowadzenie lunet, coraz doskonalszych i większych urządzeń zrewolucjonizowało obserwacje. Fotografia to kolejny kamień milowy na drodze postępu w obserwacjach astronomicznych i pierwszy krok w kierunku uniezależnienia się od ewolucyjnych ograniczeń ludzkiego oka. Pojawienie się elektroniki umożliwiło najpierw obserwacje radiowe, a następnie w całym zakresie widma elektromagnetycznego, a przynajmniej w jego przezroczystej dla atmosfery części. Naturalną koleją rzeczy stało się ostatecznie przenoszenie teleskopów w kosmos.

Fundamentalną motywacją dla działań zmierzających do przeniesienia astronomii na orbitę jest nieprzezroczystość atmosfery dla większości zakresów widma elektromagnetycznego i korpuskularnego. W pozostałych stanowi ona źródło zakłóceń ograniczających rozdzielczość, aczkolwiek współcześnie optyka adaptacyjna pokonuje klasyczne ograniczenia. W kosmosie nie ma chmur, dnia i nocy, obserwacje nie są ograniczone do jednej półkuli. Do tego dochodzą liczne dodatkowe korzyści: brak problemów z terenem pod zabudowę, stabilne warunki, brak grawitacji oraz brak oświetlenia miejskiego. Podstawowa wady to koszty wyniesienia na orbitę i obsługi, jak również ograniczony czas działania teleskopu. Konkurencja pomiędzy obserwatoriami orbitalnymi a tradycyjnymi jest zażarta. Fundusze niezbędne do wysłania teleskopu w kosmos wystarczają na ogół do zbudowania kilkukrotnie większego urządzenia na Ziemi, i nie jest oczywistym, które z nich okaże się lepsze.

Pewne obserwacje z powierzchni Ziemi zawsze będą niemożliwe. Dotyczy to promieniowania gamma, rentgenowskiego, bliskiego ultrafioletu, większości widma podczerwonego oraz najdłuższych fal radiowych. Obecnie dane pochodzące z orbitalnych obserwatoriów w powyższych zakresach rewolucjonizują naszą wiedzę o Wszechświecie. Era prymitywnych pionierskich urządzeń o rozdzielczości gorszej niż wielokrotność pozornego rozmiaru tarczy Księżyca jest już za nami. Fotografie rentgenowskie czy podczerwone niczym nie ustępują optycznym. Świat który na nich widzimy jest dla nas obcy, ale jeszcze bardziej

fascynujący niż wcześniej. Okolice czarnych dziur, pozostałości po supernowych, centralne obszary galaktyk, obszary formowania się gwiazd są teraz widoczne jak na dłoni.

3. Eksploracja

Najbardziej przemawiającym do ludzkości elementem ery kosmicznej jest możliwość bezpośredniego, namacalnego wręcz kontaktu z ciałami niebieskimi. Na Księżycu człowiek dosłownie postawił swoją stopę. Inne obiekty są badane przez zdalnie sterowane półautomatyczne sondy. Pobrane próbki z wielu misji wracają na Ziemię i ostatecznie trafiają w ręce naukowców. Najbardziej spektakularne programy jak Apollo (lądowanie człowieka na Księżycu), Pioneer/Voyager (badanie Jowisza i Saturna) są „piramidami" naszych czasów i wizytówką cywilizacji technicznej. Symbolicznym gestem było umieszczenie na ich pokładach listów od ludzkości. Sonda Cassini z lądownikiem Huyghens, który wylądował na Tytanie (księżycu Saturna) jest prawdopodobnie ostatnim tego typu wysiłkiem naszej społeczności. Przyczynami tego są: brak motywacji do technologicznego wyścigu zbrojeń po upadku komunizmu, spadające znaczenie nauk ścisłych we współczesnej ekonomii i skierowanie uwagi poszczególnych jednostek na siebie kosztem zainteresowania światem zewnętrznym. Doniesienia medialne o tysiącach nowojorczyków, którzy dopiero w wyniku potężnej awarii energetycznej zobaczyli po raz pierwszy w życiu gwiazdy są znakiem naszych czasów. Przeciętnego obywatela fascynują doniesienia o kolejnym wartym miliony dolarów domie czy jachcie celebryty, polityka lub biznesmena, ale oburzają pomysły wydania podobnej sumy na wysłanie sondy kosmicznej.

Eksploracja kosmosu rozwija się nadal, w nieco innej skali. Zamiast pojedynczych wymagających tytanicznego wysiłku oraz miliardowych kosztów misji typu Cassini, wysyła się większą ilość tańszych i prostszych sond. Podstawową motywacją staje się obecnie poszukiwanie życia pozaziemskiego. Jest to zgodne z generalną linią rozwoju nauki współczesnej, odchodzącej od XIX/XX wiecznej fascynacji fizyką w kierunku zastosowań biotechnologii, będącej „naturalną" nanotechnologią. Pytanie o pochodzenie i istnienie życia we Wszechświecie staje się kwestią fundamentalną dla zrozumienia procesów badanych w laboratoriach. Jest to, niestety, nadal pytanie bez odpowiedzi. Ujawnienie życia w jakiejkolwiek formie poza Ziemią stanowiłoby milowy krok na drodze rozwoju nauki. Szukamy go wszędzie, ale Mars, lodowe księżyce gazowych gigantów (Europa, Ganimedes, Enceladus) oraz Tytan są podejrzewane w pierwszej kolejności. Liczne misje marsjańskie od lat bez powodzenia przeszukują powierzchnię czerwonej planety. Głebokie przekonanie, że Mars jest „starszym bratem" Ziemi powoduje, iż wysiłki są kontynuowane mimo negatywnych rezultatów. Lądowanie na Tytanie także nie przyniosło rozstrzygających dowodów istnienia lub braku życia, ale z wymienionych akapit wyżej powodów kolejna misja w tym kierunku jest niemożliwa [1]. Niezwykle fascynujące z punktu widzenia autora, są idee misji które mają zbadać ewentualność życia w podlodowych oceanach ukrytych wewnątrz księżyców gazowych gigantów. Sonda, która miałaby zrealizować taki ambitny plan, musiałaby nie tylko wylądować na powierzchni, ale także przebić się przez kilkadziesiąt kilometrów skorupy lodowej, zbadać ocean i przesłać wyniki z powrotem. Dodatkowym problemem, jest możliwość skażenia oceanu bakteriami ziemskimi. Poligonem doświadczalnym na Ziemi, jest eksploracja podlodowego jeziora Wostok [2], znajdującego się na Antarktydzie. Planowane na przyszły rok dokończenie wiercenia i pobranie próbek[1], jest operacją nie tylko trudną, ale także budzącą ogromne kontrowersje. W ocenie autora plany eksploracji pozaziemskich oceanów nie będą możliwe do czasu gdy uda nam się zbudować w pełni autonomicznych sond. Konieczność stałego lub przynajmniej okresowego nadzoru człowieka jest czynnikiem paraliżującym nie tylko eksplorację, ale także wykonywanie eksperymentów orbitalnych (następny rozdział).

1 Wiercenie przeprowadzono na początku 2012 roku [3].

4. Eksperyment

Możliwość wykonania eksperymentu na orbicie przynosi szereg korzyści. W kosmosie urządzenie może mieć nieograniczone rozmiary. Pewne warunki w kosmosie istnieją niejako naturalnie, podczas gdy uzyskanie ich na Ziemi (zwykle na krótko) wymaga kolosalnego wysiłku. Niektóre z nich to:
a) brak grawitacji (na Ziemi: ,,drop towers'', lot paraboliczny),
b) wysoka próżnia (Z: pompy próżniowe itp.),
c) brak zaburzeń pochodzenia tektonicznego, atmosferycznego, ludzkiego itp. (Z: izolacja, amortyzacja, duża masa).

Jest to także ostateczne zerwanie z geocentryzmem, czynnikiem którego zarówno filozofowie jak i eksperymentatorzy zdają się nie notorycznie nie dostrzegać. Chodzi o pozornie paradoksalną sytuację, w której prawa fizyki same powodują skutki uniemożliwiające jego odkrycie. Rozważmy hipotetyczne ,,*Uniwersum"*, w którym istnieją dwa rodzaje materii A i B odpychające się wzajemnie. W toku ewolucji następuje sepracja A od B, i eksperymentator znajdzie się w otoczeniu wyłącznie A bądź wyłącznie B. Uzna wtedy, że cechy i prawa opisujące A (lub B) są uniwersalne. W podobnej sytuacji znajduje się uczony na Ziemi, który może błędnie przyjąć, że obserwowane przez niego zjawisko ma charakter uniwersalny, podczas gdy faktycznie jest ono związane, powiedzmy, z wartością potencjału grawitacyjnego na dystansie około 1 AU od Słońca. Autora zadziwiają naukowcy, którzy z przekonaniem graniczącym z pewnością dyskutują o np. eksperymentach wykonywanych wyłącznie na półkuli północnej a wykazujących roczną zmienność, z góry wykluczając jakiekolwiek wytłumaczenie związane z sezonowością. Brzytwa Ockhama oraz dotychczasowe doświadczenia sugerują aby nie popadać w nadmierny sceptycyzm, ale z drugiej strony wykonanie pewnych, klasycznych eksperymentów poza Ziemią znacznie umocniłoby podstawy współczesnej nauki. Ten drugi aspekt jest rzadko poruszany przez ,,poważnych" naukowców, którzy lekceważą skalę ludzkiej głupoty i negacjonizmu. Z perspektywy czasu patrząc, astronauci lądujący na Księżycu żałowali zapewne, że nie pozostawili na nim gigantycznego, widocznego gołym okiem odcisku ludzkiej dłoni lub przynajmniej dużego lustra.

Podstawowym miejscem, gdzie eksperymentuje się w kosmosie, są stacje orbitalne. Personel regularnie wykonuje setki prostych eksperymentów z różnych dziedzin. Spektakularne są zarejstrowane na wideo wyniki pokazujące np. wrzenie w warunkach braku grawitacji [4]. Uświadamia nam to jak głęboko ,,siedzi" w nas geocentryzm, a ,,zrozumienie" praw fizyki okazuje się być zredukowane do abstrakcyjnych formuł matematycznych. Oczywiście nasza ambicja sięga dalej niż powtarzanie studenckich ćwiczeń w egzotycznych warunkach. Planujemy przeniesienie *współczesnej* fizyki na orbitę. I w tym momencie pojawia się cały szereg trudności, które powodują, że *de facto* **żadne** z proponowanych ambitnych eksperymentów nie zostały dotąd zrealizowane.

Jako przykład rozważmy eksperyment Quantus-II którego celem jest wytworzenie na orbicie kondensatu Bosego-Einsteina. Obecnie tego typu eksperyment nie wymaga użycia całego pomieszczenia wypełnionego aparaturą. Istnieją rozwiązania określane jako ,,on-chip", czyli w postaci gotowych układów scalonych. Na dzień dzisiejszy testuje się aparaturę w tzw. ,,drop towers"[2]. Sposób przeprowadzenia i wymagania tego typu eksperymentu są dobrym testem przyszłych zastosowań w kosmosie:
a) małe rozmiary i masa
b) autonomiczność,

2 Nie znam dobrego określenia w języku polskim. Chodzi o pionowy tunel w którym uzyskujemy chwilowo brak grawitacji po prostu zrzucając urządzenie, które spada swobodnie. Zob. http://en.wikipedia.org/wiki/Drop_tube; jako ciekawostkę można podać fakt, że w taki sposób przemysłowo wytwarza się od 300 lat ołowiane kule do broni palnej.

c) wytrzymałość,
d) miniaturyzacja,
e) mały pobór prądu,
f) zdalne sterowanie.

Zrzucana z wieży kapsuła musi „poradzić sobie" sama przez najwyżej kilkanaście sekund, po czym trafia w ręce fachowców. Eksperyment orbitalny musi działać bez interwencji człowieka tygodniami, miesiącami i latami. Najmniejszy błąd nie jest możliwy do naprawienia. Historia kosmicznego teleskopu Hubble'a, który został wysłany na orbitę z krzywym lustrem nauczyła naukowców i inżynierów pokory. Wydaje się, że w XXI wieku nadal nie radzimy sobie z tego typu problemami wystarczająco dobrze. Podaję na koniec subiektywną listę „życzeń", których spełnienie wydaje się konieczne, aby wysyłanie fizycznych eksperymentów działających bez udziału ludzkiego operatora stało się możliwe:
a) uniknięcie błędu ludzkiego wymaga porządnej edukacji, staranności, czasu i dobrych warunków pracy
b) autonomiczność wymaga daleko posuniętego postępu w dziedzinie automatycznego sterowania i sztucznej inteligencji, jak również stworzenia systemów odpornych na awarie i zakłócenia
c) koszty wyniesienia na orbitę muszą zostać obniżone, aby konkurencja z eksperymentami na Ziemi stała się realna

O ile w przypadku b) perspektywy są bardziej niż obiecujące (już teraz Google testuje samochody poruszające się bez kierowcy [5]), to pozostałe punkty budzą wątpliwości. Koszt wyniesienia na orbitę być może rzeczywiście zmaleje po sprywatyzowaniu i skomercjalizowaniu tej gałęzi gospodarki. Pozostaje czynnik ludzki, który na skutek regresu w temacie a) będzie coraz częstszą przyczyną niepowodzeń, przynajmniej do czasu wyeliminowania go w całości.

Referencje

[1] http://www.lesia.obspm.fr/cosmicvision/tssm/tssm-public/
[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Lake_Vostok
[3] Cressey, D (7 February 2012). "'Too soon' to confirm success of Antarctic lake drilling". *Nature*.
[4] http://www.youtube.com/watch?v=3GG9ApFyBms
[5] http://www.google.com/racing/