


Rodzaje i ewolucja gwiazd

Autor tekstu: Michał Przech

Nasze Słońce o tylko jedna z niezliczonej ilości gwiazd we wszechświecie. Gwiazdy żyją bądź samotnie bądź w grupach zwanych układami, które dzielimy na podwójne (do których należy 1/3 gwiazd) lub wielokrotne, w których gwiazdy związane są siłą grawitacji. Gwiazdy wielokrotne to układy do dziesięciu gwiazd. Gromada gwiazd to układ wielokrotny ponad dziesięciu gwiazd. Można tu wyróżnić gromady otwarte i kuliste, których kształt zależy od wieku gromady. Wszystkie gwiazdy zbudowane są z gazu, a ściślej z plazmy, ponieważ ich temperatura jest zbyt wysoka, aby mogły istnieć w nich inne stany materii. Masy gwiazd wahają się od 1/10 do 100 mas Słońca. Średnice największych i najmniejszych gwiazd mają się do siebie jak 1/1 mln. Każda aktywna gwiazda emituje w przestrzeń ogromne ilości promieniowania elektromagnetycznego, grawitacyjnego [1] oraz cząstki materii. Wiele gwiazd posiada planety i planetoidy, pozostałe z okresu formowania się układu gwiazdowego. Gwiazdy skupiają się więc w układy, te z kolei w gromady, które razem z materią międzygwiazdową tworzą galaktyki, które z kolei tworzą grupy i gromady galaktyk, następnie w metagalaktyki i struktury zwane murami (np. Wielki Mur to struktura złożona z wielu supergromad o wydłużonym kształcie i wymiarach 730x260x30 mln l.św.) [2] Wszyscy pamiętają sentencję z filmu *Odyseja kosmiczna 2001* : „Jest pełen gwiazd”. Coż, do dziś statek załogowy nie dotarł dalej niż na księżyc. Czy jednak mamy prawo tak mówić ? Czy kosmos jest czegoś pełen ? „Isaac Asimow sformułował bardzo obrazowe porównanie: jest tak, jakby cała materia Wszechświata była ziarnkiem piasku umieszczonym w samym środku pustego pokoju o boku 30 km. Jednocześnie to samo ziarnko piasku zostało rozbite na miliard bilionów

kawałków, jako że na tyle właśnie szacuje się liczbę gwiazd we Wszechświecie.”  Jeśli więc kosmos jest czegoś pełen, to jedynie próżni, fotonów i neutronów.

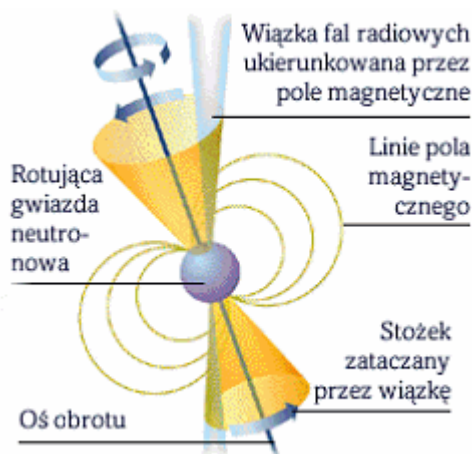
Gwiazdy powstają w obłokach materii międzygwiazdowej, która składa się w 90% z H (wodoru). Obłok taki zagęszcza się, tworząc skupiska materii powiększające się w miarę wzrostu swojej masy. Prowadzi to do powstawania protogwiazd, których temperatura wewnętrzna rośnie w miarę wzrostu masy i gęstości. Wbrew pozorom, obłoki te są niezwykle rzadkie i zimne — porównywalne do sztucznej próżni wytwarzanej na Ziemi. Proces ten trwać może niezwykle krótko — zaledwie kilkanaście lat. Gdy siła grawitacji prowadzącej do kolapsu zaczyna dorównywać ciśnieniu materii, protogwiazda przestaje się kurczyć i zaczyna świecić słabym, czerwonym światłem. Proces formowania się gwiazdy, jej kontrakcja oraz osiągnięcie stanu równowagi trwa o wiele dłużej, nawet miliony lat. Gdy tylko temperatura we wnętrzu protogwiazdy osiągnie około 10 mln stopni, w jej jądrze zaczynają zachodzić reakcje syntezy jądrowej — fuzja protonów. Od tego momentu mówimy o gwiazdzie. Wszystkie procesy dotyczące gwiazd możliwe są dzięki precyzyjnie skorelowanym parametrom fizycznym materii, a dzięki istnieniu stabilnych gwiazd możliwe jest powstawanie życia w naszym wszechświecie [3]. Zależnie od pochodzenia, gwiazdy dzielimy zasadniczo na dwie populacje: I-młode gwiazdy w centrum galaktyki, powstałe z materii odrzuconej przez wybuchy starszych gwiazd, II-starsze niż 5 mld lat, znajdujące się w tzw. Halo galaktyk. Gęstość jąder większości gwiazd wynosi około 160 g/cm³, jednak nawet jądro gwiazdy to w większości próżnia. Dla porównania średnia gęstość całego Słońca wynosi 1,4 g/cm³ (czyli niemal tyle co gęstość kostki cukru), przy czym gęstość fotosfery to tylko 10⁻⁶ g/cm³. Wytwarzane w reakcjach jądrowych fotony ulegają ciągłym zderzeniom, wymieniając energię z innymi cząstkami. Fotony te potrzebują około miliona lat, aby przeniknąć z jądra do fotosfery [4]. Dzięki temu gwiazdy emitują głównie promieniowanie podczerwone i widzialne, a nie wysokoenergetyczne promienie gamma powstające w reakcjach syntezy. Słońce należy do „młodej” II populacji, jego masa wynosi 1989 bilionów bilionów (kwadrylionów) ton (1.989*10³⁰ kg).

Nukleosynteza — proces syntezy jądrowej zachodzącej w jądrach gwiazd, prowadzący do powstania cięższych pierwiastków, kolejno: helu, węgla, tlenu, krzemu i żelaza. Z jednego grama wodoru powstaje w ten sposób 10¹² J energii. W procesie tym tworzą się wszystkie pierwiastki do Bizmutu włącznie, ponieważ jest to najcięższy trwały izotop, choć to, jaki pierwiastek powstanie w jądrze, zależy od średnicy i wieku gwiazdy. Proces ten jest zwany procesem s (slow, bo przebiega wolno, mimo tego, że np. w Słońcu w każdej sekundzie 600 mln ton H przemienia się w He).

W zależności od masy gwiazdy zachodzi w niej synteza przez cykl proton-proton lub cykl węglowo-tlenowy (CNO). Oto ogólna reakcja syntezy: $4\ ^1_1\text{H} \rightarrow\ ^4_2\text{He} + 2e^+ + 2\nu + 2\ \gamma$ ($=27,76\ \text{MeV}$) W miarę jak jony wodoru ulegają fuzji w hel, stężenie helu w jądrze rośnie, a stężenie wodoru maleje (w Słońcu wynoszą one odpowiednio 28% i 70%). Skład chemiczny gwiazd jest podobny, a pierwiastki cięższe stanowią tylko kilka procent zawartości stabilnej gwiazdy. Czas spalania materii gwiazdy zależy bezpośrednio od jej masy — im jest większa, tym krócej i gwałtowniej ona świeci. Nasze Słońce palić się będzie całe 10 mld lat, czyli bardzo długo i stabilnie, jak na warunki kosmiczne. Podczas przebiegu nukleosyntezy jądro kurczy się, nawet do rozmiarów kilkaset razy mniejszych niż pierwotnie, czemu towarzyszy znaczny wzrost temperatury, umożliwiając zachodzenie dalszych reakcji syntezy. Zmniejszaniu się jądra towarzyszy proporcjonalny wzrost rozmiarów samej gwiazdy oraz spadek temperatury na jej gazowej powierzchni. W czasie ewolucji, gwiazdy mniejsze od 0,4 masy Słońca, po wyczerpaniu się zapasów wodoru kurczą się, stając się szybko białymi karłami. Gwiazdy od wielkości 0,4 masy Słońca przechodzą w stadium czerwonego olbrzyma. Gdy ustanie proces spalania helu w jądrze, gwiazda taka rozszerzy się przechodząc w stadium czerwonego nadolbrzyma. Są to gwiazdy tak rozległe, że większość ich masy zostaje wyrzucona w postaci powłoki gazowej, tworząc mgławicę planetarną, która może stanowić surowiec do powstania kolejnych gwiazd i planet. Tak też było przed powstaniem Układu Słonecznego. Powstałe w ten sposób gołe jądro gwiazdy zapada się pod wpływem własnego ciężaru tworząc gwiazdę Wolfa-Rayeta. Jeśli jądro olbrzyma ma mniej niż 1,2 (liczba Chandrasekhara) masy Słońca, jego kolaps zostanie powstrzymany. Powstanie wtedy mała gwiazda o dużej gęstości ($10^6\ \text{g/cm}^3$) i temperaturze nawet 10000° . Jest to gwiazda typu biały karzeł (wbrew nazwie niebieska) wielkości średniej planety. Gwiazda taka promieniuje bardzo słabo, tracąc energię nagromadzoną wcześniej. Ostatecznie, po miliardach lat przechodzi ona w stadium czarnego karła. Jest to praktycznie koniec jej cyklu ewolucyjnego, nazywany często śmiercią gwiazdy. Jeśli jednak masa gwiazdy jest większa od około 3 m. S., jej los będzie inny. Po wypaleniu się wodoru olbrzymia temperatura w jej jądrze umożliwi zajście dalszych reakcji syntezy: $3\ ^4_2\text{He} \rightarrow\ ^{12}_6\text{C} + \gamma$; $^{13}_6\text{C} +\ ^4_2\text{He} \rightarrow\ ^{16}_8\text{O} + n$, $^{13}_8\text{O} +\ ^4_2\text{He} \rightarrow\ ^{16}_8\text{O} + n$, $^{13}_8\text{O} +\ ^4_2\text{He} \rightarrow\ ^{16}_8\text{O} + n$, $^{13}_8\text{O} +\ ^4_2\text{He} \rightarrow\ ^{16}_8\text{O} + n$, ..., $^{59}_{26}\text{Fe} + n \rightarrow\ ^{59}_{26}\text{Co} + \beta^-$. Reakcje te zachodzą będą tym szybciej, im cięższy będzie spalany pierwiastek (C-600 lat, Si-24 godz.). W wyniku tych reakcji powstanie jądro żelazne otoczone kolejnymi, poprzednimi produktami syntezy. Ustanie wtedy synteza pierwiastków, pod wpływem temperatury i ciśnienia atomy rozpadną się na lekkie jądra i neutrony. W wyniku zapadnięcia się jądra i implozji, zewnętrzne warstwy gwiazdy zostaną odrzucone. Nastąpi wtedy gwałtowny (trwający 1s) wybuch, wyzwolający olbrzymie ilości energii, nazywany supernową. Około 90% masy gwiazdy zostanie odrzuconych w przestrzeń z prędkością tysięcy kilometrów na sekundę. Większość pierwiastków ciężkich na Ziemi powstała właśnie w czasie wybuchu supernowej, w wyniku szczątkowych reakcji syntezy w odrzuconym obłoku gazowym. Reakcje te zwane są procesem *r* (rapid). Dzięki temu procesowi na Ziemi występuje m.in. Uran. Jeśli jądro powstałe z supernowej będzie miało masę od 1,4 do 3 m. S., implozja zmusi cząstki elementarne do łączenia się w neutrony. Powstanie wtedy niezwykle gęsta gwiazda neutronowa [5]. Jej rozmiary wynoszą kilkadziesiąt kilometrów a gęstość wynosi $10^{14}\ \text{g/cm}^3$, czyli jest porównywalna do gęstości jądra atomowego, a jej temperatura sięga milionów stopni. Na powstałej w ten sposób kuli nie mogą pojawić się wzniesienia większe niż na kilka milimetrów, ponieważ grawitacja panująca na jej powierzchni nie pozwoli na to. Gwiazdy takie wirują z częstotliwością kilkuset obrotów na sekundę i emitują promieniowanie radiowe, które możemy odbierać na ziemi, dlatego inna ich nazwa to pulsary [5]. Badania nad pulsarami prowadzi między innymi Aleksander Wolszczan, znany z odkrycia pierwszego układu planetarnego wokół gwiazdy neutronowej w 1992 r. Siła przyciągania gwiazdy neutronowej jest 10^{12} razy większa niż Ziemi. Jeżeli z kolei masa jądra będzie znacznie większa od 3 m. S., implozja spowoduje powstanie czarnej dziury, czyli obiektu o zerowej średnicy i olbrzymiej masie, tzw. osobliwości. Taki kolaps grawitacyjny nie może być powstrzymany przez ciśnienie materii w jądrze gwiazdy. Jądro takie zapada się poniżej rozmiarów średnicy Schwarzschilda (określonej wzorem $S=4GM/c^2$) tworząc osobliwość w czasoprzestrzeni. Czarna dziura charakteryzuje się całkowitą nieprzenikliwością [6] i gigantyczną krzywizną czasoprzestrzeni wokół niej, czyli ogromnym potencjałem grawitacyjnym w pobliżu tzw. horyzontu zdarzeń. Horyzont zdarzeń czarnej dziury jest to sfera wokół osobliwości, zza której żadna forma energii nie może powrócić do przestrzeni poza nią. Siły pływowe w pobliżu horyzontu są tak silne, że powodują zniszczenie każdego materialnego obiektu w pobliżu. Dlatego też niemożliwa jest bezpośrednia obserwacja ani badanie czarnych dziur. Średnica horyzontu zdarzeń jest często podawana jako średnica czarnej dziury, co nie jest to końca świsłym

sformułowaniu.

Przykładem czarnej dziury może być układ podwójny Cygnus X-1 w naszej Galaktyce. Jednak nawet czarne dziury umierają — wyparowują energię tracąc przy tym swoją masę, jednak taki proces trwa średnio 10^{100} lat, czyli niewyobrażalnie dłużej niż aktualny wiek wszechświata [7]. Aby otrzymać czarną dziurę z wody, trzeba by stworzyć kulę wodną o średnicy dwukrotnie większej od średnicy Układu Słonecznego, wówczas zaczęłaby się ona zapadać. Teoretycznie z każdej materii można stworzyć osobliwość, kompresując ją zgodnie z wymogami wzoru Schwarzschilda. [8] "Czarne dziury mogą mieć dowolne rozmiary: ich promień jest proporcjonalny do masy. Olbrzymie czarne dziury znajdujące się w środkach galaktyk mają masy miliarda słońc i mogłyby pochłoniąć cały Układ Słoneczny. Czarna dziura o masie Słońca miałaby średnicę 6 kilometrów, a zaledwie 9 milimetrów, gdyby miała masę Ziemi. A co z czarnymi dziurami o rozmiarach atomów? Czarna dziura o masie miliona ton zmieściłaby się w jądrze atomowym. Aby mogła powstać, w przestrzeni, którą zwykle zajmuje jeden proton, musiałoby się zmieścić 10^{36}



protonów" (tu średnica rozumiana jako rozmiar horyzontu zdarzeń).

W wyniku procesów zachodzących w jądrze, w niektórych gwiazdach proces syntezy helu zaczyna przebiegać w sposób niekontrolowany, powodując wybuch helowy, którego energia zostaje w całości pochłonięta przez samą gwiazdę. Następuje wtedy stan nierównowagi, a gwiazda staje się gwiazdą zmienną, ponieważ zmienia ona swoje rozmiary i jasność. Takie gwiazdy nazywane są cefeidami (odkryte w gwiazdozbiórze Cefeusza). Procesy takie w niektórych gwiazdach zmiennych mają charakter wybuchowy — noszą one wtedy nazwę nowych .

Różnice w wyglądzie widm gwiazdowych spowodowane są różnymi temperaturami panującymi na ich powierzchni. Im większa temperatura gwiazdy, tym więcej w tym widmie linii należących do pierwiastków zjonizowanych, a mniej linii związków chemicznych [9]. Ze względu na widmo można podzielić gwiazdy na 7 typów: O,B,A,F,G,K i M. Typy pośrednie oznacza się indeksami od 1 do 9, np. A5. Poszczególne typy różnią się obserwowaną barwą, i tak typy O i B mają barwę niebieskawą i temperaturę do 50000° K, typ A barwę białą i T do 11000, typ F żółto-białą i T do 7500, typ G żółtą i T do 6000 (Słońce), typ K pomarańczową i T do 5000 oraz typ M czerwoną i T poniżej 3500. Wykres Hertzsprunga-Russella (tzw. diagram H-R) przedstawia zależność między wielkością absolutną w typem gwiazd, niezależnie od ich wieku. Na diagramie tym każdej znanej gwiazdzie odpowiada jeden punkt. Łatwo zauważyć, że większość gwiazd grupuje się w tzw. ciągu głównym. Na prawo nad nim leżą czerwone olbrzymy a wyżej nadolbrzymy. Poniżej leżą białe karły, których barwa zmienia się od niebieskiej do czerwonej. Wraz ze wzrostem masy gwiazdy, czyli także ilości promieniowanej energii, maleje czas jej aktywności.

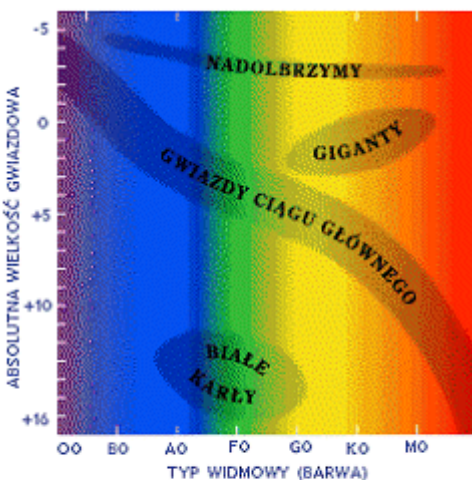


DIAGRAM HERTZSPRUNGA-RUSSELLA
Położenie gwiazdy na diagramie H-R zależy od jej parametrów fizycznych. Podczas ewolucji gwiazda przemieszcza się między różnymi obszarami diagramu.

Wielkością absolutną nazywamy jasność absolutną gwiazdy w skali logarytmicznej $M=m+5-5\log(l)$; m- wielkość postrzegana, l-odległość (pc). Jasnością absolutną gwiazdy nazywamy jasność, jaką obserwowano by, gdyby gwiazda ta znajdowała się w odległości 10 pc [10]

GWIAZDY O MAŁEJ MASIE



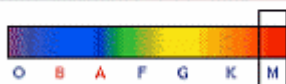
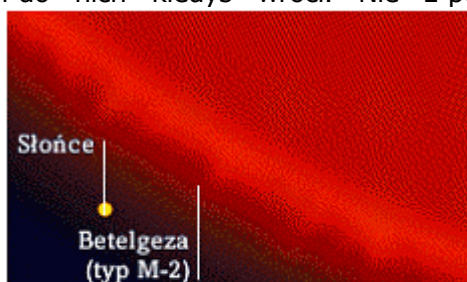
GWIAZDY O DUŻEJ MASIE



Gwiazdne ciekawostki:

- Spalenie wszystkich paliw na Ziemi dałoby tyle energii, ile Słońce dostarcza Ziemi w ciągu 3 dni.
- W ciągu sekundy do Ziemi dociera 2 MJ energii słonecznej na metr kwadratowy. Ziemia przejmuje więc dwie miliardowe części całkowitej energii Słońca ($3,826 \cdot 10^{26}$ J).
- Drobiną materii wielkości główki od szpilki z wnętrza Słońca mogłaby zabić swoim „gorącem” człowieka z odległości 150 km.
- Słońce spala 600 mln ton wodoru na sekundę.
- Gwiazda S Doradus ma milion razy większą moc promieniowania niż Słońce.
- Rigel — T 12500° , 48 średnic Sł; Betelgeuse — 2700° , 1000 średnic Sł. czyli objętościowo 64 mln Słońc.
- LP 768-500 jest najmniejszą znaną gwiazdą, 10 razy mniejszą od Słońca.
- Gdyby Ziemię zmniejszyć do rozmiarów jabłka, to Mount Everest miałby 0,08 mm, Księżyc krążyłby w odległości 3 m od Ziemi i miałby średnicę 3,5 cm. Mars znajdowałby się w odległości 500 m a najbliższa gwiazda (Proxima Centauri A) byłaby na Księżycu (normalnym).
- Aby wystartować z gwiazdy neutronowej, trzeba osiągnąć połowę prędkości światła

Mam nadzieję, że ten tekst uświadomił wam, iż wszystko, co nas otacza, pochodzi z gwiazd i do nich kiedyś wróci. Nie z popiołu, ale z gwiazd powstałeś i w gwiazdy się obrócisz.



BETELGEZA (TYP M-2)

Temperatura powierzchniowa tego czerwonego nadolbrzyma wynosi 2800 °C, a jego średnica jest 400 razy większa od średnicy Słońca.

Przypisy:

[1] Mam na myśli fale grawitacyjne, zmarszczki w strukturze czasoprzestrzeni powstające głównie w czasie kolapsów grawitacyjnych.

[2] Obserwowalny wszechświat ma ogromne, trudne do uzmysłowania sobie rozmiary. Żeby pomóc naszej wyobraźni, dokonajmy następującego przeskalowania. Załóżmy, że odległość Ziemia-Słońce, wynosząca około 150 miliardów metrów, którą światło pokonuje w przybliżeniu w czasie 8 minut, zmniejszamy do rozmiarów 1 mm. W tej skali odległość do sąsiadujących ze Słońcem gwiazd jest rzędu 300m. Natomiast średnica Drogi Mlecznej, galaktyki składającej się z co najmniej 100 miliardów gwiazd (w tym Słońca), w tej skali wynosi około 6000 km. Jeżeli jeszcze raz dokonamy zmniejszenia rozmiarów wszechświata i założymy, że średnica naszej Drogi Mlecznej jest równa 1 cm, to w tej skali promień kuli stanowiącej obserwowalny wszechświat wynosi około 1500 m. Kula ta wypełniona jest prawie równomiernie co najmniej 100 miliardami galaktyk, z grubszą centymetrowej wielkości, oddalonych jedna od drugiej średnio o kilkadziesiąt centymetrów. Galaktyki te grupują się w gromady i supergromady. Obserwacje wskazują również, że w tej kuli istnieją duże, kilkudziesięciometrowe obszary pozbawione prawie zupełnie galaktyk. "

(Metakosmologia; Zbigniew Jacyna-Onyszkiewicz)

[3] Jest kwestią sporną, czy życie może powstać w pobliżu wielkich lub małych gwiazd. Te wielkie nie posiadają z reguły planet typu ziemskiego, te małe nie dostarczają wystarczającej ilości energii

[4] Następnie kilka minut (godzin) aby dotrzeć do pobliskich planet

[5] w czasie kolapsu gwiazda wiruje coraz szybciej, podobnie jak łyżwiarki na lodzie, zgodnie z zasadą zachowania pędu. Dzięki tej częstotliwości jesteśmy w stanie oszacować pierwotną wielkość gwiazdy.

[6] w sensie fizycznym, nie można przesłać przez nią żadnej formy energii.

[7] parują, tzn. oddają do przestrzeni energię i tracą swoją masę. Jest to zbyt jednak skomplikowany proces aby go tu opisać.

[8] Aby zmienić Słońce w czarną dziurę, należałoby ścisnąć całą jego masę do takiej gęstości, jaką ma materia w jądrze atomowym.

[9] Mowa o widmie świetlnym, obserwowanym np. za pomocą spektrometru.

[10] pc - wym. parsek; odległość, z której jednostka astronomiczna (AU- średnia odległość Ziemi od Słońca) jest widoczna pod kątem 1" (sekunda kątowa; proszę wyobrazić sobie taki gigantyczny trójkąt). $1 \text{ pc} = 308568 \cdot 10^8 \text{ km} = 3,261633 \text{ l.św.} = 206265 \text{ AU}$

Michał Przech

Webmaster, administrator i redaktor portalu Racjonalista. Współzałożyciel PSR. Z zawodu programista.

[Pokaż inne teksty autora](#)

(Publikacja: 24-05-2002 Ostatnia zmiana: 15-03-2010)

[Oryginał..](http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,367) (<http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,367>)

Contents Copyright © 2000-2010 Mariusz Agnosiewicz

Programming Copyright © 2001-2010 Michał Przech

Autorem portalu Racjonalista.pl jest Michał Przech, zwany niżej Autorem.
Właścicielami portalu 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 tego portalu i jakiegokolwiek jego części.

Wszystkie strony tego portalu, 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 tego portalu oraz opisu niniejszych Praw Autorskich bez uprzedniego powiadomienia. Jeżeli nie akceptujesz tej polityki możesz nie odwiedzać tego portalu i nie korzystać z jego zasobów.

Informacje zawarte na tym portalu 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 portalu 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 portalu. **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 portalu pod domenami Racjonalista.pl, TheRationalist.eu.org oraz Neutrum.eu.org.

Wszelkie pytania prosimy kierować do redakcja@racjonalista.pl