

Najkrótsza historia czasu – podsumowanie nauki o kosmologii i grawitacji

Wacław Libront

(na podstawie wielu przeczytanych książek, godzin spędzonych w Internecie i dzięki kilku obejrzanym programom telewizyjnym)

Nasz Wszechświat narodził się prawie 14 miliardów lat temu, jest jak ogromny, ciągle rozszerzający się balon, na którego obrzeżach przemieszcza się i wiruje tryliony galaktyk, składających się z miliardów gwiazd, wokół których krąży niezliczona ilość planet i innego kosmicznego „śmiecia”. To wszystko uznajemy za pewnik i to nie tylko dlatego, że ktoś kiedyś miał taką wizję, ale stoją za tym matematyczne obliczenia i obserwacje je potwierdzające. Tylko odrobina wysiłku umysłowego wystarczy, żeby nie trzeba było w to wierzyć.

Choć tytuł nawiązuje do znanej na całym świecie publikacji, to dzisiaj wiemy też, że to nie „czas”, ale raczej „światło” jest tym najważniejszym i niezmiennym elementem, który spaja całą współczesną wiedzę o Wszechświecie nie tylko w ujęciu makroskopowym (kosmologicznym – gwiazdy i galaktyki), ale i tym mikroskopijnie małym (kwantowym – atomy i cząstki elementarne).

Choć przez ostatnie tysiące lat na wszystkie dręczące ludzi pytania, próbowała dać odpowiedź religia, to co najmniej ostatnie 300 należą do nauki, która opiera się na logicznym rozumowaniu i powtarzalnych doświadczeniach. Trzeba jednak z pewną dozą pokory dodać, że choć coraz lepiej rozumiemy, jak działa nasz Wszechświat, to mimo tego pojawiają się kolejne pytania, na które nauka nie potrafi (jak na razie) znaleźć przekonujących odpowiedzi.

Ludziom zawsze trudno będzie uwierzyć (zwłaszcza tym, którym nie po drodze z naukowym myśleniem), że tak piękny projekt nie mógł powstać bez Projektanta, że ogromny i skomplikowany Wszechświat może się „kręcić” bez ciągłej ingerencji Wielkiego Zegarmistrza, że w końcu inteligentne życie wcale nie wymagało cudownego „Stań się”. Łatwiej jest uwierzyć w wersję zdarzeń, która nie wymaga wysiłku umysłowego. Łatwiej jest uwierzyć w „cudowną ingerencję” niż w prawdopodobieństwo, że podczas eksplozji drukarni otrzymamy książkowe wydanie encyklopedii.

Dla tych wszystkich naukowych niedowiarków mam bardzo prosty eksperyment myślowy. Wyobraźmy sobie ziarnko piasku, które trzymamy w dłoni, i którym musimy trafić do odległego naparstka – udany eksperyment należałoby zaliczyć raczej do cudu. Wyobraźmy sobie jednak, że rzucamy garścią piasku (jakieś kilka milionów ziaren)... Czy trafienie do tego naparstka też byłoby cudem? To jest praktyczne zastosowanie prawdopodobieństwa i statystyki, i właśnie w taki sposób radzi sobie świat wykorzystując dobór naturalny, i w taki sposób być może powstał nasz Wszechświat – w wyniku jednej z milionów nieudanych prób.

W jaki sposób ludzkość doszła do dzisiejszego stanu wiedzy? Jaka była tzw. „kolej rzeczy”? Pewnie nie bylibyśmy w tym miejscu i nie stawialibyśmy sobie takich pytań, gdyby nie „wbudowana” w człowieka naturalna ciekawość i drażniący nas (a przynajmniej niektórych z nas) brak odpowiedzi na „dlaczego”, które rodzi się, gdy czegoś nie rozumiemy. Jaka jest historia, taka najkrótsza historia, ściągą z historii nauki o Wszechświecie? Przywołane zostanie kilka nazwisk myślicieli, których ciężka umysłowa praca lub być może tylko chwilowe natchnienie, albo błysk geniuszu sprawiły, że „wiemy to, co wiemy” (albo wypadałoby wiedzieć).

I jeszcze jedna uwaga: to że dzisiaj cytujemy stwierdzenie jakiejś znanej osoby i uważamy ją za „naukowy pępek świata”, niekoniecznie świadczy o jego dokonaniach. Każde nowe odkrycie, to wysiłek wielu poprzedzających naukowca pokoleń. To też czasem wynik splotu okoliczności, zrządzenia losu, łutu szczęścia, a nade wszystko tego, kto pierwszy opublikował wyniki przemyśleń, badań lub obliczeń. Kto więc będzie pierwszy na liście naszych kosmologicznych odkrywców?

Arystoteles. Choć był tylko filozofem i z prawdziwą nauką nie miał wiele wspólnego, to on, około 340 lat p.n.e. umieścił w swoim dziele uwagę, że Ziemia jest okrągła, bo taki jest właśnie cień, który pojawia się na Księżycu, i że powstaje on, gdy Ziemia znajduje się pomiędzy Słońcem, a Księżycem.

Ptolemeusz. 100 lat później kolejny Grek stworzył kompletny opis tego, co widać na niebie - Ziemia jest centrum Wszechświata i wszystko obraca się wokół niej. Taki piękny i prosty wizerunek stabilnego Wszechświata, w którego centrum jesteśmy MY, burzyło tylko kilka dziwnych obiektów „błąkających” się po nieboskłonie (planety). Mimo tych niedostatków, taki obraz przetrwał bardzo długo.

Kopernik. Co sprawiło, że wreszcie około 1500 roku nastąpiła zmiana? Rewolucyjna myśl, że to może Słońce jest tym centrum, w mniej skomplikowany sposób tłumaczyła zachowanie się obserwowanych na niebie obiektów. Przez następnych 100 lat nie można było udowodnić prawdziwości tych twierdzeń, dopiero luneta Galileusza, obserwacje Brahe i obliczenia Keplera potwierdziły słuszność koncepcji. Pierwszy raz w historii ludzkości przewidywania teorii i matematyczne obliczenia pozwoliły pogodzić je z obserwacjami. Dlaczego krążą i dlaczego po eliptycznych orbitach... tego jeszcze nie potrafiliśmy wyjaśnić.

Newton. W 1687 roku pojawia się dzieło, które jest uznawane za najważniejsze w historii nauki. Po raz pierwszy pojawia się koncepcja grawitacji do nazwania siły, którą ciała działają na siebie, i dzięki której można wytłumaczyć poruszanie się wszystkich obiektów na ziemi i na niebie. Zasady dynamiki i prawo powszechnego ciążenia przetrwały w niezmienionej postaci do czasów początków XIX wieku. Newton opracował także matematyczne narzędzia (rachunek różniczkowy), które pozwalały dokładnie wyliczyć nie tylko orbity planet, ale i wzajemne zależności pomiędzy wszystkimi poruszającymi się obiektami.

Porzuciwszy pomysły Ptolemeusza, a nawet i Kopernika, uczeni zaczęli zdawać sobie sprawę, że to nie spoczynek, ale ciągły ruch jest czymś naturalnym, i że być może nie ma jakiegoś wyróżnionego miejsca we Wszechświecie. Z trudem toruje sobie drogę myśl, że nie ma absolutu, że wszystko jest względne. Czy można to sprawdzić sami? Wyobraźmy sobie, że siedzimy w pociągu, który bardzo wolno rusza - odniesiemy wrażenie, że to może peron się przesuwa? Podobny dylemat mamy gdy obserwujemy piłeczkę rzuconą w poruszającym się pociągu. Pasażer, który ją rzucił widzi, że oddala się z prędkością np. 10 kilometrów na godzinę. Ktoś stojący na peronie, patrząc na tę samą piłkę zaobserwuje już piłkę, która przesuwa się szybciej – 100 kilometrów na godzinę (prędkość pociągu 90 i piłki 10). Mamy problem: z jaką prędkością porusza się piłka: 10 czy 100 kilometrów na godzinę? Która z tych dwóch prędkości jest tą prawdziwą?

Na początku XX wieku, do tych dylematów dotyczących poruszania się w przestrzeni dochodzi jeszcze jedna wątpliwość - czy można zmierzyć dokładnie czas pomiędzy dwoma zdarzeniami, bo okazuje się (choć to przeczy zdrowemu rozsądkowi), że czas zależy (podobnie jak w przypadku piłeczki w pociągu) od miejsca skąd obserwujemy pomiar. Czy tego typu eksperymenty myślowe z pędzącym pociągiem, to tylko czysta filozofia, czy też nauka ma coś do powiedzenia również na takie tematy?

Romer. W rozważaniach o kosmosie, szczególnego znaczenia nabiera szybkość światła. Choć nikt nie przypuszczał jeszcze jak wielką wagę będzie miało odkrycie duńskiego astronoma Romera – w 1676 roku udało mu się ustalić, że światło ogromną, ale ma skończoną wartość. Obserwował księżyce krążące wokół Jowisza i doszedł do wniosku, światło musi poruszać się ze skończoną szybkością, bo momenty zaćmień na Jowiszu zależą od tego, czy

Jowisz się przybliża, czy oddala od Ziemi. Pomiary jakie wykonał, dały zawrotną, jak na owe czasy liczbę 220 000 km/s.

Maxwell. Ukoronowaniem XIX wiecznej nauki była teoria, która tłumaczyła wszystkie zjawiska elektryczne i magnetyczne, a także opisywała je jednym matematycznym równaniem. W 1865 roku opublikowano reguły, które rządzą naładowanymi cząstkami i siłami, które wokół siebie wytwarzają. Okazało się, że szybkość światła jest naprawdę stała, że można ją wyliczyć z teoretycznych równań, i co ważniejsze – nic nie może być szybsze niż światło!

Ta stałość prędkości światła spowodowała kolejny przełom w fizyce, który tak naprawdę trwa do dnia dzisiejszego. Eksperymenty myślowe związane z pociągiem pokazują, że obserwator na peronie widzi piłeczkę, która porusza się z szybkością będącą sumą szybkości pociągu i piłeczki. Jak ten fakt pogodzić ze stałością szybkości światła? Bo jeśli ktoś w pociągu puszcza latarką świetlnego „zajęczka”, to obserwator na peronie powinien widzieć światło, które porusza się szybciej niż światło? Jak to pogodzić z wiedzą, że nic nie może poruszać szybciej? Jak ten fakt pogodzić ze zdrowym rozsądkiem i z całą ówczesną nauką?

Einstein. Pod koniec XIX wieku, gdy wielu naukowcom wydawało się, że nic wiele już do odkrycia, tylko jeden mały problem - absolutnej szybkości światła - spędzał sen z powiek. W 1905 roku, nikomu nie znany urzędnik szwajcarskiego urzędu patentowego Albert Einstein, opublikował artykuł, w którym zasugerował, że prawa fizyki, a więc i szybkość światła, powinny być takie same, we wszystkich poruszających się układach. Co to oznacza? Pozornie jest to sprzeczne, ale dla obserwatora w pociągu szybkość światła wynosi tyle samo, co dla obserwatora na peronie i dla każdego innego, w dowolnym układzie. Ta prosta idea całkowicie wyjaśniała wszelkie problemy fizyków, ale też powodowała zadziwiające i sprzeczne z intuicją konsekwencje.

To że wszyscy obserwują (mierzą) tę samą szybkość światła sprawia, że zmieniać się muszą inne parametry ruchu. Wyobraźmy sobie nasz poruszający się pociąg, w którym odbijamy od podłogi piłeczkę. Obserwator w pociągu widzi jedynie ruch w pionie i w poziomie. Obserwator na peronie stwierdzi tymczasem, że piłka porusza się najpierw ukośnie w dół, a potem ukośnie w górę – droga jest wydłużona, bo pociąg w każdej chwili się porusza. Która pomierzona odległość jest poprawna? Odległości są różne dla różnych obserwatorów, to i czasy na ich pokonanie też muszą być różne! – bo szybkość w fizyce jest równa odległości podzielonej przez czas. Jeszcze raz powtórzmy - obserwator na peronie pomierzy inny czas skoku piłki niż obserwator w pociągu! Każdy z nich, pomimo posiadania takich samych zegarów będzie mierzył inny upływ czasu! Każdy z tych zegarów będzie inaczej „tykał”! Ta rewolucyjna koncepcja, że wszystko jest względne z powodu absolutu szybkości światła, nie jest zgodna z ludzką intuicją i przez wiele lat nie była zrozumiała nawet w gronie fizyków, choć wszystkie obliczenia przemawiały za jej prawdziwością.

To zdumiewające odkrycie Einsteina (Teoria Względności) jest dowodem konsekwentnego logicznego wnioskowania i stanowi największe po Newtonie świadectwo potęgi ludzkiego umysłu. Od tej pory fizycy opisują wszystkie zjawiska, które tego wymagają (astronomia, kosmologia, fizyka jądrowa i kwantowa) w kategoriach czterowymiarowej czasoprzestrzeni. Dowolne zdarzenie, które ma określone położenie w trójwymiarowej przestrzeni (długość, wysokość i szerokość) musimy jeszcze wyposażać w konkretny moment czasu, i w ten sposób mówimy o czterowymiarowej czasoprzestrzeni. Koncepcja Newtona położyła kres idei absolutnego położenia w przestrzeni. Koncepcja Einsteina wyeliminowała pojęcie absolutnego czasu.

Kolejną powszechnie znaną konsekwencją teorii względności jest równoważność masy i energii wyrażona słynnym wzorem $E=mc^2$. Równoważność ta, to nie tylko nowy rodzaj

broni i nowy sposób uzyskiwania energii, ale też fakt, że im szybciej się poruszamy, tym większą energią dysponujemy i tym większą będziemy mieli masę! To też opisywany często w literaturze science fiction „paradoks bliźniaków”. Co prawda przy prędkościach ziemskich efekty są zupełnie niezauważalne, ale w skali kosmicznej, albo atomowej muszą być brane pod uwagę.

Czy można jeszcze bardziej skomplikować i tak już trudną do opanowania fizykę? Einstein poszedł jeszcze jeden krok dalej w swoich przewidywaniach i obliczeniach. Zajął się grawitacją i w 1915 roku ogłosił tzw. Ogólną Teorię Względności. Nie wchodząc w teoretyczne rozważania, można z niej wywnioskować m.in. że każda masa zakrzywia czasoprzestrzeń sprawiając, że promień światła nie będzie rozchodził się prostoliniowo, że w pobliżu masywnych obiektów czas będzie biegł wolniej, że w układach, które przyspieszają czas biegnie wolniej. Praktyczne konsekwencje dla każdego z nas? – korzystamy na co dzień z dobrodziejstw „czasoprzestrzeni”, „względności” i „zakrzywienia” posługując się komórkami i systemem GPS.

Hubble. Rewolucja w fizyce teoretycznej na początku XX wieku spowodowała równie gigantyczne zmiany w postrzeganiu naszego Wszechświata. Początkowo uważano, że cały nasz Wszechświat, to tyle, ile możemy dostrzec przez dostępne teleskopy, czyli cała nasza galaktyka, którą nazwaliśmy „Drogą Mleczną”. I jak to zwykle bywa, ten piękny obraz burzył obiekt, który dzisiaj nazywamy Andromedą (podobnie jak kiedyś system planetarny psuły planety). Andromeda, nawet przez prosty teleskop, nie wygląda, jak pojedyncza gwiazda, ale bardziej jak chmura składająca się z wielu gwiazd. Hubble w 1923 roku obserwował jedną z gwiazd tej chmury i obliczył odległość do niej. Nie jest to proste, ale astronomowie potrafią obliczyć odległość do gwiazdy, gdy znajdą taką, która wykazuje zmienną okresową jasność. Wynik obliczeń: 900 000 lat świetlnych (ok. 9000000000000000000 km)! Oznacza to, że Andromeda, składająca się z gromady wielu miliardów gwiazd, leży daleko poza naszą Drogą Mleczną.

Poszukiwania kolejnych takich dziwolągów ujawniły, że nasz Wszechświat rozrósł się do naprawdę gigantycznych rozmiarów. Do dzisiaj potrafimy zaobserwować różnymi metodami ponad 100 000 000 000 galaktyk takich jak nasza Droga Mleczna, a w każdej znajduje się ponad 100 000 000 000 miliardów gwiazd... A to tylko niewielki fragment całego Wszechświata, o którym nic tak naprawdę nie wiemy. Wszechświat od tego momentu stał się naprawdę ogromny, a nasza Ziemia stała się mikroskopijną cząstką, leżącą gdzieś na peryferiach, jednej z wielu tryliardów galaktyk.

Lemaitre analizował równania wynikające z Ogólnej Teorii Względności Einsteina i doszedł do wniosku, że nasz Wszechświat kiedyś musiał być ściśnięty do jednego punktu. Opublikował swoje przemyślenia w 1927 roku i próbował zainteresować swoim odkryciem samego Einsteina – ale został zignorowany przez niego i cały naukowy świat. Na szczęście na scenę wraca Hubble, który nie tylko mierzy odległości do kolejnych galaktyk, ale ich prędkości oddalania się od naszej galaktyki. W 1928 roku publikuje dane, z których jasno wynika, że im galaktyka dalej, tym szybciej się oddala – stąd prosty wniosek, że Wszechświat się rozszerza! A skoro tak, to kiedyś musiał być mniejszy, i w konsekwencji powstał z czegoś niewyobrażalnie małego, gorącego i gęstego punktu. Tak narodziła się idea Wielkiego Wybuchu. Z obliczeń jasno też wynikało, że Wszechświat narodził się około 14 miliardów lat temu!

Teoretyczne obliczenia, obserwacje je potwierdzające Wielki Wybuch, ale czy można „zobaczyć” narodziny Wszechświata? Gdy kierujemy teleskop lub radioteleskop w jakiś fragment nieba, obserwujemy docierające do nas światło lub różne inne rodzaje fal elektromagnetycznych. Ze Słońca dociera do nas po 8 minutach, od kolejnej gwiazdy po 4 latach..., a od tych najstarszych, tych pierwszych po prawie 14 miliardach lat! I to wszystko

widzimy jednocześnie, gdy patrzymy w niebo. Jak z tego całego spektrum historii wydzielić te najstarsze? Udało się to dopiero w 1965 roku dwóm astronomom: Penziasowi i Wilsonowi, w postaci tzw. mikrofalowego promieniowania tła.

Payne. Kolejny wielki krok na drodze do zrozumienia działania Wszechświata uczyniła kobieta. I jak to zwykle bywa – nikt jej nie uwierzył. Już za czasów Newtona rozszczepiano światło słoneczne za pomocą pryzmatu, a w XIX wieku temperaturę przedmiotu powiązano z kolorem świecenia. Temperaturę powierzchni Słońca określano na kilka tysięcy stopni. Dla uczonych tamtego okresu było to zupełnie niezrozumiałe – jak można, spalając węgiel (bo tylko takie paliwo znano), uzyskać tak wysoką temperaturę? I co więcej – ile tego węgla musi zawierać Słońce, że świeci tak długo? A kiedy ten węgiel się skończy? To były nierozwiązywalne dylematy. W latach 30-tych XX wieku, pani Payne skierowała swój teleskop na Słońce i odkryła, że nasza gwiazda składa się głównie z wodoru i helu (98%), a więc dwóch najprostszych znanych pierwiastków. Skąd się tam wzięły i czy teoria Wielkiego Wybuchu potrafi wytłumaczyć ich pochodzenie?

Gamow. Problem rozwiązał wybitny rosyjski fizyk i matematyk. W latach 40-tych XX wieku Gamow opracował teorię, jak mógł wyglądać Wszechświat kilka chwil po pierwszym BUM. Z obliczeń wynikało, że była to gorąca „zupa”, składająca się z cząstek elementarnych. A skoro Wszechświat się rozszerzał, to się równocześnie ochładzał i cząstki elementarne łączyły się tworząc pierwsze atomy wodoru – te najprostsze składające się z jednego elektronu i jednego protonu. A co z innymi pierwiastkami – tymi, które tworzą dziś gwiazdy, planety i życie na nich (a przynajmniej na jednej)? Problem został rozwiązany, gdy zrozumiano, jakie procesy zachodzą w gwieździe i co się w niej spala.

Gwiazdy żyją miliardy lat i nie mamy szans na zaobserwowania tego procesu. Możemy jednak obserwować wiele gwiazd na różnych etapach rozwoju. Dzisiaj wiemy, że w każdej gwieździe konkurują ze sobą dwa procesy: grawitacyjne ściskanie wielu miliardów kilogramów gazowego wodoru i termiczne rozszerzanie pochodzące od reakcji syntezy jądowej tegoż wodoru. Taka równowaga pomiędzy grawitacyjnym ściskaniem, a termicznym rozszerzaniem może trwać wiele miliardów lat, dopóki w gwieździe spala się paliwo wodorowe. Co będzie dalej, gdy zabraknie wodoru? Gwiazda będzie ściskana, „zapali się” hel, powstaną coraz cięższe pierwiastki, znów zostaną ściśnięte... i nastąpi gwałtowny wybuch, w którym ulecą w przestrzeń kosmiczną gorące pozostałości reakcji termojądowych. W ten sposób powstały kiedyś wszystkie planety, w tym i nasza Ziemia. Z obliczeń wynika, że również nasze Słońce w ten sam sposób zakończy swój kosmiczny żywot. Kiedy to się stanie? Mimo tego, że w każdej sekundzie na Słońcu spala się ponad 600 milionów ton, to na przeprowadzkę w inne miejsce mamy jeszcze ładnych kilka miliardów lat.

Wiemy już co się dzieje w gwiazdach. Wiemy też, jaki był początek. A jaki będzie koniec Wszechświata? Czy skończy się podobnie jak gwiazdy, kurcząc się pod wpływem grawitacji do niewielkim rozmiarów... i nastąpi kolejne wielkie BUM? A może nie będzie końca i Wszechświat będzie się wiecznie rozszerzał? Te pytania dręczą kosmologów do dzisiaj i nie mamy na nie jednoznacznej odpowiedzi. Stan badań, na początek XXI wieku wskazuje na to, że prawdopodobnie nasz Wszechświat się ciągle rozpędza i być może nigdy się nie zatrzyma..., a za wiele miliardów lat, gdy wypalą się wszystkie gwiazdy, nastanie wieczna ciemność.

Co przyniosą kolejne badania i odkrycia? Czy dowiemy się kiedyś jaki był początek? Czy będziemy potrafili zrozumieć, co było „przed” i czy będzie jakieś „po”? Skąd przyszliśmy i dokąd zmierzamy? Te pytania czekają na swoich kolejnych wielkich odkrywców, być może na jednego z was – przyszli matematycy, informatycy, fizycy...