

Łukasz Skrobot

Spór o atom – droga do mechaniki kwantowej. Wpływ filozofii antycznej na współczesną fizykę według Wernera Heisenberga

*Żeby zrozumieć późniejszych filozofów, trzeba się uczyć
ewolucji, której podlegały znaczenia terminów.*

C. F. von Weizsäcker

1. Wstęp

Jednym z najstarszych problemów filozofii, żywo rozważanym już przez antycznych myślicieli, było pytanie o *arche*, czyli próba określenia początku, pierwszej zasady, przyczyny wszystkiego. Szukając rozwiązania tego problemu, zaproponowali oni wiele ciekawych koncepcji budowy świata. Czy z tych pomysłów skorzystała współczesna fizyka?

Niniejsza praca jest próbą ukazania, na przykładzie poglądów W. Heisenberga, że pomimo pozornie wspólnego pola zagadnień fizyki i filozofii, fizyka czasów Heisenberga bazuje na zupełnie innym aparacie pojęciowym. We współczesnej fizyce zmieniło się znaczenie wielu pojęć, które rozumiemy w ramach obecnego paradygmatu nauki. Przykładem takiej „dewaluacji” znaczenia jest pojęcie *atomu*. Miało ono niezwykle burzliwą historię. W starożytności (od Demokryta i Leukipposa) przez *atom* rozumiano najdrobniejszą, niepodzielną cząstkę materii. Obecnie wiemy, że *atom* może się dzielić, a tym samym rozpadać na jeszcze mniejsze cząstki. Starożytny *atom* znaczeniowo przypomina dziś bardziej pojęcie

molekuły lub cząstki elementarnej. Czy zatem „odkrycie Demokryta” było konieczne do współczesnego rozumienia „najmniejszej drobin” świata? Korzystając z prac¹ W. Heisenberga postaram się odpowiedzieć na postawione pytanie.

2. Filozofia antyczna o atomie²

Myśliciele greccy, poszukując *arche* (prasubstancji), wysuwali ciekawe hipotezy dotyczące materii, którą często rozumiano jako budulec świata. Pierwszy z nich – Tales z Miletu za *arche* przyjął *wodę*. Swoją koncepcję prasubstancji oparł na obserwacji zjawisk meteorologicznych. Zauważył, że woda przybiera w świecie różne formy (np. para czy lód) i że bez niej niemożliwe jest życie. Na podstawie tych racjonalnych przesłanek przyjął, że istnienie wszystkich rzeczy sprowadza się do jednego, tj. wody. Przytoczone tu rozumowanie obrazuje sposób argumentacji ówczesnych filozofów. Kolejnymi, którzy rozwinęli różne koncepcje prasubstancji, byli: Anaksymander, który za *arche* uznał *bezkres* (*ἄπειρον*); Anaksymenes sprowadził wszystko do *powietrza*; Heraklit uznał, że prasubstancją świata musi być *ogień*. Wszyscy oni poszukiwali „czegoś”, co spajałoby wszystkie zjawiska obserwowalnego świata. Zrodziło to przekonanie, że musi istnieć jakiś jeden pierwiastek wspólny wszystkim rzeczom. Po Heraklicie pojawiły się nowe koncepcje zasady świata: Parmenides twierdził, że istnieje tylko jeden, wieczny, niepodzielny *byt*, który po prostu jest; Empedokles za podstawowe pierwiastki uznał: *ziemię, wodę, powietrze i ogień*; natomiast Anaksagoras sądził, że „przyczyną wszelkich zmian jest *mieszanie się i rozdzielanie nieskończenie małych zarodków*”³. Po-

¹W artykule wykorzystam głównie IV rozdział książki *Fizyka a filozofia* W. Heisenberga, zatytułowany: *Narodziny nauki o atomach a teoria kwantowa*, Warszawa 1965.

²Szczegółowej analizy zagadnień dotyczących atomu dokonał A. Łukasik w książce *Atom – od greckiej filozofii przyrody do nauki współczesnej*, Wyd. UMCS, Lublin 2000.

³Por. W. Heisenberg, dz. cyt., s. 47.

głądy te bezpośrednio zmierzały do atomistycznej koncepcji bytu, którą sformułowali Leukippos i Demokryt. Wykorzystując intuicję Parmenidesa ("byt jest, a niebytu nie ma") uznali, że budulcem świata są *niepodzielne atomy* – najmniejsze cząstki materii, które poruszają się dzięki istnieniu *próżni*. W poglądach Demokryta przedstawiona została uporządkowana synteza dotychczasowych koncepcji. Dał on zarazem początek teorii atomistycznego materializmu, nad którym do dziś trwają spory interpretacyjne.

Heisenberg sugeruje, że gdyby np. *ogień* Heraklita zastąpić współczesnym terminem *energii*, to „jego twierdzenia będą niemal całkowicie pokrywały się z naszymi dzisiejszymi poglądami”⁴. Współcześnie uznajemy, że to energia jest tą *substancją*, z której utworzone są cząstki elementarne, a tym samym wszystkie rzeczy. Czy zatem antyczni filozofowie mieli już intuicję materii świata, ale nie potrafili jej dokładnie wyrazić? Może potrzeba było 2500 lat, aby wypracować bardziej precyzyjny aparat pojęciowy? A może różnica leży jedynie w metodzie badań, która dziś pozwala nam empirycznie potwierdzić „intuicję Demokryta”⁵?

3. Od Platona do Newtona

Późniejsza filozofia zmodyfikowała, a w przypadku Platona całkowicie odrzuciła, atomistyczną teorię budowy świata. Platon przeniósł *atom* z „ziemi” ku „niebu”. Za pitagorejczykami twierdził, że najbardziej podstawowym elementem świata są matematyczne formy, mające swoje odbicie w najmniejszych cząstkach, które Platon określił mianem *pierwiastka*. Wyróżnił on pięć pierwiastków, z których zbudowany jest cały Wszechświat. Każdemu z nich odpowiada geometryczna bryła, np. ziemia zbudowana jest z sześciątów, powietrze z ośmiościanów, itd. Bryły geometryczne przypominają atomy, które są niepodzielne. Każda z nich skonstruowana jest z trójkątów równobocznych i równoramiennych.

⁴Tamże, s. 49.

⁵Por. A. Łukasik, dz. cyt., ss. 15–25.

Cząstka materialna powstaje w wyniku połączenia tych trójka-tów w regularną bryłę. To pozwala przekształcać się jednym pier-wiastkom w drugie. „Najmniejsze cząstki materii nie są bytami podstawowymi – wbrew twierdzeniom Demokryta – lecz formami matematycznymi”⁶.

W taki sposób Platon zmienił dotychczasowe spojrzenie na atom. Wcześniej doszukiwano się jego początków w materii (zie-mi – świecie), natomiast wersja Platona pokazała, że najtrwalsze tworzywo świata znajduje się w ludzkim umyśle. Oczywiście ta konstrukcja jest spójna z całą platońską teorią poznania rzeczy-wistości (mit o jaskini). Weizsäcker nazywa takie ujęcie filozofii *sceptyczną teologią paradygmatu matematyki*. „Matematyka jest wiedzą, w której, jeżeli się wie, to się wie, że się wie. Matematyka jest paradygmatem – wzorcem wiedzy pewnej, jest miarą tego, co należy przyjąć za wiedzę rozumną”⁷.

4. Atom u Newtona⁸

Zobaczmy, jak zmieniło się pojęcie atomu wraz z powstaniem nowożytnej nauki. Okres ten był szczególnie ważny nie tylko dla rozwoju pojęcia atomu, ale również dla nowego spojrzenia na ca-łość przyrody. Stworzony przez Newtona mechanistyczny obraz świata był rozwinięciem atomistycznej koncepcji budowy materii. Newton wierzył w istnienie najmniejszych, niepodzielnych cząstek, choć przekonanie to było niezależne od stworzonej przez niego me-chaniki.

Nowością w stosunku do starożytnych wersji atomizmu było uznanie, że atomy (korpuskuły) odznaczają się *bezwładnością*. Po-

⁶W. Heisenberg, dz. cyt., s. 54.

⁷Por. C. F. von Weizsäcker, *Filozofia grecka i fizyka współczesna, [w:] Filo-zofować w kontekście nauki*, M. Heller, A. Michalik, J. Życiński (red.), PTT, Kraków 1987, s. 146.

⁸Świadomie pomijam w pracy poglądy Arystotelesa oraz koncepcje wieków średnich, gdyż moim celem nie jest całościowa analiza historyczna pojęcia ato-mu, lecz uchwycenie tych momentów jego historii, które – moim zdaniem – bezpośrednio rzutowały na jego obecne rozumienie.

zostają zatem w spoczynku lub ruchu jednostajnym, a do nadania im przyspieszenia potrzebna jest odpowiednia *siła*. Była to zasadnicza nowość zarówno wobec demokrytejskiej koncepcji atomu, jak i całej fizyki Arystotelesa. Newton sądził, że te siły można opisać za pomocą matematycznych wzorów. Sformułował w ten sposób trzy *zasady dynamiki* i *prawo powszechnego ciężenia*. Prawa Newtona mają charakter ogólny i w przypadku opisu konkretnego zjawiska zachodzi potrzeba określenia ich warunków początkowych. Możliwość dokładnego (w granicach błędu) wyznaczenia stanu początkowego i możliwość przewidywania każdego następnego stanu układu prowadzi do przekonania, że przyroda jest deterministyczna. Szczególnie to przekonanie Newtona znalazło wielu kontynuatorów zarówno na gruncie fizyki, jaki i filozofii.

W mechanice kwantowej determinizm newtonowski został jednak podważony. Zasada nieoznaczoności Heisenberga pokazała, że niemożliwość jednoczesnego określenia pędu i położenia cząstki zaprzecza deterministycznej interpretacji zjawisk przyrody. „Przedmiotem rozważań filozofów greckich były formy statyczne, natomiast punktem wyjścia nowożytnej nauki w XVI i XVII stuleciu były zagadnienia dynamiki. Cząstki powinny być rozwiązaniem jakiegoś równania, które wyraża wieczne prawo ruchu materii”⁹. Heisenberg sugeruje, że Newton słusznie przerzucił wagę problemu z poszukiwania najmniejszej drobinie świata na próbę znalezienia fundamentalnego prawa, które wiernie opisywałoby wszystkie zjawiska przyrody. Jednak intuicja Newtona została poprawnie sformułowana dopiero w „nieliniowym równaniu falowym operatora pola”¹⁰.

⁹W. Heisenberg, dz. cyt., s. 57.

¹⁰Warto zwrócić uwagę na przypis 2 na s. 57 *Fizyka a filozofia*, pochodzący od redakcji wydania polskiego. Znajduje się w nim tłumaczenie zaktualizowanego fragmentu tekstu głównego. Pokazuje ono, jak żywy był ten temat w pracy Heisenberga.

5. Mechanika kwantowa¹¹

W 1925 roku Heisenberg przedstawił swoją postać zasad mechaniki kwantowej, którą nazwał mechaniką macierzową. Prawie równocześnie (1926 r.) Schrödinger opublikował własną wersję, którą nazwano mechaniką falową¹². W tym samym roku udowodnił, że obie te teorie są równoważnymi ujęciami mechaniki kwantowej. Mechanika falowa Schrödingera wyrażała się w słynnym *równaniu Schrödingera*. Rozwiązania własne tego równania są niejako formami cząstek elementarnych. Zastępują w ten sposób pitagorejsko–platońskie formy geometryczne. Zwornikiem, który spaja pitagorejsko–platońskie *formy geometrii* ze współczesnymi *rozwiązaniami własnymi* równania jest *symetria*. „Aczkolwiek samo równanie ma postać bardzo prostą, mamy w nim do czynienia z wielką ilością różnych własności symetrii, które zdają się być całkowicie zgodne z tym, co nam mówi wielka ilość danych doświadczalnych dotyczących przemian cząstek elementarnych”¹³.

Czym zatem, w tym nowym świetle, jest cząstka elementarna? Okazuje się, że odpowiedź na to pytanie jest trudna, podobnie jak cała dotychczasowa analiza demokrytejskiego, platońskiego czy newtonowskiego pojęcia atomu. W fizyce posługujemy się różnymi określeniami na oznaczenie poszczególnych cząstek atomu (proton, neutron, elektron). Od czasu powstania mechaniki kwantowej cząstkę możemy również opisać za pomocą równania falowego. Dlatego o ile myślimy o cząstce jako pewnej korpuskule (ciele) przypomina ona atom Demokryta, ale chcąc opisać cząstkę jako falę, możemy określić ją jedynie z pewnym prawdopodobieństwem (mechanika kwantowa). Atom demokrytejski miał wyrazić *prawdę istnienia*, zbudowany był z substancji jednakowej dla wszyst-

¹¹W pracy pomijam szczegółowy opis poszczególnych nowożytnych koncepcji atomu: Thomsona, Rutherforda, Bohra czy Schrödingera. Szerzej patrz: A. Łukasik, dz. cyt., ss. 95–153.

¹²Kolejność odkryć podają za: M. Heller, *Zagadnienia filozoficzne współczesnej nauki*, Warszawa 1997, s. 263.

¹³W. Heisenberg, dz. cyt., s. 59.

kich atomów. Natomiast współczesna cząstka elementarna, zdaniem Heisenberga, posiada jedynie *możliwość istnienia*, a jej „substancję” możemy określić jako masę. Przyjmując, zgodnie z teorią względności Einsteina, że masa i energia w istocie są tym samym, można uznać *energię* za praszubstancję. Powoduje ona ruch, dlatego jest przyczyną wszelkich zmian, może się przekształcać w materię, ciepło lub światło.

Widoczna tu zależność pomiędzy demokrytejskim atomem a współczesnym rozumieniem cząstki elementarnej jest tylko pozorna. Fizyka odrzuciła tezę atomistycznego materializmu. Cząstki elementarne zbudowane z energii mogą się przekształcać i ginąć (podczas zderzeń o wielkich energiach), a przez to nie są wieczne i niezniszczalne. Taki opis cząstki bardziej przypomina pitagorejsko-platońskie stanowisko, które ujmuje cząstkę jako matematyczną formę.

6. Fizyka a filozofia¹⁴

W tym historyczno – krytycznym przeglądzie pojawia się kluczowe pytanie: jakie znaczenie dla fizyki ma filozofia? „Ogólnie rzecz biorąc, fizyk ma za zadanie odpowiedzieć na te empiryczne pytania, na które aktualnie jest w stanie odpowiedzieć. Nie wolno stawiać mu pytań za trudnych”¹⁵. Weizsäcker zauważa, że Heisenberg wcześniej niż Kuhn, wyróżnił „krokowy” rozwój nauki. Okresy pomiędzy wielkimi rewolucjami stanowią tzw. zamknięte teorie (np. mechanika klasyczna), których granice wyznaczają nowe teorie. Teorie zamknięte przez dłuższy czas pozostają w stanie stabilnym i są dla nauki „kanonami wiedzy”. Komentując ten postulat Heisenberga należy sądzić, że w zamkniętych okresach nauki fizykom nie wolno stawiać pytań typu: co to jest atom? Jest to pytanie zbyt ogólne i nie daje możliwości empirycznego potwier-

¹⁴Tytuł tego podrozdziału zaczerpnąłem z artykułu Weizsäckera *Filozofia grecka i fizyka współczesna* [w:] *Filozofować w kontekście nauki*, ss. 140–142. Autor przedstawia w nim relację fizyki do filozofii.

¹⁵C. F. von Weizsäcker, dz. cyt., s. 141.

dzenia proponowanej odpowiedzi. Pomimo tak znacznego postępu w rozwoju nauki o atomie (mechanika kwantowa, fizyka cząstek elementarnych) pytanie o najmniejszą cząstkę Wszechświata wciąż pozostaje otwarte. Dziś wiadomo na pewno, że nie jest nią atom.

Fizyk powinien uciekać od ogólnych pytań filozoficznych. Odstępstwem od tej reguły mogą być momenty, gdy nauka wchodzi w okresy wielkich rewolucji. Przełamanie dotychczasowego paradygmatu powoduje dynamiczne przejście ku nowym teoriom. Historia nauki pokazuje, że właśnie w tych momentach wielu fizycy, tacy jak Newton, Galileusz, Einstein, Planck, Bohr, Heisenberg i inni, okazywali się najpierw wielkimi filozofami. Z ich twórczych myśli, czysto teoretycznych idei rodziły się wielkie odkrycia.

W XX wieku rewolucyjny charakter miały: teoria względności i mechanika kwantowa. Zmieniły one bieg dotychczasowego rozwoju fizyki i zaczęły rozwiązywać liczne zagadki (np. dlaczego elektron nie spada na jądro atomu?). W tej perspektywie warto się zastanowić, w jakim okresie znajduje się obecna nauka. Czy nadal tkwi w obszarze dwudziestowiecznych odkryć, czy też zbliża się już do granicy obecnego stanu wiedzy? Zgodnie z przytoczoną powyżej koncepcją Heisenberga jest to bardzo ważne pytanie dla fizyka. Musi on bowiem rozeznaczyć, czy szukać prawdy w dotychczasowych teoriach, czy też ogłosić nurtujące go nowe intuicje naukowe. Przykładem może być intuicja Plancka, z której zwierzył się on swojemu synowi. Przeczuwał, że dokonał odkrycia, które da się porównać jedynie z odkryciami Newtona. „Musiał on już wówczas zdawać sobie sprawę, że jego wzór dotyczy podstaw naszego sposobu opisywania przyrody i że pewnego dnia podstawy te ulegną modyfikacji i przybiorą nową, dotychczas nie znaną postać”¹⁶.

7. Wnioski

Barwna historia antycznej filozofii, poszukującej ostatecznej zasady (cegiełki) świata, prowadzi współczesnego człowieka w nie-

¹⁶W. Heisenberg, dz. cyt., s. 12.

zglobiony obszar nauki (fizyki), która pozornie kontynuuje poszukiwania starożytnych. Aż 2500 lat badań nad *atomem* nie wystarczyło, aby odsłonić jego tajemnicę. Z powyższych rozważań można wysnuć następujące wnioski:

Antyczni filozofowie, poszukując *arche* wszystkiego, zbudowali ciekawe koncepcje, które współcześnie nie mają statutu naukowego, a jedynie mogą być twórczą inspiracją w obecnych badaniach fizyków.

Wielkim przełomem w rozumieniu atomu okazała się nauka Newtona. Rzuciła ona nowe światło nie tyle na sam atom jako cząstkę materii, ile na jego dynamiczne oddziaływanie w świecie fizycznym. Dotychczas atom traktowano jako statyczny budulec świata, natomiast mechanika klasyczna zwróciła większą uwagę na jego ruch. Ta pozornie nic nie znacząca różnica stała się jednak źródłem inspiracji dla późniejszych, bardziej dojrzałych koncepcji atomu. Mechanika Newtona według Heisenberga stała się pierwszym „zamkniętym systemem pojęć”, który próbował objąć całość zjawisk przyrody.

Eksperymenty oraz skomplikowane modele matematyczne współczesnej fizyki (np. Heisenberga) ukazały, że atom nie jest najmniejszą cząstką Wszechświata. Zgodnie z zasadą nieoznaczoności wiemy, że nie da się jednocześnie określić składowej pędu i odpowiadającej jej składowej położenia cząstki elementarnej. Prowadzi to do niemożliwości empirycznego „obejrzenia” cząstki. Zatem współczesna „cząstka” ma jedynie charakter wyobraźniowego modelu i w rozumieniu antycznych filozofów nie posiada własności fizycznych.