

Prosto z nieba: Ewolucja kilonowej

W sierpniu 2017 roku zespoły LIGO i Virgo wykryły nadchodzący z pobliskiej galaktyki NGC 4993 sygnał, nazwany później GW170817: potężną falą grawitacyjną powstałą podczas połączenia się gwiazd neutronowych w relatywistycznym układzie podwójnym. Oprócz fal grawitacyjnych zaobserwowano, pochodzące z tego samego źródła, promienie γ , X, UV, światło widzialne, podczerwone oraz fale radiowe. Zaobserwowany przez satelity Fermi i INTEGRAL w tym samym momencie krótki błysk γ (GRB 170817A) dowodzi niezbicie, że tego typu zjawiska powstają na skutek zderzeń zwartych, gęstych obiektów. Błysk był niezwykle słaby, co może oznaczać, że główne źródło promieniowania – dżet γ – obserwowaliśmy pod niezaniechanym kątem.

Naturalnie, od razu po odebraniu GW170817 wszystkie teleskopy świata zostały skierowane na NGC 4993: detekcja fal grawitacyjnych to jedno, ale elektromagnetyczna obserwacja pozostałości – chmury gęstej materii z wnętrza gwiazd neutronowych, świecącej dzięki radioaktywnym procesom w różnych długościach fal przez dni, miesiące, a nawet lata – może dostarczyć dodatkowych, unikalnych informacji o tym, co działo się od razu po zderzeniu. Dodatkowo sygnał optyczny zawiera nieco inne informacje o źródle niż, na przykład, fale radiowe.

Początkowo obserwowano głównie promieniowanie widzialne i podczerwone. Dwa dni po zderzeniu obserwatorium rentgenowskie Chandra nie wykryło składnika rentgenowskiego. Promienie X pojawiły się ostatecznie około 9 dni po wybuchu. To późne wyjaśnienie w twardym promieniowaniu jest dość nietypowe: zamiast niego standardowe poświaty po błyskach γ wykazują raczej pociemnienie. Ze względu na Słońce, znajdujące się zbyt blisko źródła na niebie, kolejne obserwacje były niemożliwe aż do grudnia 2017 roku. Dane zebrane 109 dni po błysku przyniosły jednak prawdziwą rewelację: strumień rentgenowski znacząco wzrósł (około czterokrotnie) w porównaniu do początkowego. Taki sam rosnący trend obserwowano do pewnego czasu w radio – załamanie się nastąpiło w 200 dni po GW170817, a rentgenowskiego nieco później*. Około 250 dni po zderzeniu kilonowa osiągnęła maksymalną jasność w promieniowaniu X. Taka ewolucja czasowa jest dowodem dyskryminującym model „kokonu”, który przewiduje dużo późniejszą zmianę trendu. Jeśli obecna ewolucja się utrzyma, kilonowa będzie widoczna przez kolejne dwa lata, a długotrwałe obserwacje pozwolą na dokładniejsze określenie struktury dżetu.

* K.D. Alexander i in., A Decline in the X-ray through Radio Emission from GW170817 Continues to Support an Off-Axis Structured Jet, arXiv:1805.02870

Michał BEJGER

Niebo w listopadzie

W zeszłym miesiącu Słońce wędrowało tylko przez gwiazdozbiór Panny, by w listopadzie odwiedzić aż trzy gwiazdozbiory: pierwsze trzy tygodnie miesiąca Słońce spędza w Wadze, następne kilka dni – w Skorpionie (w tym gwiazdozbiórze przebywa najkrócej, zaledwie niecały tydzień), a 30 listopada wejdzie do gwiazdozbioru Wężownika, w którym będzie gościł prawie do końca drugiej dekady grudnia. Okres od końca listopada do końca stycznia odznacza się najkrótszymi dniami i najdłuższymi nocami w ciągu roku. 21 listopada Słońce przekroczy równoleżnik -20° deklinacji w drodze na południe i dopiero 21 stycznia ponownie przekroczy tę linię, tym razem w drodze na północ. W tym czasie jego wysokość w południe zmieni się tylko o 3,5 stopnia, z kulminacją 21 grudnia, w dniu przesilenia zimowego.

Październik skończył się ostatnią kwadrą Księżyca, zatem w listopadzie blask Srebrnego Globu nie przeszkodzi w obserwacjach w pierwszej połowie miesiąca. 7 listopada tuż po 17 polskiego czasu Księżyc przejdzie przez now i (tak samo, jak w październiku) przed nowiem jego widoczność będzie bardzo dobra, natomiast po nowiu trzeba odczekać kilka dni, aż wzniesie się on wyżej.

Modele dżetów brane pod uwagę:

1. *dżet jednolity* (top-hat model), widziany pod kątem do jego osi. Krzywe zmiany blasku już teraz wykluczają taki model, ponieważ wyjaśnienie zachodzi za wolno.
2. Dżet o wewnętrznej strukturze, widziany pod kątem. Dzięki temu po przebiciu się dżetu przez zasłaniający go początkowo materiał obserwuje się stopniowo jaśniejącą poświatę pochodzącą z coraz bardziej relatywistycznego materiału bliżej osi dżetu.
3. Poświata wywoływana świeceniem rozrzuconego radioaktywnego materiału. Świecenie i wyjaśnienie pochodzi z rozszerzającej się otoczki (kokonu).



I kwadra przypada 15 listopada, pełnia – 23 listopada, zaś ostatnia kwadra – 30 listopada. W okolicach nowiu i pełni naturalny satelita Ziemi znajdzie się daleko od ekliptyki, stąd tym razem do zaćmień nie dojdzie. 2 listopada Srebrny Glob w fazie 33% zbliży się do Regulusa, najjaśniejszej gwiazdy Lwa, na odległość $1,5^\circ$. Dwa dni później w odległości 3° Księżyc minie Porrimę, mając tarczę oświetloną w 14%, a kolejne dwa dni później, w fazie zaledwie 3% przejdzie 7° od Spiki, najjaśniejszej gwiazdy Panny i jednocześnie $8,5^\circ$ od powracającej na niebo poranne po październikowym spotkaniu ze Słońcem planety Wenus. Tego ranka do nowiu zabraknie Księżycowi zaledwie około 34 godzin, ale jego cienki sierp powinien być dobrze widoczny, gdyż na godzinę przed świtem zdąży się wzniesić na prawie 8° . O tej samej porze Spica zajmie pozycję na wysokości 6° , a Wenus – zaledwie 2° . Cały ten okres jest dobrą okazją na podziwianie tzw. światła popielatego Księżyca, czyli jego nocnej części, oświetlonej światłem odbitym od Ziemi. Warto tutaj pamiętać, że Ziemia ma prawie 4-krotnie większą średnicę od Srebrnego Globu, a dodatkowo odbija w przestrzeń o wiele więcej światła słonecznego, zatem na księżycowym niebie świeci zdecydowanie jaśniej. Im bliżej nowiu, tym światło popielate jest intensywniejsze, w czym pomaga węższy i słabiej świecący sierp naturalnego satelity Ziemi.

Planeta Wenus 26 października przeszła przez koniunkcję dolną, czyli między Ziemią a Słońcem i przeniosła się na niebo poranne. Dzięki korzystnemu nachyleniu ekliptyki do widnokregu planeta wyłoni się z zorzy porannej już właśnie pod koniec pierwszego tygodnia listopada, niecałe 2 tygodnie po koniunkcji. Warto obserwować Wenus w tym początkowym okresie, gdyż wtedy, dzięki jej bliskości, już nawet w lornetkach da się dostrzec wyraźny sierp planety, który pokaże średnicę około $1'$ i fazę 5%. Wenus zdąży 6 listopada zbliżyć się do Spiki na 4° , ale potem wykona fragment pętli na niebie, zmieniając ruch z wstecznego na prosty i 15 listopada minie Spikę w odległości zaledwie $75'$, by do końca miesiąca oddalić się od niej na 6° . W trakcie miesiąca blask planety zmieni się z $-4,3^m$ do $-4,7^m$, średnica tarczy spadnie z 58 do $41''$, zaś faza urośnie z 5 do 26% .

Wieczorem można obserwować cztery planety Układu Słonecznego: dwie widoczne gołym okiem (Saturn i Mars) oraz dwie, do których obserwacji potrzebna jest przynajmniej lornetka (Neptun i Uran). Jowisz szykuje się do spotkania ze Słońcem 26 listopada i ginie już w zorzy wieczornej. Podobnie jak Merkury, który mimo osiągnięcia 6 listopada swojej maksymalnej elongacji wschodniej, wynoszącej 23° , zajdzie niewiele ponad 0,5 godziny po Słońcu. Z pozostałych planet pierwszy z nieboskłonu zniknie Saturn, który widoczny będzie tylko w pierwszej części miesiąca, zajmując na początku nocy astronomicznej pozycję na wysokości zaledwie małych kilku stopni, zatem nie można liczyć na wiele więcej niż wzrokowe stwierdzenie obecności Saturna tam, gdzie powinien być. W listopadzie jego jasność spadnie

do $+0,6^m$, a średnica – do $16''$. 11 listopada niecałe $40'$ na północ od Saturna przejdzie Księżyc w fazie 16%.

Dużo lepsze warunki obserwacyjne będą dla planety Mars, która na początku nocy astronomicznej jest jeszcze przed górowaniem. 2 listopada Mars przejdzie $20'$ na północ od Nashiry, a 3 dni później – $30'$ od Deneba Algiedi, dwóch jasnych gwiazd z północno-wschodniej części Koziorożca. 11 listopada planeta wejdzie do gwiazdozbioru Wodnika i 3 dni później minie w odległości $26'$ gwiazdę 4. wielkości ι Aqr. 15 i 16 listopada Mars spotka się z Księżycem, w fazie 50 i 60% w odległości około 6° . Pierwszego z wymienionych dni Srebrny Glob minie Deneba Algiedi w odległości $20'$. W trakcie miesiąca jasność Marsa spadnie z $-0,6^m$ do 0^m , a tarcza skurczy się z 12 do $9''$.

Siądma i ósma planeta od Słońca będą widoczne przez większą część nocy. Obie poruszają się ruchem wstecznym, lecz Neptun 25 listopada zmieni kierunek ruchu na prosty. Planeta dokona zwrotu $25'$ na południowy zachód od gwiazdy 6. wielkości 81 Aqr, sama świecąc blaskiem $+7,9^m$. Uran zbliży się do granicy Barana z Rybami, do których wejdzie ponownie na początku grudnia na trzy miesiące, aby pożegnać się z nimi na 75 lat, aż do 2093 r. Ta planeta jest o ponad 2^m jaśniejsza od Neptuna i na ciemnym niebie można próbować dostrzec ją gołym okiem. Pod koniec miesiąca Uran zbliży się do gwiazdy σ Psc na odległość $1,5^\circ$. Księżyc spotka się z Neptunem 17 listopada przy fazie 69%, zbliżając się do niego na 6° . Trzy dni później Srebrny Glob dotrze do Urana, mijając go również w odległości 6° . Do tego dnia oświetlenie księżycowej tarczy urośnie do 92%.

Co roku w listopadzie promieniają meteory ze słynnego roju Leonidów. Są to bardzo szybkie meteory, ich prędkość zderzenia z atmosferą wynosi 71 km/s, stąd często po nich zostają smugi dymu, które łatwo uwiecznić na naświetlanych kilkanaście sekund zdjęciach. Tegoroczne maksimum ich aktywności przewiduje się 19 listopada tuż po północy polskiego czasu. Można się wtedy spodziewać około 20 meteorów na godzinę. W obserwacjach początkowo przeszkodzi Księżyc w fazie 80%, ale zajdzie on około godz. 3 i przez ponad 3 godziny niebo będzie zupełnie ciemne.

W listopadzie można już zacząć szukać komety 46P/Wirtanen. Jest to kometa okresowa, której rok trwa prawie 5,5 roku ziemskiego. 12 grudnia kometa przejdzie przez peryhelium, 17 grudnia zaś zbliży się do Ziemi na $11,6$ mln km. Może wtedy osiągnąć jasność nawet $+4^m$, albo i większą, będąc prawdziwą ozdobą nocnego nieba. W grudniu kometa przemierzy na niebie odcinek ponad 90° . Jednak zanim to nastąpi, kometa w listopadzie zakreśli kawałek pętli na tle gwiazdozbiorów Pieca i Wieloryba, wędrując początkowo bardzo nisko nad widnokregiem i zwiększając jasność z $+7$ do $+5^m$. Można ją wtedy próbować dostrzec przez teleskop, kierując go 15 – 10° na południowy wschód od gwiazdy τ Ceti.

Ariel MAJCHER

Chłód ciemnej materii

Każdy fizyk-turysta wie, że igła magnesu wskazuje kierunek północny, gdyż jest ona dipolem magnetycznym, który oddziałuje z polem magnetycznym Ziemi. Analogiczne efekty mają także miejsce dla znacznie mniejszych układów opisywanych fizyką kwantową. Na poziomie pojedynczych atomów moment magnetyczny jąder atomowych oddziałuje z polem elektromagnetycznym wytwarzanym przez elektrony oraz z momentami magnetycznymi elektronów, w wyniku czego powstaje wiele poziomów energetycznych bardzo niewiele różniących się energią, nazywanych strukturą nadsubtelną widma energetycznego. W przypadku atomu wodoru promieniowanie odpowiadające przejściu między takimi dwoma poziomami należy do zakresu mikrofalowego i ma częstotliwość 1420 MHz oraz długość fali 21 cm. Prawdopodobieństwo emisji takiego promieniowania jest niezwykle małe – stan wzbudzony żyje około 10 mln lat. Powoduje to, że niełatwo badać takie przejścia w laboratorium.

Badanie emisji i absorpcji promieniowania związanego ze strukturą nadsubtelną atomu wodoru ma wielkie znaczenie w astrofizyce i kosmologii. Pierwsza detekcja miała miejsce w roku 1951 i została dokonana przez Harolda Ewena i Edwarda Purcella. Już kilka lat później badania natężenia tego promieniowania pozwoliły na zbadanie rozkładu materii w naszej Galaktyce i jednoznaczne określenie, że Droga Mleczna jest galaktyką spiralną oraz zmierzenie prędkości obiegu materii galaktycznej wokół centrum. Pomiar natężenia tego promieniowania może również pozwolić na wyznaczenie rozkładu materii w całym obserwowalnym wszechświecie, również w nieprzezroczystych obłokach gazowych, a przez to lepsze zrozumienie, skąd ta materia się wzięła i jak ewoluowała.

Niedawno Judd Bowman ze współpracownikami donieśli o zaobserwowaniu takiego promieniowania pochodzącego z odległych galaktyk i wyemitowanego w czasach, kiedy powstawały pierwsze gwiazdy. Na tej podstawie można było wyznaczyć temperaturę gazu, który oddziaływał z tym promieniowaniem. Ku zaskoczeniu badaczy okazało się, że kosmiczny wodór nie tylko był bardzo zimny, zimniejszy niż wypełniające wszechświat mikrofalowe promieniowanie tła, ale jeszcze tej różnicy temperatur nie dało się wyjaśnić żadną znaną fizyką.

Istnieje wiele mechanizmów podgrzewania kosmicznego gazu, ale jego chłodzenie wymaga oddziaływania z materią, która jest od niego zimniejsza. Czym mogła być tego rodzaju materia? Kosmologowie mają na to w zanadru gotową odpowiedź – to tzw. zimna ciemna materia, złożona z nieodkrytych jeszcze w laboratorium i stosunkowo ciężkich cząstek, która na tym etapie ewolucji wszechświata oddziałuje z pozostałymi jego składnikami przede wszystkim za pomocą oddziaływań grawitacyjnych.

Możliwe są jednak niezwiązane z grawitacją bardzo słabe oddziaływania ciemnej materii z tą widzialną. Prawdopodobieństwo takiego oddziaływania może zależeć od temperatury, a dokładniej od względnej prędkości między barionem a cząsteczką ciemnej materii, którą rozprasza – im mniejsza jest ta prędkość, tym oddziaływanie bardziej prawdopodobne. Okres tworzenia pierwszych gwiazd zapewnia wyjątkowe warunki fizyczne, które nie występowały w innych chwilach ewolucji wszechświata. W szczególności, w tym czasie gaz kosmiczny jest najzimniejszy – wcześniej był gorętszy, bo stygnął w miarę rozszerzania się wszechświata, a później był podgrzewany za pomocą promieniowania rentgenowskiego i innego promieniowania ciepłego

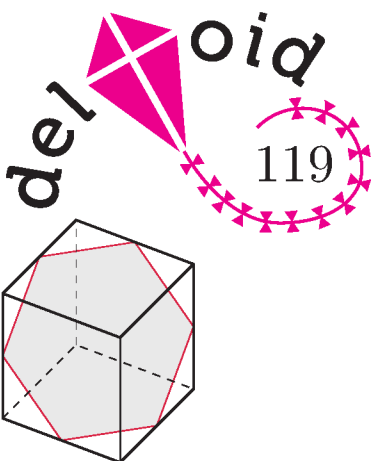
z obiektów astrofizycznych. Oznacza to, że prędkości atomów gazu są w tym czasie najmniejsze.

Modelowanie sygnału otrzymanego przez Bowmana i współpracowników wskazuje na to, że cząstki tworzące zimną ciemną materię powinny mieć masę rzędu masy protonu, a siła ich oddziaływań ze znaną materią, tłumacząca skuteczne chłodzenie, pozostaje w zgodzie ze znanymi ograniczeniami fizycznymi.

Czy oznacza to, że (znowu) odkryto ciemną materię? Na takie stwierdzenie jest jeszcze za wcześnie, zwłaszcza że możliwa obecność ciemnej materii jest tu stwierdzana tylko pośrednio. Jednak badanie w skali kosmicznej promieniowania pochodzącego z przejść między poziomami struktury nadsubtelnej atomu wodoru jest jeszcze w powijakach, można zatem sądzić, że kolejne obserwacje i pomiary przyniosą jeszcze bardziej interesujące wyniki.

- [1] J.D. Bowman, A.E.E. Rogers, R.A. Monsalve, T.J. Mozdzen, N. Mahesh, An absorption profile centered at 78 megahertz in the sky-averaged spectrum, *Nature* 555 (2018) 67–70
- [2] R. Barkana, Possible interaction between baryons and dark-matter particles revealed by the first stars, *Nature* 555 (2018) 71–74

Krzysztof TURZYŃSKI

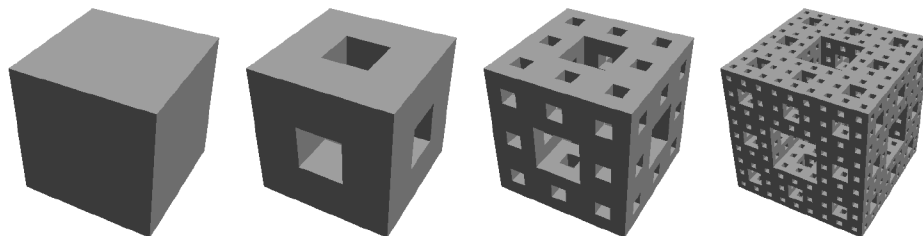


Rys. 1. Sześciokątny przekrój sześcianu

Kroimy kostkę

Joanna JASZUŃSKA

Podzielmy kostkę na 27 przystających sześcianów (jak w kostce Rubika), a następnie wyrzucmy 7 z nich: ten ze środka oraz środkowy na każdej ze ścian. W kolejnych krokach konstrukcji powtarzamy powyższą operację dla każdego z pozostałych mniejszych sześcianów (rys. 2).

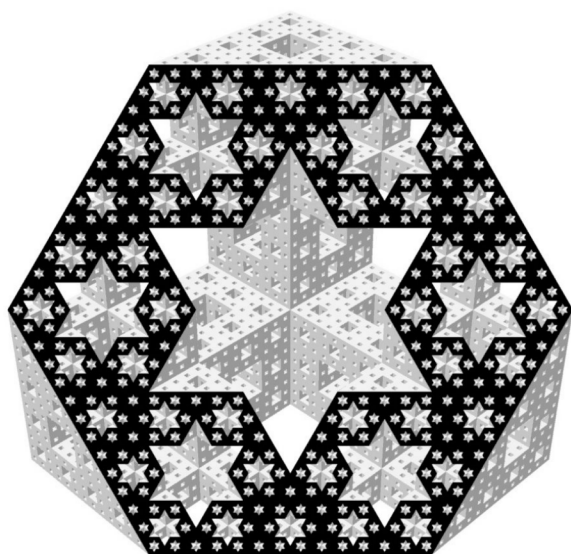


Rys. 2. Trzy początkowe kroki konstrukcji kostki Menger (Wikimedia Commons, autor: Mattcomm)

Po nieskończenie wielu takich krokach otrzymalibyśmy *kostkę Menger* – fraktal o zerowej objętości, nieskończonej powierzchni i innych ciekawych własnościach. Zatrzymajmy się jednak po czwartym kroku konstrukcji.

Sześcian można przeciąć płaszczyzną prostopadłą do głównej przekątnej i przechodzącą przez środki niektórych jego krawędzi, w przekroju uzyskując sześciokąt foremny (rys. 1, oznaczmy płaszczyznę cięcia przez π).

Jaki jest kształt i układ dziur na takim sześciokątym przekroju czwartego kroku konstrukcji kostki Menger?

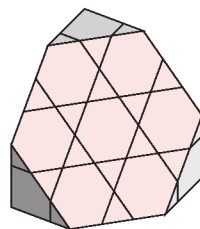


Rys. 3. (Wikimedia Commons, autor: Cmglee)

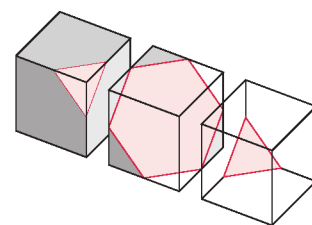
Odpowiedź widać na rysunku 3. Uzasadnimy dwoma sposobami, że w pierwszym kroku konstrukcji na środku przekroju otrzymujemy dziurę w kształcie gwiazdki.

Sposób I. Przekrójmy płaszczyzną π (jak na rysunku 1) cały sześcian podzielony na 27 mniejszych kostek. Zarówno środkowa kostka, jak i kostki przy środkach krawędzi, przez które przechodzi płaszczyzna π , przecięte są w taki sam sposób jak całość, w przekroju uzyskujemy więc siedem odpowiednio mniejszych sześciokątów foremnych (rys. 4).

Płaszczyzna π przecina też 12 innych małych kostek, przechodząc w każdej z nich przez środki trzech krawędzi o wspólnym wierzchołku. Takie przekroje są trójkątami równobocznymi (rys. 5).



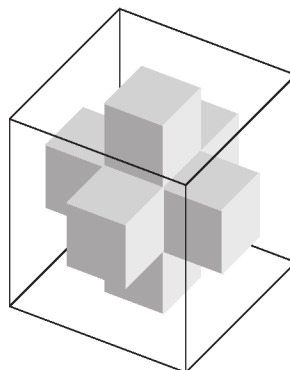
Rys. 4



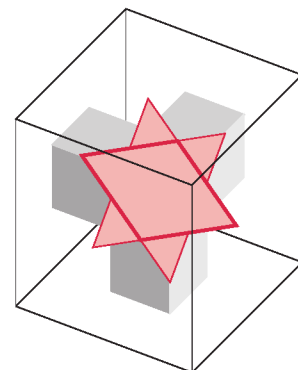
Rys. 5. Przekroje małych kostek

Sześciany usunięte w pierwszym kroku konstrukcji kostki Menger składają się na sześciokąt na środku przekroju i sześć przylegających do niego trójkątów, co w sumie daje właśnie sześcioramienną gwiazdkę. W kolejnym kroku konstrukcji analogiczne mniejsze gwiazdki wycinane są z pozostałych sześciu sześciokątów z przekroju z rysunku 4, co tłumaczy także układ dziur widocznych na rysunku 3.

Sposób II. Pierwszy krok konstrukcji kostki Menger można inaczej opisać jako wydrążenie w sześcianie trzech tuneli wyznaczonych przez kwadraty na środkach przeciwległych ścian (rys. 6).



Rys. 6



Rys. 7

Przekrój płaszczyzną π każdego z tych tuneli to romb o kątach 60° i 120° (na rys. 5 na taki romb składają się dwa trójkąty i sześciokąt). Środkowa dziura-gwiazdka z rysunku 3 powstaje z trzech takich rombów (rys. 7).