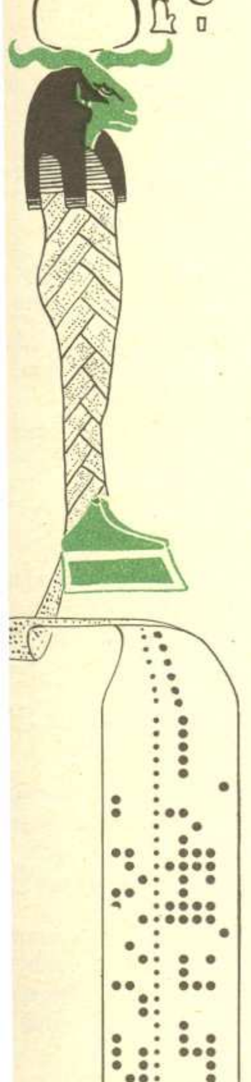
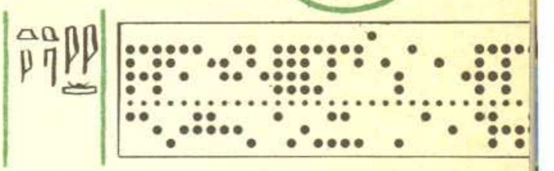
Niektóre dyscypliny wiedzy przeżywają okres rozkwitu, niektóre ustępują miejsca innym, jeszcze inne dopiero się rodzą. Te ostatnie są często bardzo modne i to jest niejednokrotnie mylone z rozkwitem. Do takich powstających dyscyplin należy teoria informacji. Uprawia ją, a lepiej byłoby powiedzieć — usiłuje ją tworzyć, wielu. Jaka to *jest* dyscyplina, mówi poniższy esej. A jaka *będzie* — zadecydują ci, co ją, być może już niedługo, stworzą.



Esej o informacji



Mieczysław LUBAŃSKI, filozof—matematyk

Matematyka jest nauką, która w umysłach ludzkich budzi podziw i zdumienie. Przysługują jej bowiem dwie, zdawałoby się przeciwne, cechy: 1° jest jedną z najstarszych dziedzin wiedzy ludzkiej, 2° jednocześnie jest bardzo młoda, jeżeli nawet nie młodzieńcza. Raz po raz przecież powstają nowe gałęzie matematyki. I często całkiem nieoczekiwanie. Odnoszą się one zarazem do prawdziwie nowych przedmiotów badań. Przykładem tego rodzaju nowej gałęzi, czy może nawet nowych gałęzi matematyki jest teoria informacji. Jej właśnie chcemy poświęcić nieco uwagi.

Już z samej nazwy „teoria informacji" można wnioskować, że w punkcie wyjścia wspomnianej teorii znajduje się informacja. Słowo to jest używane w języku codziennym, potocznym. W swym podstawowym znaczeniu ma ten sam sens, co słowo „wiadomość". Na przykład „*Mały słownik języka polskiego*" (PWN, Warszawa 1968) „objaśnia" termin „informacja" między innymi za pomocą terminu „wiadomość" i podobnie termin „wiadomość" — terminem „informacja". Słowo „informacja" ma dość długą historię. W języku polskim spotykamy je już w wieku XVII w tytule pierwszej polskiej gazety: „*Merkuriusz Polski, Dzieje Wszystkiego Świata w sobie Zamykający dla Informacyey Pospolitey*".[1] Słowo to, jak i każde inne, przeżyło pewną ewolucję znaczeniową. Współcześnie, oprócz wspomnianego znaczenia pokrywającego się ze znaczeniem terminu „wiadomość", oznacza ono także miejsce udzielania informacji.[2]

Nauka rozpoczyna się z chwilą, kiedy słowom zaczerpniętym z języka codziennego nadaje się ścisłą, jednoznaczną treść, zaś wiedzę potoczną odnoszącą się do pewnej dziedziny ujmuje we wspomniane pojęcia. Zarazem wiedzę tę systematyzuje się i uzasadnia. Innymi słowy, nauka to wiedza operująca jednoznacznymi pojęciami, usystematyzowana i uzasadniona. Przyjmuje się, że pierwszym myślicielem, który dokonał przejścia od wiedzy potocznej do wiedzy naukowej, był Tales.[3] Opisanego zabiegu poznawczego dokonała matematyka w odniesieniu do słowa „informacja". Zaczerpnęła je z języka potocznego i przetworzyła intelektualnie. W ten sposób powstała nowa dziedzina badań matematyki, której najwłaściwiej jest nadać nazwę „teoria informacji".

Problematyka teorii informacji (w szerokim znaczeniu tego terminu) jest dziś bardzo rozbudowana i obejmuje co najmniej trzy różne zespoły teorii. Skąd to się bierze? Zilustrujmy złożoność zagadnienia następującym prostym przykładem. Przypuśćmy, że czytamy lub słyszymy komunikat postaci: „Spokojna noc w Bejrucie. Oddziały Arabskiego Korpusu Bezpieczeństwa kontynuują operacje".[4] Komunikat ten niesie pewną informację. Można zastanawiać się, co znaczy zwrot, że uzyskujemy tu pewną informację. Następnie można pytać, jak wiele informacji dostarcza wspomniany komunikat. W jaki sposób można tę wielkość informacji obliczyć? Nadto jest widoczne, że rozważaną informację zupełnie inaczej odbierze młody czytelnik liczący sobie, powiedzmy, piętnasty rok życia, inaczej osoba cywilna, dajmy na to, pięćdziesięcioletnia, która przeżywała II wojnę światową w Polsce, inaczej zaś żołnierz walczący w obronie Warszawy we wrześniu 1939 roku itp. A więc wspomniani przypiszą jednej i tej samej informacji różną wartość. Nasuwa się więc dalsze pytanie, czy i w jaki sposób można oceniać wartość pewnej informacji. Zatem w odniesieniu do wyrazu „informacja" można postawić co najmniej trzy pytania: 1° Co to jest informacja? 2° W jaki sposób obliczać ilość informacji? 3° W jaki sposób oceniać wartość informacji? W ten sposób otrzymujemy trzy obszerne dziedziny badań.

Nauka, która poszukuje odpowiedzi na pierwsze z postawionych pytań, może być nazwana teorią informacji w najwęższym tego słowa znaczeniu. Nauka poszukująca odpowiedzi na drugie pytanie bywa nazywana teorią ilości informacji.

[1] J. Ratajewski, *Wstęp do informacji naukowej*, Katowice 1973, s. 7.
[2] *Mały słownik języka polskiego*, Warszawa 1968.
[3] W. Tatarkiewicz, *Historia filozofii*, t. I, Warszawa 1958, s. 23-24.
[4] „*Życie Warszawy*" z dnia 17 listopada 1976 r.

Nauka szukająca odpowiedzi na trzecie z wymienionych pytań zwie się teorią wartości informacji. Wszystkie wyżej wspomniane trzy dziedziny wiedzy mogą być nazwane teorią informacji w szerokim znaczeniu tego słowa.
Historycznie pierwszą dyscypliną, odnoszącą się do kompleksu zagadnień związanych z pojęciem informacji, jest teoria ilości informacji. Zwana bywa ona także ilościową teorią informacji. Do dziś jest w użyciu nazwa „teoria informacji". Jest to jednak nazwa myląca. Istnieje pogląd głoszący, że nadanie nauce o ilości informacji nazwy teorii informacji stanowiło krok bardzo niefortunny.[5] Teoria ilości informacji powstała wskutek pojawienia się wynalazku telegrafu i telefonu, a więc dla potrzeb telekomunikacji, czyli przesyłania informacji na duże odległości. Punkt widzenia inżyniera telekomunikacji zaciążył na problematyce, pojęciach i metodach teorii ilości informacji. Nie jest to niczym zaskakującym, ani niewłaściwym. Chodzi jedynie o to, by pamiętać, że obiegowa nazwa „teoria informacji" oznacza (ściśle biorąc) jedynie pewien dość wąski fragment rozważań naukowych z zakresu szerokiej problematyki związanej z pojęciem informacji.

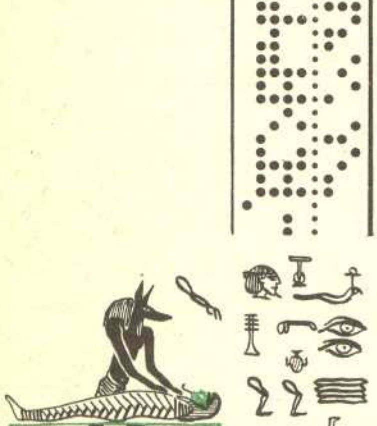
Po tych uwagach wstępnych przejdziemy do krótkiego scharakteryzowania zasygnalizowanych wyżej trzech dziedzin z szeroko rozumianej teorii informacji. Zajmiemy się najpierw sprawą odpowiedzi na pierwsze z wymienionych trzech pytań. N. Wiener, zwany ojcem cybernetyki, przez informację rozumie „treść" zaczerpniętą ze świata zewnętrznego. Bliżej nie precyzuje znaczenia słowa „treść". Zaznacza jedynie, że informacja nie sprowadza się ani do materii, ani do energii.

Inni autorzy (np. P. Fey, H. J. Flechtner) rozważają zależności zachodzące między informacją, wiadomością i sygnałem, wychodząc z potocznych intuicji. I na tym, w zasadzie, poprzestają. Nie formułują precyzyjnego określenia terminu „informacja", które byłoby zgodne z potocznym rozumieniem tego słowa. Najpełniejszą do tej pory propozycję, jak się wydaje, przedstawił M. Mazur.[6]

Przyjrzyjmy się jej nieco bliżej. Propozycja ta może być nazwana propozycją o charakterze cybernetyczno-komunikacyjnym. Podaje ona zarówno pojęcie informacji, jak i pojęcie informowania. Przez informację rozumie się transformację jednego komunikatu w drugi, czyli jednego stanu fizycznego w stan drugi. Informowanie natomiast jest to transformowanie jednych informacji w drugie. Można wyróżnić różnego rodzaju informowania, jak np. informowanie symulacyjne, dysymulacyjne, konfuzyjne, dalej: transinformowanie, pseudoinformowanie, dezinformowanie, parainformowanie, a także metainformowanie, jak również wyższego stopnia meta-meta... informowania. Określone pojęcia mają zastosowanie w różnych zagadnieniach życia i nauki.

Zaproponowane pojęcie informacji ma pewne własności. Dają się w nim wyróżnić co najmniej trzy specyficzne aspekty. Mianowicie, pojęciu informacji przysługuje cecha ontyczności (fizyczności), dynamiczności oraz fluktuacji. Pierwsza z cech polega na tym, że określenie informacji akcentuje stronę przedmiotową, druga — na złączeniu informacji z procesem, trzecia zaś — na możliwości zanikania informacji. Cechy te wskazują na to, że omawiana propozycja nie oddaje wiernie intuicyjnej treści pojęcia „informacja". Ujmując informację jako proces, wydaje się, że rozważana propozycja podaje nie tyle definicję informacji, ile raczej definicję otrzymywania czy nawet przetwarzania informacji, lub może jeszcze poprawniej: definicję przetwarzania sygnałów niosących informację.

Nasuwa się następująca prosta konkluzja. Nie istnieje do chwili obecnej „dobra" teoria informacji (w najwęższym tego słowa znaczeniu), tj. teoria, która by dawała zadowalającą odpowiedź na pytanie: co to jest informacja, a więc odpowiedź zgodną z naszymi intuicjami.



Na drugie z wymienionych wyżej pytań mamy także wiele odpowiedzi. Istnieją różne teorie ilości informacji. Można wśród nich wyróżnić koncepcje o charakterze statystycznym oraz niestatystycznym. Do ujęć statystycznych należy zaliczyć teorię pochodzącą od H. Nyqvista i R. V. L. Hartleya, zaś wypracowaną przez C. E. Shannona i jego kontynuatorów. Wypada tu wspomnieć A. Feinsteina, który podał aksjomatykę teorii shannonowskiej. Interesujące wyniki uzyskał także L. Brillouin. Spośród ujęć o charakterze niestatystycznym wymieńmy koncepcję podaną przez R. S. Ingardena i K. Urbanika oraz ujęcie kombinatoryczne, algorytmiczne i topologiczne.

W ujęciu shannonowskim wyróżnia się przypadek jednakowo prawdopodobnych stanów oraz „przypadek ogólny", tj. niejednakowo prawdopodobnych stanów. Rozważmy ten pierwszy przypadek. Niech dany będzie układ U, który może się znajdować w jednym z n jednakowo prawdopodobnych odróżnialnych stanów.

(5) Por. R. L. Ackoff, *Decyzje optymalne w badaniach stosowanych*, Warszawa 1969 s. 210.

(6) *Jakościowa teoria informacji*, Warszawa 1970.

Wówczas umawiamy się przez ilość informacji, niesioną przez zrealizowanie się jednego ze wspomnianych stanów, rozumieć liczbę daną wzorem:

$$I(U) = I\,(n) = \log n.$$

Innymi słowy, powyższą ilość informacji otrzymujemy w przypadku zajścia jednego z n jednakowo prawdopodobnych stanów. Ilość informacji jest więc tu związana ze zmniejszaniem się różnorodności układu. Im mniej jest prawdopodobny stan, tym większą niesie informację w przypadku zrealizowania się. Jeżeli jakiś stan jest pewny, to wiadomość o jego zrealizowaniu się nie daje żadnej informacji, czyli ilość informacji jest wówczas równa zeru. Widzimy więc, że ilość informacji jest tu związana z pojęciem różnorodności, nie zaś z pojęciem wiedzy. Jest to konsekwencją, jak już sygnalizowaliśmy, genezy teorii ilości informacji, która wywodzi się z technicznych problemów telekomunikacji. Stąd też bierze się pewna niezgodność między powyższą koncepcją ilości informacji, a intuicyjnym pojęciem ilości informacji, w znaczeniu pewnej ilości wiedzy. Z podanego wzoru wynika, że niezależnie od „jakości" stanów układu otrzymuje się tę samą ilość informacji, jeżeli tylko mamy do czynienia z tą samą liczbą rozróżnialnych stanów. Zależnie od tego, jaka liczba zostaje przyjęta za podstawę logarytmu, ilość informacji mierzy się w odpowiednich jednostkach. Jeżeli podstawą logarytmu jest liczba 2, to jednostką ilości informacji jest bit (binarna jednostka informacji), jeżeli jest nią liczba e, to jednostką jest nit (naturalna jednostka ilości informacji), jeżeli natomiast jest nią liczba 10, to jednostką jest dit (dziesiętna jednostka ilości informacji). Najczęściej używa się binarnej jednostki informacji. Można także mierzyć ilość informacji w innych jednostkach, np. energii lub entropii. Wówczas należy w podanym wyżej wzorze dopisać dodatnią stałą K, tj. przyjąć $I = K \cdot \log n$, której wartość zależy od rodzaju przyjętych jednostek.

Ostatni wzór można traktować jako ogólny, gdyż dobierając odpowiednio stałą K można od logarytmu o jednej podstawie przejść do logarytmu o dowolnej innej podstawie.[7] Ilość informacji jest funkcją rosnącą, addytywną, przyjmującą wartości nieujemne.[8]

Zwróćmy uwagę, że w ujęciu shannonowskim przyjmuje się za znane pojęcie prawdopodobieństwa. Za jego pomocą określa się pojęcie ilości informacji. Natomiast Ingarden i Urbanik zaproponowali ujęcie nieprobabilistyczne. Przez informację rozumieją pewną funkcję $H(X)$ określoną na przestrzeni Boole'a inkluzji, spełniającą trzy proste aksjomaty.[9] Okazuje się, że za pomocą tego pojęcia można dojść do pojęcia prawdopodobieństwa.[10] Zatem wspomniane dwa ujęcia są logicznie równoważne.

Zauważmy jeszcze, że wypracowane pojęcie ilości informacji może być stosowane jedynie w tych przypadkach, kiedy mamy do czynienia z tzw. pełnym układem prawdopodobieństw, a więc gdy suma prawdopodobieństw poszczególnych stanów układu jest równa jedności.

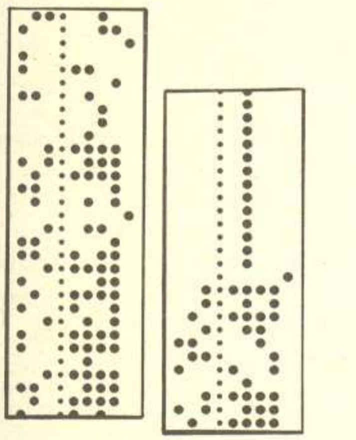
Rozważmy teraz próby odpowiedzi na trzecie z interesujących nas pytań. Rozważmy zagadnienie osiągnięcia pewnego określonego celu, rozwiązania jakiegoś zadania oraz podjęcia pewnej decyzji. Przypuśćmy, że przed otrzymaniem informacji prawdopodobieństwo osiągnięcia interesującego nas celu było równe p_0, zaś po jej otrzymaniu przyjęło ono wartość równą p_1. Powiemy wówczas, że wartość otrzymanej informacji dana jest wzorem $J = \log_2 p_1 - \log_2 p_0$.

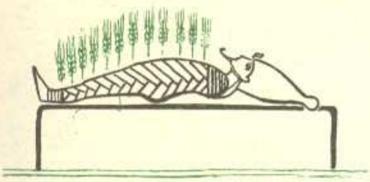
Z podanego określenia widać, że wartości informacji przypisujemy wielkość dodatnią, jeżeli jej otrzymanie zwiększa prawdopodobieństwo osiągnięcia danego celu. W przypadku przeciwnym wartość informacji wyraża się liczbą ujemną.[11]

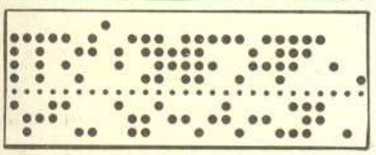
Przypuśćmy, że określone zostało pojęcie nieokreśloności zadania. Przypuśćmy dalej, że przed otrzymaniem informacji interesujące nas zadanie posiadało nieokreśloność równą N_0, zaś po jej otrzymaniu nieokreśloność zadania przyjęła wartość równą N_1. Powiemy wówczas, że przekazana została informacja pożyteczna (użyteczna) o wielkości równej różnicy $N_0 - N_1$. Z definicji widać, że informacja pożyteczna może przyjmować wartości zarówno dodatnie, jak i ujemne, a także być równa zeru.[12]

Gdy chodzi o podejmowanie decyzji, to chcemy w konkretnej sytuacji podjąć decyzję optymalną. Jeżeli posłużyć się aparaturą teorii gier, to można powiedzieć, że rozważana sytuacja decyzyjna jest przypadkiem pewnego rodzaju gry. Wobec tego przez wartość informacji dla danej decyzji można rozumieć odpowiadający tej informacji przyrost wartości gry, która stanowi matematyczny model rozważanej sytuacji decyzyjnej.

Zasygnalizowane trzy zagadnienia są jedynie wycinkiem z rozległej problematyki związanej z pojęciem wartości informacji.







[7] Mamy: $\log_a x = (\log_b x) : (\log_b a)$. W szczególności: 1 bit ≈ 0,694 nita, 1 bit ≈ 0,3010 dita, 1 nit ≈ 1,44 bita, 1 nit ≈ 0,4343 dita, 1 dit ≈ 3,32 bita, 1 dit ≈ 2,32 nita.

[8] Wynika to bezpośrednio ze wzoru $I = K \cdot \log n$.

[9] Przestrzenią Boole'a inkluzji zwie się klasę skończonych pierścieni Boole'a, która spełnia dwa warunki: 1) podpierścień pierścienia należącego do danej klasy też do niej należy, 2) dla każdego pierścienia boolowskiego należącego do danej klasy istnieje pierścień należący do rozważanej klasy, zawierający go jako podpierścień. Definiuje się dalej pierścienie H-równoważne oraz funkcję regularną. Wspomnianymi aksjomatami są: 1° aksjomat monotoniczności: jeżeli Y jest podpierścieniem X, to $H(Y) < H(X)$, 2° aksjomat addytywności, 3° aksjomat nierozróżnialności: izomorficzne H-jednorodne pierścienie są H-równoważne. H jest funkcją regularną określoną na przestrzeni Boole'a inkluzji.

[10] R. S. Ingarden, *Simplified Axioms for Information without Probability*, Prace Matematyczne 9 (1965), s. 275.

[11] Jest to koncepcja pochodząca od A. A. Charkiewicza.

[12] Ta koncepcja pochodzi od M. M. Bongarda.

Konkludując powiemy, że mimo uzyskanych do tej pory licznych i ważnych osiągnięć, nie mamy jeszcze adekwatnej teorii informacji w szerokim tego słowa znaczeniu. Istnieją jedynie cząstkowe teorie z trzech dziedzin badań, a więc dotyczące pojęcia informacji, ilości informacji oraz wartości informacji. Opisany stan rzeczy można w jeden tylko sposób rozumieć, mianowicie jako zachętę do dalszych intensywnych badań we wspomnianych dziedzinach, do wszechstronnego zajęcia się zasygnalizowaną rozległą problematyką odnoszącą się do pojęcia informacji.

Osoby interesujące się bliżej problematyką poruszoną w artykule odsyłamy do literatury specjalistycznej. W języku polskim łatwo dostępne są następujące pozycje:

L. Brillouin, *Nauka a teoria informacji*, Warszawa 1969.

A. Dąbrowski, *O teorii informacji*, Warszawa 1974 (Biblioteczka Matematyczna 34).

A. M. Jagłom i I. M. Jagłom, *Prawdopodobieństwo i informacja*, Książka i Wiedza 1963.

E. Kofler, *O wartości informacji*, Warszawa 1968.

M. Mazur, *Jakościowa teoria informacji*, Warszawa 1970.

J. R. Pierce, *Symbole, sygnały i szumy*, Warszawa 1967 (Biblioteka Problemów).

W. Sobczak, *Elementy teorii informacji*, Warszawa 1973 (Biblioteka Wiedzy Współczesnej „Omega").

P. M. Woodward, *Wstęp do teorii informacji z zastosowaniem do radaru*, Warszawa 1959.

Pomijamy zupełnie literaturę z zakresu cybernetyki oraz informatyki, gdzie (z reguły) wykłada się podstawy teorii ilości informacji (zwanej po prostu teorią informacji).

Kosmologia fizyczna-II

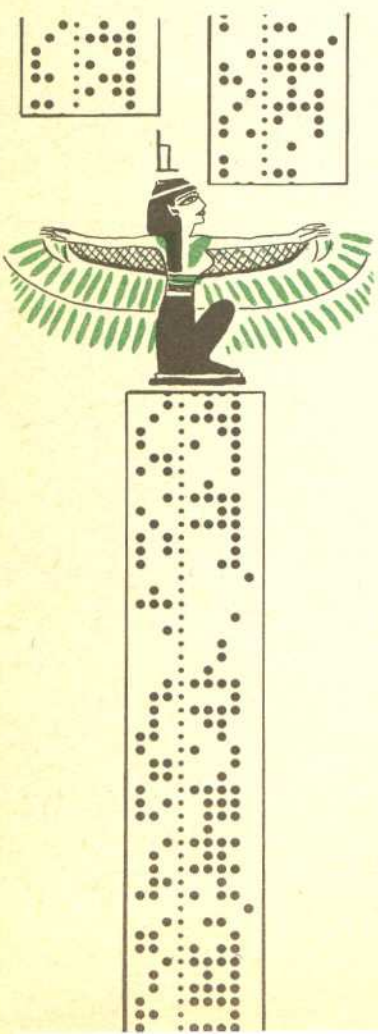
Paleontologia kosmiczna

Dr hab. Bronisław KUCHOWICZ

„Dopiero po stworzeniu świata powstało mnóstwo niestworzonych rzeczy"

Stanisław Lec, Myśli nieuczesane

W artykule tym przedstawiamy najbardziej prawdopodobną (z punktu widzenia współczesnej fizyki) teorię rozwoju Wszechświata w dalekiej przeszłości.



W poprzednim artykule wskazałem na zasadniczą niemożność sięgnięcia w dziejach Wszechświata bezpośrednio do samego jego początku, tj. do chwili $t = 0$. Ta zasadnicza niemożność stanowi konsekwencję użycia opisu kwantowego dla elementarnych składników materii. To, co było od hipotetycznego początku powszechnej ekspansji kosmicznej, tj. od chwili $t = 0$, rozmyte jest w czasie i skryte w chaosie pierwotnym aż do chwili $t_0 = 10^{-44}$ s. Co jednak było dalej?

Do rozumienia dziejów Wszechświata w pierwszych fazach jego rozwoju nie wystarczają normalne obserwacje astronomiczne, z których wyciągamy informacje o Wszechświecie już starszym.

W nadgęstych jego początkach nie było jeszcze tych struktur astronomicznych (gwiazd, galaktyk, gromad galaktyk), które są tak istotne dla dzisiejszego Wszechświata, ale które są strukturami historycznymi, tj. miały swój początek. Był tylko ów nadgęsty gaz cząstek elementarnych, o którym już wspomniałem pod koniec poprzedniego artykułu.

Aktualny stan fizyki cząstek elementarnych, teorii grawitacji itp. pozwala nam na razie na opis ilościowy materii we Wszechświecie od chwili znacznie późniejszej, niż wspomniana już graniczna chwila $t_0 = 10^{-44}$ s. Możemy cokolwiek powiedzieć o dziejach Wszechświata od chwili $t_1 = 10^{-12}$ s, której odpowiada gigantyczna w naszym pojęciu gęstość rzędu 10^{31}–10^{33} kg/m^3.

Występującymi dziś we Wszechświecie cząstkami elementarnymi są przede wszystkim cząstki trwałe: nukleony, elektrony, a także cząstki o zerowej masie spoczynkowej (fotony, neutrina, antyneutrina), stanowiące kwanty odpowiednich pól promieniowania — elektromagnetycznego i neutrinowego. Zarówno gęstość cząstek o niezerowej masie spoczynkowej, jak i gęstość promieniowania wyrażać będziemy w dalszym ciągu w jednostkach gęstości masy (kg/m^3), korzystając ze związku einsteinowskiego $E = mc^2$ między masą i energią. Obecnie średnia gęstość materii korpuskularnej (jak dalej nazywać będziemy materię pod postacią cząstek o niezerowej masie spoczynkowej) we Wszechświecie jest rzędu $\varrho_k = 10^{-27}$ kg/m^3 — z dokładnością do rzędu wielkości. Gęstość zaś promieniowania tła (patrz Delta 10/1976) jest rzędu $\varrho_{pr} = 10^{-30}$ kg/m^3 — jest więc o trzy rzędy niższa. Nie zawsze tak musiało być, by większa część masy występowała jako materia korpuskularna. Rozszerzaniu Wszechświata towarzyszył nieustanny spadek jego temperatury T. Jeśli wziąć jakiś obszar przestrzenny o objętości V poruszający się wraz ze znajdującymi się w nim cząstkami, to zgodnie z wyobrażeniami opartymi na kosmologii geometrycznej (patrz Delta 5/1977) obszar ten z upływem czasu nieustannie będzie wzrastać, jednocześnie wielkości ϱ_k i ϱ_{pr} odnoszące się do zawartej w niej materii będą maleć. Wychodząc bądź to z zasad termodynamiki, bądź też z równań ogólnej teorii względności, wyprowadzić możemy następujące zależności dla omawianych tu wielkości $\varrho_k \sim T^3$, $\varrho_{pr} \sim T^4$, $V \sim T^3$, gdzie znak $\sim$ oznacza proporcjonalność. Przebieg wielkości ϱ_k i ϱ_{pr} w zależności od temperatury wskazuje, iż niezależnie od tego, o ile dzisiejsza wartość ϱ_{pr} mniejsza byłaby od ϱ_k, kiedyś, w odległej przeszłości musiało być inaczej, tj. przy dość wysokiej temperaturze T, a więc bardzo dawno, było $\varrho_{pr} > \varrho_k$. Fotony promieniowania tła dysponowały wtedy ogromnymi energiami porównywalnymi z energiami (nie kinetycznymi, a całkowitymi) nukleonów, a nawet większymi od nich!