

Wszechświat w mojej kieszeni



Wirujące dyski w kosmosie



Bożena Czerny
Centrum Fizyki
Teoretycznej PAN
Polska



Pierścienie Saturna (NASA/ESA Hubble Space Telescope)

Ruch cząstek po orbitach kołowych nie jest bynajmniej najprostszym przykładem ruchu. Gdy na ciało nie działa żadna siła, porusza się ono po linii prostej ze stałą prędkością. Ale oddziaływanie grawitacyjne zakrzywia tor ciała. Orbita zależy od dwóch stałych wartości: energii ciała i jego momentu pędu. Większa energia, na przykład komety, powoduje, że po okrążeniu Słońca kometa oddala się ponownie. Zbyt mała nie pozwala na ucieczkę. Ruch kołowy jest bardzo szczególnym przypadkiem takiego ruchu.

Pierścienie Saturna

Któż z nas nie widział pierścieni Saturna ? Choćby na zdjęciu, a może nawet przez teleskop ? Są piękne i wieczne, przynajmniej z punktu widzenia życia człowieka. Wyglądają jak pierścienie, gdy patrzymy na nie z góry. Ale gdy patrzymy bardzo z boku, wyglądają jak bardzo cienki dysk.

Pierścienie Saturna zbudowane są z bryłek lodu, z niewielką domieszką skalnych okruchów. Bryłki te poruszają się po ustalonych orbitach kołowych, praktycznie nie ulegając przypadkowym zderzeniom, dlatego po początkowym chaosie w czasie formowania się Układu Słonecznego, teraz trwają tak przez miliony lat. Jednak te przypadkowe zderzenia powodują, że za 300 milionów lat może już ich nie być.

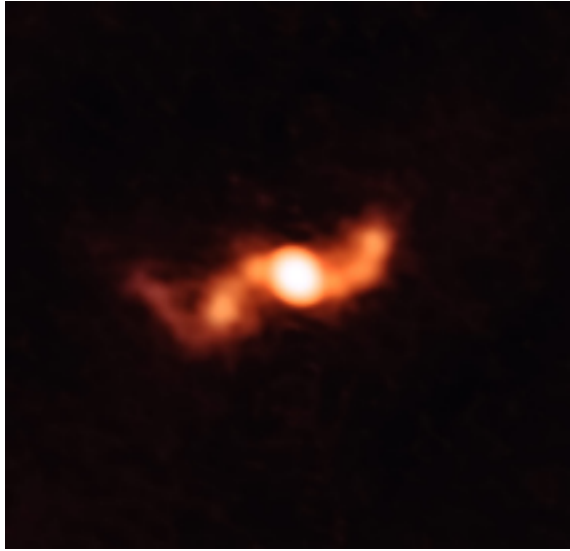


Powstawanie dysku akrecyjnego wokół masywnej czarnej dziury w wyniku rozerwania gwiazdy (NASA/ESA/D. Player (STScI), ilustracja).

Czasami gwiazda przebiegająca galaktykę, znajdzie się zbyt blisko centralnej czarnej dziury. Jej orbita ulegnie zmianie, gdy gwiazda zostanie rozerwana. Część z jej resztek może uciec, ale część zostanie uwięziona w polu grawitacyjnym, orbity staną się prawie kołowe i materia utworzy dysk akrecyjny. Obrazek powyżej to nie zdjęcie, ale zjawiska takie obserwujemy.

Dyski akrecyjne

Nie wszystkie dyski są takie ledwo widoczne, świecące obitym światłem. Gdy dysk jest zbudowany z gazu, i w dodatku przenika go pole magnetyczne, materia w dysku kotłuje się dramatycznie, rozgrzewa się i świeci. Tracąc energię i moment pędu ta gorąca plazma zmierza w stronę obiektu centralnego. To są właśnie dyski akrecyjne. Ten pozorny paradoks – tracenie energii i zyskiwanie jej na świecenie pochodzi z faktu, że tracona jest grawitacyjna energia potencjalna i zamienia się na energię kinetyczną (prędkość) i ciepłą. Efekt jest najlepszy, gdy obiekt centralny jest zwarty, mierzony stosunkiem jego promienia do masy. Takie zwarte obiekty to gwiazdy neutronowe i czarne dziury. Jest ich wiele w kosmosie, a proces opadania materii na nie trwa od sekund do lat.



Obiekt SS 433, zdjęcie w mikrofalach,
Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/K.
Blundell (University of Oxford, UK), R.
Laing, S. Lee & A. Richards, Ap J Letters.

Dyski akrecyjne wokół czarnych dziur
gwiazdowych są malutkie, nie można
uzyskać obrazu samego dysku. Ale
opadaniu materii na czarną dziurę
towarzyszy często wyrzut niewielkiej jej
części, w postaci dżetu - strugi
wyływającej prostopadle do dysku.
Zdjęcie powyżej jest wyjątkowym
osiągnięciem. Nadal nie mamy pewności,
jak takie strugi powstają, choć z
pewnością decyduje o tym silne pole
magnetyczne.

Czarne dziury i towarzysze

W naszej galaktyce – Mlecznej Drodze – jest zapewne wiele czarnych dziur o masach nieco większych od Słońca. Większości nie widać, ale jeśli czarna dziura ma bliskiego towarzysza, w formie zwykłej gwiazdy, zasysa z niego materię i ten gaz, zanim opadnie do czarnej dziury tworzy dysk akrecyjny. Widać je w zakresie promieniowania rentgenowskiego. Niektóre świecą zawsze, niektóre erratycznie, w zależności od tempa dostawy materii do dysku lub perturbacji w tempie przepływu w samym dysku. To rzadkie zjawisko – znamy zaledwie kilkadziesiąt takich par w Mlecznej Drodze, a obiekty są zbyt słabe, by je łatwo obserwować w odległych galaktykach. Najjaśniejsze obiekty to błyski gamma, które są dramatycznym końcowym stadium ewolucji gwiazd, ale w nich dysków nie widać. Może na krótko utworzyć się dysk, ale nie będący mogli go zobaczyć, ponieważ zasłoni go materia wyrzucana podczas wybuchu.



Dyski protoplanetarne - obrazy z teleskopów ALMA, VLT i Hubble. Credit: NASA, ESA, ESO, STScI, ALMA, S. Andrews (CfA), Bill Saxton (NRAO, AUI, NSF), T. Stolker (ALMA)

Młode gwiazdy i układy planetarne powstają właśnie w dyskach protoplanetarnych. Fizyka tego procesu jest niezwykle złożona. Obrazy, które otrzymujemy, pozwalają lepiej zrozumieć poszczególne etapy ewolucji. Ale teoria jest też ważna, bo na zdjęciach nie widać, jak powstają pierwsze lodowe bryły, pierwsze skały i zalążki planet.

Najciekawsze i najbardziej złożone są dyski akrecyjne które tworzą się wokół młodych, dopiero formujących się gwiazd. Z takiego dysku wokół Słońca powstała 4.5 miliarda lat temu nasza Ziemia. Dlatego tak fascynujący jest ten proces zachodzący teraz, wokół innych gwiazd. Dyski te składają się z gazu, drobinek lodu i okruchów skalnych. Materiał pochodzi z resztek obłoku, z którego powstała sama gwiazda, ale ulega on ciągłym przemianom. Część gazu opada, część jest wywiewana, część tworzy gazowe planety. Drobinki pyłu zderzają się i sklejają, rosną i w sumie tworzą planety skaliste, ale proces jest powolny i trudny do zrozumienia w szczegółach, jak pogoda. Dlatego cenne są wszelkie obserwacje tego procesu.



Po lewej: aktywna galaktyka JO742+2704 (NASA, ESA, K. Nyland (United States Naval Research Laboratory), J. DePasquale (STScI), po prawej gigantyczna radiogalaktyka (Image credit: NASA, ESA, S. Baum and C. O'Dea (RIT), R. Perley and W. Cotton (NRAO/AUI/NSF), and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA). Obraz różowy to obserwacje radiowe, obraz biały to obraz optyczny.

Odległe aktywne galaktyki często określa się mianem kwazarów (Quasi-stellar objects) i na zdjęciu widać tylko ślady galaktyki macierzystej lub wyływającego dżetu. Tak wygląda obiekt po lewej stronie. Po prawej widać dżet, dużo dłuższy niż cała galaktyka. Takie obiekty są rzadkie.

Aktywne jądra galaktyk

W jądrach wszystkich galaktyk rezydują masywne czarne dziury, setki tysięcy czy miliardy razy masywniejsze niż Słońce.

Takie czarne dziury grawitacyjnie przyciągają otaczającą materię, i wokół nich formują się dyski akrecyjne.

Zasysanie materii nie jest jednak łatwe, musi ona tam być w okolicy. Dlatego tylko jedna galaktyka na milion ma bardzo jasne jądro i jest bardzo aktywna. Jasność dysku akrecyjnego w niej może przekraczać tysiąc razy jasność wszystkich gwiazd galaktyki.

Obiekty takie, podobnie jak błyski gamma, widzimy z odległości kosmologicznych, sięgających granic obserwowalnego Wszechświata. Aktywnych galaktyk jest bardzo dużo, żyją bardzo długo i gdziekolwiek skierujemy nasze teleskopy, możemy je znaleźć.



Zdjęcie czarnej dziury w centrum Drogi Mlecznej, z zaznaczonym przebiegiem linii sił pola magnetycznego (EHT).

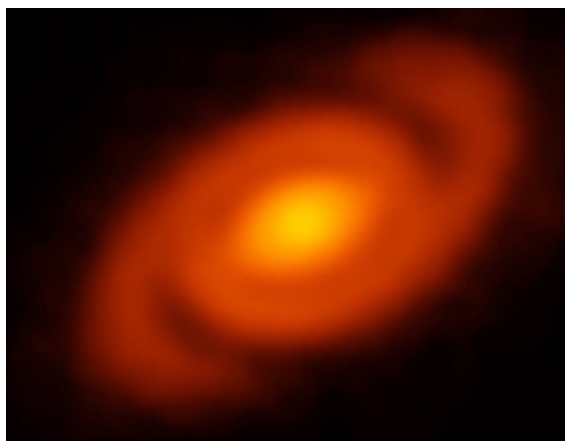
Przez zwykłe teleskopy optyczne nie widać centrum naszej Galaktyki, za dużo jest pyłu po drodze. Ale fale radiowe przenikają łatwiej. Zdjęcie wykonano zatem w zakresie radiowym – dokładniej na falach milimetrowych. Wtedy widać dysk, a cień w centrum to właśnie czarna dziura, która sama nie świeci. Zdjęcie wymagało współpracy wielu radioteleskopów na kuli ziemskiej, a następnie zbudowania obrazu.

A co z naszą galaktyką? Czy jest aktywna? Cóż, to zależy, jak na to patrzeć. Owszem, ma w centrum czarną dziurę o masie czterech milionów mas Słońca, ale materia w jej kierunku ledwie ciurka, w tempie miliardy razy wolniejszym niż w galaktykach aktywnych. Coś się dzieje, ale widzimy efekt tylko dlatego, że jesteśmy blisko. Dzięki Event Horizon Telescope mamy wreszcie jej zdjęcie. Było trudno je uzyskać. Widać na nim dysk akrecyjny, ale jest w nim mało masy, jest zbudowany z bardzo gorącej plazmy, o temperaturze milionów stopni, takiej, jaka panuje we wnętrzu Słońca. Świeci ona w zakresie X, ale nie tylko - szybkie elektrony świecą też radiowo, i w tym pasmie widmowym (dokładniej, w zakresie milimetrowych fal) uzyskano obraz.

Czy zgadniesz...



... które z tych zdjęć
nie przedstawia
dysku ?



Spróbuj
odpowiedzieć.

1. Pozostałość po supernowej Tycho

X-ray (IXPE: NASA/ASI/MSFC/NAF/R. Ferrazzoli, et al.), (Chandra: NASA/CXC/RIKEN & GSFC/T. Sato et al.)
Optical: DSS Image processing: NASA/CXC/SAO/K. Arcand, L. Frattare & N. Wolk

Odpowiedź

2. Galaktyka M88

ESA/Hubble/NASA/D. Thilker

3. Dysk wokół młodej gwiazdy HL Tauri

ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

Tylko pierwsze zdjęcie
nie przedstawia
dysku !

4. Pierścienie Urana w podczerwieni

NASA, ESA, CSA, STScI

5. Obraz dysku wokół czarnej dziury w galaktyce M87

© EHT Collaboration

6. Dysk protoplanetarny wokół gwiazdy Elias 2-27

L. Pérez / B. Saxton / MPIfR / NRAO / AUI / NSF / ALMA / ESO / NAOJ / NASA / JPL Caltech / WISE Team

Wszechświat w mojej kieszeni Nr 47

Książeczka ta została przygotowana w 2026 przez Bożenę Czerny z Centrum Fizyki Teoretycznej Polskiej Akademii Nauk w Warszawie.

Okładka : zdjęcie dysku wokół młodej gwiazdy HL Tauri, w którym właśnie formują się planety. Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)



Aby dowiedzieć się więcej o tej serii wydawniczej i o tematyce prezentowanej w tym tomiku odwiedź <http://www.tuimp.org>

TUIMP Creative Commons

