

Dzisiejszy obraz Wszechświata

Autor tekstu: Jerzy Sikorski

Wstęp

Kosmologia to dziedzina działalności intelektualnej próbująca przedstawić nam całościowy obraz struktury i ewolucji Wszechświata. Każda epoka oraz każdy krąg kulturowy dopracowały się jakiejś swojej kosmologii. W czasach starożytnych były to mitologiczne opisy pochodzenia świata, jego budowy oraz przyszłych losów. Samo pojęcie „Wszechświata” ulegało daleko idącym zmianom w miarę gromadzenia i systematyzowania faktów obserwacyjnych. W czasach Kopernika Wszechświat ograniczał się właściwie do naszego układu planetarnego. Znano wówczas tylko planety do Saturna a za nim miała być tzw. sfera gwiazd stałych, przy czym nie zdawano sobie zupełnie sprawy z odległości do gwiazd. Gdy w XIX wieku udało się dokonać pierwszych pomiarów tych odległości, uświadomiono sobie, że Wszechświat może mieć rozmiary gigantyczne, być może nawet przestrzennie nieskończone. Wyobrażano sobie wówczas przestrzeń Wszechświata jako mniej lub bardziej równomiernie wypełnioną gwiazdami. Pojęcie naszej Galaktyki oraz innych galaktyk zaczęło formować się dopiero w pierwszej dekadzie XX wieku. Wówczas to udało się zmierzyć pierwsze odległości do galaktyk i przekonano się, że jest to skala rzędu wielu milionów lat świetlnych.

Kosmologia sprzed stu lat miała podstawowy problem z odpowiedziami na trzy zasadnicze pytania:

a) czy Wszechświat jest przestrzennie skończony czy nieskończony,

b) czy istnienie Wszechświata jest ograniczone w czasie czy też nieograniczone, przy czym chodziło o ograniczenie zarówno od strony przeszłości (czy był jakiś początek naszego Wszechświata) jak i od strony przyszłości (czy będzie on trwał nieskończenie długo czy też czeka go jakiś koniec).

c) czy Wszechświat jako całość podlega jakimś zmianom (ewoluuje) czy też trwa w niezmiennym stanie.

Kłopot polegał na tym, że każda odpowiedź na powyższe pytania prowadziła do konfuzji. Jeśli Wszechświat miałby być przestrzennie skończony to natychmiast pojawia się pytanie — a co jest tam dalej (może piekło dla tych co zadają takie pytania). Jeśli zaś przyjmiemy nieskończone rozmiary przestrzenne to natrafiamy na tzw. paradoksy (paradoks grawitacyjny, paradoks Olbera) generowane przez ówczesną wiedzę z zakresu klasycznej fizyki.

Jeśli Wszechświat miał początek to co on (ten początek) fizycznie oznaczał i skąd wzięła się materia, jak uformowały się gwiazdy i galaktyki, czy zaistniały natychmiast w gotowej postaci czy też kształtowały się w drodze jakiegoś procesu ewolucyjnego?

Stan wiedzy przyrodniczej oraz możliwości obserwacyjne sprzed stu lat nakazywały tu spory pesymizm, jeśli chodzi o możliwość odpowiedzi na powyższe pytania. Wydawało się wówczas, że pozostaną to na zawsze otwarte pytania, na które — jeśli ktoś chce — może poszukiwać odpowiedzi w religiach lub systemach filozoficznych.

Od Einsteina i Hubble'a do promieniowania relikowego

W badaniach naukowych bardzo ryzykowne jest stwierdzenie, że czegoś tam nigdy się nie dowiemy. W każdym razie sto lat temu stwierdzenia takie okazały się daleko przedczesne. Już kilkanaście lat po odkryciu innych galaktyk oraz zmierzeniu odległości do nich kosmologia otrzymuje nowe narzędzie teoretyczne w postaci einsteinowskiej Ogólnej Teorii Względności. Teoria ta zaaplikowana do konstruowania modeli kosmologicznych zaprezentowała całkiem nowe możliwości w porównaniu z dotychczasową fizyką newtonowską. Rozwiązania znalezione w 1922 roku przez Friedmanna dawały trzy możliwe klasy modeli naszego Wszechświata. Są to modele przedstawiające Wszechświat jako obiekt globalnie ewoluujący przy czym jego globalna geometria nie musi (choć może) być euklidesowa. Einstein początkowo bardzo nieufnie odnosił się do rozwiązań Friedmanna traktując je jako ciekawostkę matematyczną nie mającą żadnego związku z rzeczywistością. Przed 1920 rokiem Einstein zbudował bowiem tzw. **statyczny model kosmologiczny**, który miał globalną geometrię podobną do geometrii na sferze (tzn.

tak jak sfera ma skończoną powierzchnię i nigdzie nie ma brzegu tak przestrzeń Wszechświata miałaby skończoną objętość ale bez żadnej granicy). Taki statyczny Wszechświat Einsteina miałby trwać wiecznie w niezmienniej postaci. Stacyjny model Einsteina wymagał wprowadzenia do struktury matematycznej pewnej dodatkowej stałej - tzw. **stałej kosmologicznej** — która zapewniała jaką taką stabilność. Koncepcja ta wydawała się dość atrakcyjna gdyż usuwała wiele poprzednio wymienianych paradoksów gnębiących stare newtonowskie koncepcje kosmologiczne.

Przełom dokonał się w 1929 roku, kiedy E. Hubble opublikował swoje wyniki wskazujące na efekt zwany globalną **ekspansją Wszechświata**. Stacyjny model Einsteina musiał zostać odrzucony, zaś pomysł ze stałą kosmologiczną sam Einstein nazwał swoją największą pomyłką naukową. Dziwne bywają losy pomyłek geniuszy. Tak się bowiem składa, że w ostatniej dekadzie stała kosmologiczna potępiona przez jej twórcę wraca na nowo do kosmologii choć już w innym kontekście. Będzie o tym mowa w dalszej części tego artykułu.

Od czasów Hubble'a wiemy więc dwie rzeczy o Wszechświecie: po pierwsze — podlega on globalnej ewolucji (ekspanduje i wszystkie odległości międzygalaktyczne narastają w czasie) i po drugie — ekspansja ta miała swój początek — jest to dość osobliwy moment zwany **Wielkim Wybuchem**, z którego wyłoniła się obserwowana przez nas postać naszego Wszechświata. Otwartym pozostawał natomiast problem globalnej geometrii Wszechświata i związane z tym pytania, czy jest on przestrzennie skończony (czy ma geometrię podobną do powierzchni sfery) czy też nieskończony (gdyby miał geometrię euklidesową lub hiperboliczną). W pierwszym przypadku ekspansja Wszechświata przechodzi po pewnym czasie w fazę kontrakcji — kurczenia się aż do punktu osobliwego) w drugim zaś ekspansja jest nieodwracalna i kontynuowana w nieskończoność. O tym, który z możliwych scenariuszy realizuje się w naturze, decydują dwa parametry: średnia gęstość materii wypełniającej Wszechświat oraz względne tempo ekspansji zawarte ilościowo w tzw. stałej Hubble'a. Obydwa te parametry trzeba zmierzyć, gdyż żadna teoria nie podaje ile one wynoszą. Pomiaru takie prowadzono przez dziesięciolecia, lecz ich dokładność wciąż była niezadowalająca. Zakres niepewności wynikający z małej dokładności pomiarów był taki, że nie pozwalał na rozstrzygnięcie dylematu — czy nasz Wszechświat jest nieskończony i będzie ekspandował zawsze czy też jest skończony (hipersferyczny) i po wielu miliardach lat ponownie zapadnie się do osobliwości, z której się wyłonił.

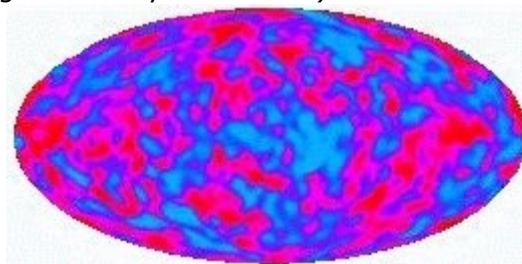
Do lat 50-tych nie było także obserwacyjnego dowodu na to, że faktycznie w dalekiej przeszłości cała zawartość Wszechświata miała ogromną gęstość — a więc i ogromną temperaturę. O tym, że tak być powinno mówiły wyraźnie zarówno teoretyczne równania Friedmanna jak i odkryta przez Hubble' ekspansja. Już w 1948 roku G. Gamow, R. Alpher i R. Herman przewidywali konieczność istnienia w przestrzeni Wszechświata promieniowania będącego pozostałością po tej supergęstej i gorącej fazie naszej historii. Promieniowanie to mające w pierwszych chwilach po Wielkim Wybuchu temperaturę wielu miliardów Kelvinów powinno w miarę ekspansji przestrzeni stygnąć i w obecnej epoce powinno mieć temperaturę najwyżej ok. 5K. Charakterystyczną cechą tego promieniowania powinna być m. in. jego izotropowość, czyli temperatura niezależna od kierunku na sferze niebieskiej. Odkrycie tego promieniowania stało się możliwe dzięki rozwojowi technik radioastronomicznych. Pierwsze sygnały zaobserwowania śladów tego promieniowania pojawiły się już w drugiej połowie lat 50-tych jednak do historii przeszło odkrycie A. Penziasa i R. W. Wilsona, którzy w 1964 roku testując nową antenę przeznaczoną do zupełnie innych celów odkryli promieniowanie reliktywne będące przewidywanym śladem po Wielkim Wybuchu. Jego temperaturę określono na ok. 3K. Wymienieni autorzy początkowo nie zdawali sobie sprawy z wagi swojego odkrycia gdyż kosmologia nie była ich specjalnością.

Przez kolejne trzydzieści lat wykonywano wiele pomiarów promieniowania reliktywego. Przekonano się, że wypełnia ono jednorodnie całą przestrzeń a jego obecna temperatura jest ok. 2.75 K. Trzeba tu wyraźnie podkreślić, że promieniowanie to (podobnie jak i materia) od samego początku wypełniało całą przestrzeń Wszechświata. Tzw. Wielki Wybuch (nazwa niezbyt fortunna) nie wyglądał bowiem tak, że istniała sobie pusta przestrzeń a w niej w pewnym momencie niby granat coś wybuchło i z tego miejsca odłamki rozlatują się we wszystkie strony. To co nazywamy Wielkim Wybuchem wygenerowało także samą przestrzeń (i najprawdopodobniej czas) naszego Wszechświata i ta przestrzeń wraz z tym co ją wypełnia od tego momentu ekspanduje powodując wzajemne oddalanie się galaktyk. Warto też przy okazji wspomnieć, że kosmologicznej ekspansji nie podlegają same galaktyki (ich rozmiary), ani gwiazdy i planety ani atomy. Nie podlegają ekspansji kosmologicznej obiekty o własnej

gęstości większej niż średnia gęstość materii we Wszechświecie czyli o gęstości większej niż ok. 10^{-30} g/cm³. A więc my sami, nasza Ziemia, nasz układ planetarny i nasza Galaktyka nie rozszerzamy się.

Najnowsze badania promieniowania relikтового

Wspominane powyżej obserwacje promieniowania relikowego dokonywane były z powierzchni Ziemi. Nowe możliwości obserwacyjne otwierają techniki satelitarne pozwalające na obserwacje z dala od naszej atmosfery i naszych ziemskich źródeł promieniowania radiowego. Pierwszym udanym eksperymentem satelitarnym był działający od 1992 roku satelita COBE. Jego aparatura pozwoliła na jeszcze dokładniejsze określenie temperatury promieniowania relikowego — 2.726 K. Satelita ten wykonał dokładną mapę temperaturową na całej sferze niebieskiej. Okazało się, że przy dokładności pomiarów rzędu 0.01K temperatura ta jest idealnie jednorodna (promieniowanie jest idealnie izotropowe — niezależne od kierunku obserwacji). Gdy jednak osiągnięto dokładność pomiaru rzędu 10^{-5} K to okazało się że w rozkładzie temperatury widoczne są pewne drobne fluktuacje rzędu 0.0001K. Są na sferze niebieskiej miejsca (kierunki) gdzie temperatura ta jest odrobinę wyższa od średniej i miejsca odrobinę chłodniejsze. Na poniższym rysunku 1. przedstawiona jest temperaturowa mapa nieba, na której plamki czerwone oznaczają miejsca „cieplejsze” zaś plamki niebieskie miejsca „chłodniejsze” (wszystko w granicach tych 0.0001K)

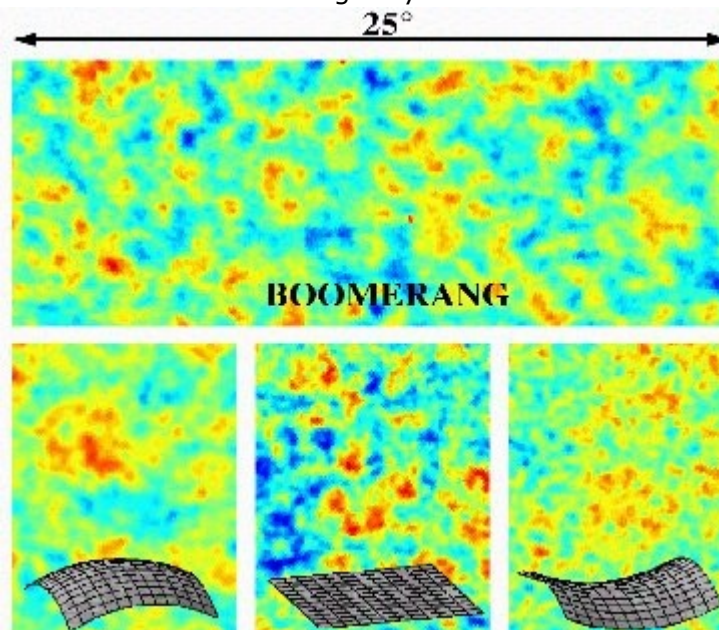


Rys. 1. Mapa nieba z fluktuacjami temperatury promieniowania relikowego zaobserwowanymi przez satelitę COBE. Plamki czerwone - nieco cieplejsze, plamki niebieskie — chłodniejsze

Prawdę mówiąc tych drobnych fluktuacji spodziewano się, gdyż ich istnienie wynikało z przewidywań teoretycznych. Patrząc w kosmos widzimy bowiem, że rozkład materii w przestrzeni nie jest idealnie jednorodny. Materia grupuje się w gwiazdy, gwiazdy w galaktyki te zaś w gromady galaktyk. Musiały więc od samego początku istnieć w przestrzeni fluktuacje gęstości materii i energii (już w pierwszych ułamkach sekund po Wielkim Wybuchu) i te pierwotne fluktuacje gęstości stały się potem grawitacyjnymi zarodkami przyszłych galaktyk i ich gromad. Jeśli jednak już w pierwszych chwilach istniały miejsca troszkę gęstsze i troszkę rzadsze to w nich temperatura też musiała być odpowiednio troszkę wyższa lub troszkę niższa od średniej. Ślad po tych pierwotnych fluktuacjach gęstości oraz temperatury powinien pozostać w promieniowaniu relikowym. I to właśnie po raz pierwszy zaobserwował satelita COBE. Było to naprawdę wielkie odkrycie potwierdzające scenariusz Wielkiego Wybuchu.

Pewnym mankamentem satelity COBE była stosunkowo niewielka zdolność rozdzielcza obrazu fluktuacji. Widoczne na rysunku 1. plamki fluktuacyjne są duże i rozmazane. Chodziło o bardziej ostry (drobnoziarnisty) obraz tych fluktuacji temperaturowych. Pierwszym krokiem w tym kierunku był eksperyment o nazwie BOOMERANG. Była to udoskonalona aparatura do pomiaru fluktuacji temperaturowych wyniesiona na balonie stratosferycznym w grudniu 1998 roku. Ponieważ nie była to obserwacja satelitarna, nie było więc możliwości obserwacji całej sfery niebieskiej lecz tylko jej fragmentu. Ale już ten fragment nieba obserwowany z dużą ostrością (rozdzielczością kątową) pozwolił zobaczyć drobnoziarnistą strukturę fluktuacji temperaturowych promieniowania relikowego. To zaś pozwoliło na wyprowadzenie odpowiedzi na kolejne ważne w kosmologii pytanie — jaka jest globalna geometria Wszechświata i jaka będzie jego dalsza ewolucja. Okazuje się, że formalizm matematyczny oraz obecna wiedza fizyczna pozwalają nam przewidzieć jak duże plamki fluktuacyjne powinny dominować na otrzymanej mapce temperaturowej gdyby geometria Wszechświata była: typu sferycznego, euklidesowego lub hiperbolicznego. Ilustruje to rysunek 2. W górnej jego części mamy obraz fluktuacji otrzymany z pomiarów BOOMERANG-a a poniżej trzy symulacje komputerowe

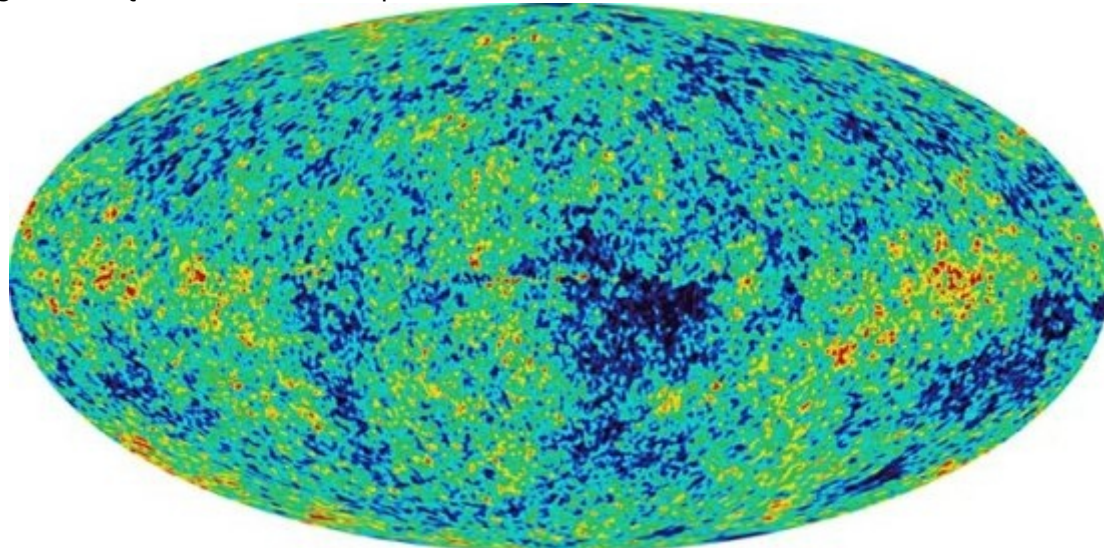
odpowiadające trzem klasom modeli kosmologicznych.



Rys.2. Ilustracja wpływu geometrii przestrzeni wszechświata na obserwowane rozmiary kątowe fluktuacji promieniowania relikтового (symulacja komputerowa i jej porównanie z obserwacjami eksperymentu BOOMERANG).

Nawet na pierwszy rzut oka widać, że model z geometrią euklidesową najlepiej pasuje do danych obserwacyjnych. **A więc nasz Wszechświat jest globalnie euklidesowy** (pomimo lokalnych zakrzywień przestrzeni wokół dużych mas) i zgodnie z modelami Friedmanna będzie ekspandował nieodwracalnie coraz bardziej rzednąc i stygnąc.

Ostatnim krokiem na tej drodze badań jest misja satelitarna W_MAP. Satelita ten, podobnie jak COBE, wykonał mapę temperatury promieniowania relikowego całej sfery niebieskiej z dokładnością pomiaru 10^{-5} K i z ostrością nawet nieco lepszą niż misja BOOMERANG (rys. 3.). Jego wyniki opublikowano w lutym 2003 roku. Potwierdziły one w całej rozciągłości tezę o euklidesowości przestrzeni Wszechświata.



Rys. 3. Mapa fluktuacji temperaturowych promieniowania relikowego wykonana przez satelitę W_MAP (miejsca granatowe są chłodniejsze, pomarańczowe najcieplejsze).

Przypomnijmy sobie raz jeszcze wspomniany na początku artykułu fakt. Trzy klasy modeli Friedmanna zależały od parametrów takich jak: średnia gęstość materii we Wszechświecie oraz tempa ekspansji zawartego w stałej Hubble'a. Obecnie obydwie te parametry znamy już z dużo większą dokładnością niż kilkadziesiąt lat temu. I tu pojawił się dylemat. Wyniki pomiarowe fluktuacji promieniowania relikowego wyraźnie wskazują na Wszechświat euklidesowy, natomiast wartość stałej Hubble'a oraz ilość materii we

Wszelchświecie nie zgadzają się z tym modelem. Ilość materii atomowej (takiej zwyczajnej, z której my sami jesteśmy zbudowani) stanowi zaledwie kilka procent tego co potrzeba aby realizował się model euklidesowy. Najprawdopodobniej jest we Wszelchświecie pewna ilość materii nieświecącej (tzw. **ciemnej materii**). Na jej obecność wskazuje analiza ruchów własnych galaktyk w gromadach galaktyk. Analiza ta pokazuje, że w galaktykach jest znacznie więcej materii niż to widać w świeceniu gwiazd. Nie wiemy obecnie jaki jest skład tej ciemnej materii, są tu różne hipotezy na ten temat, jednak ilość tej ciemnej materii to też zaledwie ok. 25% tego co potrzeba do zrealizowania Wszelchświata euklidesowego. Pozostałe brakujące ok. 70% nazywa się w tej chwili roboczo **ciemną energią** lub tzw. **kwintesencją**. Jest to zupełnie egzotyczne tworzywo o zupełnie nieznaney nam obecnie naturze. Tworzywo to ma własność taką, że jego gęstość pozostaje stała mimo ekspansji Wszelchświata a ponadto, w przeciwieństwie do materii, ma własność odpychającą a nie przyciągającą (coś jakby antygravitacja). Zauważono jednak, że w formalizmie matematycznym modeli kosmologicznych tworzywo to wchodzi do równań identycznie jak dawna einsteinowska stała kosmologiczna. Czyżby więc zabieg Einsteina ze stałą kosmologiczną, potępiony przez samego jej autora, miał jednak jakiś sens fizyczny? Może to była jednak genialna pomyłka Einsteina, który dziś byłby zapewne zdumiony widząc renesans swojego dawnego i odrzuconego pomysłu.

Zakończenie

Dzisiejszy obraz naszego Wszelchświata przedstawia się nam dość osobliwie. Głównym „wypełniaczem” przestrzeni okazuje się być egzotyczne tworzywo zwane ciemną energią, która na dodatek ma własności odpychające i to ona może decydować o samym zjawisku ekspansji. Sporą część, ok. 25% stanowi ciemna materia o nie znanym nam obecnie składzie ale przynajmniej normalnie grawitacyjnie przyciągająca. My sami zaś oraz wszystko co dotychczas wokół siebie widzieliśmy i dotykaliśmy zbudowane jest z materii stanowiącej kilka procent składu Wszelchświata a więc jesteśmy zrobieni jakby z odpadków, bez których globalna ewolucja kosmologiczna być może mogłaby się obejść. Zasada kopernikańska mówi, że nie żyjemy w żadnym wyróżnionym miejscu Wszelchświata ani w żadnym wyróżnionym czasie. Na dodatek okazuje się, że zrobieni jesteśmy z byle czego.

Dziś wiemy o Wszelchświecie dużo więcej niż nasi wielcy poprzednicy — Kopernik Newton, Einstein. Nasi następcy zapewne będą wiedzieli dużo więcej od nas. Jest wiele otwartych problemów w kosmologii. Problem, czym są ciemna materia i ciemna energia to tylko niektóre z nich. Pojawia się też pytanie, czy to co obecnie nazywamy naszym Wszelchświatem to rzeczywiście jest Wszelch-Swiat czy też tylko część jakiegoś obszerniejszego Multiversum (zob. str. 403, 109). Wielka księga o Wszelchświecie nie została jeszcze przeczytana do końca. Być może przeczytaliśmy dopiero wstęp. Ale to pasjonująca księga i aż żal czasem, że nikt z nas za swojego życia nie zdoła doczytać jej do końca.

[Jerzy Sikorski](#)

Profesor Uniwersytetu Gdańskiego, wydział fizyki; kosmolog

[Strona www autora](#)

[Pokaż inne teksty autora](#)

(Publikacja: 18-03-2003 Ostatnia zmiana: 07-09-2003)

[Oryginał.](http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,2353) (<http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,2353>)

Contents Copyright © 2000-2008 Mariusz Agnosiewicz

Programming Copyright © 2001-2008 Michał Przech

Autorem tej witryny jest Michał Przech, zwany niżej Autorem.

Właścicielem witryny są Mariusz Agnosiewicz oraz Autor.

Żadna część niniejszych opracowań nie może być wykorzystywana w celach komercyjnych, bez uprzedniej pisemnej zgody Właściciela, który zastrzega sobie

niniejszym wszelkie prawa, przewidziane w przepisach szczególnych, oraz zgodnie z prawem cywilnym i handlowym, w szczególności z tytułu praw autorskich, wynalazczych, znaków towarowych do tej witryny i jakiegokolwiek ich części.

Wszystkie strony tego serwisu, wliczając w to strukturę katalogów, skrypty oraz inne programy komputerowe, zostały wytworzone i są administrowane przez Autora. Stanowią one wyłączną własność Właściciela. Właściciel zastrzega sobie prawo do okresowych modyfikacji zawartości tej witryny oraz opisu niniejszych Praw Autorskich bez uprzedniego powiadomienia. Jeżeli nie akceptujesz tej polityki możesz nie odwiedzać tej witryny i nie korzystać z jej zasobów.

Informacje zawarte na tej witrynie przeznaczone są do użytku prywatnego osób odwiedzających te strony. Można je pobierać, drukować i przeglądać jedynie w celach informacyjnych, bez czerpania z tego tytułu korzyści finansowych lub pobierania wynagrodzenia w dowolnej formie. Modyfikacja zawartości stron oraz skryptów jest zabroniona. Niniejszym udziela się zgody na swobodne kopiowanie dokumentów serwisu Racjonalista.pl tak w formie elektronicznej, jak i drukowanej, w celach innych niż handlowe, z zachowaniem tej informacji.

Plik PDF, który czytasz, może być rozpowszechniany jedynie w formie oryginalnej, w jakiej występuje na witrynie. **Plik ten nie może być traktowany jako oficjalna lub oryginalna wersja tekstu, jaki zawiera.**

Treść tego zapisu stosuje się do wersji zarówno polsko jak i angielskojęzycznych serwisu pod domenami Racjonalista.pl, TheRationalist.eu.org oraz Neutrum.eu.org.

Wszelkie pytania prosimy kierować do redakcja@racjonalista.pl