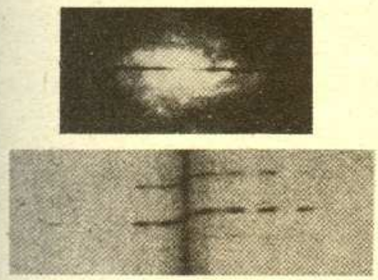
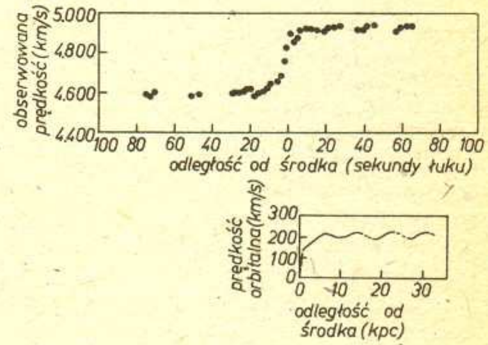
Jednym z problemów, nad którymi pracują astronomowie zajmujący się obiektami pozagalaktycznymi, jest wyznaczanie mas galaktyk. Zadanie to wygląda na bardzo ambitne, bo jak „zważyć" galaktykę odległą o miliony parseków, która przy obserwacjach przez największe teleskopy jawi się nam jako drobna plamka. Otóż okazuje się, że można tego dokonać w zasadzie w bardzo prosty sposób. W zasadzie — bo dopiero w ciągu ostatnich kilku lat okazało się, że galaktyki są znacznie bardziej masywne niż dotychczas przypuszczano.

Receptura pomiaru masy jest następująca:

1. Fotografujemy widmo galaktyki tak, by uzyskać osobno wkład od jej różnych części (rys. 1). Linie widmowe są tu dziwnie poprzesuwane. Łatwo domyślić się, że jest to spowodowane zjawiskiem Dopplera: galaktyka obraca się wokół osi — linie widmowe pochodzące od gwiazd, które na skutek tego ruchu zbliżają się do nas, są przesunięte ku fioletowi i przeciwnie — linie od gwiazd oddalających się są poczerwienione. Otrzymujemy więc zależność $V'(\Theta)$, gdzie Θ jest odległością kątową między danym punktem a środkiem galaktyki.



Rys. 1. Pomiar krzywej rotacji galaktyki NGC 2998. Z lewej strony u góry galaktyka oraz sposób ustawienia szczeliny spektrografu (czarny poziomy pasek). Niżej przedstawiona jest część widma w okolicy emisyjnej linii wodorowej serii Balmera H_α. Z prawej wykreślono kształt zakrzywienia tej linii jako funkcji kąta Θ. Na dole wykres $V(r)$.



2. Wyznaczamy średnie przesunięcie ku czerwieni całej galaktyki, aby korzystając z prawa Hubble'a wyznaczyć jej odległość. Znając odległość d galaktyki możemy uzyskać zależność $V(r)$, gdzie r jest odległością danego punktu od jej środka. Korzystamy tu oczywiście ze związku $r = d\sin\Theta$.

3. Korzystamy z twierdzenia, że siła grawitacyjna działająca na ciało poruszające się wewnątrz sferycznie symetrycznej warstwy kulistej znika, a siła pochodząca od warstwy znajdującej się wewnątrz orbity danego ciała jest równa sile wywieranej przez masę punktową równą masie warstwy i znajdującą się w środku symetrii. A więc na ciało o masie m poruszające się z prędkością $V(r)$ po orbicie kołowej o promieniu r wokół centrum kulistej galaktyki działają siły grawitacyjna i odśrodkowa

$$\frac{GM(r)m}{r^2} = \frac{mV^2(r)}{r},$$

gdzie $M(r)$ jest częścią masy galaktyki zawartą w kuli o promieniu r. Stąd

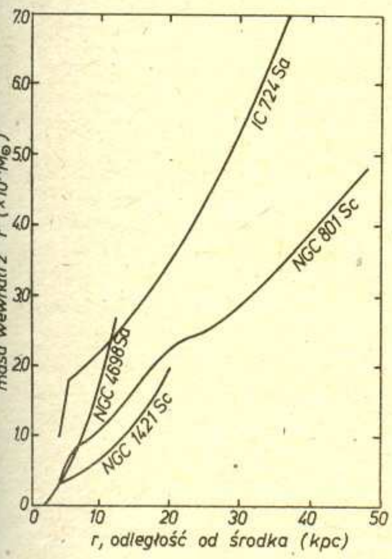
$$M(r) = \frac{rV^2(r)}{G} \quad \text{lub} \quad V(r) = \left(\frac{GM(r)}{r}\right)^{1/2}.$$

Z tego wzoru wynika, że znając funkcję $V(r)$ znamy jednocześnie $M(r)$. Rozpatrzmy trzy przypadki:

a) *punktowa masa centralna* — wtedy $V(r) \sim r^{-1/2}$ jest to np. keplerowski ruch planet Układu Słonecznego.

b) *ciało o stałej gęstości* — $M(r) \sim r^3$ i $V(r) \sim r$ — tego typu zależność obserwujemy czasem w centralnych częściach niektórych galaktyk (np. NGC 4605),

c) *stała prędkość* — $V(r) = \text{const}$ — zależność tego typu jest często spotykana w jasnych galaktykach spiralnych; oznacza to, że $M(r)$ rośnie z r (rys. 2), mimo że gęstość materii maleje. Konsekwencją tej obserwacji jest wniosek, że mimo iż jasność powierzchniowa maleje wraz ze wzrostem odległości od centrum galaktyki — wkład do całkowitej masy od każdej kolejnej warstwy kulistej jest taki sam i nie bardzo wiadomo, gdzie ta płaska część krzywej prędkości załamuje się.



Rys. 2. Funkcja $M(r)$ dla czterech galaktyk spiralnych.

Wnioski z tych tak prostych obserwacji zostały wyciągnięte dopiero w ostatnich latach. Okazuje się, że galaktyki są znacznie większe i bardziej masywne niż dotychczas przypuszczano na podstawie obserwacji rozkładu jasności powierzchniowej. Ciemna składowa otaczająca galaktyki (halo) nie daje się — na razie — odkryć innymi metodami. Możliwe, że jej składnikami są obiekty, które nigdy nie świeciły jasno w żadnej dziedzinie widma (mogą to być planety, czarne dziury, może neutrina, grawitony, monopole (?)).

dr Tomasz CHLEBOWSKI