

Wirowanie i świecenie



AGATA RÓŻAŃSKA

Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika,
Polska Akademia Nauk, Warszawa
agata@camk.edu.pl

Dr hab. Agata Różańska zajmuje się – wraz ze swoim zespołem – modelowaniem emisji promieniowania z atmosfer dysków akrecyjnych w aktywnych jądrach galaktyk i rentgenowskich układach podwójnych.

Dysk. Okrągły płaski twór, zrobiony z materii, kojarzy nam się głównie z przedmiotem używanym od starożytności w sporcie. Wyrzucany przez atletę rotuje, a minimalne opory powietrza gwarantują jego daleki lot. Ale nie te cechy zapewniły mu miejsce we współczesnej astrofizyce. Dla nas ważna jest energia, którą wyświeca

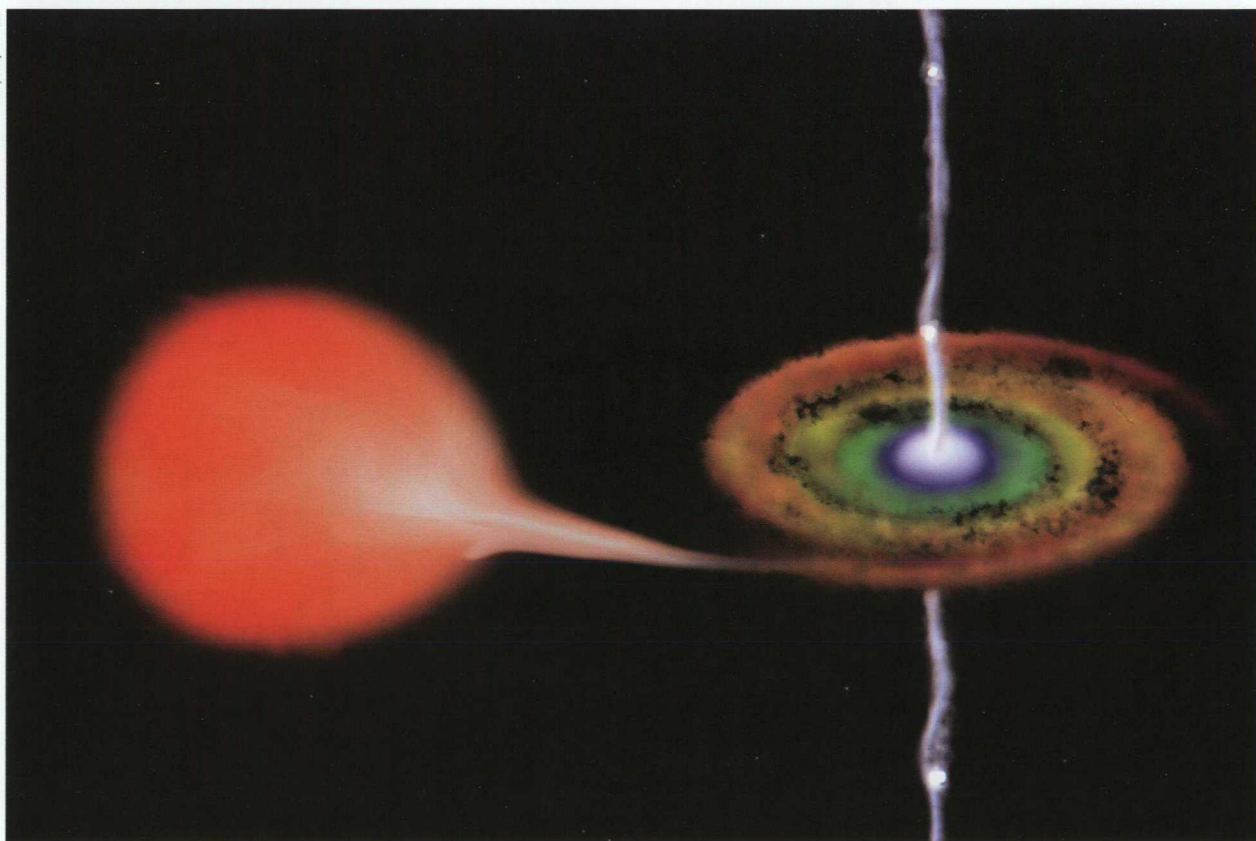
W ciągu ostatnich lat jesteśmy świadkami olbrzymiego rozwoju astronomii. Potrafimy dziś rejestrować niewidzialne gołym okiem wysokoenergetyczne promieniowanie z kosmosu. Umiemy wyznaczać kierunek i miejsce, z którego pochodzi. Jednak większość fal elektromagnetycznych nie przebija się przez atmosferę, dlatego niezmiernie ważną rolę odgrywają dziś teleskopy satelitarne.

Całkowicie pochłaniane przez górne warstwy atmosfery jest na przykład znane nam z medycyny promieniowanie rentgenowskie. A wystrzelony w 1962 roku pierwszy teleskop rentgenowski pokazał, że promienie Roentgena docierają do nas z każdego niemal zakątka kosmosu. Za to odkrycie prof. Riccardo Giacconi otrzymał w 2002 roku Nagrodę Nobla.

Uczeni wciąż zastanawiają się, jak powstaje zróżnicowane promieniowanie w obiektach

Dysk akrecyjny w gwiazdowym układzie podwójnym. Materia opada na czarną dziurę z rozległej, ale mniej masywnej towarzyszącej gwiazdy

NASA/CXC/M. Weiss



Zagadki dysków akrecyjnych

tach, które wcześniej poznawaliśmy tylko w zakresie światła widzialnego za pomocą małych teleskopów naziemnych. Kiedy skorzystaliśmy z teleskopów satelitarnych, proste, jak się zdawało, źródła okazały się skomplikowane. Dowiedzieliśmy się na przykład, że większość gwiazd posiada gorące korony, które wysyłają fale rentgenowskie. Teoretycy nadal nie potrafią wytłumaczyć, skąd bierze się ich wysoka energia.

Podobnie do historii gorących koron gwiazdowych przedstawia się kwestia dysków akrecyjnych. Koncept materii rotującej wokół obiektu zwartego przedstawili w 1973 roku rosyjscy teoretycy Nikołaj I. Szakura i Raszid A. Siuniajew. Pomysł miał wyjaśnić olbrzymią ilość energii wypromieniowywanej przez kwazary (z ang. quasar - quasi stellar object, QSO). Napędzający źródło centralny obiekt zwarty w wypadku kwazara jest supermasywną czarną dziurą o masie paru setek milionów mas Słońca. Ale dyski akrecyjne występują również wokół małych czarnych dziur (niewiele masywniejszych od Słońca), wokół gwiazd neutronowych i białych karłów. W każdym z tych źródeł obiekt centralny składa się z bardzo gęstej materii (dlatego mówimy o obiektach zwartych) i ma odpowiednio duże pole grawitacyjne.

Zrozumieć kwazary

Pierwsze zdjęcia kwazarów pochodzą jeszcze z końca XIX wieku, ale musiało minąć wiele dziesiątków lat, zanim zaczęliśmy rozumieć ich naturę. Początkowo brano je za zwykłe gwiazdy, gdyż ich promieniowanie, które były w stanie rejestrować ówczesne teleskopy, przypominało to obserwowane w przypadku gwiazd. W latach 60. ubiegłego stulecia okazało się, że te obiekty emitują również fale radiowe. Nie mogły to być zatem zwykłe gwiazdy. Dokładniejsze badania widm kwazarów pokazały, że znajdują się one bardzo daleko, na krańcach Wszechświata. Muszą zatem świecić niewyobrażalnie wręcz mocno, skoro wydają nam się równie jasne jak gwiazdy, znajdujące się - w kosmicznej skali - niemal pod naszym nosem. Jaki proces fizyczny może prowadzić do wydzielania się tak wielkiej energii? Na pewno nie mogą to być reakcje jądrowe, odpowiedzialne za światło gwiazd.

Idealnym wytłumaczeniem wydawał się pomysł uwalniania energii przez grawitacyj-

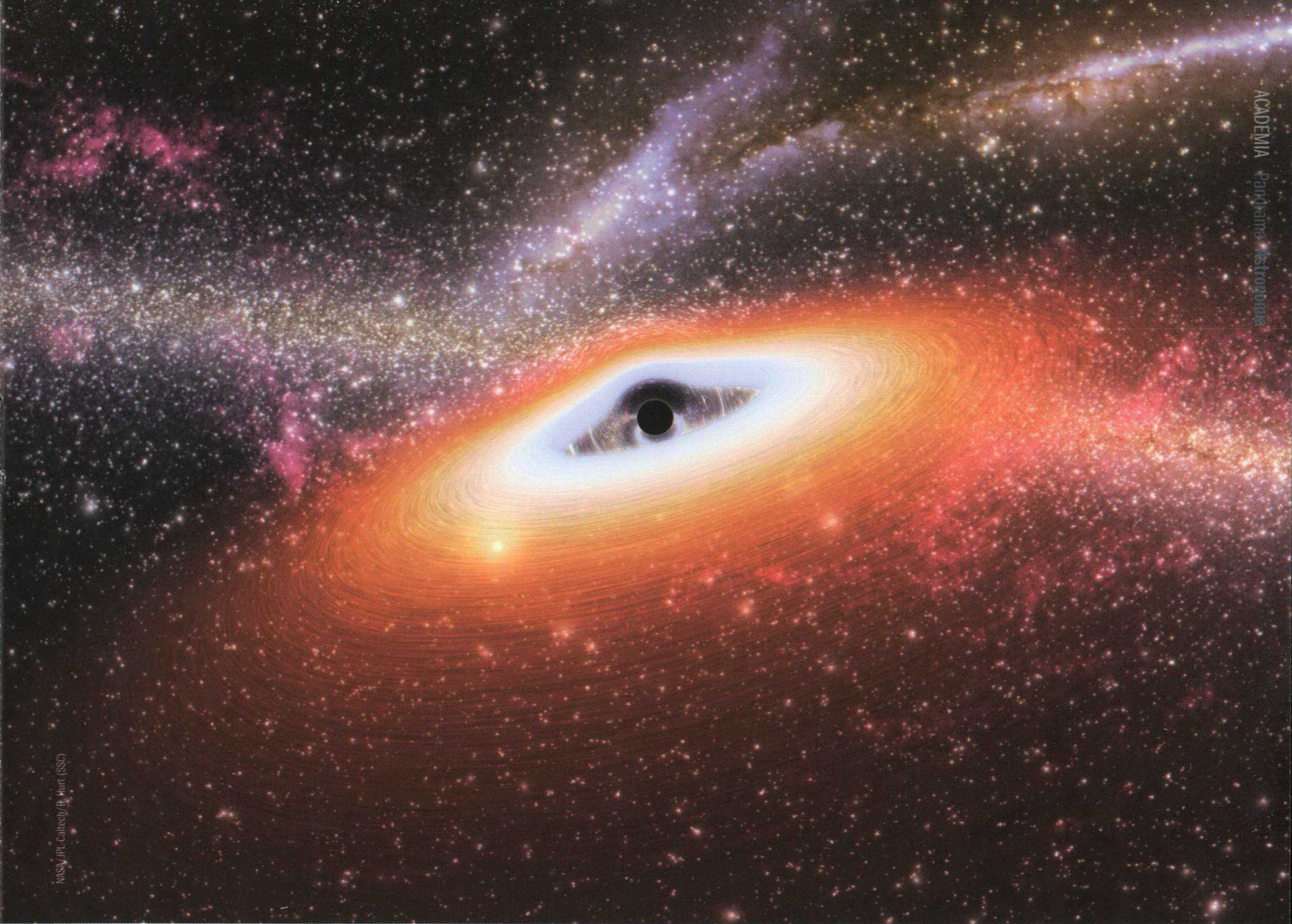
ne opadanie materii na supermasywną czarną dziurę. Początkowo teoretycy zakładali, że gaz opada symetrycznie ze wszystkich stron. Jednakże w matematycznym opisie tego procesu ciągle brakowało paru rzędów wielkości, aby przewidywana ilość uwalnianej energii zgodziła się z obserwacjami. Okazało się jednak, że jeśli opadająca materia dodatkowo rotuje, tworząc spłaszczony dysk, to wydzielana energia jest znacznie większa niż w przypadku opadania sferycznie symetrycznego - bez rotacji. Obliczona przez Szakurę i Siuniajewa ilość produkowanej w dysku akrecyjnym energii zgodziła się z pomiarami najjaśniejszych kwazarów.

To odkrycie okazało się przełomowe. Spłaszczony dysk gazu, który - okrążając supermasywną czarną dziurę - powoli na nią opada, jest obecnie naturalnym wytłumaczeniem światła pochodzącego z aktywnych jąder galaktyk, do których zaliczają się kwazary. Takich obiektów w kosmosie znamy tysiące. Szczęśliwie się składa, że sam dysk akrecyjny w kwazarach świeci w zakresie dobrze nam znanego światła widzialnego. To właśnie dzięki temu zbiegowi okoliczności ludzie mogli obserwować kwazary już sto lat temu, mimo że zupełnie ich nie rozumieli.

Bardzo podobne, tylko mniejsze dyski, znajdujemy też wokół znacznie mniejszych czarnych dziur, gwiazd neutronowych czy białych karłów i innych ciał gwiazdowych w naszej własnej Galaktyce. Dzięki nim możemy obserwować gwiazdowe obiekty zwarte, które same z siebie, bez dysku, byłyby dla nas praktycznie niewidzialne.

Jak działa dysk akrecyjny?

Aby gaz zaczął grawitacyjnie opadać na centralny obiekt, musi mieć początkowy, choćby niewielki, moment pędu. Nie jest to trudne w warunkach kosmicznych, gdzie galaktyki się zderzają, a gwiazdy najczęściej występują w układach podwójnych, w których materia przepływa między składnikami na obiekt o dużo większej masie. Aby dysk wytwarzał energię, a co za tym idzie - obserwowane przez nas promieniowanie, musi istnieć proces przekazywania momentu pędu przez kolejne pierścienie gazowe dysku. Ponieważ gaz wiruje z różną prędkością w zależności od odległości od centralnego obiektu, między sąsiednimi warstwami



NASA/JPL-Caltech/Spitzer/SSO

dysku występuje tarcie. Szybsza warstwa wewnętrzna trze o wolniejszą warstwę zewnętrzną i oddaje jej część swojego momentu pędu, przez co przesuwa się do środka - akreduje, czyli opada na obiekt centralny. Aby dysk działał poprawnie, musi istnieć mechanizm, który napędza akrecję. Rosyjscy uczeni doskonale o tym wiedzieli, lecz nie potrafili w pełni wyjaśnić, co może być źródłem tarcia w astrofizycznym dysku. Swoją niewiedzę ukryli w parametrze alfa, zwanym lepkością.

Lepki dysk akrecyjny wokół gwiazdowych obiektów zwartych jest oczywiście znacznie mniejszy od tego w kwazarach. Mniejszy, ale... bardziej gęsty. Ta większa gęstość powoduje silniejsze tarcie między kolejnymi pierścieniami, a w konsekwencji wyższą temperaturę dysku. Tak gorący gaz wysyła fale o energiach większych od fal światła widzialnego. Małe, ciepłe dyski w podwójnych układach gwiazd, promieniają w zakresie rentgenowskim. Dlatego odkryte zostały dopiero dzięki teleskopom satelitarnym.

W naszym zespole w Centrum Astronomicznym PAN od lat zajmujemy się tworzeniem modeli takich dysków. Obliczamy, ile energii wyświecają, i badamy kształt ich widma dla różnych mas obiektu centralnego. Następnie porównujemy nasze wyniki z danymi rentgenowskimi - i przekonujemy się, że na ogół dobrze pasują, czyli nasze modele wydają się dobrze oddawać rzeczywistość.

Niestety, pomimo licznych badań wciąż nie rozumiemy do końca, jaki mechanizm napędza akrecję w dysku i tym samym prowadzi do uwolnienia tak wielkiej energii. ■

**Artystyczna wizja
supermasywnej czarnej
dziury w centrum
kwazara**

Chcesz wiedzieć więcej?

- Giacconi R., Gursky H., Paolini F. R., Rossi B.B. (1962). Evidence for x Rays From Sources Outside the Solar System. *Physical Review Letters*, 9, 439-443.
- Różańska A., Madej J., Konorski P., Sadowski A. (2011). Iron lines in model disk spectra of Galactic black hole binaries. *Astronomy & Astrophysics*, 527, A47, 1-9.
- Shakura N.I., Sunayev R.A. (1973). Black holes in binary systems. Observational appearance. *Astronomy & Astrophysics*, 24, 337-355.