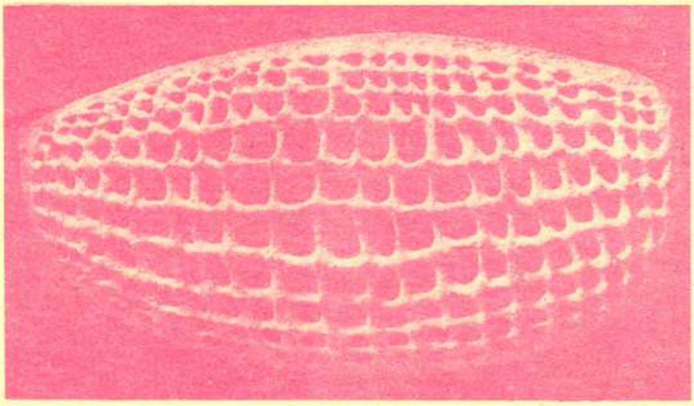
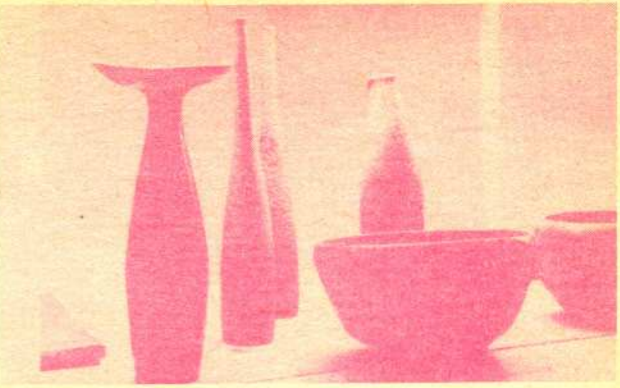
## Kwazary

W 1960 r. dwaj astronomowie amerykańscy, Matthews i Sandage spostrzegli, że na niebie w miejscu silnego promieniowania radiowego znajduje się gwiazda 16 wielkości otoczona słabą mgiełką. Rozpoczął się pierwszy etap badań obiektów, które później nazwano kwazarami (z angielskiego: twory gwiazdopodobne). Przez parę lat, poza dokonaniem kilku dalszych identyfikacji radioźródeł z czymś, co wyglądało jak gwiazda, sytuacja się nie zmieniła. Można było wprawdzie podejrzewać, że nie są to zwykłe gwiazdy, ale trudno było przewidzieć, że obiekty te w ogóle z gwiazdami nie mają nic wspólnego.

W 1963 r. Maarten Schmidt z Pasadeny stwierdził, że widma kwazarów są silnie przesunięte ku czerwieni. Tego typu przesunięcia widma interpretowane jako efekt Dopplera nie były w astronomii niczym nowym. Dotychczas porównywalnie duże przesunięcia mierzone były tylko dla galaktyk. Interpretowano je jako wynik rozszerzania się Wszechświata. Galaktyki oddalają się od siebie; im dalej galaktyka się znajduje, tym szybciej się porusza, co uwidacznia się większym przesunięciem widma ku falom długim. Jeżeli przesunięcie widma kwazara interpretować podobnie jak dla galaktyk, to obiekty te znajdują się w ogromnych odległościach, często wielokrotnie dalej niż najdalsze znane galaktyki. Tu wchodzimy w drugi etap charakteryzujący się szybkim tempem zbierania danych obserwacyjnych i wysuwaniem mniej lub bardziej fantastycznych teorii na temat kwazarów. Przyjrzyjmy się najpierw faktom obserwacyjnym. Obecnie zmierzono przesunięcia ku czerwieni około dwóch tysięcy kwazarów. Największe znane przesunięcie (określone jako stosunek zmiany długości fali do długości nieprzesuniętej) wynosi 3,78. Na fotografiach kwazary nie różnią się od gwiazd o barwie niebieskiej (np. białych karłów), choć na zdjęciach wykonanych w wyjątkowo dobrych warunkach atmosferycznych niektóre kwazary otoczone są słabą poświatą. Widma wszystkich kwazarów zawierają silne i bardzo szerokie linie emisyjne, przede wszystkim wodoru serii Lymana i Balmera, ale również szeregu pierwiastków, m.in. C, O, Mg, Si, Fe, N. Szerokości linii dozwolonych sięgają od kilku do kilkunastu tysięcy km/s. W części widm dają się zauważyć słabe linie absorpcyjne, najczęściej cienkie, przy czym zazwyczaj systemy linii absorpcyjnych (bywa, że obserwuje się kilka systemów w widmie jednego obiektu) mają mniejsze przesunięcia ku czerwieni niż system linii emisyjnych. Czasami obserwuje się bardzo szerokie linie absorpcyjne z przesunięciem nieznacznie mniejszym niż przesunięcie linii emisyjnych. Mimo że pierwsze kwazary odkryto dzięki identyfikacji ze źródłami radiowymi, większość kwazarów ($\sim 90\%$) nie emituje znaczących ilości energii w zakresie radiowym. Znajomość odległości do kwazarów pozwala ocenić natężenie ich promieniowania. Średnio kwazary wysyłają w dziedzinie optycznej około sto razy więcej energii niż typowa galaktyka. Są również silnymi źródłami promieni podczerwonych, rentgenowskich i — przynajmniej niektóre — $\gamma$. Większość kwazarów zachowuje stały blask. Istnieją jednak obiekty zmienne; na ogół w skali miesięcy i lat. Znamy kilka kwazarów, których jasność zmieniła się w czasie niewielu dni. Wahania jasności nie mają charakteru okresowego.

Nie ma dotychczas żadnej kompletnej teorii kwazarów, która zadowoliłaby wszystkich astronomów. Obecnie zakłada się najczęściej, że centralnym źródłem dostarczającym energię jest czarna dziura o masie rzędu miliarda mas Słońca znajdująca się w środku zwyczajnej galaktyki. Materia spadająca na czarną dziurę zamienia swoją energię grawitacyjną na energię kinetyczną.





## Hipoteza continuum

W 1878 roku niemiecki matematyk G. Cantor sformułował tzw. hipotezę continuum, której pełne rozstrzygnięcie przyniosły dopiero lata sześćdziesiąte dwudziestego wieku. Wyjaśnijmy pokrótce, na czym ta hipoteza polega. Będziemy mówić, że dwa zbiory są równoliczne (lub że są równej mocy), jeżeli istnieje wzajemnie jednoznaczna funkcja z jednego z tych zbiorów na drugi. O funkcji tej mówimy, że ustala równoliczność między tymi zbiorami. Pojęcie równoliczności jest (w przypadku dowolnych zbiorów) uogólnieniem znanego dla zbiorów skończonych pojęcia równej liczby elementów. Proces liczenia elementów dowolnego skończonego zbioru $A$ jest bowiem niczym innym, jak określeniem funkcji, która ustala równoliczność między zbiorem $A$ i zbiorem liczb $\{1, 2, \ldots, n\}$ dla pewnego $n$. W przypadku zbiorów nieskończonych pojęcie to ma wiele interesujących własności. Wymienimy tu tę, która mówi, że zbiór nieskończony może być równoliczny ze swoim podzbiorem właściwym (co jest niemożliwe dla zbiorów skończonych). Dla przykładu, zbiór liczb naturalnych $\boldsymbol{N}$ jest równoliczny ze zbiorem liczb parzystych; przekonuje nas o tym funkcja $f(n) = 2n$. Funkcja $f(x) = \operatorname{tg} x$ ustala natomiast równoliczność między odcinkiem otwartym $\left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right)$ a całą prostą $\boldsymbol{R}$. Ogólnie, można pokazać, że każdy podzbiór zbioru liczb naturalnych $\boldsymbol{N}$ jest albo skończony (czyli równoliczny ze zbiorem liczb $\{1, 2, \ldots, n\}$ dla pewnego $n$), albo równoliczny ze zbiorem wszystkich liczb naturalnych $\boldsymbol{N}$. Wśród podzbiorów zbioru liczb rzeczywistych $\boldsymbol{R}$ znamy wiele przykładów zbiorów równolicznych z całym zbiorem $\boldsymbol{R}$; inne znane nam podzbiory $\boldsymbol{R}$ są albo skończone, albo równoliczne ze zbiorem $\boldsymbol{N}$. Hipoteza continuum orzeka, że innych podzbiorów zbioru $\boldsymbol{R}$ nie ma, tzn. że każdy podzbiór $\boldsymbol{R}$ jest albo równoliczny z $\boldsymbol{R}$ (mówimy, że ma wtedy moc continuum — stąd nazwa hipotezy), albo równoliczny z pewnym podzbiorem zbioru $\boldsymbol{N}$. Cantor niejednokrotnie podejmował próby udowodnienia tej hipotezy, wszystkie bezskutecznie. Hilbert umieścił ją na pierwszym miejscu na swojej słynnej liście 23 wielkich problemów matematycznych, przedstawionej na kongresie matematycznym w Paryżu 1900 r. Pomimo wielu prób hipoteza ta nie mogła się doczekać rozstrzygnięcia. Znaleziono wiele innych zdań równoważnych jej — temu zagadnieniu obszerną monografię poświęcił W. Sierpiński. Pierwszym krokiem na drodze do rozstrzygnięcia hipotezy continuum był rezultat uzyskany w 1938 roku przez austriackiego matematyka K. Gödla. Udowodnił on mianowicie, że hipoteza continuum jest niesprzeczna z aksjomatami teorii mnogości, tzn. że niemożliwe jest przeprowadzenie dowodu wykazującego fałszywość hipotezy continuum (chyba że teoria mnogości byłaby sprzeczna, w co oczywiście nie wierzymy). Twierdzenie to oczywiście nie rozstrzygało kwestii, czy możliwe jest udowodnienie tej hipotezy. Ostatecznie problem rozstrzygnął w 1963 roku amerykański matematyk Paul J. Cohen. Za pomocą stworzonej przez siebie tzw. metody forsingu skonstruował on model dla teorii mnogości, w którym hipoteza continuum była fałszywa, pokazując tym samym, że nie można tej hipotezy udowodnić na podstawie przyjmowanych przez nas aksjomatów teorii mnogości. Oba wyniki: Gödla i Cohena pokazują zatem, że matematyka w swojej dzisiejszej postaci, tzn. oparta na aksjomatach uzasadnionych naszą obecną intuicją, nie może rozstrzygnąć, czy hipoteza continuum jest prawdziwa, czy fałszywa. Jest to jeden z donioślejszych rezultatów tzw. podstaw matematyki, o ile w ogóle nie najważniejszy, dotychczas uzyskany w tej dziedzinie. Tym bardziej że metoda stworzona przez Cohena pozwoliła na wykazanie, że podobny jest status wielu innych, do owego czasu nie rozstrzygniętych, hipotez matematycznych.