

Andrzej Łukasik
(Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej)

Ruder Josip Bošković i atomizm. Teoria pośrednia między mechaniką Newtona a monadologią Leibniza

Wstęp

Jak powszechnie wiadomo, atomistyczna koncepcja materii została sformułowana w greckiej filozofii przyrody przez Leukipposa i Demokryta z Abdery. Choć atomizm był niewątpliwie najbliższy nauce współczesnej spośród wszystkich systemów starożytnej filozofii przyrody,¹ to jednak przez ponad dwa tysiące lat miał niewielu zwolenników, a wyobrażenia na temat struktury materii kształtowane były na podstawie koncepcji żywiołów Arystotelesa. Zgodnie z nią materia jest ciągła, próżnia nie istnieje, wszystkie ciała w „świecie podksiężycowym” zbudowane są z czterech żywiołów – ziemi, wody, powietrza i ognia, a tworzywem „świata nadksiężycowego” jest piąty element – eter. Arystotelesowska filozofia przyrody ostatecznie załamała się w XVII wieku, gdy powstało matematyczne przyrodoznawstwo. Proces powstawania nowożytnego przyrodoznawstwa sprzyjał zaś renesansowi atomizmu. Koryfeusze nowej nauki odnowili i wzbogacili poglądy Leukipposa, Demokryta, Epikura i Lukrecjusza. Do zwolenników atomizmu należeli tacy uczeni, jak Giordano Bruno, Pierre Gassendi, Mikołaj Kopernik, Galileo Galilei, Robert Boyle i Isaac Newton. Od czasu publikacji *Philosophiae naturalis principia mathematica* (1687) Newtona, w których zawarte były zasady dynamiki, prawo powszechnego ciążenia i teoria absolutnego czasu i absolutnej przestrzeni, wszelkie dyskusje na temat atomów i próżni sytuowały się już w ramach paradygmatu wyznaczonego

¹ Co jednak nie powinno przesłaniać głębokich różnic między dawnymi a współczesnymi teoriami na temat atomów i próżni (por. A. Łukasik, *Ewolucja pojęcia atomu*, „Otwarte Referarium Filozoficzne” 2009, nr 2, s. 15–36, <http://minds.pl/orf/ORF-02-015-2009.pdf>; tenże, *Atomizm dawniej i dziś. O niewspółmierności ontologicznej klasycznego i kwantowomechanicznego pojęcia elementarnych składników materii*, „Studia Philosophiae Christianae” R. 2009 (w druku).

przez mechanikę klasyczną. Miały one jednak jeszcze raczej filozoficzny niż *stricte* naukowy charakter, a w sporach o istnienie atomów i próżni odwoływano się zarówno do argumentów naukowych, jak filozoficznych, a nawet teologicznych. Aż do czasów Johna Daltona, którego powszechnie uważa się za twórcę naukowej atomistyki, atomizm był więc raczej spekulatywną metafizyką, niż teorią empiryczną. Nie zmienia to jednak faktu, że sformułowano wiele interesujących koncepcji na temat atomów. Jedną z nich jest atomizm punktowy Rudera Josipa Boškovića (1711–1787).²

Celem niniejszego artykułu jest prezentacja i analiza tej niezmiernie interesującej, choć mało znanej koncepcji, która, przynajmniej w pewnych aspektach, wyprzedzała rozwój nauki o co najmniej 150 lat.³

Inspiracje i kontekst historyczny

Inspiracje dla atomizmu Boškovića stanowiły poglądy Demokryta, pitagorejczyków, filozofia korpuskularna Kartezjusza, poglądy Locke'a, a przede wszystkim koncepcje Leibniza i Newtona (w szczególności ostatnie, sławne 31 zapytanie dołączone do *Optyki*, dotyczące możliwości występowania poza siłami przyciągania sił odpychania, w którym Newton wyraża również przekonanie o prostocie podstawowych praw przyrody).

Czasy, w których żył i tworzył Bošković, to czasy spektakularnych sukcesów mechaniki klasycznej. Program matematycznego opisu zjawisk zrealizowany w Newtonowskich *Principiach* okazał się niezwykle efektywny i pozwolił na zrozumienie ruchu ciał, zarówno na Ziemi, jak i na niebie. Okazało się, wbrew poglądom Arystotelesa o zasadniczo odmiennym charakterze praw rządzących ruchem ciał ziemskich i niebieskich, że zarówno ruch spadającego na ziemię jabłka, jak i dynamikę Układu Słonecznego można opisać za pomocą jednolitych i prostych formuł matematycznych. Również pogląd Arystotelesa o jakościowej różnicy między substancjami, z których zbudowany jest „świat podksiężycowy” i „świat nadksiężycowy” legł ostatecznie w gruzach. Trafny okazał się natomiast pogląd o jednolitym charakterze tworzywa świata fizycznego, który w starożytnej filozofii przyrody głosili atomiści, zaś u progów nauki nowożytnej Kartezjusz.⁴

Newton, poza sformułowaniem zasad dynamiki, prawa powszechnego ciężenia i prac z zakresu optyki, w dziełach swych wyrażał również poglądy na temat atomistycznej budowy materii oraz statusu ontologicznego przestrzeni i czasu.

Elementarne składniki materii pojmował on, zgodnie z tradycją atomistyczną jako niezniszczalne ciała stałe:

² Współcześnie uważany za chorwackiego uczonego Bošković pochodził z Raguzy, która była wówczas niezależnym państwem, obecnie – Dubrownik w Chorwacji. Był filozofem, matematykiem, fizykiem, astronomem, inżynierem, architektem, a ponadto poetą i dyplomatą.

³ Por. L. L. Whyte, *Boscovich's Atomism*, [w:] L. L. Whyte (ed.), *Roger Joseph Boscovich. Studies on His Life and Work on the 250th Anniversary of His Birth*, George Allen & Unwin Ltd., Ruskin House Musseum Street, London 1961, s. 102.

⁴ Kartezjusz pisał, że „jedna i ta sama jest materia wszystkich ciał we wszechświecie” (R. Descartes, *Zasady filozofii*, tłum. I. Dąbska, Wydawnictwo Antyk, Kęty 2001, s. 96).

Rozciągłość, twardość, nieprzenikliwość, możliwość poruszania się i bezwładność całości wynika z rozciągłości, nieprzenikliwości, możliwości poruszania się i bezwładności części; w związku z tym dochodzimy do wniosku, że najmniejsze cząstki wszystkich ciał także są rozciągle, i twarde, i nieprzenikliwe, i podległe ruchowi, i obdarzone bezwładnością.⁵

Ciała znajdują się w przestrzeni, która jest bytem całkowicie niezależnym od atomów (przestrzeń absolutna):

Absolutna przestrzeń, ze swej własnej natury, bez względu na cokolwiek zewnętrznego, pozostaje zawsze taka sama i nieruchoma.⁶

Podobnie, zdaniem Newtona, istnieje absolutny czas:

Absolutny, prawdziwy i matematyczny czas, sam z siebie i z własnej natury, płynie równomiernie bez względu na cokolwiek zewnętrznego i inaczej nazywa się „trwaniem”.⁷

Absolutny czas i absolutna przestrzeń istniałyby również wtedy, gdyby w świecie w ogóle nie było materii, natomiast sposób rozmieszczenia materii w przestrzeni nie ma wpływu na jej geometrię ani na tempo upływu czasu.

Ostatnim elementem Newtonowskiego obrazu świata są siły centralne działające między ciałami. Jedne z nich działają przez bezpośredni kontakt (na przykład podczas zderzeń), inne zaś na odległość (grawitacja). Bošković zaczerpnął od Newtona koncepcję *actio in distans*, w odróżnieniu od zwolenników Kartezjusza i Leibniza, którzy przyjmowali jedynie działanie sił przez bezpośredni kontakt.

Gottfried Wilhelm Leibniz poddał radykalnej krytyce Newtonowski pogląd na materię, czas i przestrzeń. Leibniz, w opozycji do Newtona, stał na stanowisku racjonalizmu (aprioryzmu) – sądził, że nie doświadczenie i eksperyment, ale czysto rozumowe dociekania są odpowiednią metodą poznania przyrody. Fundamentalną rolę w rozumowaniu Leibniza odgrywają dwie zasady logiczne – zasada niesprzeczności i zasada racji dostatecznej. Ta ostatnia głosi, że „że żaden fakt nie może okazać się rzeczywisty, czyli istniejący, żadna wypowiedź prawdziwa, jeżeli nie ma racji dostatecznej, dla której to jest takie, a nie inne; chociaż racje te najczęściej nie mogą być nam znane”.⁸ Leibniz dowodzi, że właśnie brak jest racji dosta-

⁵ I. Newton, *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, [w:] R. M. Hutchins (ed.), *Great Books...*, s. 270. Newton łączył pogląd atomistyczny z kreacjonizmem i pisał, że „na początku” Bóg ukształtował materię w postaci atomów. Jednak teologiczny wątek rozważań Newtona (i – jak się okazuje – Leibniza) nie jest istotny dla treści niniejszego artykułu.

⁶ I. Newton, *Mathematical Principles...*, s. 8.

⁷ Tamże.

⁸ G. W. Leibniz, *Zasady filozofii, czyli monadologia*, tłum. S. Cichowicz, [w:] tenże, *Wyznanie wiary filozofa. Rozprawa metafizyczna. Monadologia. Zasady natury i łaski oraz inne pisma filozoficzne*, tłum. S. Cichowicz, J. Domański, H. Krzeczkowski, H. Moese, PWN, Warszawa 1969, s. 303.

tecznej do przyjęcia tezy o istnieniu atomów, przestrzeni absolutnej i absolutnego czasu.

Przestrzeń mechaniki klasycznej Newtona jest jednorodna, to znaczy, że „gdy brak rzeczy w niej umieszczonych, jeden punkt przestrzeni nie różni się absolutnie niczym od punktu drugiego”.⁹ Nie można zatem podać racji, dlaczego świat istnieje w tym, a nie w innym miejscu przestrzeni.¹⁰ Analogiczny argument stosuje Leibniz przeciwko Newtonowskiej teorii absolutnego czasu – jeżeli czas istnieje niezależnie od materii, to dlaczego świat powstał w tym, a nie w innym momencie czasu.¹¹

Zdaniem Leibniza nie ma racji dostatecznej do przyjęcia poglądu o istnieniu czasu i przestrzeni niezależnych od materii. Absolutystycznej koncepcji czasu i przestrzeni przeciwstawia Leibniz pogląd relacjonistyczny, zgodnie z którym czas i przestrzeń nie są bytami istniejącymi na równi z materią i niezależnie od niej, lecz mają status relacji:

Co do mnie, niejednokrotnie podkreślałem, że mam *przestrzeń* za coś czysto względnego, podobnie jak *czas*, mianowicie za porządek współistnienia rzeczy, podczas gdy czas stanowi porządek ich następstwa.¹²

Na zasadzie racji dostatecznej oparta jest również Leibniza krytyka atomistycznej koncepcji materii. Atomy mają skończone rozmiary przestrzenne, a mimo to są absolutnie niepodzielnymi cząstkami materii. Jeśli jednak nic nie dzieje się bez racji dostatecznej, to dlaczego atomy o danej wielkości nie są już dalej podzielne? Gdyby istniały atomy, to zawierałyby aktualne części, z których byłyby złożone, „i na nic się nie zda rozróżnienie, czy są one oddzielone, czy też nie”.¹³

Nie istnieje atom, a co więcej, żadne ciało nie jest tak drobne, żeby nie mogło być aktualnie podzielne.¹⁴

Leibniz przyjmował ponadto, że przyroda „nie czyni skoków” i panuje w niej *prawo ciągłości* (*lex continui*). Zasada *natura non facit saltus* była kolejnym powodem

⁹ Tamże.

¹⁰ Tamże. Leibniz formułuje zarzut w postaci pytania, dlaczego Bóg stworzył świat raczej w tym, a nie w innym miejscu przestrzeni. Można jednak pytać jedynie o rację dostateczną takiego a nie innego stanu rzeczy, całkowicie niezależnie od podtekstów teologicznych.

¹¹ Tamże, s. 337. Bardziej szczegółowe omówienie sporu Leibniza z Newtonem (a ściślej – ze zwolennikiem Newtona Samuelem Clarkiem) zob. np. A. Łukasik, *Filozofia atomizmu. Atomistyczny model świata w filozofii przyrody, fizyce klasycznej i współczesnej a problem elementarności*, Wyd. UMCS, Lublin 2006, s. 143–187.

¹² Por. G. W. Leibniz, *Polemika z S. Clarkiem. Trzecie pismo Leibniza*, [w:] tenże, *Wyznanie...*, s. 336.

¹³ G. W. Leibniz, *Nowy system...*, *Zarzuty...*, *Uwagi...*, *Odpowiedzi*, [w:] tenże, *Wyznanie...*, s. 165–166. Problem stosowalności *principium identitatis indiscernibilium* jest współcześnie żywo dyskutowany, szczególnie w odniesieniu do zagadnienia nieodróżnialności cząstek identycznych w mechanice kwantowej (por. rozdz. *Problem indywidualności cząstek identycznych* niniejszej pracy).

¹⁴ G. W. Leibniz, *Prawdy...*, [w:] tenże, *Wyznanie...*, s. 92.

krytyki atomizmu Newtona.¹⁵ Otóż gdyby istniały absolutnie sztywne atomy, wówczas podczas zderzenia zachodziłaby nieciągła zmiana prędkości, co jest oczywiście niezgodne z założeniem ciągłości wszelkich procesów przyrody. Leibniz argumentuje więc, że jeśli wszystkie ciała są w mniejszym lub większym stopniu elastyczne, to wszystkie muszą być zbudowane z mniejszych części.¹⁶ Dla klasycznego atomizmu rzeczywiście poważny problem stanowiło to, w jaki sposób zastosować „skomplikowaną właściwość «sprężystości» do opisu atomów, które mają przecież być podstawowymi elementami natury?”¹⁷

Leibniz, odrzucając materialne atomy, twierdził, że ostatecznymi składnikami natury są pewne proste substancje, które są w istocie niematerialne. Owe proste substancje, zwane przez Leibniza monadami, podobnie jak atomy Newtona są niepodzielne, niezniszczalne i niepodlegające zmianom za sprawą czynników zewnętrznych,¹⁸ lecz pozbawione są rozciągłości przestrzennej, a zatem i wszelkich mechanicznych charakterystyk.

Otóż tam gdzie nie ma części, nie jest możliwa rozciągłość ani kształt, ani podzielność. I monady te są prawdziwymi atomami natury — elementami rzeczy.¹⁹

Porównajmy podstawowe cechy ontologii świata przyrody Newtona i Leibniza: według Newtona elementarnymi obiektami w przyrodzie są materialne atomy, które są niepodzielne, lecz rozciągle przestrzennie, a ponadto charakteryzują się nieprzenikliwością i bezwładnością. Niezależnie od atomów istnieje czas i przestrzeń. Według Leibniza obiekty elementarne to pozbawione rozciągłości przestrzennej monady, natomiast czas i przestrzeń nie istnieją niezależnie od ciał, lecz mają status relacji.

Atomizm punktowy

Bošković twierdził, że sformułowana przez niego teoria ma charakter pośredni między mechaniką klasyczną Newtona i monadologią Leibniza, ale jest od nich znacznie prostsza.²⁰ Właśnie metodologiczna reguła prostoty założeń odgrywa podstawową rolę w jego koncepcji atomistycznej, przedstawionej w *Theoria philosophiae naturalis redacta ad unicam legem virium in natura existentium*.²¹ Zdaniem Boškovića wszystkie zjawiska można wyjaśnić, przyjmując najprostsze możliwe założenia, a w

¹⁵ G. W. Leibniz, *Specimen dynamicum*, [w:] S. Blandzi (red.), *Gottfried Wilhelm Leibniz. Pisma z metafizyki natury*, Wydawnictwo Rolewski, Toruń 1999, s. 96.

¹⁶ Por. D. Garber, *Leibniz: Physics and Philosophy*, [w:] N. Jolley (ed.), *The Cambridge Companion to Leibniz*, Cambridge University Press, Cambridge 1995, s. 323.

¹⁷ I. Prigogine, I. Stengers, *Z chaosu ku porządkowi. Nowy dialog człowieka z przyrodą*, tłum. K. Lipszyc, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1990, s. 76.

¹⁸ Por. R. Bregman, *Leibniz and Atomism*, „Nature and System” 1984, nr 6, s. 242.

¹⁹ G. W. Leibniz, *Zasady filozofii, czyli monadologia*, [w:] tenże, *Wyznanie...*, s. 297.

²⁰ Por. L. L. Whyte, *Boscovich's Atomism*, [w:] L. L. Whyte (ed.), *Roger Joseph Boscovich...*, s. 117.

²¹ *Teoria filozofii przyrody redukująca do prostego prawa wszystkie oddziaływania istniejące w naturze*. Pierwsze wydanie – Wiedeń 1758; drugie, poprawione wydanie – Wenecja 1763.

tym przypadku oznacza to, że wszystkie zjawiska są rezultatem różnych przestrzennych układów i wzajemnych przemieszczeń identycznych cząstek punktowych, oddziałujących między sobą parami, zgodnie z prostym prawem determinującym ich względne przyspieszenia.

Bošković przyjmował, niewątpliwie pod wpływem monadologii Leibniza, że elementarnymi składnikami materii są niezmiennie, niepodzielne i nierozciąglę punkty materialne (*puncta materiae, prima elementa* — Bošković nie używał terminu „atom”).

Podstawowe elementy materii są, moim zdaniem, doskonale niepodzielnymi i nierozciąglymi punktami; są one rozproszone w niezmiernie próżni tak, że każde dwa z nich są oddzielone od siebie pewnym interwałem; interwał ten może nieskończenie wzrastać lub zmniejszać się, ale nigdy całkowicie nie może zniknąć, pozwalając na wzajemne przenikanie się punktów, ponieważ nie jest możliwy między nimi bezpośredni kontakt [...]. Jako atrybut tych punktów przyjmuję właściwą im skłonność do pozostawania w stanie spoczynku lub ruchu jednostajnego po linii prostej [...].²²

Zaznaczyć trzeba, że „skłonność do pozostawania w stanie spoczynku lub ruchu jednostajnego po linii prostej”²³ w rozumieniu Boškovića nie jest, w przeciwieństwie do teorii Newtona, związana z masą, rozumianą jako absolutna własność elementarnych składników materii. Ponieważ wszystkie punkty materialne są identyczne, masę ciała złożonego wyraża się po prostu liczbą tych punktów. Nie jest więc – jak sądził – potrzebna osobna wielkość fizyczna – masa, lecz do opisu zjawisk wystarczają współrzędne czasowe i przestrzenne, traktowane, podobnie jak czynił to Leibniz, w sposób relacjonistyczny. Można zatem powiedzieć, że atomizm Boškovića ma charakter teorii czysto kinematycznej – nawet bezwładność jest cechą relacyjną, ponieważ wszelki ruch traktowany jest jako względny – względem powierzchni Ziemi, a w największej skali – w odniesieniu do „gwiazd stałych”.²⁴ W koncepcji tej nie występuje zatem pojęcie przestrzeni absolutnej, pełniące istotną rolę w filozofii przyrody Newtona.²⁵

Bošković zgadzał się z Leibnizem, że natura nie czyni skoków i obowiązuje w niej prawo ciągłości.²⁶ Poza założeniem prostoty przyrody, prawo ciągłości było właśnie punktem wyjścia jego atomizmu punktowego. Nie uzasadniał jednak tego

²² R. J. Boscovich, *A Theory of Natural Philosophy*, trans. J. M. Child, Open Court Publishing, Chicago – London 1922, [w:] <http://dbhs.wvusd.k12.ca.us/webdocs/Chem-History/Boscovich-1763.html>.

²³ Warto podkreślić, że zdaniem Boškovića, bezwładność, czyli tendencja punktów materialnych do ruchu jednostajnego jest zrelatywizowana do przestrzeni, w której się poruszają. „Jeżeli przyjmujemy świat sferyczny, który zawiera nas, wszystkie planety oraz gwiazdy, wszystkie ciała podlegają prawu bezwładności w stosunku do tej sfery” (R. J. Bošković, *A Theory...*, cyt. [w:] L. L. Whyte, *Boscovich's Atomism...*, s. 113).

²⁴ Por. L. L. Whyte, *Boscovich's Atomism...*, s. 106 n. W tym punkcie koncepcja Boškovića zasługuje niewątpliwie na miano antycypacji zasady Macha.

²⁵ Newton przyjmował istnienie przestrzeni absolutnej, chociaż wiadomo współcześnie, że założenie jej istnienia nie jest konieczne dla ważności praw mechaniki.

prawa na podstawie zasady racji dostatecznej, jak to czynił Leibniz, lecz na podstawie obserwacji zjawisk. Gdyby elementarne składniki materii były obiektami absolutnie sztywnymi (jak przyjmował Newton zgodnie z tradycją atomistyczną sięgającą Demokryta), wówczas podczas zderzeń atomów ich prędkości musiałyby zmieniać się w sposób nieciągły, co jest oczywiście niezgodne z zasadą *natura non facit saltus*. Leibniz sądził, że akceptacja prawa ciągłości wymaga raczej przyjęcia poglądu, że atomy, jeżeli są rozciągle przestrzennie, to nie mogą być sztywne, lecz raczej powinny być elastyczne. Ale odkształcenia zachodzące podczas zderzeń mogą występować w ciałach złożonych, co do atomów przyjmowano zaś, że są one absolutnie niezmiennie. Bošković wysunął zatem hipotezę, że nieciągłej zmiany prędkości podczas zderzeń można uniknąć przez wprowadzenie sił odpychania, a zamiast sztywnych i rozciąglonych przestrzennie atomów przyjąć jako elementarne składniki materii punktowe centra oddziaływań.²⁷ Siły odpychania między punktami materialnymi działają bowiem już *zanim* nastąpi zderzenie, a ponieważ przy odległości między punktami materialnymi dążącej do zera wartość tych sił rośnie do nieskończoności, to w ogóle nie następuje zderzenie w sensie bezpośredniego kontaktu atomów. Zmiana prędkości atomów ma wówczas charakter ciągły.

W tradycji atomistycznej od Leukipposa, Demokryta, Epikura, Lukrecjusza przez Gassendiego, Boyle'a i Newtona oraz większości chemików atomistów XIX wieku elementarne składniki materii pojmowano przez analogię z obiektami makroskopowymi. Wprawdzie przyjmowano, że atomy nie posiadają jakości wtórnych, takich jak barwy czy zapachy, to jednak sądzono, że podobnie jak ciała makroskopowe, mają one kształt i wielkość (oraz ciężar lub masę). Atomizm punktowy, którego źródła sięgają koncepcji pitagorejczyków, nie traktuje również kształtu, wielkości i ciężaru jako atrybutów elementarnych składników materii. Koncepcja Boškovića sytuuje się właśnie w tradycji atomizmu punktowego. Wszystkie elementarne składniki materii — *puncta* — są identyczne, nieróżnicowane zarówno pod względem cech jakościowych, jak ilościowych. Są to niewątpliwie najprostsze (choć całkowicie aprioryczne) założenia co do elementarnych składników materii, jakie można przyjąć w ramach atomizmu.

Dla tradycji atomistycznej charakterystyczny był ponadto dualizm materii i przestrzeni. Można zatem rozróżnić przestrzeń pustą – całkowicie przenikliwą, ciągłą i podzielną w nieskończoność i przestrzeń zajętą przez materię – która występuje w postaci nieprzenikliwych, dyskretnych i z definicji niepodzielnych atomów. Koncepcja Boškovića nie zawiera takiego dualizmu — punkty materialne nie mają oczywiście rozciągłości przestrzennej, nie ma zatem nieprzenikliwych obszarów przestrzeni.²⁸ W koncepcji Boškovića nieprzenikliwość nie jest zatem atrybutem elementarnych składników materii, co czyni jego pojęcie materii znacznie bliższe poglądom współczesnym niż to, które przyjmowano jeszcze na początku XX wieku.

²⁶ Por. R. J. Boscovich, *A Theory...*, [w:] <http://dbhs.wvusd.k12.ca.us/webdocs/Chem-History/Boscovich-1763.html>.

²⁷ Por. L. L. Whyte, *Boscovich's Atomism...*, s. 106.

²⁸ Tamże, s. 107.

Bošković przyjmuje, że Newtonem, że między każdymi dwoma punktami materialnymi działają siły centralne. Mają one jednak charakter „oscylacyjny”: przy odległości między tymi punktami dążącej do zera są siłami odpychającymi, a ich wartość rośnie asymptotycznie do nieskończoności, następnie, przy pewnych odległościach, stają się siłami przyciągania, potem znów odpychania itd., aż przy odległości między punktami rosnącej do nieskończoności stają się siłami przyciągania, działającymi zgodnie z Newtonowskim prawem powszechnego ciężenia.²⁹ W odróżnieniu od teorii Newtona, w której największe siły przyciągania występują, gdy ciała znajdują się we wzajemnym kontakcie, w teorii Boškovića dla odległości dążących do zera siły są siłami odpychania i asymptotycznie dążą do nieskończoności.³⁰ Zdaniem Boškovića siły przyciągania pojawiają się jednak również wtedy, gdy odległości między punktami są niewielkie, czego przykładem są siły spójności. Gdyby na małych dystansach siły były wyłącznie siłami odpychania, nie mogłyby istnieć ciała stałe.³¹ Pewne układy punktów o określonym kształcie i rozmiarach mogą więc być stabilne.

W atomizmie Boškovića nie występuje oddziaływanie obiektów przez bezpośredni kontakt, fundamentalne dla koncepcji Kartezjusza i Leibniza, ale wszelkie oddziaływania mają charakter *actio in distans*. Bošković, podobnie jak Newton, nie wysuwał hipotez co do fizycznych przyczyn sił, lecz chciał podać jedynie matematyczny opis wzajemnego oddziaływania.³² Ponieważ z uwagi na charakter działającej siły (por. rys. 1) żadne dwa punkty materialne nigdy nie mogą znaleźć się w bezpośrednim kontakcie, Bošković odrzuca zderzenia, które zawsze były istotnym elementem mechanistycznego poglądu na świat. Zauważmy jednak, że każde dwa *puncta* we wszechświecie są zawsze połączone dynamicznymi więzami, a wartość siły wzajemnego oddziaływania zależy wyłącznie od względnej odległości między nimi.³³

Niezmiernie interesująca w *Teorii* Boškovića jest koncepcja, że jedna siła przejawia się zarówno jako siła odpychania, jak i siła przyciągania, w zależności od względnej odległości między punktami materialnymi. Niestety, koncepcja ta nie została opracowana w języku matematyki i ma czysto jakościowy charakter. Bošković opisuje zatem działanie siły następująco:

[...] materia jest niezmienna i składa się z punktów, które są doskonale proste, niepodzielne, nierozciągłe i oddzielone od siebie; każdy z tych punktów ma własność bezwładności i wzajemnego oddziaływania siłą zależną od odległości w ten sposób, że dla danej odległości zarówno wielkość, jak i kierunek tej siły są stałe, ale jeśli odległość się zmienia, zmienia się również siła; jeśli odległość zmniejsza

²⁹ Por. R. J. Boscovich, *A Theory...*, [w:] <http://dbhs.wvusd.k12.ca.us/webdocs/Chem-History/Boscovich-1763.html>.

³⁰ Por. Z. Marković, *Bošković Theoria*, [w:] L. L. Whyte (ed.), *Roger Joseph Boscovich...*, s. 132.

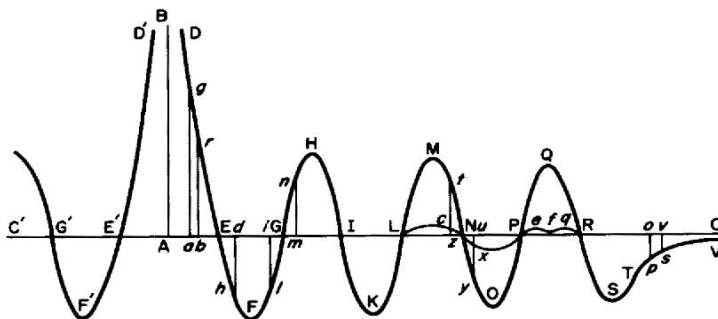
³¹ Por. Tamże, s. 135.

³² Por. Tamże, s. 137.

³³ Por. M. Jammer, *Concept of Force. A Study in the Foundations of Dynamics*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 1957, s. 174.

się, to siła staje się odpychająca i rośnie do nieskończoności przy odległości dążącej do zera, jeśli zaś odległość rośnie, wówczas siła maleje, zanika, zmienia się z odpychającej na przyciągającą, po czym jej wartość maleje, zanika, zmienia się na odpychającą i tak się dzieje wielokrotnie, aż dla dużych odległości staje się siłą przyciągania w przybliżeniu proporcjonalną do odwrotności kwadratu odległości.³⁴

Na przedstawionym poniżej rysunku miejsca przecięcia się wykresu funkcji reprezentującej wartość siły z osią x oznaczają punkty równowagi, w których siła przyciągania równoważy siłę odpychania. Punkty F, K, O, S są punktami równowagi stabilnej — niewielkie przesunięcie punktu materialnego powoduje powrót do poprzedniego położenia. Według Boškovića tym tłumaczy się zjawisko spójności. Punkty H, M, Q reprezentują stan równowagi niestabilnej, ponieważ dowolnie małe zwiększenie odległości między punktami materialnymi prowadzi do wzajemnego odpychania, natomiast zmniejszenie tej odległości — do przyciągania. Dla dużych odległości siła jest wyłącznie przyciągająca, zgodnie ze wzorem Newtona na siłę grawitacji (odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości).



Rysunek 1³⁵. Zależność wartości siły (oś pionowa) od względnej odległości między dwoma punktami materialnymi (oś pozioma) w koncepcji Boškovića. Początek układu współrzędnych jest w miejscu, w którym znajduje się jeden z punktów. Wartości siły pod osią poziomą odpowiadają wzajemnemu przyciąganiu, wartości nad osią – wzajemnemu odpychaniu się punktów materialnych.

Oscylacyjny charakter siły wzajemnego oddziaływania między punktami materialnymi i występowanie punktów stabilności wyjaśnia, zdaniem Boškovića, rozciągłość ciał złożonych pomimo tego, że elementarne składniki materii są obiektami pozbawionymi rozciągłości przestrzennej. Pewne struktury tworzą trójwymiarowy, stabilny i dyskretny układ „cząstek pierwszego rzędu”, z których tworzą się obiekty coraz bardziej złożone, aż do postrzeganych przez nas ciał makroskopowych. Struktury te sprawiają wrażenie ciągłości jedynie z powodu niezmiernie ma-

³⁴ R. J. Boscovich, *A Theory...*, [w:] <http://dbhs.wvusd.k12.ca.us/webdocs/ChemHistory/Boscovich-1763.html>.

³⁵ Tamże.

łych odległości między tworzącymi je cząstkami. Własność nieprzenikliwości jest zatem związana z własnością sił działających między punktami, a nie — jak w atomizmie Demokryta i Newtona — z nieprzenikliwością i rozciągłością elementarnych składników materii. Zbliżenie na dowolnie małą odległość dwóch punktów materialnych wymagałoby bowiem nieskończenie wielkiej siły. Możliwe jest jednak przenikanie pewnych cząstek przez ciała bez wzajemnego oddziaływania — dzieje się tak wówczas, gdy punkty materialne tworzące tę cząstkę nie przechodzą zbyt blisko punktów materialnych tworzących dane ciało, a zatem gdy siły działające między nimi są bardzo małe. W ten sposób Bošković wyjaśniał takie zjawiska, jak na przykład przechodzenie światła przez szkło.³⁶

Podsumowanie

Atomizm punktowy Boškovića miał charakter czysto jakościowy i nie był teorią testowalną empirycznie, lecz jedynie programem teorii atomistycznej, przyjmującym najmniejszą liczbę najprostszych założeń, a mianowicie, że wszystkie elementarne składniki materii są identycznymi punktami materialnymi, a ich wzajemne oddziaływania opisuje jedna siła, która, w zależności od względnej odległości między nimi, jest odpychająca albo przyciągająca. Była to jednak koncepcja niezwykle śmiała, być może zbyt śmiała na owe czasy, w których atomizm był jeszcze uznawany za koncepcję wysoce spekulatywną. Gdy pojęcie atomu zadomowiło się już w nauce — najpierw w chemii (Dalton) a następnie w fizyce (kinetyczno-molekularna teoria materii, II połowa XIX wieku), atomy pojmowano nadal zgodnie z tradycją Demokryta i Newtona jako mikroskopijne ciała stałe — „rozciągle, twarde i nieprzenikliwe”, a nie jako punkty materialne. Mechanistyczny obraz elementarnych składników materii całkowicie jednak się załamał w pierwszych dwóch dekadach XX wieku i z perspektywy czasu należy stwierdzić, że pewne idee Boškovića okazały się jednak nadzwyczaj trafne półtora wieku po ich publikacji.

Już Ernest Rutherford, wykonując sławne eksperymenty rozproszeniowe, które doprowadziły do odkrycia jądra atomowego i planetarnego modelu atomu (1911), wyrażał swoje zdumienie tym, że materia, z którą tradycyjnie łączono właśnie atrybut nieprzenikliwości, okazywała się niemal zupełnie przenikliwa dla cząstek alfa. Model atomu Rutherforda, w którym prawie całą jego objętość stanowi pusta przestrzeń, odpowiada bardziej koncepcji Boškovića, w której elementarne składniki materii nie mają rozciągłości przestrzennej,³⁷ niż mechanistycznemu pogładowi na temat budowy atomu ukształtowanemu w nauce klasycznej. Również cząstki fundamentalne współczesnej fizyki (leptony i kwarki) traktowane są jako obiekty punktowe, w stosunku do których takie atrybuty, jak nieprzenikliwość, kształt czy twardość okazały się całkowicie nieadekwatne. Wprawdzie od czasu sformułowania przez Louisa Victora de Broglie’a (1924) hipotezy fal materii przyjmuje się, że z każdą cząstką stowarzyszona jest pewna fala, której długość λ wiąże się z pędem p cząstki wzorem $\lambda = h/p$, gdzie h jest stałą Plancka, to jednak według

³⁶ Por. Z. Marković, *Bošković Theoria...*, s. 143.

³⁷ Por. L. L. Whyte, *Boscovich's Atomism...*, s. 110. Oszacowania rozmiarów jądra atomowego dają wielkość rzędu zaledwie 10^{-15} m, czyli sto tysięcy razy mniejszą niż rozmiar całego atomu (10^{-10} m).

kopenhaskiej interpretacji mechaniki kwantowej owe fale są jedynie abstrakcyjnymi falami prawdopodobieństwa. Zgodnie ze statystyczną interpretacją fizycznego znaczenia funkcji falowej Ψ (dla jednej cząstki, takiej jak na przykład elektron) sformułowaną przez Maxa Borna (1926) wielkość $|\Psi(x, y, z, t)|^2 dx dy dz$ (kwadrat amplitudy zespolonej funkcji falowej) jest proporcjonalna do prawdopodobieństwa, że w rezultacie pomiaru znajdziemy cząstkę punktową w chwili t w elemencie objętości $dx dy dz$.

Bošković przyjmował, że *wszystkie* elementarne składniki materii są identyczne, co nie znajduje potwierdzenia w fizyce współczesnej. Jednak zgodnie z mechaniką kwantową *wszystkie cząstki elementarne danego rodzaju* (jak na przykład elektrony) są *identyczne* (nie różnią się żadną wewnętrzną cechą), a ponadto są nierozróżnialne (wbrew poglądom Leibniza, że nie istnieją dwa nierozróżnialne indywidua). Przekonania o ciągłości procesów przyrody również nie potwierdza mechanika kwantowa, a program redukcji wszelkich oddziaływań do prostego przyciągania lub odpychania absolutnie niezmiennych składników materii okazał się niemożliwy do realizacji. Wiele procesów opisywanych przez mechanikę kwantową (np. zjawiska kreacji i anihilacji czy słabe oddziaływania jądrowe) prowadzi bowiem do zmiany cząstek w nich uczestniczących. Jednak sama idea opisu oddziaływań w kategoriach jednej „siły” jest ideą bliską współczesnej fizyce, ponieważ uczeni nadal poszukują jednolitego opisu wszystkich zjawisk fizycznych i są przekonani, że *wszelkie oddziaływania* (grawitacja, elektromagnetyzm, oddziaływanie słabe i kolorowe) są przejawem jednego fundamentalnego oddziaływania. Gdyby taką teorię (unifikującą mechanikę kwantową z ogólną teorią względności Einsteina) udało się skonstruować, byłaby to wspaniała realizacja postulatu prostoty i jednolitości opisu zjawisk, fundamentalnego dla atomizmu punktowego Boškovića.

Резюме

Рудер Ёсип Бошкович и атомизм. Промежуточная теория между механикой Ньютона и монадологией Лейбница.

Статья является презентацией и анализом малоизвестной, но очень интересной концепции пунктирного атомизма Бошковича. Целью автора *Theoria philosophiae naturalis redacta ad unicum legem virium in natura existentium* было сформулировать промежуточную теорию между классической механикой Ньютона а монадологией Лейбница, но одновременно такую теорию, которая была бы основана на возможно самых простых предпосылках. По мнению Бошковича, все явления – это результат разных пространственных систем и взаимных перемещений тождественных пунктирных частиц, взаимодействующих попарно, согласно простому закону, определяющему их относительные ускорения.

Summary

Ruder Josip Boskovic atomism. Indirect theory between mechanics of Newton a monadology of Leibniz.

The article is a presentation an analysis little-know, but very inrested in a conception atomism spot of Boskovic. Purpose of the author, *Theoria philosophiae naturalis redacta ad unicum legem virium in natura existentium* was formulating the theory about indirect character between classic mechanics of Newton and monadology Leibniza, but simultaneously so which would be leaned on possibly the simples assumption all phenomena are a Boskovic sentence with result of different spatial layouts and mutual transfers of identical particles influence between on self in pairs according to simple law determining their relative acceleration.

