

Lata sześćdziesiąte XX wieku to okres licznych odkryć w dziedzinie astronomii rentgenowskiej, zapoczątkowanych przez badania korony słonecznej przez Herberta Friedmana pod koniec lat pięćdziesiątych. Krokiem milowym było jednak odkrycie w 1962 roku pierwszego źródła rentgenowskiego poza Układem Słonecznym przez zespół pod kierownictwem Bruno Rossiego i Riccardo Giacconiego w gwiazdozbiornie Skorpiona Sco X-1. Po tym odkryciu nastąpiła seria detekcji kolejnych źródeł (w gwiazdozbiornach Centaura i Byka), tak że nikt już nie miał wątpliwości, iż Słońce nie jest jedynym na niebie źródłem rentgenowskim. Obserwacje optyczne źródła Sco X-1 ujawniły, że są to układy podwójne, ale za pierwszy odkryty rentgenowski układ podwójny uważa się dopiero zbadany kilka lat później Cyg X-1, bo na podstawie obserwacji wyznaczono jego okres orbitalny i oszacowano masę składników. Wkrótce po tym przyszło kolejne ważne – dokonane w 1975 niezależnie przez zespół Grindlaya oraz Beliana, Connera i Evansa – odkrycie pierwszych wybuchów rentgenowskich. Wybuchy te pochodziły ze znanego źródła w gromadzie kulistej NGC 6624 (3U1820-30). Wkrótce zaobserwowano kolejne dwa berstery rentgenowskie, jak zdecydowano się nazwać tę grupę obiektów (ang. *X-ray bursters*) – MXB1743-29 oraz MXB1743-28.

Źródła wybuchów rentgenowskich należą do klasy obiektów określanych jako mało masywne układy rentgenowskie (ang. *Low Mass X-ray Binary – LMXB*). Są to układy podwójne złożone ze zwartego obiektu – gwiazdy neutronowej lub czarnej dziury – i mało masywnego towarzysza (o masie mniejszej niż masa Słońca). Źródła wybuchów rentgenowskich wykazują niezwykłą różnorodność zachowań – są obiekty stale aktywne w dziedzinie rentgenowskiej, jak i źródła przejściowe (czasem tylko aktywne), są układy zaćmieniowe (choć źródłem zaćmień nie jest towarzysz, lecz dysk akrecyjny), są obiekty typu atol, jak i typu Z, są też w końcu berstery będące jednocześnie pulsarami. To, co łączy te tak różnorodne źródła w jedną klasę obiektów, to obecność wybuchów rentgenowskich mających szczególną cechę, a mianowicie *mięknienie* widma w czasie spadku jasności po takim wybuchu, czyli zwiększanie stosunku jasności długofalowej, mniej energetycznej części widma rentgenowskiego do części krótkofalowej. Tego typu wybuchy nazywamy wybuchami typu pierwszego (typ I). Ich źródłem jest termonuklearne palenie materii w atmosferze gwiazdy neutronowej. Jak Czytelnik zapewne się domyśla, są też wybuchy typu II, przy czym należy wyraźnie zaznaczyć, że nie są to dosłownie wybuchy, a znaczące pojaśnienia obiektu. Tak jak w przypadku źródeł z wybuchami typu I, tak i te źródła są układami podwójnymi złożonymi z gwiazdy neutronowej i towarzysza o małej masie. W układzie takim ma miejsce przepływ materii na gwiazdę

neutronową poprzez dysk akrecyjny. Co pewien czas dysk ten staje się niestabilny, skutkiem czego jest gwałtowne opadanie dużych ilości materii na powierzchnię gwiazdy neutronowej. Energia wyzwolona w trakcie zderzenia materii z powierzchnią gwiazdy neutronowej zamieniana jest na ciepło, a następnie wyświecana w zakresie rentgenowskim. Ponieważ proces niszczenia dysku jest dosyć gwałtowny, pojaśnienie jest nagłe i duże. Obiekty o takim zachowaniu są rzadkością pośród układów, w których składnikiem głównym jest gwiazda neutronowa. Inaczej jest w przypadku, gdy składnikiem głównym jest biały karzeł, ale to temat na oddzielną opowieść.

Obecnie znamy 125 układów LMXB, a 40 z nich to berstery rentgenowskie. Berstery wykazują wszystkie cechy charakterystyczne dla mało masywnych układów rentgenowskich. Towarzysz jest słaby, o jasności absolutnej około 2^m , i poza szczególnymi przypadkami nie jest obserwowany bezpośrednio. Tylko w przypadku, gdy towarzyszem jest chłodny olbrzym, obserwuje się jego widmo w sumarycznym widmie obiektu. Okresy orbitalne bersterów rentgenowskich są krótsze niż 16 h, choć zdarzają się wyjątki. Cir X-1 ma okres orbitalny 398 h, ale nie jest ostatecznie rozstrzygnięte, czy obiekt ten jest bersterem. Z kolei ekstremalnie krótki okres orbitalny, wynoszący 11 min, ma układ 4U1820-30. Jest to najkrótszy znany okres orbitalny pośród wszystkich istniejących układów podwójnych. Przy krótkich okresach orbitalnych należy się spodziewać małych mas towarzyszy, ale tylko dla nielicznych bersterów udało się je wyznaczyć.

Istnieją przesłanki wskazujące na to, że pole magnetyczne gwiazd neutronowych w bersterach rentgenowskich jest relatywnie słabe – rzędu 10^7 – 10^9 Gs (10^3 – 10^5 T). Jasność bersterów zawiera się w przedziale 10^{36} – 10^{37} erg/s. Przy niskiej jasności (w ramach tego przedziału) wybuchy występują niemalże periodycznie i częstotliwość wybuchów rośnie liniowo z jasnością, czego przykładem mogą być obiekty KS 1731-260 czy GS 1826-24, natomiast przy wyższych jasnościach częstotliwość wybuchów maleje, a wybuchy stają się bardziej nieregularne. Typowy czas pomiędzy wybuchami wynosi 10^4 – 10^5 s. W trakcie wybuchu jasność źródła rośnie do osiągnięcia maksymalnej wielkości w ciągu 1 s, następnie w czasie od 3 do 100 sekund maleje do poziomu sprzed wybuchu, a emitowana energia jest rzędu 10^{39} erg. Wybuchy rentgenowskie wykazują ogromną różnorodność kształtów krzywych blasku, przy czym dla danego źródła kształty krzywych blasku wyglądają podobnie. Kształt krzywej blasku zależy też od zakresu energii, w której obserwujemy – dla wyższych energii spadek jasności jest szybszy niż dla niższych.

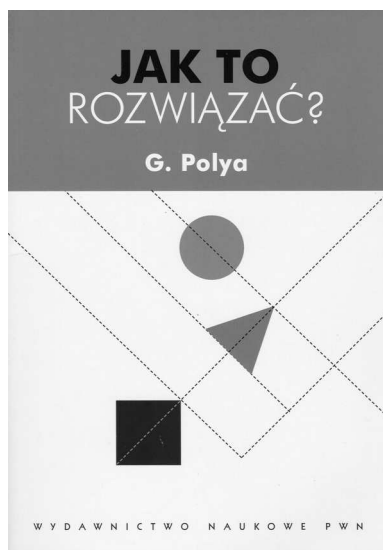
Czasem obserwujemy krzywą blasku z charakterystyczną strukturą podwójnego maksimum. Początkowo nie utożsamiano tych wybuchów z wybuchami typu I,

ponieważ wybuchy te są silniejsze, a czas trwania dłuższy, około 1500 s. Jasność wybuchów o krzywych blasku z podwójnym maksimum jest bliska jasności Eddingtona (jest to maksymalna jasność, jaką może mieć gwiazda, której atmosfera ani się nie zapada, ani nie ekspanduje), a więc ma miejsce znacząca ekspansja fotosfery gwiazdy neutronowej. Interpretacja powstawania rentgenowskiej krzywej blasku z podwójnym maksimum jest następująca. Ponieważ jasność podczas ekspansji jest stała, w trakcie ekspansji wraz ze wzrostem promienia maleje temperatura – aż spadnie do wartości, przy której zanika emisja rentgenowska. Później następuje faza kontrakcji – znów przy stałej jasności – a więc zmniejsza się promień, a temperatura rośnie do wielkości, w której znów może mieć miejsce emisja rentgenowska. Przypuszcza się, że wybuchów z ekspansją fotosfery można by było używać jako świec standardowych ze względu na znaną, stałą jasność podczas ekspansji.

Są też jeszcze superwybuchy, które w odróżnieniu od typowych wybuchów typu I trwają dłużej, mają większą jasność i zdarzają się rzadziej. Pierwszy superwybuch, pochodzący ze źródła 4U1735-44, został zaobserwowany przez zespół Cornelisse'a w 2000 roku. W chwili obecnej znamy superwybuchy z 6 źródeł:

4U1820-30, 4U1735-44, KS1731-26, 4U1636-53, Ser X-1, GX3+1. Widma superwybuchów mięknią z czasem, krzywe blasku wykazują mniej lub bardziej podobny do eksponencjalnego zanik, a w ich trakcie może mieć miejsce ekspansja fotosfery. Istnieją poszlaki wskazujące, że superwybuchy wpływają na powtarzalność „normalnych” wybuchów, tzn. sprawiają, że po superwybuchu normalny wybuch następuje później niż powinien. Podobnie jak w przypadku wybuchów typu I, tak i za superwybuchy odpowiedzialne jest termonuklearne palenie materii, z tym że nie wodoru czy helu, lecz węgla. Szczegółowy przebieg procesów nie jest jednak do końca znany. Niektórzy sugerują wręcz, że proces termonuklearnego palenia węgla w skorupie gwiazdy neutronowej nie jest możliwy.

Na tym jednak nie kończy się lista niewyjaśnionych zagadnień związanych z bersterami rentgenowskimi. Wielki postęp w naszym rozumieniu tych obiektów przyniosły obserwacje satelitów rentgenowskich Chandra i XMM-Newton. Jednak jak to zwykle w astronomii bywa, liczba powstałych przy tej okazji pytań znacznie przewyższyła liczbę odpowiedzi, jakie przyniosły te obserwacje. Berstery rentgenowskie mimo ponad 30 lat badań wciąż wydają się fascynujące i pełne niespodzianek.



George Polya, *Jak to rozwiązać?*

Wznowienie klasycznej książki George'a Polya przypada na okres przygotowań do obowiązkowej matury z matematyki. Matura – jak i matematyka – polega na rozwiązywaniu zadań. Nazbyt często uczeń polskiej szkoły rozpoczyna tę czynność od postawienia kluczowego pytania: jaki wzór tu pasuje? Trudno się dziwić, że tak postrzegana matematyka nie budzi uczniowskiej sympatii, a efekty jej nauczania są dalekie od oczekiwań nauczających. Trudno też się dziwić, że w międzynarodowych testach młodzi Polacy nie najlepiej radzą sobie z zadaniami nietypowymi.

Swoje podejście Polya ujmuje w czterech zasadniczych punktach:

(1) Staraj się *zrozumieć* zadanie. (2) Znajdź związek między danymi i niewiadomymi. Możesz być zmuszony rozpatrywać zadania pomocnicze, jeżeli nie możesz znaleźć związku bezpośrednio. Powinieneś w końcu ułożyć pewien *plan* rozwiązywania zadania. (3) *Wykonaj* swój plan. (4) *Przestudiuj* otrzymane rozwiązanie.

Każdej z tych wskazówek towarzyszy lista pytań, jakie *warto* sobie stawiać, przystępując do jej realizacji. Mówiąc dosadnie, Autor powiada: jeśli masz rozwiązać zadanie – zacznij myśleć! I pokazuje, na czym takie myślenie polega. Pokazuje na licznych przykładach, jak może wyglądać analiza problemu, jak można krok po kroku, pytanie po pytaniu dochodzić do sensu zadania i w rezultacie do rozwiązania.

Chciałoby się, żeby tę książkę przeczytał każdy nauczający matematyki, niezależnie od poziomu. Chciałoby się, żeby ją przeczytał każdy licealista. Może jednak nie należy tak zawężać listy potencjalnych czytelników? W końcu nie ma powodu, żeby sposób myślenia proponowany przez Polę ograniczać do samej matematyki i samej szkoły. Myślenie jest naprawdę *trendy*!

W. B.

Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009