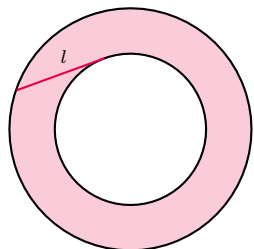
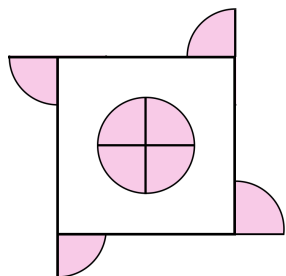


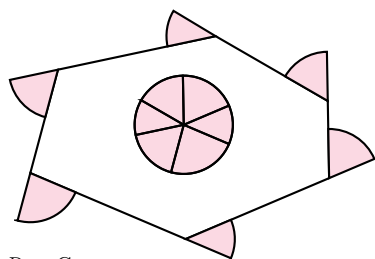
*Ten i kilka innych ciekawych przypadków omówiono w książce Stana Wagona *Mathematica In Action: Problem Solving Through Visualization and Computation* oraz w artykule *Tractrices, Bicycle Tire Tracks, Hatchet Planimeters, and a 100-year-old Conjecture*, którego autorami są Robert Foot, Mark Levi i Serge Tabachnikov.



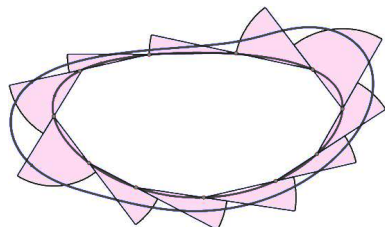
Rys. A



Rys. B



Rys. C



Rys. D

Miejmy nadzieję, że uda się go jeszcze złapać!

Kiedy już udało nam się pojmać złodzieja i ocalić skradzione łupy, przepełnieni dumą i euforią uświadomiamy sobie, że pomimo naszych niewątpliwych zasług, w postaci chłodnego osądu i błyskawicznej dedukcji, również mieliśmy trochę szczęścia.

Dociekliwy Czytelnik zauważył na pewno, że gdyby złodziej uciekał, jadąc idealnie przed siebie, jego ślad byłby jedną prostą linią, i moglibyśmy tylko zgadywać, w którą stronę odjechał. Podobnie niemożliwym byłoby określenie kierunku jazdy w przypadku śladów idealnie okrągłych (choć trudno wyobrazić sobie złodzieja jeżdżącego w kółko w pobliżu miejsca zbrodni).

Czy są to jedyne dwa przypadki, w których niemożliwe jest stwierdzenie kierunku jazdy? Czy możliwe, żeby para gładkich krzywych miała tę właściwość, że każda linia styczna do jednej krzywej zawsze przecina drugą krzywą w dwóch miejscach, z dodatkowym warunkiem utrzymania stałej odległości po obu stronach punktu styku wzdłuż linii stycznej? Czy każda z krzywych musi mieć wtedy stałą krzywiznę?*

Na koniec wróćmy jeszcze na chwilę do rowerzysty jeżdżącego w kółko (rys. A). Patrząc na powstałe ślady, aż się prosi, żeby policzyć powierzchnię między nimi, a następnie rozszerzyć rozważania o dowolne krzywe. Czytelnik z Podzielną Uwagą na pewno policzył w międzyczasie, że w przypadku śladów okrągłych ta powierzchnia wynosi πl^2 , gdzie l to długość roweru. Jak to będzie w przypadku innych krzywych? (Dla uściślenia, mówimy teraz tylko o krzywych zamkniętych.)

Zacznijmy od prostego przypadku. Wyobraźmy sobie, że jeździmy „w kółko” po kwadracie, w taki sposób, że jak tylne koło dojedzie do jego wierzchołka, to obracamy się na nim o 90° i jedziemy dalej przed siebie. Wtedy przednie koło na zakrętach zakreśli łuki jak na rysunku B, a powierzchnia między śladami zsumuje się również do πl^2 . Jeśli będziemy poruszać się po dowolnej wypukłej wielokątnej ścieżce (co przedstawione jest na rys. C), to obszar między śladami przedniego koła i tylnego koła składa się z wycinków koła o promieniu l . Ponieważ zewnętrzne kąty wielokąta foremnego sumują się do 360° , wycinki te idealnie do siebie pasują, tworząc jedno pełne koło. Zatem obszar między śladami kół przedniego i tylnego dla rowerzysty jadącego po wypukłej wielokątnej ścieżce wynosi πl^2 .

Idąc za ciosem, możemy uzyskiwać coraz lepsze przybliżenia obszaru między śladami – używając do przybliżania śladu tylnego koła wielokąta o coraz większej liczbie coraz krótszych boków (rys. D) – i przekonać się, że obszar pomiędzy dowolnymi zamkniętymi ścieżkami również wynosi πl^2 . I to wszystko bez względu na długość ścieżek! Ciekawe, jak to będzie w przypadku ścieżki wklęsłej...?

Język Wszechświata

Suhani GUPTA*

* Centrum Fizyki Teoretycznej Polskiej Akademii Nauk

Trudno jest spoglądając na nocne niebo, nie zachwycić się pięknem ogromu nad naszymi głowami – od migoczących gwiazd, poprzez planety, aż po iskrzący się Księżyc i okazjonalne pokazy meteorów. Spojrzenie na niebo zawsze skłania do zastanowienia się nad naszym miejscem we Wszechświecie i nad tym, że jesteśmy maleńką częścią tego wielkiego kosmicznego oceanu. Kosmologia – dziedzina astronomii, która zajmuje się pytaniami związanymi z narodzinami, ewolucją i ostatecznym losem naszego Wszechświata – jest jednym z najstarszych kierunków myśli człowieka. Nie jest to zaskakujące, ponieważ nocne niebo było obserwowane od niepamiętnych czasów i zawsze zachęcało do zastanawiania się nad jego rozległością. Od czasów starożytnych Greków przez średniowiecze aż po współczesną naukę kosmologia przeszła długą drogę od nauki fenomenologicznej – pozbawionej danych i ograniczonej do myśli i wyobraźni – do precyzyjnej nauki ilościowej i *big-data*, w której przeprowadzamy eksperymenty i obserwacje, aby przetestować nasze teorie i przewidywania. A to stało się możliwe dzięki szybkiemu rozwojowi tej dziedziny w ubiegłym wieku.

Wszechświatem rządzą cztery różne rodzaje oddziaływań: elektromagnetyczne, silne, słabe i grawitacyjne. Oddziaływania silne i słabe mają krótki zasięg i dominują w skali rozmiaru jąder atomowych. Elektromagnetyczne i grawitacyjne są oddziaływaniami dalekozasięgowymi. Siły elektromagnetyczne znoszą się w dużych skalach z powodu neutralności ładunkowej we Wszechświecie (liczby ładunków ujemnych i dodatnich zawartych w dużych objętościach są praktycznie takie same). Grawitacja, która różni się najbardziej od pozostałych trzech sił, dominuje w dużych skalach, kieruje dynamiką galaktyk i gromad galaktyk, ich powstawaniem i ewolucją, co z kolei znajduje zastosowanie w tworzeniu podstaw kosmologii. Dlatego też to grawitacja może zostać uznana za język naszego Wszechświata jako całości.

Grawitacja jest jednym z najbardziej fascynujących, a jednocześnie intuicyjnych zjawisk fizycznych. Jest niezbędna, ponieważ istnieje, jeśli cokolwiek istnieje: działa pomiędzy wszystkimi i wszystkim i elegancko łączy nas z naszym kosmosem, dominując w kosmicznym baletcie planet, gwiazd, galaktyk, gromad galaktyk itd.

Na scenie przygotowanej przez prace Galileusza nad prawami grawitacji i ruchu Sir Izaak Newton jako pierwszy zaproponował, że te same prawa fizyczne rządzą dynamiką jabłka spadającego na ziemię, Księżycą krążącego wokół Ziemi, jak również planet krążących wokół Słońca. Teoria Newtona nie tylko pomogła nam zrozumieć prawa ruchu, ale także ugruntowała kopernikańską zasadę, że nie ma żadnego szczególnego miejsca we Wszechświecie i wszyscy podlegamy tym samym prawom fizycznym niezależnie od naszego położenia. Prace Newtona uutorowały również drogę do podjęcia próby zrozumienia dynamiki przestrzeni kosmicznej, a tym samym spojrzenia poza naszą kuleczkę i zrozumienia obszarów do tej pory nieosiągalnych dla człowieka. Musiało jednak minąć jeszcze ponad 200 lat, abyśmy uświadomili sobie ogrom całego Wszechświata. Oprócz zastosowań w większości codziennych czynności, a także w misjach lotniczych i kosmicznych teoria Newtona stała się podstawą astronomii i doprowadziła do odkrycia planety Neptun. Prace Newtona były również wystarczające do wykonania gigantycznego skoku ludzkości, jakim była podróż na Księżyc i z powrotem.

Teorię grawitacji Newtona prześladuje jednak pewien problem określany mianem *upiornego działania na odległość*: w teorii tej siła przyciągania grawitacyjnego odczuwana przez odległy obiekt zmienia się natychmiast (bez żadnego opóźnienia), kiedy zmieniają się własności (np. położenie) źródła przyciągania. Ponadto w tym paradygmacie przestrzeń i czas są rozdzielonymi, absolutnymi i niezmiennymi bytami: przestrzeń jest odrębna od ciał znajdujących się w niej, a czas płynie jednostajnie bez względu na to, co dzieje się w świecie.

Jednak, zgodnie z teorią Alberta Einsteina, przestrzeń i czas stanowią jeden byt zwany czasoprzestrzenią, która nie jest niezmienna, lecz dynamiczna: może się zaginać, kurczyć lub rozciągać, a jej zmienność

zależy od obecności materii. Według Einsteina materia rządzi geometrią czasoprzestrzeni, a czasoprzestrzeń rządzi dynamiką materii w niej zawartej. W 1915 roku zaproponował on elegancką ogólną teorię względności, według której grawitacja nie jest siłą, lecz jest wynikiem zakrzywienia czasoprzestrzeni. To właśnie ta krzywizna powoduje, że Księżyc porusza się w czasoprzestrzeni ugiętej przez masę Ziemi, satelita krąży wokół planety, a w ogólności planety wokół gwiazd, gwiazdy wokół centrów galaktyk i tak dalej. Teoria grawitacji Newtona jest szczególnym przypadkiem teorii Einsteina w słabej grawitacji i działa świetnie na Ziemi lub w Układzie Słonecznym. Jednak prawdziwe zastosowanie ogólna teoria względności znajduje w badaniach egzotycznych obiektów, najgęstszych we Wszechświecie, takich jak czarne dziury lub gwiazdy neutronowe, które bardzo mocno zaginają otaczającą czasoprzestrzeń. Również Globalny System Pozycjonowania (*Global Positioning System*, GPS), który ratuje nas przed zgubieniem się w nieznanym terenie, działa dzięki uwzględnieniu poprawek teorii względności. Jak więc widać, teoria względności ma konsekwencje w naszym codziennym życiu, ale jej prawdziwą głębię doceniamy podczas studiowania zjawisk fizycznych zachodzących w przestrzeni kosmicznej.

Teorię Einsteina można przedstawić w postaci poniższego, niezwykle prostego i eleganckiego, równania:

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = -\frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}.$$

Człony po lewej stronie znaku równości opisują krzywiznę czasoprzestrzeni, natomiast prawa strona równania przedstawia zachowanie się i rozkład materii we Wszechświecie. Równanie Einsteina łączy te dwa światy, co zostało świetnie podsumowane przez Johna A. Wheelera: *Space-time tells matter how to move; matter tells space-time how to curve.* (Czasoprzestrzeń mówi materii, jak się poruszać; materia mówi czasoprzestrzeni, jak się zaginać.)

Nawet teraz, po ponad stu latach od powstania, teoria względności wytrzymuje próbę czasu i zdaje celująco wszystkie przeprowadzane testy – zarówno w zakresie słabej grawitacji, jak w Układzie Słonecznym (np. wytłumaczenie precesji orbity Merkurego, soczewkowanie grawitacyjne, grawitacyjne opóźnienie czasu), jak też w zakresie silnego pola: w przypadku czarnych dziur i gwiazd neutronowych (np. kinematyka pulsarów podwójnych, detekcja fal grawitacyjnych, precesja Schwarzschilda w pobliżu centrum Drogi Mlecznej, obserwacja cienia czarnej dziury w galaktyce M87). Ponadto przewidywania teorii dotyczące wczesnego Wszechświata oraz powstawania i ewolucji struktur wielkoskalowych zostały wzmocnione przez wyniki różnych badań obserwacyjnych prowadzonych na przestrzeni lat.

Biorąc pod uwagę teorię względności jako podstawę dziedziny kosmologii, stosujemy się do podstaw

tworzących model standardowy kosmologii, które zostały potwierdzone przez wiele różnych obserwacji.

Zgodnie z modelem standardowym nasz Wszechświat, wszystko co znamy, a nawet czas, powstały około 13,8 miliarda lat temu w zjawisku określanym jako Wielki Wybuch. Wczesny Wszechświat był niezwykle gorący i gęsty. W miarę upływu czasu ochładzał się, rozszerzał i stawał się coraz mniej gęsty. Ze względu na bardzo wysoką temperaturę i energię na początku istniały tylko cząstki elementarne. Wraz z upływem czasu i zmieniającymi się warunkami cząstki elementarne nie mogły istnieć swobodnie i zaczęły się łączyć, tworząc składniki jąder atomowych, a potem jądra i atomy, a w końcu gwiazdy, skomplikowane cząsteczki chemiczne, planety, galaktyki – czyli Wszechświat, jaki znamy dzisiaj.

Cała materia, którą bezpośrednio obserwujemy, od atomów po galaktyki, składa się z czegoś, co nazywamy barionami. Stanowi ona tylko 5% całej szacowanej przez kosmologów zawartości Wszechświata. Większość materii jest *ciemna*, tzn. nie oddziałuje ze światłem. Jest jej prawie 5 razy więcej niż zwykłej (barionowej) materii, która oddziałuje z fotonami. Skąd więc – biorąc pod uwagę brak bezpośrednich obserwacji lub eksperymentalnych detekcji – wiemy o jej istnieniu?

Polecamy artykuły Wojciecha Hellwina o historii badań nad ciemną materią, Δ_{19}^7 i Δ_{19}^8 .

Ciemna materia oddziałuje grawitacyjnie ze zwykłą materią, zapewniając m.in. stabilność struktur wielkoskalowych, co wnioskujemy z obserwacji związanych z dynamiką galaktyk i gromad galaktyk.

W czasach, kiedy Einstein tworzył teorię względności, dominował pogląd, że Wszechświat jest statyczny i niezmienny: ani się nie rozszerza, ani nie kurczy. Jednak w 1929 roku Edwin Hubble, pracujący w Obserwatorium Mount Wilson w Kalifornii, odkrył, że Wszechświat rozszerza się, a dodatkowo że dalsze obiekty oddalają się od nas w znacznie większym tempie niż obiekty znajdujące się w naszym sąsiedztwie. Oznacza to, że wszystko oddala się od siebie w skalach czasowych znacznie większych niż skala ludzkiego życia. Brzmi to ekstremalnie, prawda? Ale ku naszemu zaskoczeniu to tylko wierzchołek góry lodowej!

W 1998 roku dwie niezależne grupy badawcze odkryły, że Wszechświat nie tylko się rozszerza, ale do tego rozszerzanie przyspiesza (tempo ekspansji Wszechświata rośnie z czasem). Odkrycie to wstrząsnęło całą społecznością naukową, ponieważ było ono bardzo nieintuicyjne – grawitacyjne przyciąganie oddalających się od siebie galaktyk powinno spowalniać tempo ekspansji. Zaobserwowanego przyspieszenia nie potrafiono wyjaśnić za pomocą proponowanych wtedy modeli. Standardowy model kosmologiczny został więc rozszerzony o coś, co nazywamy „ciemną energią”. Odpowiada ona za kosmologiczne przyspieszenie, a co najbardziej szokujące, stanowi prawie 68% energii zawartej w dzisiejszym Wszechświecie. Nawet

po 24 latach od tego odkrycia odpowiedź na pytanie o to, czym jest ciemna materia, pozostaje jedną z najistotniejszych tajemnic współczesnej fizyki, zarówno na froncie teoretycznym, jak i obserwacyjnym.

Nie tracimy nadziei na rozwiązanie tej zagadki. W międzyczasie powstała bowiem ogromna ilość literatury na temat modelowania i zrozumienia nieznannej fizyki związanej z różnymi procesami zachodzącymi w największych skalach. Stworzyliśmy również potężne komputery, które mogą wykonywać zadania znacznie przekraczające ludzkie możliwości. Symulacje komputerowe umożliwiły generowanie sztucznych replik naszego Wszechświata w celu badania jego rzeczywistych właściwości i modelowania jego ewolucji.

Wymagania zarówno teoretyczne, jak i numeryczne doprowadziły do zbudowania wydajnych narzędzi eksperymentalnych i obserwacyjnych, które bezpośrednio mierzą obserwowalne zjawiska związane z wieloma ważnymi procesami astrofizycznymi i kosmologicznymi. Na froncie obserwacyjnym polegamy na teleskopach działających w całym spektrum elektromagnetycznym, a także korzystamy z rozwijającej się od 6 lat astronomii fal grawitacyjnych, w której do pomiaru zjawisk astrofizycznych wykorzystujemy bezpośrednio grawitację zamiast światła. Teleskopy elektromagnetyczne są wykorzystywane we wszystkich pasmach częstotliwości do badania różnych skal długości i czasu we Wszechświecie – za pomocą teleskopów umieszczonych na Ziemi i w przestrzeni kosmicznej bada się obiekty pozaziemskie, takie jak nasz własny Układ Słoneczny: nasz Księżyc i Słońce, pobliskie planety i ich księżyce, obiekty takie, jak asteroidy, komety, meteory i inne ciała niebieskie. Przy użyciu potężnych teleskopów możliwe jest również wyjście poza Układ Słoneczny i badanie struktury oraz mierzenie odległości do pobliskich i odległych gwiazd, patrzenie na ich narodziny, cykle życiowe i śmierć; obserwowanie galaktyk, ich centrów, morfologii i dynamiki; badanie ośrodka międzygwiazdowego i międzygalaktycznego, oraz związanej z tym fizyki. Zaobserwowaliśmy podobne do Ziemi planety krążące wokół innych gwiazd, co daje nam nadzieję na wykrycie pozaziemskich form życia. Udało nam się zbadać egzotyczne obiekty, takie jak kwazary, których obserwacje są źródłem informacji o odległych zakątkach kosmosu i formowaniu się pierwszych galaktyk. Uchwyciliśmy pierwszy obraz cienia czarnej dziury znajdującej się w galaktyce oddalonej od nas o 54 miliony lat świetlnych (M87). Jedną z najwcześniejszych informacji na temat kosmosu, którą otrzymujemy za pomocą światła, jest promieniowanie z momentu, w którym Wszechświat stał się po raz pierwszy przejrzysty dla promieniowania. Jest ono określane jako kosmiczne mikrofalowe promieniowanie tła (*cosmic microwave background*, CMB). Różne kosmologiczne misje ziemskie i kosmiczne zostały zaprojektowane specjalnie do badania CMB, co ostatecznie przekształciło kosmologię z nauki jakościowej w dziedzinę precyzyjnych pomiarów o dokładności procentowej, albo i lepszej.

**Rozwiązanie zadania F 1053.**

W porównaniu z promieniem Ziemi atmosfera jest bardzo cienka – umownie przyjmuje się, że 100 km nad powierzchnią Ziemi „rozpoczyna się” Kosmos. Na tej wysokości przyspieszenie grawitacyjne wynosi około $g(6400/6500)^2 \approx 9,7 \text{ m/s}^2$. Nie popełnimy więc dużego błędu, przyjmując $g \approx 10 \text{ m/s}^2$ dla całej grubości atmosfery. Nacisk całej atmosfery na powierzchnię Ziemi równy jest w przybliżeniu ciężarowi atmosfery, tj. iloczynowi jej masy m i przyspieszenia ziemskiego g . Tym samym:

$$m \approx 4\pi R^2 p/g.$$

Po podstawieniu danych liczbowych otrzymujemy $m \approx 5,15 \cdot 10^{18} \text{ kg}$, a więc ok. $6,5 \cdot 10^8 \text{ kg}$ powietrza na jednego mieszkańca Ziemi.

O modelach Wszechświata bez ciemnej energii pisał Andrzej Krasieński w Δ_{16}^1 .

**Rozwiązanie zadania M 1718.**

Zauważmy, że

$$\begin{aligned} xyz^2 &= xyz^2 + z - z = \\ &= xyz^2 + (x^2 + y^2)z - z = \\ &= (yz + x)(zx + y) - (xy + z), \end{aligned}$$

więc xyz^2 jest liczbą wymierną na mocy warunków zadania.

Uwaga: Z warunków problemu nie wynika, że liczby x , y , z są wymierne.

Na przykład warunki te spełnia trójka

$$\text{liczb: } x = \frac{1-\sqrt{7}}{4}, y = \frac{1+\sqrt{7}}{4}, z = 1.$$

Granicom poznania poświęcony był cały numer Δ_{21}^{12} .

Astronomia fal grawitacyjnych ukazuje zupełnie inne procesy zachodzące w przestrzeni kosmicznej. Fale grawitacyjne pomagają nam „zobaczyć” najbardziej gwałtowne wydarzenia: eksplodujące gwiazdy supernowe, zderzające się czarne dziury i gwiazdy neutronowe. Ponadto mają one potencjał do zbadania bardzo wczesnego Wszechświata, w epoce wcześniejszej od CMB, co pozwoliłoby być może rozwikłać kilka zagadek, włączając tę dotyczącą pochodzenia Wszechświata. Ziemskie obserwatoria fal grawitacyjnych LIGO i Virgo otworzyły nową dziedzinę astronomii, a przyszłe misje, takie jak kosmiczne obserwatorium LISA, obejmą znacznie niższe zakresy częstotliwości, inne źródła fal grawitacyjnych i zapewne wiele egzotycznych niewykrytych do tej pory zjawisk.

Dzięki potężnym narzędziom, śmiałym pomysłom i wizjonerskim myślicielom solidny i uzupełniający się rozwój na froncie teoretycznym, numerycznym, eksperymentalnym i obserwacyjnym dąży do dalszego zrozumienia natury ciemnej materii i ciemnej energii: dwóch składników, które odpowiadają za około 95% masy-energii Wszechświata. Specjalne eksperymenty, przeprowadzane na Ziemi i w kosmosie, mają na celu zdobycie bezpośrednich dowodów na istnienie ciemnej materii, a wiele obecnych i nadchodzących badań ma za zadanie zbadanie wzrostu, ewolucji i grupowania się struktur wielkoskalowych podczas kosmicznej ewolucji, w celu lepszego określenia cech ciemnej materii oraz ciemnej energii. Już teraz mamy nadmiar danych obserwacyjnych, które nakładają solidne ograniczenia na te dwa kosmiczne byty. Z drugiej strony, proponuje się również wiele teorii alternatywnych wobec obecnej teorii grawitacji, które wyjaśniają nasz Wszechświat bez odwoływania się do ciemnej materii i ciemnej energii, ale teorie te wymagają solidnych dowodów. Jak dotychczas żadna z nich nie jest jeszcze na tyle przekonująca, by podważyć standardowy model kosmologiczny i znajdującą się u jego podstaw teorię grawitacji, czyli teorię względności Einsteina.

W przeciwieństwie do innych dziedzin nauki w astronomii i kosmologii badacze nie mogą przeprowadzać testów w laboratoriach i są ograniczeni do obserwacji: niestety nie możemy w sposób kontrolowany odtworzyć zdarzenia kosmologicznego ani wypróbować naszej teorii w innym wszechświecie. Dlatego zastanawiamy się nad tym, czy procedura udowadniania poprawności modelu w kosmologii nie powinna być przeprowadzana inaczej. Możemy mieć szczęście, jeśli wykryjemy i zaobserwujemy niektóre z naszych hipotez, a może będziemy mieli jeszcze więcej szczęścia, odkrywając zupełnie nową fizykę, która zmieni dotychczasowy tok myślenia.

Ponieważ Wszechświat ewoluje w niewyobrażalnie wielkich rozmiarach i absurdalnie długich okresach czasu, jesteśmy bardzo ograniczeni jako ludzie – te skale są poza naszym doświadczeniem i intuicyjnym zrozumieniem. Jednakże, pomimo naszych ograniczeń, dokonaliśmy znaczących postępów w dziedzinie kosmologii, a przyszłe ekspedycje dostarczą kolejnych przełomów. Odkrycie rozszerzającego się Wszechświata, CMB i przyspieszonej ekspansji Wszechświata dokonane w ostatnim stuleciu, a także sformułowanie precyzyjnego standardowego modelu kosmologicznego oraz odkrycie fal grawitacyjnych w tym stuleciu wyraźnie pokazują możliwości ludzkiego umysłu i to, jak daleko pomógł nam on przesunąć granice naszego poznania.

W ciągu ostatnich 400 lat doprowadziliśmy do powstania zasady kopernikańskiej, która uświadamia nam znikomość znanej nam rzeczywistości w porównaniu z najwspanialszym z kosmosów. Badania kosmologiczne pozwalają nam docenić, że natura była na tyle uprzejma, aby podążać za tymi samymi prawami w każdej części Wszechświata, co napędzało odkrycia naukowe w przeszłości i będzie napędzało również w przyszłości. Porywające jest także odkrycie, że materia, z której się składamy, powstała kiedyś we wnętrzach gwiazd, a wszystko, co znamy: ziemia, powietrze, woda, inni ludzie, zwierzęta, rośliny, cała nasza planeta i Układ Słoneczny, zawdzięczają swoje istnienie odległemu Słońcu. Współczesna nauka umożliwia prześledzenie tego procesu do początku Wszechświata, co czyni nas wszystkich nieodłączną częścią naszego kosmosu!