

PROBLEMATYKA KOPERNIKAŃSKA W ŚWIETLE WSPÓŁCZESNEJ KOSMOLOGII *

Nie jest łatwo zabierać głos na temat wpływu Mikołaja Kopernika na współczesną kosmologię w połowie Roku Nauki Polskiej, bezpośrednio po zakończeniu owocnych, ale bardzo pracowitych obrad II Kongresu. Liczne wystąpienia i uroczystości, składające się na obchody 500-lecia urodzin Kopernika, doprowadziły w Polsce do pewnego przesytu tematyką kopernikowską. Do zabrania dziś głosu ośmiela mnie myśl, że będę mówił o nauce, a nie o jej organizacji, o wpływie Kopernika na współczesną naukę, a nie o jego życiu i działalności. Sądzę, że warto czasem — nie na długo, na chwilę tylko — oderwać się od codzienności i spojrzeć na ludzkość, na Ziemię, na cały świat z odległej perspektywy, z punktu widzenia, który właśnie zawdzięczamy Kopernikowi.

Odbierając Ziemi uprzywilejowane miejsce w układzie słonecznym, Kopernik położył podwaliny nowoczesnej astronomii i umożliwił powstanie kosmologii rozumianej jako nauka o budowie i ewolucji wszechświata jako całości.

Aby móc w ogóle mówić o budowie całego wszechświata, trzeba sobie zdawać sprawę z jego ogromnych rozmiarów oraz z tego, że pod względem astronomicznym Ziemia nie jest szczególnie wyróżnionym ciałem niebieskim. To ostatnie sformułowanie jest obecnie znane pod nazwą „zasady kopernikańskiej”, będącej punktem wyjścia nieco ogólniejszej hipotezy kosmologicznej, która głosi, że wszechświat jest średnio przestrzennie jednorodny, czyli mówiąc językiem potocznym, „wszędzie jest tak samo”.

Pojęcie jednorodności ma podstawowe znaczenie w kosmologii i stanowi jeden z wątków niniejszego referatu. Pozostałe myśli przewodnie to: grawitacja, względność, ewolucja, ekstrapolacja praw fizyki, Wszechświat jako laboratorium, zagadnienie energii.

Podobnie do tego, jak Kopernik zdetronizował Ziemię, później postąpiono w stosunku do Słońca i całej naszej galaktyki, to znaczy Drogi Mlecznej. Nastąpiło to jednak stosunkowo niedawno: dopiero w 1918 r. Shapley udowodnił, że Słońce jest bliżej krańca Drogi Mlecznej niż jej środka, jak to przedtem sądzono. W latach dwudziestych pokazano, że Droga Mleczna jest tylko jedną z bardzo wielu podobnych do niej galaktyk. Początkowo wydawało się, że nasza galaktyka wyróżnia się wśród innych znacznymi rozmiarami. I to złudzenie przyszło w 1952 r., kiedy nastąpiła rewizja odległości astronomicznych. Okazało się wtedy, że nasza Droga Mleczna jest zupełnie przeciętną, typową galaktyką. Świadomość tego skłania do refleksji na temat naszego miejsca we wszechświe-

* Tekst referatu wygłoszonego na uroczystej sesji Zgromadzenia Ogólnego PAN w dniu 30 VI 1973 r. w Warszawie.

cie: być może nie jesteśmy jedynymi istotami rozumnymi, a nasza cywilizacja jest tylko jedną z wielu?

Wielość cywilizowanych światów wiąże się z zagadnieniem rozmiarów wszechświata. Posłuchajmy, co na ten temat mówił Kopernik:

„Według oceny zmysłów rozmiary drogi ziemskiej dokoła Słońca mają się tak do rozmiarów świata, jak rzecz o rozmiarach skończonych do nieskończoności. Kosmos jest niezmierny, jest całością w sobie zawartą, jest skończony, a do nieskończoności podobny”.

Uderza tutaj, że Kopernik nie wypowiedział się zbyt jasno na temat tego, czy wszechświat jest skończony czy nie. Twierdził, że jest bardzo duży. Na temat skończoności wszechświata wiemy dziś niewiele więcej od Kopernika. Możemy jednak to zagadnienie badać, przynajmniej teoretycznie. Okazuje się, że jeżeli średnia gęstość masy przekracza pewną wielkość krytyczną, to wskutek oddziaływania materii na geometrię wszechświata „zamyka się” i powinien być skończony. Obecne oszacowania gęstości materii dają wartość mniejszą od krytycznej, to znaczy wydają się wskazywać na to, że wszechświat jest otwarty, czyli nieskończony. Ale jest to zagadnienie jeszcze nie rozstrzygnięte, ponieważ zapewne istnieje część materii, która nie świeci, jest niewidoczna i którą pomijamy przy obliczaniu średniej wartości.

Jednym z ważniejszych aspektów dzieła Kopernika było stworzenie przesłanek umożliwiających odkrycie prawa ciężenia powszechnego. Sam Kopernik tego prawa nie znał, ale przeczuwał istnienie grawitacji, czego dowodem mogą być następujące słowa z rozdziału IX Księgi Pierwszej traktatu *O obrotach ciał niebieskich*:

„Co do mnie to sędzę, że ciężkość nie jest niczym innym, jak tylko pewnym popędem przyrodzonym, nadanym cząstkom ciał od Bożej Opatrzności, sprawczyni wszystkiego, ażeby się one jednoczyły i całość stwarzały, łącząc się z sobą w postaci kulistej”.

Umieszczając nieruchome Słońce w środku układu planetarnego, Kopernik wykonał pierwszy, zasadniczy krok na drodze, którą później poszli Kepler, Galileusz i Newton. System Ptolemeusza był czysto kinematyczny i fenomenologiczny: jego celem było opisanie ruchów ciał niebieskich widzianych z Ziemi. Trudno sobie wyobrazić, aby w ramach tego systemu ktokolwiek zdołał odkryć podstawowe prawa ruchu. Uprzywielejoną rolę Słońca w układzie Kopernika wyraźnie wskazuje na to, co może być źródłem siły określającej ruch planet. Inaczej: system kopernikański zawierał w załączku prawa dynamiki.

Obok zasady kopernikańskiej, teoria grawitacji jest drugim, podstawowym elementem dzisiejszej kosmologii. Dzieje się tak dlatego, że siły grawitacyjne, choć najsłabsze ze wszystkich znanych w przyrodzie, są równocześnie jedynymi, które odgrywają rolę na dużych odległościach i w sytuacjach makroskopowych. Siły jądrowe mają bardzo krótki zasięg, a elektromagnetyczne są pomijalne, bo ciała niebieskie jako całość są elektrycznie obojętne.

Tłumacząc w jaki sposób pozorny ruch Słońca jest wynikiem obrotu Ziemi, Kopernik wypowiedział po raz pierwszy „zasadę względności ruchu”, rozwiniętą i uogólnioną później przez Galileusza i Einsteina. Zasada względności oraz wynikające z niej prawa symetrii przyrody mają

podstawowe znaczenie dla całej nowoczesnej fizyki. Kopernik podkreślił także potrzebę prostego opisu zjawisk, był prekursorem nowoczesnej metodologii ścisłych nauk przyrodniczych. Zasada względności doprowadziła do powstania relatywistycznej teorii grawitacji, z której wywodzą się modele wszechświata współczesnej kosmologii.

Jakie to są modele? Podstawową, wspólną ich cechą jest to, że przewidują „ewolucję” wszechświata, ruch materii w dużej skali. Starożytni uważali, że gwiazdy poruszają się, ale sądzili, że ich świecenie, ich stan, jest niezmienny. To, że może być inaczej nie było oczywiste nawet w XIX wieku, a i obecnie jest przyjmowane z oporami przez niektórych astronomów.

Jakie fakty przemawiają za ruchem materii w dużej skali oraz ewolucją wszechświata? Jedną z przesłanek stanowi odpowiedź na podjęte przez naukę na początku XIX wieku paradoksalne, zdawałoby się, pytanie: dlaczego w nocy jest ciemno? Otóż, gdyby przyjąć, że gwiazdy są nieruchome i promieniują stale tę samą ilość energii, wtedy we wszechświecie musiałby ustalić się stan równowagi termodynamicznej. Gwiazdy pochłaniałyby tyle samo energii, ile by wypromieniowywały. Gęstość promieniowania powinna być wszędzie taka sama, a więc w nocy powinno być tak widno, jak na powierzchni Słońca.

Późniejsze odkrycia potwierdziły tezę o ewolucji wszechświata. Odkryto przesunięcie ku czerwieni światła pochodzącego z odległych galaktyk. Okazuje się, że przesunięcie prążków widmowych światła pochodzącego od odległych galaktyk jest tym większe, im bardziej galaktyki te są odległe. Za przyczynę tego zjawiska uważa się fakt, że galaktyki oddalają się z prędkościami, które są proporcjonalne do odległości. Ta ucieczka galaktyk, rozszerzanie się wszechświata, ma także aspekt kopernikański. Mianowicie, na pierwszy rzut oka może się wydawać, że fakt oddalania się galaktyk od nas przeczy zasadzie Kopernika mówiącej o tym, że nasze położenie, nasze miejsce, nie jest szczególnie wyróżnione. Można się jednak przekonać, że zaobserwowane proste prawo rozszerzania się wszechświata obowiązuje z punktu widzenia wszystkich galaktyk, a zatem, jest zgodne z zasadą kopernikańską. W związku z tym, nasze położenie nie jest wyróżnione.

Wspomnijmy, że był rozważany także model świata stacjonarnego, zakładający równocześnie rozszerzanie się wszechświata i stałe „rodzenie” się materii. Model ten został obalony w ostatnich latach dzięki obserwacjom radioźródeł oraz radiogalaktyk. Hipoteza ewolucyjna została także potwierdzona przez odkrycie promieniowania szczałkowego — promieniowania radiowego, o średniej temperaturze około 3° Kelvina, wypełniającego cały wszechświat. Powstania takiego promieniowania nie dałoby się wytłumaczyć zjawiskami zachodzącymi w obecnym stadium rozwoju wszechświata. Jest je natomiast łatwo wyjaśnić, jeżeli przyjąć, że w odległej przeszłości wszechświat miał większą gęstość i wyższą temperaturę, jak to przewidują właśnie teorie ewolucyjne.

Stosowane obecnie w kosmologii modele matematyczne wszechświata zawdzięczamy radzieckiemu fizykowi Friedmanowi. Są one zgodne z obserwowaną ucieczką galaktyk i rozszerzaniem się wszechświata, jednakże różnią się między sobą zakładaną średnią gęstością materii. Według jednego z modeli, w którym średnia gęstość masy przewyższa pewną wielkość krytyczną, przestrzeń jest „zamknięta”, skończona, a po okresie

ekspansji powinno nastąpić kurczenie się wszechświata i zbieganie galaktyk.

Ze względu na znaczną ekstrapolację praw fizyki, używanych do wyrowadzania wszystkich modeli kosmologicznych, modele te opisują w najlepszym razie tylko część historii wszechświata, a zawodzą w pobliżu tzw. osobliwości, tzn. wtedy, kiedy gęstość masy i temperatura materii stają się w rzeczywistości bardzo duże, a według modeli teoretycznych — nieskończone.

Trudności takie wynikają z nieuzasadnionego rozszerzania znanych praw fizyki na te sytuacje, do których nie muszą się one stosować. Występuje to np. w tzw. teorii czarnych dziur. Okazuje się, że gwiazdy o dużych masach po zużyciu dostępnego sobie paliwa jądrowego kurczą się i „zapadają” tak dalece, iż powstające na ich powierzchni silne pole grawitacyjne uniemożliwia wydostawanie się na zewnątrz jakichkolwiek cząstek lub światła. Gwiazdy takie są „czarne”, bo nie świecą, a zachowują się jak „dziury”, gdyż wylapują materię znajdującą się w ich pobliżu. Dotychczasowa niedoskonała teoria przewiduje także powstawanie stanów osobliwych w wyniku nieograniczonego zapadania się takich czarnych dołów.

Niektóre z tych trudności udało się niedawno przezwyciężyć, przynajmniej w odniesieniu do modeli kosmologicznych, dzięki uwzględnieniu wpływu spinu (wewnętrznego krętu cząstek) na geometrię przestrzeni. Autorem takich nieosobliwych modeli wszechświata jest młody fizyk z Uniwersytetu Warszawskiego, Wojciech Kopczyński.

*

Astronomia, będąca jedną z najstarszych nauk, wyrosła z potrzeb pomiarów czasu i odległości, nawigacji oraz przewidywania zjawisk geofizycznych. Współczesne badania astrofizyczne oddaliły się od tego, co uzasadniało działanie pierwszych obserwatorów nieba. Oprócz oczywistych związków astronomii z techniką w dziedzinie badania przestrzeni kosmicznej, fizyki Słońca i obserwacji radiowych, można się spodziewać w dalszej przyszłości wpływu odkryć astronomicznych na rozwój społeczeństwa ludzkiego. Wszechświat stanowi gigantyczne laboratorium stanów ekstremalnych materii, którego wykorzystanie na drodze nowoczesnych obserwacji może doprowadzić do odkrycia nowych zjawisk i podstawowych praw fizyki. W gwiazdach zachodzi to, o czym marzyli alchemicy — synteza pierwiastków. Odbywa się ona w wyniku reakcji termojądrowych, których kontrolowane opanowanie w warunkach ziemskich jest celem usilnych poszukiwań, gdyż rozwiąże ono wszystkie nasze kłopoty energetyczne.

W ostatnich latach odkryto nowe obiekty astronomiczne, zupełnie odmienne od gwiazd, takich jak Słońce i galaktyki takich jak nasza Droga Mleczna. Pulsary okazały się gwiazdami neutronowymi, zbudowanymi z materii tak gęstej, że masa 1 mm³ tych gwiazd wynosi ok. 100 000 ton. Najbardziej zagadkowymi tworam są kwazary, które wyglądają jak gwiazdy, chociaż ich widma posiadają inne własności; wydają się oddalać od nas z wielkimi prędkościami i promieniować tyle energii, co całe galaktyki.

W związku z zagadką kwazarów, a także tzw. galaktyk radiowych, których bilans energetyczny budzi wątpliwości i nie jest w pełni zrozumiałym, nasuwają się następujące refleksje natury historycznej. Kiedy

w XIX wieku zaczęto poważnie zastanawiać się nad źródłem energii promieniowania gwiazd, a w szczególności Słońca, wysunięto hipotezę, że energia ta jest pochodzenia grawitacyjnego. Wyobrażano sobie mianowicie, że zimna początkowo kula gazu wodorowego kurczy się pod wpływem przyciągania grawitacyjnego, w wyniku czego gwiazda ogrzewa się i promieniuje. W przypadku Słońca wystarczyłoby tej energii zaledwie na kilka milionów lat. Kiedy geologowie zaczęli twierdzić, że Ziemia — a nawet życie na Ziemi — istnieje przynajmniej setki milionów, a zapewne miliardy lat, fizycy, z właściwą sobie pewną zarozumiałością, nie chcieli o tym słyszeć. Dopiero w latach trzydziestych zrozumiano, że źródłem energii Słońca są procesy jądrowe.

Może być tak — choć wcale nie musi — że historia ta powtórzy się i obserwacje astronomiczne doprowadzą do odkrycia nowych rodzajów oddziaływań, nowych rodzajów energii lub innych użytecznych zjawisk. Nie można wykluczać tego, że tajemnicze kwazary są siedliskiem zjawisk zupełnie odmiennych od tych, jakie występują w naszym najbliższym otoczeniu i w poznanych przez nas gwiazdach. Powinno to, moim zdaniem, być brane pod uwagę, ale nie jako jedyne uzasadnienie potrzeby rozwijania badań astronomicznych.

Intelektualna odwaga Kopernika i nowatorstwo jego idei, które podziwiamy pamiętając o warunkach panujących w Europie na przełomie XV i XVI wieku, mogą być wzorem dla współczesnych przyrodników. Przypomnijmy także, że model Ptolemeusza w postaci używanej w czasach Kopernika zupełnie nieźle zgadzał się z ówczesnymi obserwacjami ruchów planet. Proponowany przez Kopernika model heliocentryczny, zakładający ruch planet po okręgach, wcale pod tym względem nie górował nad modelem geocentrycznym. Tym bardziej na podziw zasługuje śmiałość i dalekowzroczność naszego wielkiego astronoma, którego można uważać za pierwszego nowoczesnego naukowca, dostrzegającego potrzebę teoretycznego uogólniania pojedynczych obserwacji i poszukiwania prostych praw i modeli zjawisk.

Wbrew temu, co się często mówi, obecnie także działają liczne mechanizmy, kierujące myśli uczonych po drogach przetartych lub przynajmniej wytyczonych przez poprzedników. Przyczynia się do tego organizacja współczesnej nauki. Przywiązując wielkie znaczenie do stopni, tytułów i publikacji naukowych, utrudniamy podejmowanie w młodym wieku tematów nieszablonowych, odbiegających od tego, czym zajmuje się większość uznanych specjalistów. Choć może to brzmieć paradoksalnie, ogromne sukcesy nauki XIX i XX wieku zawężają jednak do pewnego stopnia pole poszukiwań, gdyż skłaniają do kontynuowania badań uwieńczonych powodzeniem i stosowania wypróbowanych metod. Powinniśmy ułatwiać młodym uczonym prowadzenie poszukiwań w nowych dziedzinach wiedzy, zachęcać ich do wysuwania śmiałych hipotez i projektów nowych badań. Jestem przekonany, że w Polsce są i będą godni następcy Kopernika, a obowiązkiem naszej Akademii jest otaczanie ich odpowiednią opieką.