

Katakлизmy we Wszechświecie (III)

Doc. dr Bolesław GRABOWSKI

Po omówieniu katakлизmów na skalę ziemską i na skalę Układu Słonecznego, tym razem zajmiemy się gwiazdami i galaktykami.

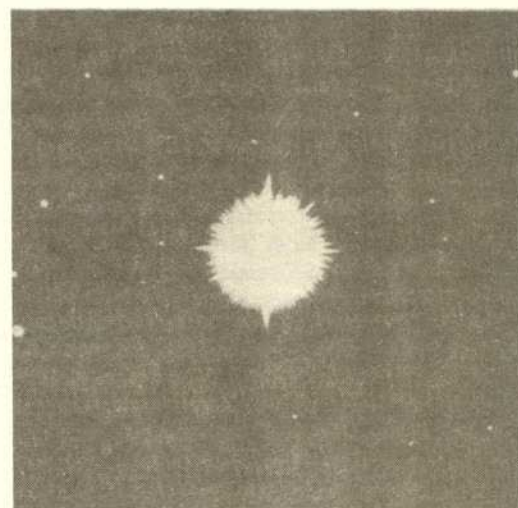
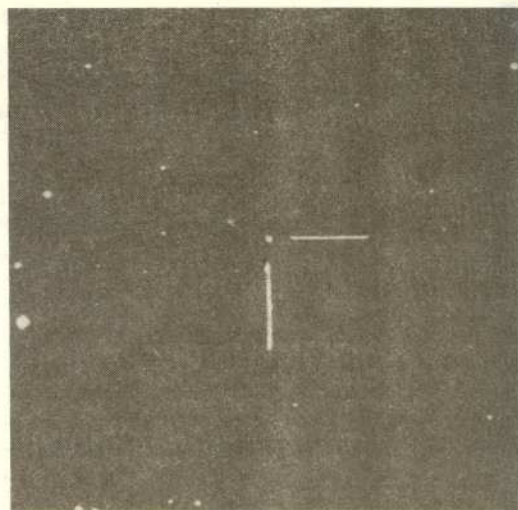
7. Gwiazdy aktywne. Nazwijmy aktywnymi gwiazdy zmieniające jasność w sposób ostry, choć niekoniecznie gruboskalowy; prawdopodobnie we wszystkich z nich dochodzą do głosu — choć w różnej skali — procesy wybuchowe. Sformułujmy „konkurencję” pod nazwą gwałtowność zmian, rozumiejąc ją jako przyrost jasności w jednostce czasu. Dobrymi „zawodnikami” w tej konkurencji są gwiazdy zmienne wybuchowe typu *Tauri* i *U Geminorum*; znacznie lepsze są tzw. gwiazdy rozbłyskowe, prawdopodobnie zasilane tym samym mechanizmem, co rozbłyski naszego Słońca. Miara tamtejszych rozbłysków jest jednak bez porównania większa: w skrajnych przypadkach jasność gwiazdy w ciągu 5—100 sekund rośnie o 5—7 tzw. wielkości gwiazdowych, co odpowiada wzrostowi mocy promieniowania, co najmniej o czynnik 100! Jest to wynik niezwykle, zwłaszcza jeśli się zważy, iż w rozbłysk wprzęgnięte jest — jak się ocenia — zaledwie około 1% powierzchni gwiazdy ... A poza wszelkim współzawodnictwem są gwiazdy nowe i supernowe.

W wielu typach zmiennych wybuchowych spotykamy odrzucone otoczki, ekspandujące z prędkościami setek kilometrów na sekundę (wnioskujemy o tym z przesunięcia dopplerowskiego linii widmowych); energia nowej jest uwalniana tak gwałtownie i jest jej tak duży ładunek, że materia jest odrzucana od gwiazdy z prędkością rzędu 2000 km/s. Za tą wybuchową ekspansją podąża dramatyczny wzrost jasności: o 10—15 wielkości gwiazdowych, tzn. o czynnik od 10^4 do 10^6 w czasie od kilku godzin do kilku dni. Masa „zdmuchniętej” otoczki stanowi zaledwie około 10^{-5} masy gwiazdowej; w każdym razie są to jednak tryliony ton. Przyjmując orientacyjnie jej masę około 10^{25} — 10^{26} kg, otrzymujemy energię kinetyczną około 10^{37} — 10^{38} J. W czasie całego „popisu” trwającego około jednego roku wypromieniowuje ona w otoczenie drugie tyle energii, to znaczy taką ilość, na której wytworzenie Słońce potrzebowałoby sto tysięcy lat! Fotografia przedstawia nową w gwiazdozbiornie Herkulesa przed i wkrótce po wybuchu w 1934 r. Słynnym współczesnym ewenementem jest nowa w gwiazdozbiornie Łabędzia, która w nocy 29/30 sierpnia 1975 r. zwiększyła swą pierwotną jasność w sposób niezwykle — co najmniej 10 milionów razy i z nikłego światełka, którego nie zdołały ujawnić nawet największe teleskopy, stała się gwiazdą łatwo zauważalną gołym okiem.

Supernowa w swoim maksimum blasku może „zaćmić” blask całej galaktyki (a więc 10^{10} — 10^{11} słońc!), do której jest przynależna. Widma supernowych dają niepodważalne dowody szaleńczej ekspansji „zdmuchniętej” materii. Otrzymuje się: masę około $0,5 M_{\odot}$ i prędkość około 10 000 km/s (typ I supernowych), lub masę $5 M_{\odot}$ i prędkość około 5000 km/s (typ II). W obu typach większość energii strasznego wybuchu, około 10^{44} J, unoszona jest przez rozpędzone zwaly materii; porcję o jeden do dwu rzędów wielkości mniejszą supernowa wydatkuje w szybkim tempie w formie promieniowania. Chodzi tu w sumie o ilości kolosalne. Dla porównania: nominalna energia nuklearna, jaką można wyzwolić przez „spalenie” jednej masy słonecznej czystego wodoru („popiołem” będzie czysty hel)

$$0,0072 \times M_{\odot} c^2 = 1,3 \times 10^{45} \text{ J}, \quad (4)$$

jest tylko niewiele większa. Przekonuje to nas dowodnie, iż w „narodzinach” supernowej, w tym pełnym dramacie choć

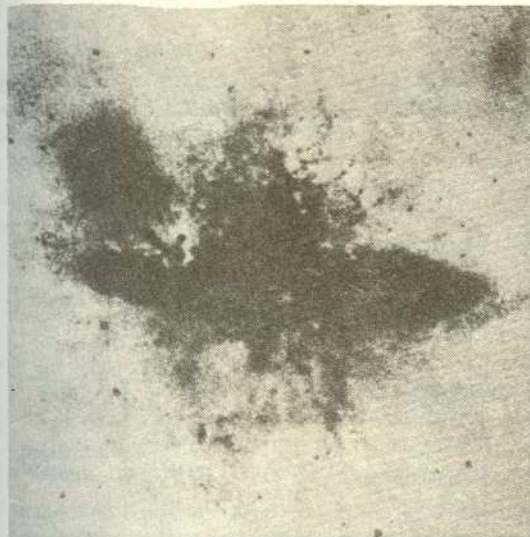


migawkowo krótkim doświadczeniu, eksplodująca gwiazda traci znaczną część swego nuklearnego paliwa; w tym momencie z reguły kończy ona swoje „normalne życie”.

Najsłynniejszą pozostałością po eksplozji supernowej jest Mgławica Krab (por. „Patrz w niebo”, *Delta* 12/1980). Katastrofę, której skutki obserwujemy, można przyrównać do jednoczesnej eksplozji 10^{25} stumegatonowych bomb wodorowych; dziś sprawę tego gigantycznego fajerwerku kosmicznego trudno odszukać nawet przez duże teleskopy — jest on 10 tysięcy razy słabszy od najsłabszych gwiazd widzianych gołym okiem. W pobliskich galaktykach zaobserwowano dotychczas ponad 300 supernowych, średnio dwie w danej galaktyce w ciągu stulecia. W naszej Drozde Mlecznej odkryto około dwu tuzinów pozostałości po supernowych, najświeższy — z 1604 r. i żadnej dalszej supernowej od prawie czterech wieków. „Zlekceważona” statystyka pilnie domaga się więc zadośćuczynienia. Kto wie, może już wkrótce ujrzemy olśniewający błysk na firmamencie, może nawet już w tych dniach? ...

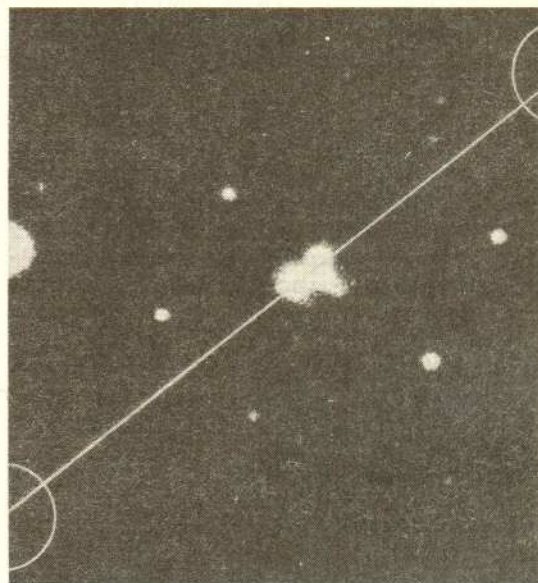
8. Galaktyki aktywne. W przeglądzie obiektów „podejrzanym” o gwałtowne akcje, galaktyki wydają się być jednostkami najbardziej zrównoważonymi. A jednak ... Już dość proste obserwacje sąsiednich galaktyk dowodzą, iż gwałtowne i odpowiednio gruboskalowe formy aktywności nie są tam bynajmniej obce, przy czym terenem wyjściowym takiej akcji jest z reguły jądro galaktyczne. Wnętrze naszej własnej Galaktyki obserwujemy ze znacznie większym trudem (jakby na potwierdzenie przypowieści o żdźble w cudzym i belce we własnym oku). Jednak nawet wyrwykwe i nie do końca jeszcze pewne obserwacje dowodzą istnienia radialnego wypływu materii

z wnętrza Drogi Mlecznej, z prędkością ok. 100 km/s. W formie ekspandującego pierścienia o promieniu ok. 800 lat świetlnych rozbiega się 100 milionów mas słonecznych gazu i pyłu międzygwiazdowego. Łatwo możemy ocenić, iż gigantycznej skali eksplozja, która rozpędziła te masy, miała miejsce przed kilku milionami lat i uwolniła energię (gdy za jej miarę przyjąć samą tylko „zaobserwowaną” energię kinetyczną) nie mniejszą niż 10^{48} J; w rzeczywistości jest ona znacznie większa. Odpowiada ona całkowitej energii spoczynkowej ($E = mc^2$) masy co najmniej $5 M_{\odot}$, lub nominalnej energii nuklearnej (por. (4)) co najmniej $1000 M_{\odot}$. Stuprocentową sprawność zamiany masy spoczynkowej w energię wybuchu mogłaby zapewnić tylko (hipotetyczna) anihilacja materia-antymateria; mamy jednak zasadnicze powody aby (co najmniej) w odniesieniu do naszej Galaktyki ten mechanizm odrzucić. Na obecnym etapie referowania sprawy pozostaje więc nam wniosek: w jednym wybuchu uczestniczyła materia co najmniej tysiąca mas słonecznych ... A jeszcze tak niedawno astrofizycy uważali, że wybuchy supernowych są najpotężniejszymi tego rodzaju zjawiskami we Wszechświecie. Droga Mleczna, jak sądzimy, należy do „normalnych” galaktyk (spiralnych). „Anomalne” galaktyki ujawniają aktywność wybuchową o znacznie wyższym stopniu gwałtowności. Zdjęcie wykonane w jednobarwnym świetle wodorowej linii H_{α} , przedstawia (w negatywie, który jest bardziej „czytelny” niż pozytyw) najbliższą z galaktyk o symptomach choleryka — galaktykę nieregularną M82, odległą o 10 mln lat świetlnych.



W jej środkowym rejonie widzimy gigantyczny pióropusz gazów wyrzucenych eksplozjnie wzdłuż osi obrotu; rozciąga się on na odległość 13 000 lat świetlnych. Prędkość masy w każdym jego punkcie jest proporcjonalna do odległości punktu od jądra galaktyki. W najbardziej oddalonych częściach pióropusza gaz ekspanduje z prędkością 2700 km/s. Z prostego przeliczenia otrzymujemy, że eksplozja w galaktyce nastąpiła półtora miliona lat przed tym stanem, który dziś obserwujemy. Masę gazu wymiecionego eksplozją oceniamy na około 5 milionów mas słonecznych, a niesioną przezeń energię kinetyczną na około 2×10^{48} J. Dla porównania: równoważne (masowo) 5 milionów Słońc przez owe półtora miliona lat zdołałoby wypromieniować zaledwie około 4% tej gigantycznej porcji energii. Całkowitą ilość energii uwolnionej w eksplozji galaktyki M82 oceniamy z grubszą na 10^{49} do 10^{51} dżuli (A. Unsöld: *The New Cosmos*). Nieco dalej położona wielka galaktyka eliptyczna M87 imponuje powybuchowym „dżetem” — świetlistą strugą materii, jak z palnika acetylenowego, tyle tylko, że rozciąglą na sto tysięcy lat świetlnych. Cała klasa galaktyk, nazywanych seyfertowskimi, w swoich widmach uwidacznia ruchy gazów o prędkościach 500—4000 km/s, które trudno wytłumaczyć inaczej, jak tylko gwałtowną eksplozją.

Galaktyki aktywne są z reguły znacznie „jaśniejsze” w zakresie radiowym, podczerwieni, ultrafiolecie lub w promieniach X, niż w widmie optycznym. Szczególnie „skromnie” w tym rejonie widma wyglądają radiogalaktyki. Zwykle po nałożeniu na siebie obrazu optycznego i radiowego radiogalaktyki otrzymuje się swoiste monstrum — słabe centrum optyczne i daleko odeń odsunięte na boki (symetrycznie, wzdłuż osi rotacji) dwa centra niewiarygodnie wprost spotęgowanej aktywności radiowej. Prawdziwym rekordzistą w tym względzie, a „przy okazji” największym odkrytym dotąd pojedynczym obiektem we Wszechświecie, jest radiogalaktyka 3C 236, której oba źródła emisji radiowej są oddalone od siebie o 18 milionów lat świetlnych!



Fotografia przedstawia optyczny obraz innej radiogalaktyki, znanej pod nazwą *Cygnus* (Łabędź) A. Widzimy tu tylko jasne jądro galaktyki (środek zdjęcia); niewidoczne centra radiowe zaznaczono schematycznie. Każde z centrów oddalone jest od macierzystej galaktyki o około 200 tys. lat świetlnych, a ona sama oddalona jest od nas o ponad pół miliarda lat świetlnych. Łabędź A wydaje się być najpotężniejszym „nadajnikiem” radiowym wśród radiogalaktyk w całej zbadanej dotąd części Wszechświata. Jego pełna moc radiowa wynosi aż 5×10^{37} W (około 10^5 razy większa, niż M82, $5,1 \times 10^{37}$ W wobec $4,2 \times 10^{32}$ W). Tak więc w samym tylko zakresie radiowym w ciągu każdej sekundy emituje on przeszło sto miliardów razy więcej energii, niż nasze Słońce łącznie we wszystkich długościach fali. Setki tysięcy lat wcześniej, niż widzimy to na zdjęciu, galaktyka doświadczyła w swym wnętrzu gigantycznej eksplozji; wyrzucone zostały w przeciwnych kierunkach olbrzymie „bryzgi” plazmy — każdy o średnicy 60 tys. lat świetlnych — które obecnie obserwujemy jako radioźródło. W rzeczy samej eksplozja miała miejsce o ponad pół miliarda lat wcześniej, takie bowiem jest opóźnienie informacji, jakie dziś otrzymujemy z tego odległego rejonu Wszechświata. Łączna energia wyzwolona podczas katastrofy galaktyki w Łabędziu jest o 3—4 rzędy większa, niż w eksplozji galaktyki M82 i sięga 10^{55} J!

9. Tajemniczy rekordzista — kwazar. Główną cechą widm kwazarów jest — jak wiemy — duże przesunięcie ku czerwieni. Najbardziej naturalnym (ale niekoniecznie prawdziwym) wyjaśnieniem jest tzw. wyjaśnienie kosmologiczne — iż kwazary uczestniczą w ekspansji Wszechświata. Jeśli tak jest istotnie, obserwowane przesunięcie wiąże się — poprzez prawo Dopplera — z prędkością radialną źródła światła. Dalsze „obserwable” szeptane są teraz nawzajem w łańcuchu implikacji: duże przesunięcie widma ku czerwieni → duża prędkość ucieczki źródła → źródło jest bardzo daleko od nas → źródło jest bardzo

„młode” (tzn. obserwujemy jego obraz z głębokiej prehistorii, ze stosunkowo niewielkim opóźnieniem względem „daty jego narodzin”).

Jednym z najbliższych kwazarów jest 3C 273. W modelu rozszerzającego się Wszechświata otrzymujemy dlań odległość około 3 mld lat świetlnych i integralną moc promieniowania przewyższającą ok. 10 tysięcy razy jasność galaktyki podobnej do naszej Drogi Mlecznej: 4×10^{40} W. Innymi słowy, kwazar 3C 273 w przeciągu jednej sekundy emituje tyle energii w formie fal elektromagnetycznych, ile nasze Słońce w ciągu 3,5 milionów lat. Maksymalne „osiągni” kwazarów są jeszcze o dwa rzędy większe.

Globalną ilość wyzwolonej w straszliwym kataklizmie energii, która w tym tempie jest wyświecana przez przeciętny kwazar w przeciągu jego domniemanego „czasu życia”, rzędu miliona lat, ocenia się na 10^{56} dżuli. Oszałamiające ... Aby zdać sobie sprawę z ogromu tej energii zauważmy, że jest ona równoważna energii nuklearnej ($0,007 mc^2$) około 10^{11} mas słonecznych, a więc odpowiada całkowitemu „spopieleniu” na hel tak potężnej galaktyki, jak nasza Droga Mleczna. Można się obawiać, że nie tędy droga do wytłumaczenia nieprzebranej obfitości energii kwazarów; prawdę mówiąc, problem ten odnosi się — choć nie aż tak drastycznie — również do eksplodujących galaktyk.

W tym miejscu kłania się nam starorzyski bożek o dwu twarzach, Janus. Nie bez powodu. Skonstatowaliśmy właśnie fakt uderzający: obok dobrze znanego wizerunku „kosmosu (Wszechświata) dżentelmeńskiego”, quasi-stabilnego, powoli ewoluującego, jaki został zaszczipiony w naszej wyobraźni przez nadchodzące zewsząd spokojne „programy” emisji termicznej, ujrzeliśmy budzącą grozę drugą twarz — Wszechświata wybuchowego, gwałtownego w swych działaniach impetyka, przemawiającego do nas z furją — burzą wysokoenergetycznych korpuskuł i różnorodnych promieniowań nietermicznych.

W razie eksplozyjnego uwolnienia całkowitej energii spoczynkowej (mc^2) w powyższej ilości potrzeby „paliwowe” są skromniejsze: ok. 10^{39} kg $\approx 5 \times 10^8 M_{\odot}$, co jest już „rozsądnym” ułamkiem (około 1%) masy przeciętnej galaktyki. Gwałtowny kolaps grawitacyjny (zapaść) niewiele tylko większej ilości masy ku ekstremalnym gęstościom zdaje się gwarantować wydajną, jak trzeba, produkcję energii elektromagnetycznej. Jeszcze bardziej atrakcyjnym „generatorem” fal elektromagnetycznych jest materia orbitująca w tzw. dysku akrecyjnym wokół osobliwego tworu, czarnej dziury, stopniowo wyhamowana (lepkością) i zwalająca się nań z prędkościami przyświełnymi. W skrajnych przypadkach sprawność takiego generatora energii może sięgać aż 40% całkowitej energii spoczynkowej, a więc może być kilkadziesiąt razy większa od najbardziej wydajnych procesów termojądrowych. Ów generator „spala” przy tym, z jednakową sprawnością energetyczną, wszelką materię — bez względu na jej skład chemiczny. Niesamowite ... W tej niezwyklej sprawie Czytelnik powinien sięgnąć do artykułu „Gwiazdy kuliste, gwiazdy płaskie, gwiazdy z dziurą” Bohdana Paczyńskiego w numerze 2/1980 *Delfy*.

Podsumujmy na koniec, według domniemanego „stanu na dziś” hierarchię energetyczną aktywności, czasy elektromagnetycznego brylowania (czasy życia) jej kosztem i równoważną utratę masy spoczynkowej „obiektów nie z tego świata” (M. Zeilik: *The Evolving Universe*).

Obiekt	Moc promieniowania (waty)	Zakres widma	Czas życia (lata)	Produkcja energii globalnie (dżule)	Równoważna utrata masy spoczynkowej (kilogramy)
Supernowa	$10^{35} - 10^{37}$	optyczny	0,2	10^{43}	10^{26}
Jądro Drogi Mlecznej	10^{30} 10^{34}	X podczerwień	10^4 10^8	10^{41} 10^{51}	10^{34}
Galaktyki aktywne	10^{33} 10^{38} 10^{38}	γ optyczny podczerwień	10^8	10^{54}	10^{37}
Kwazary	10^{39} 10^{42} 10^{40}	optyczny podczerwień radiowy	10^6	10^{56}	10^{39}

Przypomnijmy, że $1 M_{\odot} = 2 \times 10^{30}$ kg.

Dzień dobry, kłania się Wam magister Pirożyński. Nareszcie. Tak, tak, i matematycy zączynają dbać o swoje interesy. Dostałem niedawno nowy numer *Journal of Recreational Mathematics* i znalazłem coś, co mnie bardzo ucieszyło: drobny artykuł (autor nazywa się D. R. Kaprekar) o liczbach Harshad. Harshad znaczy w sanskrycie *dający radość*. Autor artykułiku zajmuje się tymi liczbami od co najmniej kilkunastu lat. Są to liczby podzielne przez sumę swoich cyfr. Niektóre z nich widzimy w tabelce poniżej

suma cyfr	7	11	12	13	15	16	17	19	41
	7	209	48	247	195	448	476	874	177899
	70	308	84	364	285	484	629	1729	
	133	407	156	481		592	782		

Zauważamy wśród nich „liczbę Ramanujana” 1729, liczbą Harshad jest też 6174, o której pisaliśmy w nr 9/1980, a także palindromiczna 8009003009008.

Artykuł w JRM jest krótki i dobrze. Bo nie o to chodzi, żeby był długi. Kończy się bowiem tak: Serię swoich prac na temat liczb dających radość wyśle ci D. R. Kaprekar. Tamże inne interesujące odkrycia autora. Wyślij zamówienie i \$ 10.00.

W nadziei, że kolega odpali trochę zielonych za reklamę w poczytnej *Delfie*, podaję Wam, drodzy Czytelnicy, adres: D. R. Kaprekar, 311 Devlali Camp, India 422401.

Nareszcie!