

Rys. 1. Schemat dysku galaktycznego wraz z centralną kondensacją na tle halo (składowa sferyczna).

Rotacja różnicowa — rotacja z prędkością kątową zależną od odległości od osi obrotu. W przypadku Galaktyki prędkość kątowa rośnie w kierunku centrum.

1 parsek (skrót: 1 pc)
 $1 \text{ pc} = 3,0857 \cdot 10^{18} \text{ cm} = 3,2616 \text{ lat}$
 świetlnych = 206265 j.a. Jest to odległość, z jakiej półos orbity Ziemi ma rozmiar 1 sekundy łuku.

Gdy w pogodną noc spojrzymy w rozgwieżdżone niebo, możemy zobaczyć Drogę Mleczną widoczną w Polsce na tle gwiazdozbiorów Woźnicy, Perseusza, Kasjopei, Cefeusza, Łabędzia i Orła. Pytanie, czym jest Droga Mleczna, nurtowało ludzi już od wieków. Demokryt z Abdery, żyjący na przełomie V i IV wieku p.n.e., był pierwszym, który uważał, że Droga Mleczna „składa się z ogromnego mnóstwa małych gwiazd, bezładnie stłoczonych, których światło potęguje się dzięki owej wzajemnej bliskości”. Pogląd ten potwierdził Galileusz około 1610 roku dokonując pierwszych obserwacji fragmentów Drogi Mlecznej za pomocą skonstruowanej przez siebie lunety. Dalsze badania przestrzennego rozkładu gwiazd prowadzone m.in. przez Williama Herschela, Jacobusa C. Kapteyna, Harlowa Shapleya utwierdziły nas w przekonaniu, że w każdej bezchmurną noc w postaci Drogi Mlecznej oglądamy dysk naszej Galaktyki.

Galaktyka zbudowana jest z gwiazd, gazu i pyłu. Największa koncentracja materii występuje w płaszczyźnie dysku galaktycznego, a pozostałe gwiazdy zgromadzone są w tzw. halo tworzącym sferyczną aureolę wokół dysku (patrz rys. 1). Na podstawie badania ruchów własnych i prędkości radialnych gwiazd Bertil Lindblad i Jan Hendrik Oort pokazali, że dysk galaktyczny rotuje różnicowo wokół osi przechodzącej przez punkt, który obserwujemy w gwiazdozbiorze Strzelca (*Sagittarius*).

W tym artykule naszą uwagę skupimy na najbliższych okolicach środka rotacji dysku galaktycznego, a dokładniej na obszarze, którego rozmiar nie przekracza 3 kpc. Całkowita masa gwiazd w tym rejonie oceniana jest na 10 miliardów mas Słońca, gęstość ich wzrasta w kierunku centrum, gdzie średnie odległości między gwiazdami maleją do kilkudziesięciu jednostek astronomicznych (dla porównania średnia odległość Plutona od Słońca wynosi około 40 j.a.). Ten rejon Galaktyki, właśnie ze względu na bardzo dużą gęstość gwiazd i materii międzygwiazdowej, stanowi obszar niezwykle, fascynujący astronomów już od dłuższego czasu.

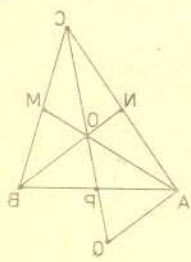
Centralne części Galaktyki uformowały się najwcześniej, dlatego są miejscem występowania najstarszych gwiazd. Świadczy o tym obfitość pierwiastków cięższych od helu, powstających w wyniku reakcji jądrowych zachodzących w gwiazdach. Jednocześnie znaczna gęstość materii sprzyja wzajemnym oddziaływaniom gwiazd, materii międzygwiazdowej i promieniowania, a duża zawartość gazu i pyłu — procesom gwiazdotwórczym. Niewykluczone jest również, że centrum Galaktyki kryje w sobie masywny obiekt mogący być czarną dziurą. Oddziaływanie normalnych gwiazd i otaczającej materii z takim ciałem prowadzi do bardzo gwałtownych i wysokoenergetycznych procesów spowodowanych niezwykle silnym polem grawitacyjnym wokół tego masywnego obiektu. Stwarza to niezwykle szanse obserwacji „z bliska” procesów, które mogą decydować o aktywności jąder innych galaktyk i kwazarów (patrz artykuł Marka Sikory — *Delta* 10(118)/1983).

Bardziej szczegółowe badanie tego gęstego obszaru stało się możliwe dzięki zastosowaniu instrumentów odbierających promieniowanie elektromagnetyczne w zakresie radiowym, podczerwonym, rentgenowskim i gamma. Promieniowanie optyczne i ultrafioletowe jest silnie pochłaniane przez pył międzygwiazdowy znajdujący się między Słońcem a centrum Galaktyki, co praktycznie wyklucza klasyczne obserwacje astronomiczne. Znakomitą metodą penetracji centralnych części Galaktyki są interferometryczne badania radiowe. Obecnie pozwalają one rozróżnić struktury o rozmiarach kątowych do 0,001 sekundy łuku. Oznacza to, że możemy już obserwować fragmenty jądra galaktycznego mające wielkość jedynie 10 j.a. (w przybliżeniu jest to odległość Słońce — Saturn). Promieniowanie dochodzące do obserwatora w Układzie Słonecznym niesie w sobie informacje m.in. o jasności obiektów emitujących je, o składzie chemicznym i ruchu materii. Obserwacji dokonuje się w różnych zakresach fal. Do „śledzenia” neutralnego wodoru najlepiej nadają się obserwacje radiowe na fali o długości 21 cm. Molekuły (np. wodór cząsteczkowy H_2 , formaldehyd H_2CO , amoniak NH_3 i inne) zdradzają swą obecność promieniując w podczerwieni. W tym zakresie fal ujawnia również swą obecność pył międzygwiazdowy. Pył absorbuje promieniowanie tym słabiej, im mniejsza jest częstotliwość padającego fotonu, dlatego jest niewidoczny w widmie elektromagnetycznym o wyższej częstotliwości. Jednocześnie pochłaniane fotony podgrzewają go, a maksimum wypromieniowanej energii przypada właśnie na podczerwień. O wysokoenergetycznych procesach zachodzących w jądrze galaktycznym świadczą obserwacje prowadzone w zakresie rentgenowskim i gamma.

Wyobraźmy sobie teraz, że jesteśmy uczestnikami wyprawy kosmicznej, lecimy rakieta nad centralnymi częściami dysku galaktycznego, a nasze oczy czule są nie tylko na promieniowanie optyczne, ale na wszystkie pozostałe długości fal z całego widma elektromagnetycznego. Rejon centralny naszej Galaktyki, dobrze widzialny w podczerwieni, ma kształt elipsy — grubość jej niewiele przekracza 1 kpc, a średnica wynosi około 3 kpc. Promieniowanie tego obszaru



Rozwiązanie zadania M 425. Przypuśćmy, że ABC jest szukanym trójkątem. Przedłużając środkową CP o odcinek PQ przystający do OP otrzymujemy trójkąt AQO , którego boki mają długości proporcjonalne do środkowych. Wystarczy więc skonstruować trójkąt AQO i „dorysować” do niego trójkąt ABC .

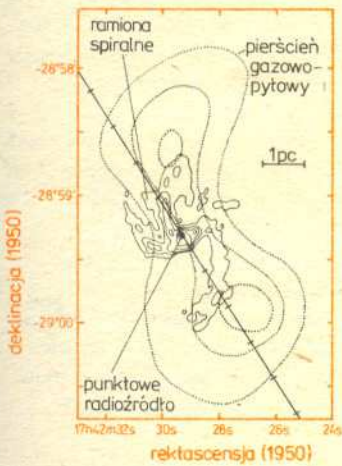




Rys. 2. Schemat struktury jądra galaktycznego w płaszczyźnie dysku. Grubą, przerywaną linią zaznaczone jest położenie ekspandującego pierścienia molekularnego. Widoczne są również pojedyncze obłoki (Sgr B2 znajduje się przy granicy pierścienia).

zdominowane jest przez gwiazdy późnych typów widmowych, a więc stare i chłodne. Prócz gwiazd w dużej ilości występuje również gaz, który w odległości około 600 pc od centrum formuje pierścienie o szerokości w przybliżeniu 200 pc. Pierścienie te, którego masa sięga 10 milionów mas Słońca, zbudowany jest przede wszystkim z wodoru w postaci cząsteczek dwuatomowych (H_2) i porusza się na zewnątrz. Aby podtrzymać istnienie takiej gazowej struktury przez kilka milionów lat, konieczny jest wypływ materii z centralnych części Galaktyki w tempie około 1 masy Słońca w ciągu roku. Siły pływowe powodują, że stabilna struktura pierścienia wodoru molekularnego niszczone jest w odległości ponad 300 pc od środka Galaktyki. Gaz wtedy tworzy pojedyncze chmury, które poruszają się zarówno ruchem własnym, jak i poddają się globalnej rotacji dysku galaktycznego. Obok chmur molekularnych występują często, dobrze widoczne w radiowym zakresie widma, regiony H II, czyli obszary zjonizowanego gazu — przede wszystkim wodoru — kryjące w sobie młode gwiazdy. Na szczególną uwagę zasługuje obiekt nazwany *Sagittarius B2*, który jest jednym z najgęstszych obłoków w Galaktyce. Masa jego oceniana jest na 3 miliony mas Słońca i zawiera on, prócz gazu molekularnego, siedem regionów H II z młodymi gwiazdami zanurzonymi w zjonizowanym gazie. Istnienie takich obiektów jak *Sagittarius B2* stanowi silny dowód, że w obrębie jądra galaktycznego trwają do tej pory procesy gwiazdotwórcze.

Najbardziej zagadkowym wydaje się jednak obszar, którego odległość od środka dysku galaktycznego nie przekracza 10 pc. Początkowo, gdy obserwacje radiowe wykonywane były z dużo gorszą kątową zdolnością rozdzielczą, za centrum Galaktyki uważano silne źródło radiowe, któremu nadano nazwę *Sagittarius A*. Okazało się później, że źródło to można rozdzielić na trzy składowe: *Sagittarius A* (Wschodni), będący pozostałością po supernowej, *Sagittarius A* (Zachodni), który jest obłokiem rozrzedzonego gazu, przypominającym region H II i otaczającym trzeci składnik — punktowe źródło promieniowania radiowego (okazało się później, że nie tylko radiowego). *Sagittarius A* (Wschodni) odległy jest o mniej niż 2 pc od *Sagittarius A* (Zachodniego) utożsamianego z centrum Galaktyki. Zagłębiamy w najbliższe okolice *Sagittarius A* (Zachodniego), „oko” czule na promieniowanie radiowe i podczerwone ujawni nam dość skomplikowaną strukturę. Od centralnego źródła odchodzą trzy wyraźne ramiona spiralne, oprócz nich istnieje pierścień gazowo-pyłowy, którego płaszczyzna nachylona jest do płaszczyzny dysku galaktycznego pod kątem 20 stopni. Okazuje się również, że materia w pierścieniu porusza się po zamkniętych orbitach, jej prędkość nasuwa przypuszczenie, że w centrum znajduje się ciało o masie 4 milionów mas Słońca.



Rys. 3. Rozkład gazu w obszarze, którego promień nie przekracza 10 pc. Linią ciągłą zaznaczone są kontury ciągłej emisji radiowej na fali 2 cm. Kropkowy kontur wskazuje ciągłą emisję w dalekiej podczerwieni spowodowaną rozgrzanym pyłem. Płaszczyzna dysku galaktycznego zaznaczona jest linią prostą.

Ale czym jest samo centrum Galaktyki? Położenie radiowego źródła *Sagittarius A* (Zachodni) jest prawie identyczne z pozycją bardzo silnego źródła promieniowania podczerwonego IRS 16. Obserwacje wykrywające zjonizowany gaz sugerują istnienie wokół IRS 16 obłoku o promieniu około 1 pc. Zjonizowany gaz skupiony jest w rzeczywistości w dziesięciu małych obłokach, które poruszają się z prędkościami około 200 km/s, masa każdej chmury bliska jest masie Słońca, a przestrzeń między tymi zgęszczeniami prawie pozbawiona jest gazu. Obszar ten nie jest zwykłym regionem H II i stanowi nie byle jaką zagadkę, a tym samym pole do popisu dla teoretyków.

Źródłem materii zasilającej wspomniane zgęszczenia są prawdopodobnie stare gwiazdy, obecne w najbliższej okolicy centrum, które w trakcie ewolucji tracą masę. Problematyczne jest źródło jonizacji gazu. Procesy gwiazdotwórcze raczej są wykluczone ze względu na brak w pobliżu obłoków molekularnych. Na poważne trudności natrafia również scenariusz, w którym każdy obłok posiada własne źródło jonizacji. Problem ten można ominąć umieszczając w centrum Galaktyki źródło (niekoniecznie zawierające tylko jedno ciało!) o jasności około 10 milionów razy większej od jasności Słońca. Gigantyczna jasność rozwiązałaby problem źródła jonizacji obłoków gazowych w obrębie 1 pc. Duże ciśnienie promieniowania, towarzyszące tak silnej emisji, mogłoby spowodować wymiatanie resztek gazu poza zgęszczeniami. W tych warunkach pył zalegający obszar centralny byłby silnie nagrzewany i stałby się widoczny w podczerwieni. Aby wyjaśnić ekspansję pierścienia molekularnego, wystarczyłoby, by centralne źródło wybuchło średnio raz na 10 milionów lat. Tym samym centrum naszej Galaktyki przypominałoby aktywne jądra galaktyk. Obserwacje rentgenowskie, a tym bardziej obserwacje promieniowania gamma wskazują na obecność bardzo silnego źródła, które przy energii około 1 MeV swą jasnością przewyższa wszystkie inne źródła galaktyczne.

IRS — skrót: Infrared Source — źródło promieniowania podczerwonego. Tym skrótem i kolejnym numerem nazywane są źródła promieniowania podczerwonego.

Najnowsze wyniki obserwacji najłatwiej dają się zinterpretować, gdy założymy, że w centrum Galaktyki znajduje się, otoczona pierścieniem gazu i pyłu, czarna dziura o masie 4 milionów mas Słońca. Niewykluczone jest również, że źródło centralne kryje w sobie gromadę gwiazd bez wyraźnie dominującego masywnego ciała. Bogactwo zjawisk, z jakimi spotykamy się przy badaniu własności centrum Galaktyki, dopuszcza również inne wytłumaczenia. Kilka lat temu w Centrum Astronomicznym im. Mikołaja Kopernika w Warszawie wisiało ogłoszenie o mającym się odbyć wykładzie pt. „Co siedzi w centrum Galaktyki?”. Niezidentyfikowana ręka dopisała na nim „Baba Jaga”. Może?



Widmo promieniowania elektromagnetycznego.