

## Oddalanie się galaktyk

[...] dwa bieguny sprzęga,  
Gwiazdami siły różnej świecąc światu,  
Niewybadana wiedzą mleczna wstęga [...]

Dante Alighieri, *Raj* (tłum. E. Porębowicz)

Myśl o rozszerzaniu się wszechświata spotykamy po raz pierwszy w artykule holenderskiego astronoma prof. W. de Sittera z listopada 1917 roku<sup>[1]</sup>. Minęły już wówczas dwa lata od opublikowania przez Einsteina ogólnej teorii względności, ale nie była ona szeroko znana. Popularność jej datuje się bowiem od chwili, gdy przewidziane przez nią ugięcie promieni świetlnych znalazło potwierdzenie podczas obserwacji zaćmień, dokonanych przez wyprawy podjęte w roku 1919<sup>[2]</sup>. Ale już wcześniej wielu uczonych badało różne konsekwencje, wynikające z nowej teorii. Przewodził w tej pracy de Sitter, którego szczególnie interesowały następstwa ważne dla astronomii. Udowodnił on na drodze ściśle matematycznego rozumowania, że według teorii względności *najodległsze ciała niebieskie powinny się od nas oddalać* lub przynajmniej wywoływać takie wrażenie na obserwatorze.

Twierdzenie to nie było właściwie przepowiednią – raczej wskazaniem pewnej możliwości. De Sitter nie obiecywał niczego stanowczo, proponował tylko rozejrzeć się za owym dość prawdopodobnym zjawiskiem. Teoria znajdowała się wówczas na rozstajach i żądała od obserwacji wskazówki, którą z dwóch dróg ma obrać. Gdyby astronomowie istotnie wykryli, że

Czy wszechświat się rozszerza? \_\_\_\_\_

najodleglesze widoczne ciała oddalają się od nas, wskazywałoby to dość jednoznacznie, że należy wkroczyć na drogę wymyśloną przez de Sittera. W przeciwnym razie sprawa pozostałaby wątpliwa. Mogłoby to oznaczać, że należy obrać drugą drogę albo też że nasze badania astronomiczne nie sięgają jeszcze dostatecznie daleko.

Dalsze badania w kierunku wskazanym przez de Sittera przyniosły rozwinięcie, a nawet zmiany jego pierwotnej teorii. Stworzono pewien nowy punkt widzenia, z którego owe wnioski nie wydawały się już tak paradoksalne. Obecnie również przewidujemy oddalanie się odległych obiektów, ale już z innych powodów niż te, które podał de Sitter i którym przypisujemy teraz mniejszą wagę. Ruch obecnie przewidywany zależy od odległości według innego prawa niż pierwotnie podane. Prócz tego okazał się on rzeczywistym ruchem ciał odległych, podczas gdy zjawisko przewidziane przez de Sittera mogło być i było powszechnie uważane tylko za pozór ruchu.

Porzućmy na razie teorię i przyjrzyjmy się najpierw wynikom obserwacji astronomicznych. Zostały one zasadniczo uzyskane dopiero po ogłoszeniu przepowiedni de Sittera, i to głównie w ciągu sześciu ostatnich lat. Wyniki te są pod pewnymi względami tak niepokojące, że wzbraniamy się uznać je za prawdziwe. A jednak nie spadły one na nas jak grom z jasnego nieba, skoro teoretycy od 15 lat przewidywali, że obserwacje najodleglejszych ciał niebieskich mogą przynieść dość sensacyjne rozstrzygnięcia.

Mgławice spiralne są najbardziej odległymi ze znanych nam ciał niebieskich. Odległości do nich, oszacowane z grubsza, wynoszą od miliona do 150 milionów lat świetlnych. Niewątpliwie mgławice te znajdują się jeszcze dalej, ale w chwili obecnej druga z tych liczb stanowi granicę naszych możliwości obserwacyjnych. Mgławicami nazywamy najróżniejsze ciała niebieskie, których jedyną cechą wspólną jest zamglony wygląd. Istnieją *mgławice gazowe*, których widmo wskazuje, że stanowią one masy niezmiernie rozrzedzonego gazu; otaczają one pojedynczą gwiazdę i podlegają jej wpływowi albo też rozpościerają się na obszarze, zawiera-

## Oddalanie się galaktyk

jącym wiele gwiazd. Mgławice te nie znajdują się zbyt daleko od nas. Natomiast *mgławice spiralne* są obiektami pozagalaktycznymi, czyli leżą poza granicami Drogi Mlecznej – zbiorowiska gwiazd, do którego należy również nasze Słońce – i są od tego układu oddzielone wielkimi obszarami pustej przestrzeni. Słońce, gwiazdy widziane gołym okiem, setki milionów gwiazd obserwowanych przez teleskopy nie wyczerpują jeszcze wszystkich ciał wszechświata; stanowią one zaledwie jedną wyspę – jedną oazę w przestrzennej pustyni. Dalej poza nią istnieją jeszcze inne wyspy. Nawet gołym okiem można w konstelacji Andromedy dojrzeć mglistą plamę światła, która stanowi taką właśnie wyspę. Teleskopy ukazują ich znacznie więcej – cały archipelag wysp-galaktyk, rozpościerających się aż poza granice widzenia. To właśnie te wyspy-galaktyki są dla nas mgławicami spiralnymi.

Obecnie uważamy każdy taki wyspowy system za zbiorowisko tysięcy milionów gwiazd, w zasadzie podobne do naszej Drogi Mlecznej. Podobnie jak w Drodze Mlecznej, w obrębie takiego systemu mogą gwiazdom towarzyszyć wielkie strzępy mgławic, czasem świecące, czasem ciemne i przesłaniające. Wiele z najbliższych układów ukazuje nam piękną postać podwójnej spirali (por. tablicę I na stronie 38); sądzimy, że zwoje Drogi Mlecznej tak samo by wyglądały, gdyby je obserwować z zewnątrz. Zresztą nazwa „mgławica spiralna” to raczej hasło niż opis wyglądu, gdyż stosujemy ją do wszelkich zewnętrznych galaktyk, niezależnie od tego, czy wykazują one strukturę spiralną, czy też nie.

Istnieje bardzo wiele takich układów wyspowych. Z badania „próbek” przestrzeni wynika, że nasze teleskopy mogą ich dojrzeć ponad milion. Jeżeli się oprzeć na teorii, która jest przedmiotem niniejszej książki, ich całkowita liczba będzie rzędu 100 000 000 000.

Możemy utrwalić sobie w wyobraźni rozległość systemu, którym się mamy zająć, jeżeli zapamiętamy następującą „niebieską tabliczkę mnożenia”. Zaczynamy od jednostki najlepiej nam znanej, czyli od gwiazdy porównywalnej ze Słońcem. A wtedy:

Czy wszechświat się rozszerza? \_\_\_\_\_

sto tysięcy milionów gwiazd tworzy jedną galaktykę;  
sto tysięcy milionów galaktyk tworzy jeden wszechświat.

Liczby te nie zasługują prawdopodobnie na wielkie zaufanie, ale w każdym razie dają poprawne wyobrażenie o zachodzących stosunkach.

Tyle już razy astronomia uczyła nas pokory, że teraz niemal odruchowo przyjmujemy, iż nasza własna Galaktyka ani niczym szczególnym się nie wyróżnia, ani nie jest w systemie natury ważniejsza od milionów innych wysp-galaktyk. Ale spostrzeżenia astronomiczne tym razem nie potwierdzają takiego wniosku. Zgodnie z obecnymi pomiarami mgławice spiralne, jakkolwiek w ogólnych zarysach podobne do naszej Drogi Mlecznej, są od niej znacznie mniejsze. Powiedział ktoś, że jeżeli mgławice spiralne są wyspami, to Droga Mleczna jest kontynentem. Zmieniam zatem swą pokorę na mieszczańską dumę, gdyż nie odczuwam bynajmniej skłonności do twierdzenia, że stanowimy arystokrację wszechświata. Ziemia należy do planet klasy średniej, nie zaś do olbrzymów, jak Jowisz, czy do hołoty, jak mniejsze planety. Słońce jest również średnią gwiazdą; wprawdzie nie posiada rozmiarów olbrzymiej Kapelli, ale za to przewyższa średnicą wiele gwiazd mniejszych. Wobec tego nie wydaje się prawdą, że los umieścił nas w jakiejś wyjątkowej galaktyce; nie wierzę w taki zbieg okoliczności. Sądzę, że stosunek Drogi Mlecznej do innych galaktyk zostanie lepiej wyjaśniony przez dalsze obserwacje i że okaże się ostatecznie, iż istnieje wiele galaktyk dorównujących rozmiarami naszej Galaktyce, a nawet ją przewyższających. Na razie jednak cała ta sprawa nie wpływa zbytnio na prowadzone tu rozważania. Jeżeli znajdujemy się rzeczywiście w uprzywilejowanej sytuacji, nie będziemy jej nadużywali.

Obiecałem porzucić na razie teorię, ale muszę do niej wrócić na chwilę, ażeby uściślić nasze wyobrażenia o tym nad-układzie galaktyk. Idzie tu bowiem nie tylko o perspektywę w przestrzeni, ale i w czasie. Słaba gromada mgławic w konstelacji Bliźniąt – w chwili obecnej granica naszego zasięgu w przestrzeni – cofa nas o 150 milionów lat, do czasów, gdy świa-

## Oddalanie się galaktyk

tło, które do nas w tej chwili dociera, rozpoczynało dopiero swą podróż przez otchłanie przestrzeni. Widzimy więc, jak trudno oddzielić myśl o olbrzymich odległościach od myśli o czasie i o zmianie; a zagadnienie formy i organizacji spleta się z zagadnieniem początku i rozwoju. Jak się wy-  
daje, powinniśmy sobie wyobrażać, że wyspy-galaktyki powstały przez stopniowe zagęszczanie się pierwotnej materii. Niewykluczone, że w pierwszym stadium istniały tylko najbardziej podstawowe składniki materii – protony i elektrony, błędzące w próżni – i że ewolucja pierwiastków postępowała wraz z ewolucją światów. Drobne zagęszczenia, powstające przypadkowo tu i ówdzie, ściągały swym przyciąganiem grawitacyjnym inne cząsteczki. Niektóre z tych zagęszczeń rozprasały się szybko, inne zaś krzepły:

Współzawodnicy zaciekli, tu walczą  
Wciąż o pierwszeństwo, do boju prowadząc  
Swoje najprostsze atomy, [...].  
Ten włada chwilę, do którego więcej  
Atomów przyłgnie, a Chaos zasiada  
Jako rozjemca i wyrokiem każdym  
Powiększa nieład, fundament swej władzy:  
U jego boku sędzią jest najwyższym  
Przypadek, który nad wszystkim panuje\*.

47

Takie perypetie mogły skupić w wyspy materię wszechświata, wysysając ją z otaczającej przestrzeni, która pozostała niemal pusta. Sądzimy obecnie, że jedną z tych wysp stanowi nasz system Drogi Mlecznej, który z kolei podzielił się na miliony gwiazd. Inne wyspy podobnie przekształciły się w galaktyki, które dziś świecą nam jako mgławice spiralne. Zajmiemy się tutaj właśnie owymi podstawowymi tworam, które ukształtowały się w wyniku rozczłonkowania się materialnego wszechświata.

---

\* John Milton, *Raj utracony*, ks. II, tłum. M. Słomczyński.

Czy wszechświat się rozszerza? \_\_\_\_\_

## II

Jeżeli mgławica spiralna nie świeci zbyt słabo, można zmierzyć jej prędkość radialną wzdłuż linii obserwacji, określając przesunięcie linii w jej widmie. Pierwszą cenną serię takich pomiarów wykonał prof. V. M. Slipher w Obserwatorium Lowell.

Ostatnio odległości do pewnych mgławic spiralnych wyznaczono metodą, zasługującą niewątpliwie na zaufanie. W najbliższych mgławicach spiralnych można dostrzec oddzielne gwiazdy; są to oczywiście tylko gwiazdy najjaśniejsze, kilkaset czy tysiące razy jaśniejsze od Słońca, gdyż słabszych z takiej odległości dostrzec już nie sposób. Ale na szczęście niektóre z tych najjaśniejszych gwiazd należą do szczególnie pożytecznej klasy zmiennych, zwanych cefeidami. Jasność cefeidy zmienia się okresowo na skutek rzeczywistych pulsacji czy też fizycznych zmian gwiazdy; okres dla różnych cefeid wynosi od kilku godzin do kilku tygodni. Za pomocą obserwacji ustalono, że cefeidy o jednakowym okresie są do siebie bardzo zbliżone również pod względem innych własności – a więc mocy promieniowania, średnicy, typu widmowego itd. Okres zatem stanowi niejako etykietkę, którą łatwo rozpoznać z oddali i która wskazuje jasność gwiazdy. Gdyby na przykład okres obserwowanej gwiazdy wynosił 10 dni, natychmiast wiemy, że jej moc promieniowania jest 950 razy większa niż u Słońca. Jeżeli znamy jej rzeczywistą jasność, możemy zapytać, jak daleko gwiazda ta musi się znajdować, żeby przedstawiała się w postaci obserwowanego przez nas słabego punktu światła. W ten sposób uzyskujemy odległość gwiazdy i galaktyki, w której się ona znajduje. W metodzie tej jako świece standardowe wykorzystujemy zmienne cefeidy. Jeżeli gdzieś dostrzeżemy świecę standardową i określimy jej pozorną jasność, to możemy obliczyć, jak daleko się ona znajduje. Podobnie astronom obserwuje swoją świecę standardową w mgławicy, mierzy jej jasność obserwowaną, czyli wielkość gwiazdową, i stąd uzyskuje odległość do mgławicy.

## Oddalanie się galaktyk

Dr E. P. Hubble z obserwatorium na Mount Wilson wykrył zmienne ceфеidy w dwóch lub trzech najbliższych mgławicach spiralnych i w ten sposób zmierzył po raz pierwszy odległość do nich. Na nieszczęście metoda ta zawodzi przy bardziej odległych galaktykach, więc musiał posłużyć się mniej bezpośrednimi metodami, by zwiększyć zasięg swoich badań. Wydaje mi się, że musimy wszystkie uzyskane dotąd odległości do mgławic spiralnych, wyjąwszy te, które nam dała metoda ceфеid, uważać za bardzo niepewne przybliżenia. Niemniej wolno przypuszczać, że nie są one całkowicie błędne, i wobec tego będziemy je na razie przyjmowali.

Jeżeli zestawimy prędkości radialne i odległości, dostrzeżemy coś bardzo interesującego. Prędkości te są duże, na ogół znacznie większe niż zwykłe prędkości gwiazd. Bardziej odległe mgławice mają prędkości większe, przy tym rezultaty z dość dobrym przybliżeniem stosują się do liniowego prawa wzrostu: prędkości są wprost proporcjonalne do odległości. Ale najbardziej uderza nas to, że galaktyki, niemal bez wyjątku, oddalają się od nas.

Przyjrzyjmy się dokładniej temu ostatniemu wynikowi i opiszmy bardziej szczegółowo dane obserwacyjne. Widmo światła mgławic spiralnych, złożonego ze światła wielkiej liczby różnych gwiazd, niezbyt dobrze nadaje się do pomiarów; prócz tego światło to jest słabe. Dlatego obliczone prędkości są niedokładne w porównaniu z typowymi standardami. Ponieważ jednak prędkości te, z wyjątkiem najbliższych mgławic, są tak olbrzymie, błąd pomiaru nie gra większej roli. Według dotąd ogłoszonych pomiarów ustalono prędkości wzdłuż linii widzenia dla około 90 mgławic, z których zaledwie pięć porusza się w naszą stronę. Na pierwszy rzut oka może się wydawać, że nie wolno pominąć nawet tak nielicznych wyjątków. Ale owe pięć wyjątków to najbliższe mgławice i ich skierowane ku nam prędkości nie są duże. Ponieważ zjawisko zależy od odległości (wzmagając się wraz z nią), jest rzeczą naturalną, że dopiero na dostatecznie dużych odległościach staje się na tyle silne, iż przeważa nad innymi efektami (włączając w to błędy obserwacji) i prezentuje się w sposób jed-

Czy wszechświat się rozszerza? \_\_\_\_\_

nolity. Pięć wyjątkowych prędkości przynajmniej częściowo można wytłumaczyć wyborem niewłaściwego układu odniesienia. Prędkości wzdłuż linii widzenia są podane względem Słońca, podczas gdy wydaje się rzeczą najbardziej właściwą rozważać prędkości względem Drogi Mlecznej jako całości. Stwierdzono, że Słońce krąży dookoła środka Drogi Mlecznej z prędkością orbitalną sięgającą 200–300 kilometrów na sekundę<sup>[3]</sup>. Jeżeli uwzględnimy tę poprawkę i obliczymy prędkości względem naszej Galaktyki, zostają one skompensowane, znikają. Należy sądzić, że po uwzględnieniu wszystkich poprawek okaże się ostatecznie, iż owe najbliższe mgławice oddalają się od nas z niewielkimi prędkościami, albowiem bardzo trudno byłoby wytłumaczyć chociażby jeden wyjątek.

Gdy mówimy, że prędkości mgławic są duże, mamy na myśli ich stosunek do prędkości zwykłych gwiazd. Przeciętna prędkość bliskiej nam gwiazdy wynosi średnio 10–50 kilometrów na sekundę. Gwiazdy o prędkości 100 kilometrów na sekundę uważamy już za szybkobiegaczy. (Odliczamy przy tym pomiarze prędkość gwiazdy w jej ruchu dookoła środka Drogi Mlecznej, ruchu wspólnym wszystkim gwiazdom w okolicy Słońca). Wykonane przez Sliphera pierwsze pomiary prędkości radialnych 40 mgławic obejmowały tuzin prędkości, które zawierały się w granicach 800–1800 kilometrów na sekundę. M. L. Humason z obserwatorium na Mount Wilson rozszerzył pomiary na słabsze i bardziej odległe mgławice i znalazł jeszcze większe prędkości. Nieustannie bite są kolejne rekordy prędkości. Obecnie prym wiedzie jedna z mgławic słabej gromady w konstelacji Bliźniąt; oddala się ona z prędkością 25 000 kilometrów na sekundę (15 000 mil na sekundę). Prędkość ta niemal dorównuje szybkości cząsteczki alfa. Odległość tej mgławicy szacujemy na 150 000 000 lat świetlnych. Niewątpliwie gdy słowa te znajdą się w druku, zostaną odkryte jeszcze odleglejsze i poruszające się z większą prędkością mgławice.

Proste prawo, że prędkość jest proporcjonalna do odległości, zostało odkryte przez Hubble'a w 1929 roku. To samo prawo przewiduje teoria



## Oddalanie się galaktyk

względności. Pierwotne badania de Sittera nasuwały przypuszczenie, że prędkość powinna być proporcjonalna do kwadratu odległości, ale teraz lepiej rozumiemy jego teorię i od niedawna jest rzeczą znaną (choć zapewne tylko nielicznym\*), iż zwykła proporcjonalność do odległości stanowi poprawny teoretycznie wynik.

Zgodnie z najświeższymi pomiarami Hubble'a prędkość oddalania się wynosi około 550 kilometrów na sekundę na megaparsek\*\*. Oznacza to, że mgławica w odległości 1 megaparseka będzie miała prędkość 550 km/s, na odległości 10 megaparseków – 5500 km/s itd. Niektórzy utrzymują, że dokładność tych pomiarów wynosi 20%, ale zapewne niewielu astronomów podziela to optymistyczne przekonanie. Niepewność należy złożyć niemal całkowicie na karb skali odległości mgławic. Istnieją pewne słabe ogniwa w łańcuchu rozumowania, które wiąże te olbrzymie odległości z naszym ziemskim metrem wzorcowym. Proponowane poprawki zmierzają na ogół do powiększenia tego wyniku, tak że najuczciwiej będzie zapewne twierdzić, iż prędkość oddalania się jest zawarta między 500 i 1000 km/s<sup>[4]</sup>.

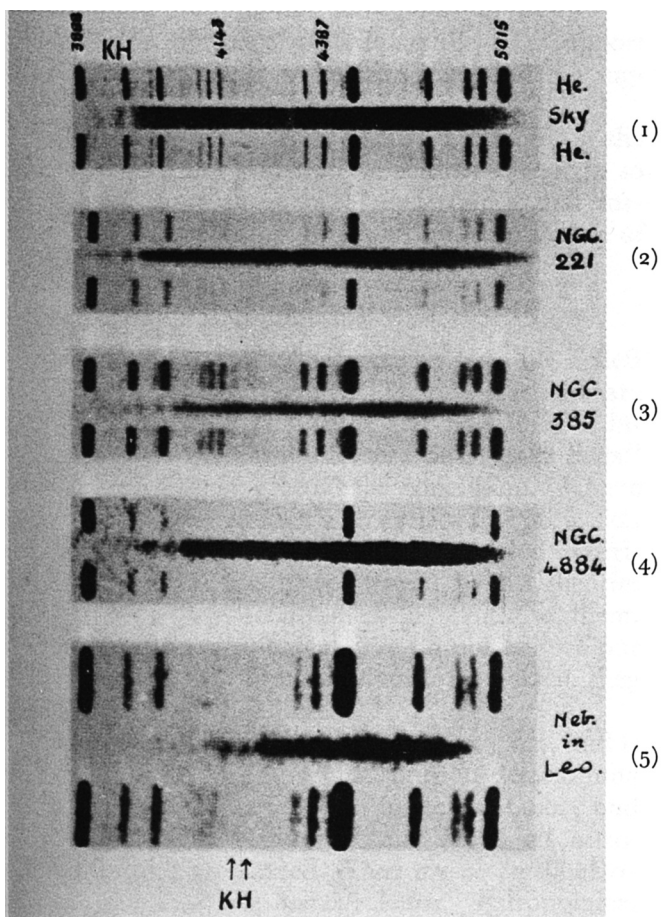
Próbki widm, z których otrzymano prędkości radialne, zawiera tablica II. Na czterech dolnych zdjęciach czarne, wrzecionowate smugi przedstawiają widma mgławic. Pod i nad nimi widzimy widma porównawcze, pochodzące od gazów ziemskich. Służą one do właściwego ustawienia pod sobą widm mgławic. Można w nich rozpoznać tylko dwa pożyteczne szczegóły: dwie przerwy w lewej zanikającej części wrzeciona, które niewątpliwie odpowiadają liniom H i K. Widać wyraźnie, że gdy idziemy w dół tablicy, przerwy te przesuwają się na prawo, czyli w kierunku czerwonego końca widma. Mierzymy właśnie to przesunięcie i z niego wyznaczamy prędkości oddalania się, podane w podpisie.

---

\* Jeśli chodzi o mnie, nie wiedziałem o tym jeszcze w roku 1929. O naturze zmiany por. s. 84.

\*\* 1 megaparsek = 3,26 miliona lat świetlnych.

Czy wszechświat się rozszerza? \_\_\_\_\_



52

Tab. II. WIDMA MGŁAWIC ukazują linie przesunięte ku czerwieni (na prawo), co jest interpretowane jako prędkość ucieczki. (1) Niebo; prędkość zerowa. (2) NGC 221; prędkość -185 km/s. (3) NGC 385; prędkość +4900 km/s. (4) NGC 4884; prędkość +6700 km/s. (5) Mgławica w Lwie; prędkość +19 700 km/s. Fot. Humason.