

STANISŁAW BUTRYN  
IFiS PAN

## PROBLEM STRUKTURY MATERII W ŚWIETLE FIZYKI WSPÓŁCZESNEJ

Poznanie struktury materii jest warunkiem koniecznym zrozumienia czym jest materia. Ale niektórzy uczeni uważają nawet, że wiedza o strukturze materii ma również konsekwencje szersze, wpływające na ludzkie życie. Np. Werner Heisenberg wskazuje, że filozoficzne wyobrażenia o materii odgrywają wielką rolę w ludzkim życiu, że „... na społeczeństwo europejskie podziały one jak bez mała materiał wybuchowy i może podziałają jeszcze w ten sam sposób w innych częściach świata...”. W stwierdzeniu tym jest wiele przesady. Wprawdzie Heisenberg, mówiąc o „wybuchowym” działaniu na społeczeństwo europejskie filozoficznych wyobrażeń o strukturze materii, ma na myśli materialistyczno-dialektyczną koncepcję struktury materii, ale fakt ten może go usprawiedliwiać jedynie częściowo. Albowiem takie właśnie działanie na społeczeństwo europejskie miały nie akurat głoszone przez materializm dialektyczny poglądy na strukturę materii, lecz całokształt tej filozofii, a w szczególności stworzona przez nią koncepcja rzeczywistości społecznej.

Problem struktury materii jest wielce złożony i wieloaspektowy. Wyrazem jednego z najbardziej istotnych aspektów tego problemu jest, moim zdaniem, istnienie dwóch przeciwstawnych stanowisk w odwiecznym sporze filozoficznym o to, czy materia jest ciągła, nieskończenie podzielna, czy też istnieją najbardziej podstawowe, absolutnie niepodzielne, elementarne składniki jej struktury. Zbadanie zasadności tych stanowisk w świetle współczesnej wiedzy fizycznej o strukturze materii, jest zadaniem niniejszej pracy.

W myśli europejskiej jako pierwsza pojawiła się idea, że tworzywo rzeczywistości ma charakter ciągły. Była ona wynikiem teoretycznego uogólnienia pierwszych prób zrozumienia natury świata otaczającego człowieka oraz wyjaśnienia genezy realnych przedmiotów i zjawisk. Rezultatem tych prób był pogląd, że wszystko co istnieje, wywodzi się z jakiejś jednej substancji - pramaterii. Pramaterię rozumiano w sposób mitologiczny, jako istniejące odwiecznie bierne, pierwotne tworzywo, z którego, w wyniku działania jakiegoś bóstwa, wyłoniła się cała różnorodność postrzeganych przez człowieka przedmiotów i zjawisk. Starożytni Grecy początkowo nadawali

<sup>1</sup> W. Heisenberg: *Ponad granicami*. Warszawa 1979, s. 196.

pramaterii postać pierwotnego chaosu stanowiącego bezkształtną, bezpostaciową podstawę istniejącego świata. Oczywiście, tak rozumiana pramateria musiała być ciągła i nie mogła mieć struktury wewnętrznej, albowiem nieciągłość i struktura byłyby niezgodne z absolutną plastycznością pramaterii i jej nieskończoną zdolnością do przemian.

**Spór o strukturę materii w filozofii.** Idea ciągłości została przejęta przez pierwsze filozoficzne koncepcje materii, nadające jej postać obdarzonej wewnętrzną aktywnością zasady wszechrzeczy („arche”), z której w sposób naturalny, to znaczy wskutek działania jej własnych sił, wyłoniły się wszystkie różnorodne przedmioty i zjawiska materialne. Koncepcje takie stworzyli filozofowie ze szkoły milezyjskiej: Tales, Anaksymander i Anaksymenes.

We wszystkich tych koncepcjach materia jest ciągła, a gdy ma postać „materii jako takiej”, materii w ogóle, przasady wszechrzeczy, która nie przekształciła się w cokolwiek różnego od wody - w przypadku koncepcji Talesa, w cokolwiek różnego od powietrza - w przypadku koncepcji Anaksymenesa, czy w jakąkolwiek konkretną formę materii - w przypadku koncepcji Anaksymandra, wówczas jest także amorficzna, bezstrukturalna. Wprawdzie w koncepcji Anaksymandra mówi się o „strukturze powietrza”, ale stwierdzenie to jest bezpodstawne, gdyż powietrze wówczas, gdy ma postać „materii jako takiej”, to znaczy gdy jest rozłożone równomiernie, jest niewidzialne, a więc nie można stwierdzić czy ma jakąkolwiek strukturę. W koncepcjach tych struktura materii pojawia się w wyniku przemian pramaterii. Przemiany te mają charakter bądź to nieokreślonego procesu „wyłaniania się” przedmiotów i zjawisk z przasady wszechrzeczy, jak w przypadku stanowisk Talesa i Anaksymandra, bądź to polegają na czysto mechanicznym jej zgęszczaniu się lub rozrzedzaniu.

Ale starożytni filozofowie greccy odkryli fakt, który zdawał się przeczyć idei ciągłości. Legł on u podstaw koncepcji przeciwstawnej w stosunku do tej idei, a mianowicie teorii atomistycznej. Jej twórcą był Leukippos, zaś faktem, który podobno nasunął mu myśl o atomistycznej strukturze materii były ruchy drobnutkich cząsteczek pyłu w smudze silnego światła słonecznego. W odróżnieniu od dotychczasowych koncepcji przedstawiających materię jako byt bezstrukturalny, ciągły, dający się dzielić w nieskończoność, którego każda cząstka jest zmienna i dysponuje nieograniczonymi wprost możliwościami do przeobrażeń, Leukippos twierdził, że istnieją znajdujące się w ciągłym mchu, ostateczne, pierwotne, niepodzielne i niezienne najmniejsze cząstki materii, które nazwał atomami. Materia nie jest ciągła, lecz ma strukturę atomistyczną. Teorię Leukipposa przejął jego uczeń Demokryt, który rozwinął ją i wzbogacił.

Atomisci przyjęli, że istnieje granica podzielności materii. Czemu miało służyć to założenie? Niels Bohr tak pisał w tej sprawie: „Filozofowie staro-

żytni (... ) przyjmując granicę podzielności materii, usiłowali znaleźć podstawę do zrozumienia cech trwałości w zjawiskach przyrody, tak przecież różnorodnych i zmiennych”<sup>2</sup>. Natomiast zdaniem Grzegorza Białkowskiego, „idee atomistyczne powstały po to, aby wyjaśnić zmienność, ale i oddziaływanie ciał i substancji, w tym także oddziaływanie na nasze zmysły. Atomy były pomyślane jako różnokształtne, przy czym ich postać miała mieć związek z rodzajem substancji, na którą się one składały. Miały się one poruszać w próżni, pojętej jako rzeczywiste nic, a oddziaływania atomów miały mieć charakter wyłącznie kontaktowy. Ponieważ zaś atomy miały być doskonale sztywne, w ich oddziaływaniach rolę mogła odgrywać tylko geometria ich kształtów; forma przestrzenna, w której atomy istniały, determinowała ich oddziaływania. I nic w tym dziwnego: ówczesna matematyka dysponowała tylko geometrią jako możliwym językiem dla rodzącej się fizyki”<sup>3</sup>.

Jak widać, są to dwie różne interpretacje celów, jakim miało służyć stworzenie atomistycznej koncepcji struktury materii. Jednakże nie wykluczają się one wzajemnie, lecz mają charakter komplementarny. Każda z nich zwraca uwagę na inne istotne własności wyjaśniające koncepcji atomistycznej. Albowiem koncepcja ta pozwala wyjaśnić zarówno trwałość w różnorodnych i zmiennych zjawiskach przyrody, na co zwraca uwagę Bohr, jak i zmienność oraz oddziaływania wzajemne obiektów materialnych - co podkreśla Białkowski. Trwałość obiektów i zjawisk przyrodniczych ufundowana jest na niezmienności atomów, natomiast zmienność i oddziaływania uwarunkowane są przez wieczny ruch atomów, w toku którego łączą się one i rozdzielają, tworząc coraz to nowe przedmioty i zjawiska oraz powodując zmiany bądź też rozpad wcześniej powstałych przedmiotów i zjawisk. Oddziaływanie obiektów i zjawisk przyrodniczych na ludzkie zmysły polega na przenikaniu atomów ze świata zewnętrznego do organów zmysłowych. Np. obrazy wzrokowe powstają dzięki temu, że od przedmiotów odrywają się cząstki będące ich obrazami i przedostają się do wnętrza oka.

Sądzę, że w interpretacji Białkowskiego szczególnie cenne i interesujące jest dostrzeżenie zależności między pewnymi własnościami, jakie atomiści przypisywali atomom, a stanem ówczesnej matematyki. Okazuje się, że taka własność atomów, jak ich doskonała sztywność, uwarunkowana jest tym, że jedyną rozwiniętą wówczas należycie gałęzią matematyki była geometria, pozwalająca opisywać tylko takie oddziaływania, w których wyłączną rolę odgrywa geometria kształtów oddziałujących obiektów.

Z chwilą stworzenia atomizmu rozpoczął się wspomniany na początku niniejszych rozważań spór o to, czy materia jest ciągła, nieskończenie po-

<sup>2</sup> N. Bohr: *Fizyka atomowa a wiedza ludzka*. Warszawa 1963, s. 126.

<sup>3</sup> G. Białkowski: *Stare i nowe drogi fizyki. U źródeł fizyki współczesnej*. Warszawa 1980, s. 131.

dzielna, czy też istnieją ostateczne, absolutnie niepodzielne elementy jej struktury. Szczegółowe śledzenie całej historii tego sporu z pewnością byłoby zajęciem pasjonującym i cennym poznawczo, ale wykraczałoby poza ramy niniejszej pracy, której zamierzam skoncentrować się na współczesnej, a ściślej mówiąc - dwudziestowiecznej postaci tego sporu. Natomiast skrótowe przedstawienie ważniejszych elementów tej historii może być pożyteczne dla lepszego zrozumienia jego specyfiki i istoty.

Zolennikami idei ciągłości materii i przeciwnikami atomizmu byli Platon i Atystoteles, z uwagi zaś na dominującą pozycję filozofii Arystotelesa w średniowieczu, w epoce tej dominowała również idea ciągłości materii. Ale miała ona swoich zwolenników także w czasach nowożytnych, jak również w naszym stuleciu. Należeli do nich tacy wybitni uczeni jak matematyk Leonard Euler, chemik Wilhelm Ostwald i fizyk Ernst Mach. Euler uważał, że źródła atomizmu tkwią w ograniczoności umysłowej jego twórców i zwolenników, którzy wolą wygadywać największe głupstwa aniżeli przyznać się do swej niewiedzy. Analogiczne stanowisko zajmował Ostwald, który pisał, że wyjaśnianie zjawisk chemicznych za pomocą poglądu o istnieniu atomów jest rzeczą równie głupią, jak wyjaśnianie działania parowozu tym, że w jego wnętrzu ukryty jest koń<sup>4</sup>. W słynnym odczycie *Krytyka materializmu naukowego* Ostwald utrzymywał, że atomizm pozostaje w sprzeczności z niewątpliwymi, ogólnie znanymi i uznanymi prawdami. Jedną z takich prawd jest nieodwracalność przebiegu zjawisk przyrodniczych. Nieodwracalność ta ma świadczyć o tym, że zjawiska te nie dają się wyrazić w równaniach mechaniki, co z kolei wydaje wyrok na materializm naukowy i będący jednym z jego fundamentów atomizm.

Mach był przekonany, że cząsteczki i atomy to tylko „środki ekonomiczne” stworzone przez nauki przyrodnicze do opisu zjawisk. Środki te są zmienne i nie należy im przypisywać realnego bytu. Atom jest tylko tworem umysłu, środkiem przedstawiania zjawisk.

Atomistyczna koncepcja struktury materii początkowo nie zyskała sobie uznania i nie zdobyła szerszego grona zwolenników. Powstała ona bowiem w okresie rozkwitu platonizmu i była ostro zwalczana przez samego Platona, a później przez Arystotelesa. Nawiązał do tej koncepcji i odnowił ją dopiero Epikur, wprowadzając do niej liczne własne modyfikacje. Atomom przypisywał tylko wielkość i kształt. W odróżnieniu od Demokryta nie uważał, że jakości zmysłowe są subiektywne, lecz sądził, że powstają w zespołach atomów. Jednakże najbardziej istotną modyfikacją była jego idea parenklizy - odchylenia spadających atomów od pionu. Idea ta tłumaczyła różnorodność świata i wprowadzała do niego wolność. Idee Epikura, a zatem pośrednio

<sup>4</sup> M. A. Marków: *O prirodzie materii*. Moskwa 1976, s. 67-68.

i Demokryta, spopularyzował Lukrecjusz w poemacie *O naturze wszechrzeczy*. Jednak prawdziwy renesans atomistycznej koncepcji materii nastąpił dopiero w wieku XVII. Uwarunkowany był on postępowaniem w naukach przyrodniczych, a zwłaszcza sukcesami mechaniki w wyjaśnianiu i przewidywaniu zjawisk (w szczególności astronomicznych).

Sukcesy te stały się podstawą przekonania filozoficznego, jakoby wszelkie prawidłowości rządzące przebiegiem zjawisk dawały się ostatecznie zredukować do zależności o charakterze mechanicznym i opisać za pomocą praw mechaniki. Z przekonania o jednolitości praw przyrody wynikała z kolei akceptacja atomistycznego poglądu na materię jako na tworzywo jakościowo jednorodne i obdarzone właściwościami wyłącznie mechanicznymi. Warto przy tym podkreślić, że o ile w czasach Demokryta pogląd ten był jedynie nieudokumentowaną hipotezą, o tyle w XIX stuleciu uzyskał poważne uzasadnienie empiryczne w postaci osiągnięć mechaniki, dla której był teoretycznym oparciem.

Jak wskazuje Grzegorz Białkowski<sup>5</sup>, w XVII wieku nastąpiło niemal żywiołowe przejście przyrodników i filozofów do atomizmu. Zapoczątkował je jeszcze w sposób ostrożny Francis Bacon, który sugerował, że teoria Demokryta jest albo prawdziwa, albo też przynajmniej pożyteczna dla dowodzenia, gdyż przyjęcie atomów pozwala czy to uchwycić myślą, czy to wyrazić słowami znajdującą się w rzeczach przyrodzoną subtelną naturę. Ale za prawdziwego ojca współczesnego atomizmu może słusznie uchodzić Pierre Gassendi. W swym podstawowym dziele *Syntagma* Gassendi pisał: „We wszelkim podziale jest kres pewien, poza który żadna moc natury nie może już dalej dzielić ani zmniejszać. Ostateczne cząstki powstałe z tego podziału nie są punktami matematycznymi pozbawionymi jakiegokolwiek wielkości i jakichś części (... ) nazywają się (one) atomami niepodzielnymi nie dlatego, żeby w ogóle nie miały części, ale dlatego, że nie istnieje taka siła w przyrodzie, która by je mogła rozłożyć”.

Wielkim zwolennikiem koncepcji atomistycznej był Robert Boyle. Uważał on, że wszystkie ciała zbudowane są z atomów. Odmian atomów jest niewiele. Boyle przypuszczał, że jest ich nie więcej niż dwadzieścia.

Mechanistyczną koncepcję atomistyczną funkcjonującą na terenie fizyki przejął Newton. Atomy pojmował on jako stałe, masywne, twarde, nieprzenikliwe i zdolne do ruchu cząstki stworzone przez Boga i mające takie własności, jakie były najbardziej odpowiednie do celu, dla którego zostały stworzone. Niepodzielność atomów Newton tłumaczył tym, że żadna zwykła siła nie jest w stanie podzielić czegoś, co Bóg uczynił jednym w pierwszym akcie stworzenia.

<sup>5</sup> G. Białkowski: Op. cit., s. 132 i nast.

**Współczesna postać sporu o strukturę materii.** Na przełomie XIX i XX wieku atomizm został poddany ostrej krytyce i dopiero odkrycie ruchów Browna i ich wyjaśnienie przez Einsteina przyniosło atomizmowi definitywne zwycięstwo, gdyż dostarczyło dowodów empirycznych na rzecz koncepcji atomistyczno-cząstkowej struktury materii. Albowiem „obserwując ruchy Browna widzimy niemal na własne oczy indywidualne atomy i cząsteczki, ponieważ dostrzegamy wpływ wywierany przez nie na ciała makroskopowe”<sup>6</sup>. Bardzo trafną interpretację sytuacji, jaka powstała po odkryciu ruchów Browna podaje Grzegorz Białkowski, który pisze: „Był to ostatni etap walki rozpoczętej przez Leukipposa i Demokryta przed dwoma i pół tysiącem lat. Musimy zdawać sobie sprawę z tego, czym w końcu różni się koncepcja filozoficzna od koncepcji fizycznej atomu. Dopóki atom pozostawał pojęciem na poły hipotetycznym, obciążonym swoim filozoficznym rodowodem, dopóty mógł być i był - odrzucany także na podstawie przesłanek filozoficznych. Okazały się one jednak bezsilne wobec dowodów fizycznych. Atom stał się pełnoprawnym składnikiem pojęciowym fizyki XX wieku”<sup>7</sup>.

Od tego momentu atom stał się również podstawowym i, jak się początkowo wydawało, ostatecznym składnikiem struktury materii. Sytuacja taka nie trwała długo, albowiem niebawem okazało się, że atom jest podzielny. Odkrycie podzielności atomu nie oznaczało jednak odrzucenia samego pojęcia atomu. Pojęcie to pozostało nadal ważnym pojęciem fizyki, albowiem atom, choć podzielny i nie będący ostatecznym elementem struktury materii, okazał się jednak ważnym składnikiem tej struktury, gdyż jest on przecież podstawowym, najmniejszym elementem każdego pierwiastka chemicznego.

Pojawił się jednak problem struktury atomu. Pierwszym elementem tej struktury, jaki został odkryty, był elektron, a następnie jądro atomowe. Postęp techniki eksperymentalnej pozwolił stwierdzić, że jądro jest również obiektem złożonym, mającym strukturę wewnętrzną. Odkryto elementy tej struktury - protony i neutrony.

Jak wskazuje W. I. Kuzniecowa<sup>8</sup>, uczeni początkowo przypuszczali, że odkrycie elektronu jest związane jedynie z przesunięciem poziomu elementarności do mniejszych obszarów przestrzeni. Sądziło się, że niepodzielnych elementów materii należy poszukiwać nie w obszarach porównywalnych z rozmiarami atomów, lecz w znacznie mniejszych częściach przestrzeni. Byli przekonani, że ruch nowo odkrytych „cegiełek”, z których zbudowana jest materia, powinien podlegać prawom fizyki klasycznej. Jednakże wszelkie

<sup>6</sup> G. Białkowski: *Stare i nowe drogi fizyki. Fizyka XX wieku*. Warszawa 1982, s. 15.

<sup>7</sup> Tamże, s. 16-17.

<sup>8</sup> W. I. Kuzniecowa: *Filosofskij analiz osnovanij fiziki elementarnych czastic*. Kijew 1911, s. 9 i nast.

próby opisanie budowy atomów za pomocą języka tej fizyki kończyły się niepowodzeniem. Okazało się, że struktura atomów ma swoją specyfikę, jest jakościowo odmienna od struktur makroświata. Fakt ten znalazł swoje odzwierciedlenie w wysuniętej przez Nielsa Bohra hipotezie o odmienności praw ruchu elektronów wewnątrzatomowych od praw ruchu mechaniki klasycznej. Opierając się na kwantowej koncepcji Maxa Plancka, Bohr wysunął szereg postulatów charakteryzujących te osobliwości ruchu elektronów, które wychodziły poza ramy pojęć klasycznej fizyki i elektrodynamiki. W wyniku rozwinięcia tych postulatów powstała nowa podstawowa teoria fizyczna - mechanika kwantowa, która istotnie ograniczyła stosowalność klasycznych wyobrażeń na temat ruchu wewnątrz atomu. Mechanika kwantowa w połączeniu z pewnymi ideami szczególnej teorii względności umożliwiła głębsze zrozumienie struktury atomów i praw ruchu ich części składowych. Kwantowomechaniczny opis atomów zgodny z eksperymentem opiera się na takich nowych ideach, jak dualizm falowo-korpuskularny, dyskretność poziomów energetycznych, statystyczny charakter ruchu mikroobektów, nierozzerwalny związek masy z energią i pędem etc.

Kolejny krok fizyki w głąb struktury materii, przeniknięcie do wnętrza jądra atomowego pozwoliło ujawnić specyfikę struktury tego szczebla organizacji materii, jej jakościową odmienną od struktury atomu jako całości. Wyrazem tej odmienności jest natura sił działających między protonami i neutronami. Do chwili odkrycia neutronów sądzono, że wszystkie rodzaje oddziaływań w przyrodzie można sprowadzić do dwóch podstawowych: grawitacyjnego i elektromagnetycznego, oraz że cząstki mogą uczestniczyć w tych oddziaływaniach, ponieważ mają one masę i dodatni bądź ujemny ładunek elektryczny. Tymczasem oddziaływanie między protonem i neutronem okazało się niezależne od ich masy i od ładunku. Stwierdzono, że oddziaływanie między protonami i neutronami jest równe oddziaływaniu między dwoma protonami lub dwoma neutronami. Według poglądów współczesnych, ten typ oddziaływań nazwany silnym lub jądrowym, jest odpowiedzialny za trwałość jąder atomowych. Wprowadzono również inny typ oddziaływań - oddziaływania słabe, dla wyjaśnienia rozpadu niestabilnych atomów i cząstek elementarnych typu neutronów.

Badania oddziaływań wzajemnych cząstek elementarnych ujawniły ich zasadniczą odmienną od oddziaływań znanych fizyce klasycznej i pozwoliły sformułować koncepcję hierarchii oddziaływań. Zgodnie z tą koncepcją, wszystkie oddziaływania cząstek elementarnych dzielą się na cztery rodzaje, z których każdy ma własne swoiste prawidłowości. W porządku wzrastającej intensywności oddziaływania te są uszeregowane następująco: grawitacyjne, słabe, elektromagnetyczne i silne. Chociaż wszystkie znane w połowie lat czterdziestych teorie fizyczne (mechanika klasyczna, elektrodynamika kla-

syczna, szczególna teoria względności i ogólna teoria względności) powstały wyłącznie na gruncie badania własności i charakterystyk oddziaływań typu pierwszego i trzeciego, niektóre idee okazały się owocne także przy wyjaśnianiu pozostałych dwóch typów oddziaływań.

Odkrycie cząstek i ich antycząstek: elektronu, fotonu, protonu, neutronu i pionu, pozwoliło w zasadzie wyjaśnić strukturę materii na poziomie jądrowym. Z teoretycznego punktu widzenia fizyki jądrowej jądra atomowe rozpatruje się jako oddziałujące za pośrednictwem pionów układy protonów i neutronów. Tak więc dla wyjaśnienia struktury i własności jąder atomowych nie trzeba było tworzyć nowych podstawowych teorii fizycznych. Wystarczyło skonstruować różnorodne modele na podstawie idei mechaniki kwantowej. Tak więc mechanika ta okazała się teorią na tyle bogatą, dysponującą znacznymi „rezerwami” teoretycznymi, że pozwoliło jej to adekwatnie odzwierciedlić także nowy typ struktur materialnych, odmiennych jakościowo od tych struktur, dla wyjaśnienia których teoria ta została stworzona.

Sądzę, że przykład ten stanowi wystarczającą podstawę do sformułowania tezy, że różnice jakościowe pomiędzy strukturami materii są stopniowalne. A zatem, struktury materialne mogą nie tylko różnić się jakościowo, ale mogą ponadto także różnić się stopniem odmienności jakościowej. Stopień ten jest wyrazem wielkości różnicy jakościowej. Jeśli różnica ta jest niewielka, wówczas odmiennie jakościowo struktury materii mogą być opisane za pomocą jednej teorii fizycznej.

W związku z odkryciem składników struktury materii, które nazwano cząstkami elementarnymi, pojawił się problem definicji tych cząstek i w ogóle rozumienia elementarności. Co fizycy rozumieją pod mianem cząstek elementarnych? W tej sprawie nie ma wśród nich zgodności i w Związku z tym nie ma też jednej powszechnie obowiązującej definicji cząstek elementarnych. Najczęściej cząstki elementarne definiuje się jako najmniejsze, nierozkładalne obiekty znane na aktualnym etapie nauki. Oto przykład tego rodzaju definicji: „Przez *cząstki elementarne* rozumie się nierozkładalne dalej najmniejsze «cegiełki» materii, jakie odpowiadają współczesnemu stanowi wiedzy”<sup>9</sup>. Spotkać można też pogląd, że cząstki elementarne to najprostsze znane współcześnie mikroobiekty, które oddziałują jako jedna całość we wszystkich znanych procesach fizycznych. Niektórzy autorzy podkreślają, że cząstki elementarne w ścisłym sensie tego słowa, to pierwotne, nierozkładalne dalej cząstki, z których zbudowana jest cała materia. Inni uważają, że z eksperymentalnego punktu widzenia cząstkę elementarną można określić jako obiekt fizyczny, z którego nie można wyodrębnić obiektów głębszego poziomu struktury materii we wszystkich znanych w danym czasie procesach z udziałem

<sup>9</sup> *Struktura materii*. Przewodnik encyklopedyczny. Warszawa 1980, s. 127.



lem tego obiektu<sup>10</sup>. Znanе są też próby określenia cząstki elementarnej za pomocą pojęcia pola. Próbę taką przedstawia Moisiej A. Markow<sup>11</sup>. Polega ona na zdefiniowaniu cząstki elementarnej jako kwantu danego pola. Zarazem jednak autor ten zwraca uwagę na trudności, do których prowadzi tego rodzaju definicja, są one związane z trudnościami zdefiniowania pojęcia pola.

W tej sytuacji najbardziej trafne wydaje się określenie zaproponowane przez Władilena S. Baraszenkowa, wiążące pojęcie cząstki elementarnej z niezmiernie istotnym w mikroświecie i specyficznym dla tej sfery rzeczywistości zjawiskiem tak zwanego defektu masowego. Zgodnie z tym określeniem, cząstki elementarne to takie cząstki, „... w których nie można rozpatrywać jako stany wzbudzone innych cząstek i których dowolne możliwe rozpady, zarówno realne, jak i wirtualne, zachodzą z defektem mas porównywalnym pod względem wielkości z masami cząstek powstałych w rezultacie rozpadu”<sup>12</sup>.

Baraszenkow wskazuje, że zaletą tego określenia jest to, że stanowi ono kryterium całkowicie wystarczające do jednoznacznego wyodrębnienia jakościowo nowego poziomu obiektów elementarnych spośród obiektów należących do wyższych poziomów organizacji materii. Kryterium to jest zgodne z ogólnym twierdzeniem o tym, że struktura bardziej stabilna jest zawsze strukturą wyższego rzędu.

Jakie znaczenie miało odkrycie cząstek elementarnych dla interesującego nas tu sporu filozoficznego? Niektórzy wybitni uczeni uznali, że cząstki te są ostatecznymi elementami struktury materii. Np. Wolfgang Pauli twierdził, że doświadczenie przemawia na rzecz istnienia ostatecznych jednostek materii zgodnie z wyobrażeniami atomistów starożytnej Grecji<sup>13</sup>.

Stanowisko takie zajmował również Werner Heisenberg. Był on przekonany, że współczesna teoria cząstek elementarnych pozostaje w bardzo dobrej zgodności z poglądami Platona na temat elementarnych, podstawowych składników struktury materii i dlatego też uważał, że obecnie znane cząstki elementarne są w istocie ostatecznymi elementami struktury materii. Sądził, że zamknięta teoria cząstek elementarnych mogłaby być „wzorem na świat” i „dokończeniem fizyki”, gdyby nie to, że jest ona idealizacją, która wprawdzie odwzorowuje bardzo rozległy obszar zjawisk, ale być może istnieją fenomeny, które nie dadzą się opisać za pomocą pojęć tej idealizacji. Fenomeny te mogą pojawiać się w obszarach rzeczywistości, które nie są uważane za przedmiot badań fizyki, np. w dziedzinie zjawisk biologicznych. Tak więc

<sup>10</sup> W. I. Kuzniecowa: Op. cit., s. 108.

<sup>11</sup> M. A. Markow: Op. cit., s. 73 i nast.

<sup>12</sup> W. S. Baraszenkow: *Suszczeństwujut li granicy nauki*. Moskwa 1982, s. 70.

<sup>13</sup> W. Pauli: *Aufsätze und Vorträge über Physik und Erkenntnistheorie*. Braunschwig 1961, s. 4.

zamknięta teoria cząstek elementarnych nie może być „dokończeniem fizyki” tylko dlatego, że granice pomiędzy fizyką a sąsiednimi dziedzinami nauki nie są wytyczone w sposób dostatecznie ścisły. Natomiast w kwestii elementarnych składników struktury materii taka zamknięta teoria cząstek elementarnych byłaby dla Heisenberga w istocie „dokończeniem fizyki”.

Heisenberg przeciwstawia się pogładowi tych fizyków, którzy twierdzą, że w przewidywanej przyszłości nie można spodziewać się dokończenia fizyki cząstek elementarnych, albowiem budując coraz większe akceleratory, będzie można osiągać coraz wyższe energie zderzających się cząstek elementarnych. Przy wysokich energiach zderzeń wystąpią nowe, obecnie jeszcze nie znane zjawiska, które będzie można badać. Oczywiście, fizycy mówiąc o tych zjawiskach mają na myśli również jakieś bardziej fundamentalne od znanych obecnie elementy struktury materii. Heisenberg zdaje sobie sprawę, że w świetle całej dotychczasowej historii rozwoju fizyki, kategoryczna negacja możliwości istnienia takich zjawisk jest bardzo ryzykowna, nie wyklucza więc ich istnienia, niemniej jednak przedstawiony wyżej pogląd fizyków uważa za bezpodstawny.. „Pogląd ten - pisze Heisenberg - opiera się jednak na przypuszczeniu, któremu brak empirycznych i teoretycznych potwierdzeń, iż przy powiększaniu energii muszą wystąpić nowe jakościowo fenomeny. W promieniowaniu kosmicznym, które pod względem energii zderzających się cząstek elementarnych sięga tysiąckroć dalej niż największe z dotychczasowych akceleratorów, nie znaleziono takich jakościowo nowych fenomenów. Nie odkryto również hipotetycznie zakładanych przez niejednego teoretyka «kwarków». Nie ma więc ani empirycznych, ani teoretycznych racji dla owej nieznaney nowizny, ale wykluczyć jej istnienia nie można”<sup>14</sup>.

Stanowisko swoje Heisenberg uzasadnia jeszcze inaczej. Wskazując, że odkrycie cząstek elementarnych stało się źródłem ważnego pytania, czy cząstki elementarne, a w szczególności protony, neutrony i elektrony, są rzeczywiście ostatecznymi, niepodzielnymi cegiełkami materii, czy też je także należy pojmować jako złożone z mniejszych części, stwierdza, że na pytanie to „... fizyka odpowiada dziś stanowczo, że cząstki elementarne są już rzeczywiście ostatecznymi, najmniejszymi jednostkami materii - i uzasadnia tę odpowiedź argumentem zrazu nieco zaskakującym”<sup>15</sup>.

Jaki to argument i dlaczego może on wydawać się zaskakujący? Otóż jedyną metodą pozwalającą stwierdzić, czy cząstki elementarne dają się jeszcze dalej dzielić, jest powodowanie zderzeń między cząstkami o bardzo wysokiej energii. W momencie zderzenia na cząstki elementarne działają tak ogromne siły, że cząstki te ulegają rozczłonkowaniu, rozbiciu często na wie-

<sup>14</sup> W. Heisenberg: Op. cit., s. 292-293.

<sup>15</sup> Tamże, s. 40.

le części. Ale zaskakujące jest to, że części te nie są ani mniejsze, ani lżejsze od cząstek, które uległy rozbiciu. Albowiem zgodnie z teorią względności, wielka energia kinetyczna zderzających się cząstek może przekształcać się w masę. Tak więc energia ta w istocie służy do wytwarzania nowych cząstek elementarnych, a zatem w rzeczywistości mamy do czynienia nie z rozpadem cząstek elementarnych, lecz z wytwarzaniem nowych takich cząstek z energii ruchu tych, które się zderzają. Zdaniem Heisenberga, świadczy to o tym, że równanie Einsteina  $E = mc^2$  umożliwia to, by znane dziś cząstki elementarne były już rzeczywiście najmniejszymi elementami struktury materii.

Czy argumenty Heisenberga są słuszne? Aby odpowiedzieć na to pytanie zbadajmy najpierw argument drugi. Jego istota jest następująca: na podstawie tego, że w wyniku zderzeń cząstek elementarnych powstają znowu cząstki elementarne, nie zaś jakieś ich części składowe, Heisenberg wnioskuje, że znane obecnie cząstki elementarne są najmniejszymi i ostatecznymi składnikami struktury materii. Tymczasem przecież wcale tak być nie musi. Energia zderzeń, którą dysponujemy obecnie, jest może zbyt mała aby mogła ujawnić strukturę wewnętrzną cząstek elementarnych. Poza tym struktura ta może być tego rodzaju, że jej elementy składowe mogą nie występować w stanie swobodnym, w oderwaniu od jakiejkolwiek cząstki elementarnej. Tak więc, wbrew przekonaniu Heisenberga, z faktu, że w wyniku zderzeń cząstek elementarnych powstają znowu cząstki elementarne, nie wynika, że cząstki te są najmniejszymi i ostatecznymi składnikami struktury materii.

Zajmijmy się teraz argumentem pierwszym. Heisenberg sformułował go w 1970 roku, a jednym z najbardziej istotnych elementów tego argumentu jest wskazanie na to, że nie zostały odkryte kwarki. Mówiąc o kwarkach „hipotetycznie zakładanych przez niejednego teoretyka”, Heisenberg ma na myśli przede wszystkim hipotezy o istnieniu kwarków wysunięte w roku 1964 przez Murray'a Lell-Manna<sup>16</sup> oraz George'a Zweiga i stanowiące pewne kroki na drodze prowadzącej do stworzenia teorii klasyfikującej cząstki elementarne.

Pojawienie się tych hipotez skłoniło fizyków doświadczalnych do poszukiwania kwarków. Wkrótce zaczęły się pojawiać doniesienia o odkryciach kwarków, ale początkowo żadne nie zostało potwierdzone. Słuszny więc wydaje się pogląd Grzegorza Białkowskiego, który pisze: „Wydaje mi się prawdopodobne, że kwarki nie istnieją jako cząstki swobodne albo też, jeśli istnieją, są tak ciężkie, że ich własności jako cząstek swobodnych bardzo różnią się od tych, które przejawiają w stanie związanym w hadronie. Chyba jednak fizyka przekroczyła pewien próg - nowe fundamenty są być może

<sup>16</sup> M. Gell-Mann: *Schematic Model of Baryons and Mesons*. "Physics Letters" 1964, No 8, s. 214.

wiecznie uwięzione w hadronach i nigdy ich - znów być może - nie zobaczymy jako obiektów swobodnych poza hadronem”<sup>17</sup>.

Fakt, że do tej pory nie udało się zaobserwować swobodnego kwarku, Marek Demiański uważa za jedną z najbardziej zagadkowych spraw związanych z modelem kwarków. Albowiem we wszystkich poprzednich przejściach do bardziej elementarnych składników struktury materii udawało się w końcu je zaobserwować. Tak było w przypadku atomu, elektronu, jądra atomowego i cząstek elementarnych<sup>18</sup>.

Sądzę, że ta „zagadkowość”, o której mówi Domański, to manifestacja specyfiki odmiennego jakościowo, głębszego poziomu struktury materii, który różni się od dotychczas znanych poziomów między innymi tym, że elementy jego struktury nie mogą występować w stanie swobodnym poza tą strukturą. Można też powiedzieć, że na tym poziomie struktura materii ma charakter „organiczny”, że pod pewnym względem przypomina strukturę organizmów żywych, których elementy - organy - wyrwane z całokształtu różnorodnych związków, w których występują w organizmie, mają zupełnie inne własności aniżeli w obrębie organizmu.

Gell-Mann podkreśla, że gdy wysunął hipotezę kwarków, od samego początku był przekonany, iż muszą one być trwale uwięzione w hadronach. Kwarki takie określał mianem „matematycznych” i przeciwstawiał je kwarkom „rzeczywistym”, które mogłyby wydostać się z hadronów i występować jako obiekty autonomiczne. Terminologię taką stworzył po to, aby uniknąć filozoficznego zarzutu, że skoro kwarki są zawsze ukryte, to nie ma żadnych podstaw, ażeby uważać je za rzeczywiste<sup>19</sup>.

Łatwo zauważyć, że zarzut ten można uznać za trafny tylko wówczas, gdy pod mianem „ukryte” będzie się rozumieć „absolutnie niedostępne dla ludzkiej penetracji poznawczej”. Jak to więc jest w przypadku kwarków? Czy ich „uwięzienie” w hadronach powoduje, że są one absolutnie niedostępne poznawczo, czy też możliwe jest znalezienie dowodów, iż kwarki rzeczywiście istnieją? Okazało się, że w grę wchodzi ta druga możliwość. Odkryto, że oddziaływanie wysokoenergetycznych elektronów z protonami nie jest zgodne z obrazem protonu jako jednolitego obiektu rozciągniętego o średnicy  $10^{-13}$  cm. Rozpraszanie elektronów na protonie następowało tak, jak gdyby oddziaływały one z jakimiś punktowymi obiektami we wnętrzu protonu, prawie niezależnymi od siebie. Odkrycie to miało istotne znaczenie dla hipotezy kwarków. Wiązka wysokoenergetycznych elektronów pozwoliła „... wykonać coś w rodzaju mikroskopowego zdjęcia wnętrza protonu, które ujawnia

<sup>17</sup> G. Białkowski: *Stare i nowe drogi fizyki. Fizyka dnia dzisiejszego*. Warszawa 1985, s. 163.

<sup>18</sup> M. Demiański *Uzupełnienia*. W: W. Ł. Ginzburg: *O fizyce i astrofizyce*. Warszawa 1979, s. 149.

<sup>19</sup> M. Gell-Mann: *Kwark i jaguar*. Warszawa 1996, s. 248-249.

istnienie struktury kwarkowej”<sup>20</sup>. W ten sposób znaleziono eksperymentalny dowód istnienia kwarków, a jego autorzy - twórcy doświadczenia z rozpraszaniem wiązki wysokoenergetycznych elektronów na protonie - Dick Taylor, Henry Kendall i Jerry Friedman, otrzymali za swoje odkrycie Nagrodę Nobla.

Fizyka współczesna dysponuje też ważnym teoretycznym świadectwem realnego istnienia kwarków, jakim są trafne przewidywania istnienia nowych cząstek oparte na kwarkowym modelu hadronów. Wychodząc od własności symetrii oraz wewnętrznego samouzgodnienia hipotezy głoszącej, że cząstkami fundamentalnymi są kwarki i leptyony, do wprowadzonych początkowo trzech rodzajów kwarków dodano czwarty, mający specyficzną własność kwantową, nazwaną umownie „powabem”. Z tego zaś z kolei wynikało, że powinny istnieć hadrony zawierające kwark powabny. W owym czasie nie były znane hadrony mające taką własność. Ale odpowiednio ukierunkowane doświadczenia zakończyły się powodzeniem. Odkryto hadrony z powabem. Historia powtórzyła się, gdy trzeba było wprowadzić jeszcze jeden rodzaj kwarków, dysponujących „pięknem”. Znowu odkryto cząstki o przewidywanych właściwościach, zawierające takie kwarki. Przewidywania te wzięte same w sobie mogłyby także być interpretowane w tym sensie, że kwarki odzwierciedlają tylko własności symetrii i są jedynie abstrakcyjnymi idealizacjami, nie zaś realnymi cząstkami. Jednakże w tym miejscu istotne są dynamiczne przejawy istnienia kwarków. Ogólne wrażenie, jakie wywarło na fizykach przewidywanie a następnie odkrycie „powabnych” i „pięknych” hadronów, było tak duże, że przekonanie o realności kwarków jako „cegiełek”, z których zbudowany jest świat cząstek elementarnych, stało się niemal powszechne. Wyrazem tego przekonania jest m. in. stanowisko słynnego fizyka amerykańskiego Sheldona Glashowa, który podkreśla, że protony i neutrony nie są cząstkami podstawowymi, albowiem współczesne odmiany doświadczenia Rutherforda wykazały, że protony mają punktowe składniki - kwarki. Wyniki tego doświadczenia stały się podstawą nowej teorii fizycznej, w której kwarki są podstawowymi polami materii, a spajające je gluony są polami sił<sup>21</sup>. Powstanie tej teorii jest w istocie równoznaczne z powstaniem nowego działu fizyki - fizyki kwarków.

W świetle tych uwag widać wyraźnie, że argument Heisenberga jest już nieaktualny. Wiemy dzisiaj dobrze, że cząstki elementarne nie są ostatecznymi składnikami struktury materii. Są one tylko jednym z punktów węzłowych rozpościerającej się przed nami perspektywy różniących się od siebie jakościowo form struktury materii. Ostatni, najgłębszy ze znanych nam obecnie poziomów struktury materii stanowią cząstki superelementarne -

<sup>20</sup> Tamże, s. 252.

<sup>21</sup> S. Glashow: *The Future of Elementary Particle Physics*. Harvard University, HUTP-79/A 059.

kwarki i gluony. Czy mogą one uchodzić za ostateczne składniki materii? Stanowiska fizyków współczesnych w tej kwestii są podzielone. Gell-Mann uważa, że możliwe są trzy rozwiązania. Pierwsze polega na przyjęciu, że cząstki uchodzące obecnie za elementarne, w rzeczywistości są złożone, zbudowane z jakichś składników rzeczywiście elementarnych. Zdaniem Gell-Manna, dzisiaj nie dysponujemy żadnymi argumentami teoretycznymi lub doświadczalnymi, które wskazywałyby, że jest tak w istocie. Drugie rozwiązanie zakłada, że łańcuch złożonych struktur materialnych jest nieskończony. Do najbardziej znanych zwolenników takiej koncepcji należy japoński fizyk Shoichi Sakata, który skupił wokół siebie grupę badaczy tworzących szkołę broniącą i propagującą to rozwiązanie. Według Sakaty, materia składa się z nieskończonego układu warstw. Każda następna warstwa zawiera się w poprzedniej. Koncepcja ta bywa określana teorią światów wewnątrz światów lub „teorią cebulową”<sup>22</sup>. Trzecie rozwiązanie oparte jest na możliwości, że obecnie znane cząstki elementarne są konsekwencjami pewnej prostej teorii zakładającej, że liczba cząstek elementarnych jest nieskończona, ale energie, którymi dysponuje fizyka współczesna, pozwalają nam obserwować tylko skończoną liczbę tych cząstek. Najpoważniejszym wariantem takiego rozwiązania jest teoria superstrun<sup>23</sup>.

Jeszcze inne stanowisko zajmuje Stephen Hawking. Twierdzi on wprawdzie, że można oczekiwać odkrycia kolejnych warstw struktur bardziej elementarnych niż kwarki i elektrony uważane dziś za cząstki „elementarne”, ale zarazem sprzeciwia się pogładowi, że liczba takich warstw, które nazywa on ciągiem „pudełek w pudełku”, jest nieskończona. Zdaniem Hawkinga, kres temu ciągowi może położyć grawitacja, która uniemożliwia istnienie we wszechświecie cząstek o energii większej niż tzw. energia Plancka równa  $10^{19}$  GeV. Gdyby cząstki takie istniały, to ich masa byłaby tak skoncentrowana, że musiałyby oddzielić się od reszty wszechświata i egzystować w postaci małych czarnych dziur<sup>24</sup>.

Ażeby obraz sytuacji był bardziej pełny, warto dodać, że w literaturze fizycznej już od lat siedemdziesiątych rozważane są koncepcje zawierające „złożone” kwarki. W jednej z takich koncepcji kwarki składają się z dwóch prekwarków (preonów)<sup>25</sup>. Jeden z nich bardzo przypomina mezon, a inny -

<sup>22</sup> M. Kaku, J. Trainer: *Dalej niż Einstein*. Warszawa 1993, s. 116.

<sup>23</sup> M. Gell-Mann: *Kwark i jaguar*. Op. cit., s. 266-267.

<sup>24</sup> S. Hawking: *Krótką historia czasu. Od wielkiego wybuchu do czarnych dziur*. Warszawa 1990, s. 155.

<sup>25</sup> J. C. Pati, A. Salam: *Lepton Number as the Fourth "Color"*. "Physical Review" 1974, vol. 520, s. 275; J. C. Pati, A. Salam, J. Strathdee: *Are Quarks Composite? International Centre for Theoretical Physics Report, IC/75/133*. Trieste 1975; J. C. Pati, A. Salam: *Quarks, Leptons and Pre-quarks. International Centre for Theoretical Physics Report, IC/75/106*. Trieste 1975.

elektron i ma antycząstkę. Obydwa kwarki są cząstkami wieloskładnikowymi. Każdy składnik niesie tylko jeden „ładunek”. U prekwarka-mezonu jest to jedna z czterech wartości „koloru”, u prekwarka elektronowego jest to jeden z sześciu „zapachów”. Kombinacje dwóch takich prekwarków dają takie same 34 stany kwarka, które zaproponowali A. Salam i J. Pati.

W innym wariantcie teorii kwarki składają się z trzech prekwarków. Do dwóch wspomnianych wyżej prekwarków, które uważa się za cząstki spinorowe podobne do elektronu, dodaje się jeszcze prekwark „spinon”, również mający spin połówkowy. Jeśli prekwarkom przypisze się, obok ładunku elektrycznego, także ładunek magnetyczny, czego nie zabraniają współczesne teorie fizyczne, to z dwóch lub trzech typów prekwarków związanych polem magnetycznym można zbudować całą materię otaczającego nas świata. Jednakże liczba „elementów pierwotnych” ponownie zaczyna rosnąć. Widać w tym ogólną prawidłowość polegającą na tym, że za każdym razem, gdy przechodzimy do głębszego poziomu struktury materii, niezmiennie odkrywamy mnogość nowych obiektów fizycznych. Aby wyjaśnić tę mnogość, trzeba zejść na jeszcze głębszy poziom itd.

Zadaniem niniejszej pracy było zbadanie zasadności w świetle współczesnej wiedzy fizycznej dwóch przeciwstawnych stanowisk w sporze filozoficznym o to, czy materia jest ciągła, nieskończenie podzielna, czy też istnieją najbardziej podstawowe, absolutnie niepodzielne, absolutnie elementarne składniki jej struktury. Przeprowadzone wyżej rozważania dowodzą, że problem będący przedmiotem sporu przybrał nowy charakter w wyniku rozwoju fizycznej wiedzy o strukturze materii. Jak widzieliśmy, wiedza ta potwierdza pogląd, że materia jest nieciągła, że ma strukturę „ziarnistą”. Odnosi się to zarówno do znanych obecnie form materii korpuskularnej, jak i do pól fizycznych, którym przypisuje się „strukturę” kwantową. Nie znaczy to jednak, że fizyka współczesna potwierdza zarazem słuszność poglądu, że istnieją ostateczne, absolutnie elementarne składniki struktury materii. Obecnie przyjęcie poglądu, że materia jest nieciągła, wcale nie musi implikować przyjęcia tezy o absolutnej granicy jej podzielności, lecz może być połączone z poglądem, że ilość strukturalnych poziomów materii jest nieskończona. Gdyby w badanym w niniejszej pracy sporze chodziło tylko o to, czy materia jest ciągła czy też nieciągła, to można byłoby powiedzieć, że fizyka współczesna przyznała rację tym filozofom, którzy uważali, że materia jest nieciągła. Ale przecież przedmiotem sporu jest także to, czy materia jest nieskończenie podzielna, czy też istnieją absolutnie niepodzielne elementy jej struktury. Sporu w tym przedmiocie współczesna wiedza fizyczna nie rozstrzygnęła. Wprawdzie dotychczasowy rozwój tej wiedzy przemawia na korzyść przekonania, że materia jest nieskończenie podzielna (bo dotychczas zawsze było tak, że wszystko, co w jakimś okresie uznawano za niepodzielne, okazywało

się później podzielne), nie czyni jednak tego przekonania absolutnie pewnym, nie wyklucza bowiem możliwości jego zakwestionowania w wyniku dalszych odkryć pogłębiających naszą wiedzę o strukturze materii.