

Wojciech Sady
Instytut Filozofii i Socjologii
Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie

Rewolucje naukowe a problem obiektywności naukowej wiedzy

Abstrakt. Jeśli przez „wiedzę obiektywną” rozumiemy zbiór twierdzeń w sposób jedno-jednoznaczny odwzorowujący rzeczywistość, to poglądy naukowe obiektywne nie są. Jednak rozwój naukowych poglądów na świat jest całkowicie niezależny od osobistych pragnień i lęków badaczy, a także od interesów grupowych samych naukowców bądź zatrudniających ich organizacji. O tym rozwoju decydują: wypracowany kolektywnie zbiór czynnych założeń, stanowiący punkt wyjścia badań, obiektywne – przy tych założeniach – wyniki eksperymentów oraz obiektywne prawa logiki. Ilustruję to krótką opowieścią o genezie pierwszych kwantowych modeli atomów.

Słowa kluczowe: obiektywność, odkrycie naukowe, rozwój wiedzy, rewolucje naukowe

Scientific revolutions and the problem of objectivity of scientific knowledge

Abstract. If by “objective knowledge” we mean a set of theorems that are one-to-one representation of reality, then scientific views are not objective. However, the growth of scientific views of the world is completely independent of personal desires and fears of researchers, as well as of group interests of scientists themselves or organizations that employ them. This growth is determined by: (1) collectively developed set of active assumptions, which is the starting point of research, (2) objective – under these assumptions – results of experiments and (3) objective laws of logic. I illustrate this by a short story about the genesis of the first quantum models of atoms.

Keywords: objectivity, scientific discovery, growth of knowledge, scientific revolutions

1. Spór o obiektywny charakter rozwoju wiedzy naukowej

Wciąż wygłaszamy rozmaite twierdzenia na temat tego, co się wokół nas wydarza, życia własnego i innych ludzi, wartości, Boga czy naszych losów pośmiertnych itd. – i twierdzenia te uważamy za prawdziwe, czyli za zgodne z rzeczywistością. Żyjemy w grupach łączonych przekonaniem uważanym przez ich członków za prawdziwe. Badania nad takimi przekonaniem, podejmowane przez ludzi nie należących do danej wspólnoty myślowej, ujawniają często, że są one uwarunkowane zarówno przez jednostkowe pragnienia i lęki, jak i grupowe interesy. Gdy takie uwarunkowania odkrywamy, orzekamy, że mamy do czynienia ze złudzeniami, subiektywnymi bądź intersubiektywnymi.

Powstaje pytanie, czy możemy poznać świat, ludzi czy wartości takimi, jakimi „naprawdę” są, w sposób wolny od zniekształcających uwarunkowań – czyli *obiektywnie*? Na to pytanie wielu dziś odpowie twierdząco, a jako wzorcowy przykład *wiedzy obiektywnej* da właśnie wiedzę zwaną *nauką*. Dodadzą zapewne, że nie da się naukowo poznać wartości czy Boga: wiedza naukowa ograniczona jest do przyrody jako pewnej całości podległej niezmiennym prawom, w której jedne wydarzenia, zgodnie z tymi prawami, warunkują przebieg innych wydarzeń. Zaś ludzi i całe społeczności możemy naukowo poznawać o tyle, o ile jesteśmy obiektami przyrodniczymi.

Taki obraz nauki został zakwestionowany przez filozofów i filozofujących naukowców. Ludwik Fleck, który był świadkiem rewolucji kwantowej w fizyce, a w trakcie własnych studiów poznał podobne zmiany w dziejach medycyny, pisał:

(...) żadna nauka nie zawiera obiektywnego obrazu świata, w znaczeniu jedno-jednoznacznego semantycznego odwzorowania go. (...) Gdyby tak było, byłaby w nauce jakaś część stała, niezmienna, wiedza naukowa rosłaby przez prosty przyrost wiadomości, tymczasem doświadczenie uczy, że zmienia się ona ustawicznie jako całość (Fleck 1946, 322).

Thomas S. Kuhn, który porzuciwszy fizykę poświęcił się badaniom nad jej historią stwierdzał, że nic nie wskazuje na to,

(...) by istniał jakiś pełny, obiektywny, prawdziwy obraz przyrody i że właściwą miarą naukowego dokonania jest to, na ile przybliża nas ono do tego ostatecznego celu (Kuhn 1962, 171).

W trakcie rewolucji naukowej zmieniają się – co podkreślali Fleck i Kuhn – problemy uważane za ważne, a nawet za sensowne, kryteria oceniania ich proponowanych rozwiązań, sposoby, na jakie naukowcy spostrzegają świat wokół siebie, a także język, jakiego używają do opisu zjawisk – a nie jest możliwe przetłumaczenie opisów dokonanych w nowym języku na języki używane wcześniej i na odwrót. A przede wszystkim zmieniają się – tu użyję odróżnień Flecka, których Kuhn ostatecznie nie zaakceptował – czynne założenia stylu myślowego. To trzeba wyjaśnić.

Kant uświadomił nam, że aby uczyć się z doświadczenia, musimy coś wiedzieć przed doświadczeniem. Ta przeddoświadczalna wiedza miała mieć – zdaniem autora *Krytyki czystego rozumu* – charakter konieczny, a w procesie poznawczym pełnić czynną rolę. Tymczasem relatywistyczna i kwantowa rewolucja w fizyce doprowadziła do zastąpienia rzekomo koniecznych twierdzeń innymi. Skoro tak, to czynne elementy naszej wiedzy nie są *wiedzą*, ale tymczasowo przyjmowanymi *załoženiami*. Skąd się te założenia biorą? Kuhn przyznawał, że nie wie. Młodzi badacze, pisał, udręczeni kryzysem, w jaki popadła nauka normalna, podejmują badania nadzwyczajne, szukają w dużej mierze po omacku – i wreszcie któryś z nich wpada na rewolucyjny pomysł:

Na czym polega ten ostatni krok – w jaki sposób jednostka wymyśla (lub stwierdza, że wymyśliła) nowy sposób uporządkowania zgromadzonych dotąd danych – to pytanie, które musi tu pozostać bez odpowiedzi i być może na zawsze takim pozostanie (Kuhn 1962, 90).

Z perspektywy teorii Flecka jest to pogląd tak czy inaczej błędny: nowe style myślowe są dziełami nie jednostek, ale grup uczonych.

Myśli krążą od jednostki do jednostki, za każdym razem nieco przekształcone, ponieważ inne jednostki tworzą z nich odmienne asocjacje. (...) Po szeregu takich wędrówek praktycznie nic już nie zostaje z oryginalnej treści. Czyja to jest myśl, która nadal krąży? Jest to właśnie myśl należąca nie do jakiejś jednostki, ale do kolektywu (Fleck 1935a, 71).

Pisma Flecka i Kuhna zdają się więc sugerować, że powstanie nowego stylu myślowego jest dziełem przypadku: tego, że ktoś coś pomyślał, choć mógł pomyśleć inaczej lub że doszło do serii takich a nie innych nieporozumień. Ta przypadkowość jeszcze pogłębia wrażenie, że naukowym poglądom nie przysługuje miano wiedzy obiektywnej.

Zamiast mnożyć abstrakcyjne argumenty za i przeciw obiektywizmowi nauk, przyjrzyjmy się procesowi, który doprowadził do powstania jednego z rewolucyjnych pomysłów: do skonstruowania przez Nielsa Bohra modelu atomu wodoru. (Dokładniejsza analiza kluczowych fragmentów tego procesu zob. Dahl 1997; Heilbron & Kuhn 1969; Kuhn 1978; Sady 2013; Szymborski 1980). A potem zastanówmy się, na ile był to proces przypadkowy i jakie stąd płyną morały.

2. O narodzinach pierwszego kwantowego modelu atomu

Atomy do obrazu świata chemików wprowadził John Dalton w 1808 r. Na podstawie wyników eksperymentów wyznaczono stosunki ich mas i przypisano im wartościowości chemiczne. Do fizyki atomy weszły w latach 1850-ch wraz z kinetyczno-molekularnymi modelami przemian gazowych, jako mikroskopijne ciała doskonale sprężyste. Johann Loschmidt w 1865 r. podał pierwsze szacunki liczby Avogadro, a zarazem wyznaczył rozmiary cząstek powietrza; w kolejnych latach poznawano te wielkości coraz dokładniej. W 1869 r. Dimitr Mendelejew ułożył atomy w tabelę w kolejności ich mas, wprowadzając w ich uporządkowanie periodyczność odzwierciedlającą cyklicznie, wraz ze wzrostem masy, powracające własności chemiczne pierwiastków. Z wyników badań nad zjawiskiem elektrolizy i teorii atomistycznej wynikało, że z atomem związany jest elementarny ładunek elektryczny, oszacowany przez George'a J. Stoney'a w 1874 r. na $e \approx 10^{-20}$ C. Do 1895 r. nie było żadnych podstaw, aby spekulować na temat wewnętrznej budowy atomów.

Eksperymenty Jeana Perrina; badania Pietera Zeemana nad widmem promienienia substancji umieszczonych w polu magnetycznym z 1896 r. i dokonana przez Lorenza teoretyczna analiza uzyskanych rezultatów; badania Emila Wiecherta nad promieniami katodowymi; seria eksperymentów J. J. Thomsona z 1897 r. nad przewodnictwem elektrycznym gazów, przez które przechodzą promienie katodowe i nad odchyleniem tych promieni w polach elektrycznym i magnetycznym – wszystko to doprowadziło do odkrycia elektronów. Zmierzony eksperymentalnie stosunek ładunku do masy tych cząstek sugerował, że są to cząstki o masach rzędu jednej dwutysięcznej masy atomu wodoru.

Co osobliwe, do odkrycia elektronów mogło dojść już w 1889 r. w trakcie prowadzonych przez Philippa Lenarda i Maxa Wolfa badań nad efektem fotoelektrycznym. Gdy stwierdzili, że pod wpływem nadfioletu z powierzchni metalu wydobywają się ujemnie naelektryzowane promienie, które zakrzywiane są w polu magnetycznym, to wniosek, że mamy tu do czynienia z promieniami tej samej natury, co promienie katodowe, wydawał się nieunikniony. W związku z tym Lenard zaczął podejrzewać, że promienie katodowe są strumieniami naelektryzowanych cząstek. Ale taki pogląd głosili wówczas fizycy angielscy, podczas gdy niemieccy niemal jednomyślnie opowiadali się za tym, że promienie katodowe mają naturę falową. W związku z tym Lenard, zdeklarowany nacjonalista, na osiem lat zataił uzyskane wyniki.

Skoro efekt Zeemana świadczył o tym, że drgające elektrony są źródłem światła, to narzucała się myśl, iż są one składnikami atomów. A stąd, że promienie katodowe są strumieniami niezwykle małych korpuskuł, wynikało jeszcze coś ważnego. Promienie te w rurach do wyładowań przebywały bez zmiany kierunku dziesiątki centymetrów, tymczasem znając gęstość atomów wypełniających te rury i ich średnice można było łatwo obliczyć, że te cząstki muszą przelatywać przez atomy na wylot – a zatem we wnętrzach atomów przeważa pusta przestrzeń. Od tego czasu zaczęto tworzyć hipotetyczne modele budowy atomów. Nie znano jednak innych ich składników oprócz elektronów, nie wiedziano, ile elektronów zawierają atomy, jak elektrony są rozmieszczone i jak się poruszają. Można było jedynie zgadywać, przeszukując listę już zbadanych układów fizycznych i próbując zbudować model przez analogię do któregoś z nich.

Już w 1897 r. J. J. Thomson odwołał się do eksperymentów Alfreda M. Mayera, w których nad pływającymi w naczyniu z wodą identycznymi igłami magnetycznymi, skierowanymi pionowo tymi samymi biegunami w górę, znajdował się biegun elektromagnesu. Po włączeniu prądu trzy igły ustawiały się w wierzchołkach trójkąta równobocznego, cztery tworzyły kwadrat, pięć pięciokąt foremny, ale sześć dzieliło się na jedną ustawioną wprost pod elektromagnesem otoczoną pięciokątem zbudowanym z pozostałych, a np. piętnaście na igłę centralną otoczoną kolejno pięciobokiem i dziewięciobokiem. Thomson miał nadzieję na znalezienie przez analogię stabilnych rozkładów elektronów w atomach różnych

pierwiastków, a zarazem wyjaśnienie okresowych zmian chemicznych własności pierwiastków.

W 1897 r. John Townsend ogłosił wyniki eksperymentów, w których mieszał nasyconą parę wodną z uwalnianym w procesie elektrolizy naelektryzowanym tlenem – co skutkowało powstawaniem mgły. Mierząc jej całkowity ładunek i całkowitą masę, oceniając średnią masę kropelek przez pomiar prędkości ich opadania, zakładając, iż na każdym jonie powstaje jedna kropla i czyniąc jeszcze parę przybliżeń obliczył, że na jon tlenu przypada ok. 10^{-19} C.

Odkrycie promieniotwórczości uranu przez Henri A. Becquerela w 1896 r., a następnie prace Marii i Pierre'a Curie, Juliusa Elstera i Hansa Geitela, Ernsta Rutherforda i Roberta Owensa, Friedricha Giesela, Stefana Meyera i Egona von Schweidlera, Friedricha Dorna, Paula Villarda i innych pozwoliły zidentyfikować emitowane przez pierwiastki promieniotwórcze promienie α , β i γ . Do 1900 r. wykazano, że promienie β są strumieniami elektronów.

W 1900 r. Max Planck dokonał teoretycznej analizy rozkładu energii promieniowania ciał czarnych jako funkcji częstotliwości promieniowania i temperatury ciała przy użyciu statystycznych technik Ludwiga Boltzmanna. Gdy uzyskane wyniki dopasował do wyników eksperymentów stwierdził, że energia rezonatorów (o których budowie niczego nie zakładał poza tym, czego wymagała elektrodynamika Maxwella) jest równa całkowitym wielokrotnościom $h\nu$, gdzie h – stała, ν – częstotliwość drgań własnych rezonatora.

W 1901 r. Jean Perrin jako źródło analogii wykorzystał model układu planetarnego: w atomie wielka liczba ujemnych elektronów krąży wokół dodatnio naelektryzowanego centrum. Ten model, wytwór wyobraźni, żadnych wyników eksperymentów nie wyjaśniał. W 1904 r. podobny model zaproponował Hantaro Nagaoka, odwołując się do obrazu pierścieni Saturna: wokół dodatniego centrum na okręgu krąży wielka liczba ujemnych elektronów. Sprawniejsi matematycznie od niego teoretycy szybko stwierdzili, że taki układ byłby mechanicznie niestabilny wskutek odpychania między elektronami. Oba wspomniane modele byłyby też niestabilne z innego powodu: zgodnie z teorią Maxwella poruszające się ruchami przyspieszonymi elektrony emitowałyby fale elektromagnetyczne, traciłyby energię – i spadały na jądro.

W 1902 r. Rutherford zdołał odchylić emitowane przez uran promienie α w polach magnetycznym i elektrycznym i wykazać, że są naelektryzowane dodatnio, a stosunek ich ładunku do masy jest bliski temu stosunkowi, znanemu z badań nad elektrolizą, dla jonów wodoru lub helu.

W 1902 r. Lenard ogłosił frapujące wyniki badań nad efektem fotoelektrycznym. Promienie nadfioletowe wybijały z katody elektrony i w rezultacie między katodą a uziomioną anodą płynął prąd, którego natężenie było porcjonalne do natężenia promieniowania. Gdy do anody przyłożono potencjał hamujący, okazało się, że prąd znika przy pewnym napięciu, które nie zależy od natężenia promie-

niowania – a zatem od gęstości jego energii – a jedynie od materiału, z którego wykonana jest katoda i od rodzaju źródła promieni.

W 1904 r. w „On the Structure of the Atom” J. J. Thomson rozwinął pomysły sprzed siedmiu lat. W kuli dodatnio naelektryzowanej cieczy rozmieszczone są elektrony – w jednej płaszczyźnie, analogicznie do rozkładów magnesów w eksperymentach Mayera (do układów trójwymiarowych Thomson, mimo wysiłków, przejść nie zdołał). Wytrącone z położenia równowagi drgają i emitują fale elektromagnetyczne – żadne jednak konkretne częstotliwości z modelu nie wynikały. Obliczenia wykazały, że aby układ był mechanicznie stabilny, musi wirować – ale wtedy byłby niestabilny elektromagnetycznie.

W 1905 r. Albert Einstein ogłosił „O heurystycznym punkcie widzenia w sprawie emisji i przemiany światła”. Powołując się na pracę Plancka na temat promieniowania ciała czarnych i badania Lenarda nad zjawiskiem fotoelektrycznym zauważał, że emisja i absorpcja światła na poziomie mikroskopowym zdaje się przebiegać w sposób nieciągły. Korzystając z empirycznego prawa rozkładu Wiena i statystycznej definicji entropii wyprowadził wzór na energię fotonu $E = h\nu$ – by stwierdzić, że światło zachowuje się pod względem termodynamicznym tak, jakby składało się z kwantów energii. Po czym podał – kwantowe – wyjaśnienie zagadkowych wyników badań Lenarda nad zjawiskiem fotoelektrycznym.

W 1906 r. J. J. Thomson, na podstawie eksperymentów z rozpraszaniem światła, promieni X i β w gazach, obliczył, że całkowita liczba elektronów w atomie mieści się w przedziale od 0,2 do 2 razy tyle, ile wynosi jego ciężar atomowy. W tym samym roku Rutherford eksperymentalnie wykazał, że wartość e/m promieni α jest (w granicach błędów) taka, jak dla podwójnie zjonizowanych atomów helu.

W 1907 r. Einstein, korzystając ze wzoru Plancka $E = nh\nu$, wyjaśnił, dlaczego ciepło właściwe ciał stałych w bardzo niskich temperaturach spada – o czym wiadomo od 1872 r., a co opierało się wszelkim próbom wyjaśnień klasycznych.

Trzech bardzo ważnych odkryć dokonano w 1909 r.

Rutherford stwierdził, że w naczyniu, do którego wpadają cząstki α , pojawia się hel.

W trakcie badań nad rozpraszaniem cząstek α na foliach metalowych Rutherford, Ernest Marsden i Hans Geiger stwierdzili, że niektóre cząstki ulegają rozproszeniu pod kątem większym niż 90° . Stąd, w koniunkcji z prawami mechaniki klasycznej i przy założeniu, że cząstki α są rozpraszane przez siły elektryczne (innego rodzaju sił wchodzących w grę nie znano) wynikało, iż we wnętrzach atomów istnieją masywne centra o średnicach rzędu jednej dziesięciotysięcznej średnicy atomu i dużych ładunkach dodatnich lub ujemnych.

Robert A. Millikan udoskonalił metodę opadających naelektryzowanych kropeł Townsenda i wyznaczył wartość ładunku elementarnego na $e \approx 1,6 \times 10^{-19}$ C.

Najważniejsi uczeni – w tym Planck! – usiłowali znaleźć klasyczne wyjaśnienie wzorów kwantowych. Np. w 1910 r. J. J. Thomson zaproponował klasyczny,

„dubletowy” model atomu w celu wyjaśnienia efektu fotoelektrycznego. Niektórzy jednak zaczęli traktować formuły Plancka i Einsteina jako autonomiczne prawa przyrody. Arthur E. Haas próbował narzucić kwantowe warunki na wspomniany „kropłowy” model tegoż Thomsona. Rok później John W. Nicholson dodał kwantowe ograniczenia na moment pędu do „sатурnowego” modelu Nagoaki i zbudował modele czterech atomów „pierwotnych”, mających odpowiednio 2 (coronium), 3 (wodór), 4 (nebulium) i 5 (protofluor) elektronów; z nich miały być z kolei zbudowane atomy pozostałych pierwiastków.

Skoro elektrony – wchodzące zapewne w skład atomów – mają ładunki ujemne, a (niezjonizowany) atom jako całość jest elektrycznie neutralny, to naturalne było założenie, że jądra są naelektryzowane dodatnio. W 1911 r. Rutherford ogłosił model, zgodnie z którym wokół ładunku dodatniego, zawierającego prawie całą masę atomu, krążą elektrony. Uczony nie przyjmował w tym czasie idei kwantowych, a na pytanie, dlaczego poruszające się ruchami przyspieszonymi elektrony nie emitują promieniowania, (nonszalancko?) odmawiał odpowiedzi.

W 1911 r. Pierre Weiss, aby wyjaśnić magnetyczne własności metali, postulował istnienie elementarnej jednostki magnetyzmu, z czego – przy założeniu, że pole magnetyczne jest wytworem ruchów elektronów na orbitach – wynikał wymóg kwantyzacji energii. Walther Nernst, który badał ciepła właściwe w bardzo niskich temperaturach i bezskutecznie usiłował wyjaśnić uzyskane wyniki, do teorii kwantowej zrazu odnosił się sceptycznie. Ale gdy kolejne eksperymenty dały rezultaty zgodne z obliczeniami Einsteina, nie tylko zmienił zdanie, ale zorganizował w 1911 r. I Kongres Solwayowski, poświęcony debacie na temat idei kwantowych. Podczas gdy w latach 1905–1906 zagadnienia kwantowe poruszało czterech lub pięciu fizyków rocznie, to w okresie 1911–1912 już trzydziestu. (Łączna liczba fizyków wynosiła ok. 1500 osób).

W 1911 r. na podstawie wartości ilorazów rozpraszania cząstek α na jeden atom, Antonius van den Broek obliczył, że ładunki jąder atomowych są równe ładunkowi elementarnemu przemnożonemu przez połowę ciężaru atomowego danego pierwiastka. Dwa lata później poprawił ten wynik: ładunek elementarny trzeba przemnożyć przez liczbę porządkową danego pierwiastka w tablicy Mendelejewa.

W 1912 r. Karl Compton i Owen Richardson, a niezależnie A. L. Hughes potwierdzili przewidzianą przez Einsteina liniową zależność maksymalnej energii kinetycznej elektronów wybijanych w zjawisku fotoelektrycznym od częstotliwości promieniowania.

Niels Bohr w 1911 r. obronił doktorat poświęcony elektronowej teorii metali. Obeznan z kwantowymi ideami Plancka i Einsteina podkreślał w nim, że np. zjawiska diamagnetyzmu nie da się wyjaśnić za pomocą samych praw mechaniki i elektrodynamiki, bez wprowadzenia czynnika, który by „zamrażał” zmiany prędkości elektronów wywołane polem. Wkrótce potem odbył roczny staż pod kierunkiem, kolejno, J. J. Thomsona i Rutherforda – co pozwoliło mu doskonale

poznać odkrycia wymienione przed chwilą. Po powrocie do Kopenhagi pochłonięły go zrazu prace nad zmniejszaniem się prędkości elektronów przechodzących przez ciała. Korzystał z teorii elektronowej Lorenza – i znów zauważył, że aby uniknąć mechanicznej niestabilności układów trzeba było wprowadzić czynnik stabilizujący ruchy elektronów. Na tej podstawie latem 1912 r. zapisał, że wyniki eksperymentów zdają się potwierdzać kwantowe koncepcje Plancka i Einsteina.

Po śmierci Bohra w jego papierach odnaleziono tekst chyba z ostatnich miesięcy 1912 r., w którym rozważał mechaniczną stabilność układów elektronów krążących wokół dodatniego jądra. Błąd rachunkowy doprowadził go do wniosku, że gdy ich liczba na orbicie przekracza 7, jeden z elektronów zostaje wyrzucony, wskutek czego powstaje następna orbita, stopniowo zapełniana kolejnymi elektronami itd. Rodziło to nadzieję na wyjaśnienie okresowego układu pierwiastków. Dalej znajdujemy model cząstki wodoru, w którym dwa elektrony krążą po okręgu wokół osi łączącej dwa jądra o ładunku $+e$. Ich ruchy miały podlegać prawom mechaniki, prawu Coulomba i „specjalnej Hipotezie”, iż kinetyczna energia elektronu krążącego z częstością ν wynosi $K\nu$, gdzie K – stała o nieustalonej wartości. Z okresu kolejnych kilku miesięcy nie zachowało się nic, zaś wspomnienia Bohra, jak wykazali Heilbron i Kuhn (1969, przyp. 109), nie są wiarygodne: wyparł on z pamięci prace, które późniejszy rozwój usunął z korpusu akceptowanej kolektywnie wiedzy.

Wiemy tyle, że w marcu 1913 r. Bohr przesłał Rutherfordowi pierwszą część „On the Constitution of Atoms and Molecules”. Znaleźć tam można m.in. model atomu wodoru, w którym elektron krąży wokół dodatniego jądra po jednej z dopuszczalnych orbit, których promienie r określone są przez warunek kwantowy $mvr = nh$, gdzie m – masa elektronu, v – jego prędkość, n – kolejne liczby naturalne. Gdy elektron zmienia orbitę na niższą, co zmniejsza jego całkowitą energię, emitowana jest fala elektromagnetyczna o częstotliwości danej wzorem $\Delta E = h\nu$; z kolei absorbując falę o odpowiedniej częstotliwości elektron przenosi się na orbitę wyższą. Taki model – zawierający Planckowski warunek kwantowy dla ruchów ciał i Einsteinowski wzór na energię fotonu – dostarczał pierwszego ilościowego wyjaśnienia linii emisyjnych i absorpcyjnych wodoru.

3. W jakim sensie rozwój wiedzy naukowej jest obiektywny?

Po pierwsze, model atomu pojawił się jako wynik pracy nie jednostki, ale – zgodnie z teorią Flecka – dużej wspólnoty naukowców pracujących systematycznie przez co najmniej dwadzieścia lat. Nie był wytworem Kuhnowskich badań nadzwyczajnych, prowadzonych przez naukowców zrywających z tradycją i szukających po omacku nowego sposobu ujęcia wyników eksperymentów. W każdej fazie

badań uczeni – w „normalny” sposób – korzystali z nagromadzonej wcześniej wiedzy. Trudno doszukać się Fleckowskich nieporozumień jako źródeł nowych idei.

Wyniki eksperymentów odczytywano, jak zawsze, w sposób uwarunkowany przez panujący styl myślowy, ale w ramach tego stylu były one obiektywne. Jeśli Lenard chciał w ogóle pozostać naukowcem, musiał w końcu stłumić swe nacjonalistyczne zapędy i uznać werdykt eksperymentu. (Gdy w radykalnie zmienionej sytuacji społeczno-politycznej w latach 1930-ch nawoływał do stworzenia *aryjskiej* fizyki, która usunie *żydowską* teorię względności, spłynęły na niego nagrody, ale nie o charakterze naukowym).

Fundamentem naukowej obiektywności dla Rudolfa Carnapa czy Karla Poppera – by wrócić do początków filozofii nauki jako wyspecjalizowanej dyscypliny – miały być wyniki eksperymentów i logika. Tyle że logicznej rekonstrukcji miały, ich zdaniem, podlegać procedury uzasadniania hipotez i teorii, a nie odkrycia teoretyczne – te miały być wytworami intuicji twórczej, niepodległej ograniczeniom, jakie na myślenie narzuca logika. Powyższa opowieść każe nam to podejście zrewidować i to w dwojaki sposób.

Fizycy przełomu XIX i XX w. mieli cały czas trudności ze stosowaniem wszystkich znanych praw jednocześnie – zarazem liczne udane zastosowania tych praw kazały każde z nich traktować poważnie. Brak mechanicznego modelu eteru, który miał przekazywać oddziaływania elektromagnetyczne między ciałami, sprawiał, że trudno było jednocześnie stosować prawa mechaniki klasycznej i równania Maxwella. Podobnie było ze wzorami kwantowymi Plancka i Einsteina: jeśli ich używano, to na prawa mechaniki nakładano ograniczenia, a już w ogóle zawieszano ich obowiązywanie gdy w grę wchodziły przejścia między stanami kwantowymi. Podobny był stosunek wzorów kwantowych do praw elektrodynamiki. Mając do czynienia z takim „nadmiarem” fizycy musieli wciąż wybierać: które prawa w danym przypadku stosować, a które wziąć w nawias czy odłożyć na później. Nie do pomyślenia jest, by jakieś logiczne reguły oceniania hipotez mogły im w tych wyborach pomóc. (Pamiętajmy, że żadnej zadowalającej logiki sprawdzania hipotez i teorii zbudować się nie dało). Można było natomiast próbować: raz stosować jedne prawa, zawieszając obowiązywanie innych, innym razem zaczynać od tych zawieszonych. (Faktycznie niewielu badaczy na wypróbowywanie różnych alternatyw się zdobywało. Uczestniczyli natomiast we wspólnotowym podziale prac i w końcu któryś z nich natrafił na kombinację, która prowadziła do sukcesu).

Natomiast w opisanym *rozwoju wiedzy* o mikroświecie logika odegrała o wiele większą rolę niż by to empiryści logiczni, Popper i ich kontynuatorzy chcieli przyznać.

Po pierwsze, był to rozwój ciągły. Gdy próbowano zbyt wiele na temat budowy atomu odgadnąć – jak to czynili J. J. Thomson, Perrin czy Nagoaka – i wyprze-

dzić swój czas, ponoszono porażki. Elżbieta Pietruska-Madej (1990) wprowadziła niegdyś pojęcie „situacji odkryciogennej”, gdy sytuacja w nauce dojrzała na tyle, że odkrycie staje się zarówno możliwe, jak i wysoce prawdopodobne. W tego typu sytuacji znalazł się Niels Bohr: wszystkie elementy układanki – wypracowane w trakcie systematycznych badań eksperymentalnych nad promieniami katodowymi, promieniotwórczością, promieniowaniem termicznym ciał czarnych, rozpraszaniem światła oraz promieni X, α , β , γ – były dostępne. Młody fizyk znał potrzebne mu własności jąder atomowych i elektronów, wiedział, jak duży jest atom i jakie są maksymalne rozmiary jądra, ile elektronów jest w każdym z atomów, a wreszcie, że emitowane i absorbowane światło zachowuje się niczym korpuskuła. Znał też – i to w nadmiarze – komplet praw, jakiemu podlegać miały te składniki.

Po drugie, kolejne twierdzenia teoretyczne były raczej wywnioskowywane z zastanych twierdzeń teoretycznych i wyników nowych eksperymentów niż wymyślane w aktach twórczego natchnienia. Dowodzi tego niewielka liczba alternatyw, jakie się pojawiały. Jeśli spierano się np. o to, czy promienia katodowe są falami czy strumieniami korpuskuł, to dlatego, że gdy Johann Hittorf wykazał eksperymentalnie w 1858 r., że coś wydobywa się z katody i rozchodzi po liniach prostych, to znano akurat dwa rodzaje procesów, które odpowiadały poczynionym spostrzeżeniom: fale i poruszające się swobodnie ciała. Gdy odkryto, że promienie katodowe odchylają się w polu magnetycznym, wsparło to hipotezę korpuskularną, ale nie wykluczyło falowej. Ale gdy J. J. Thomson zdołał odchylić promienie katodowe w polu elektrycznym, spór został rozstrzygnięty – elektrony zostały odkryte, a z wyników eksperymentów wywnioskowano wartość stosunku ich masy do ładunku. O tym, że Planck i Einstein nie wymyślili wzorów kwantowych, ale wydedukowali je z funkcji rozkładu energii promieniowania ciał czarnych i praw termodynamiki statystycznej, można przeczytać w (Dorling 1971) i (Sady 2013). Istnienie jądra atomowego zostało też wydedukowane: nie znano innych sił poza elektrycznymi, mogących oddziaływać na cząstki α , a znając energie kinetyczne ich ruchów i ilość elementarnych ładunków we wnętrzach atomów, można było obliczyć, jaką maksymalnie średnicę mogą mieć centra rozpraszające, by zmienić kierunek ruchu cząstki na przeciwny. I tak dalej.

A co z Bohrem? Jak już pisałem, w chwili, gdy zaczynał dociekania, wszystkie potrzebne składniki i reguły potrzebne do zbudowania modelu już znał. Przejęte od Rutherforda twierdzenie, że elektrony krążą wokół jąder – obecne też we wcześniejszych, spekulatywnych modelach – nie było dowolne: skoro elektrony utrzymują się w pewnej odległości od jąder, a mają być spełnione prawa mechaniki i prawo Coulomba, muszą wokół jąder wirować. Obowiązywanie pozostałych równań Maxwella Bohr zawiesił, do czego uprawniała wspomniana uwaga Einsteina. Pozostał natomiast wierny zasadzie zachowania energii, stosował klasyczne wyrażenia na energię kinetyczną i potencjalną oraz Einsteinowski wzór na energię

fotonu. Pozostawało odpowiedzieć nas pytanie, jaką postać mają w tym przypadku kwantowe ograniczenia na energię „rezonatora”, absorbującego i emitującego promieniowanie. Ponoć, by przywołać jego zawodne wspomnienia, Bohr wpadł na to, gdy dowiedział się o wzorze Balmera, wiążącym częstotliwości jednej z serii widmowych wodoru. Ale droga tak czy inaczej była utorowana: w oscylatorze harmonicznym, zgodnie z prawami mechaniki klasycznej, średnia energia kinetyczna jest równa średniej energii potencjalnej, wobec czego, skoro jego energia całkowita wynosi nhv , to $E_{k\ sr} = nhv/2$. A stąd w prosty sposób wynika warunek wspomniany powyżej.

Do zbudowania modelu atomu takiego, jaki znaleźć można na kartach „On the Constitution of Atoms and Molecules” brakowało w 1913 r. tak mało, że trudno sobie wyobrazić, aby – gdyby Bohr po powrocie do Danii zajął się czymś innym – ktoś identycznego modelu by nie zbudował.

Tak więc to obiektywne prawa logiki wymuszały, w świetle obiektywnych wyników eksperymentów, taki a nie inny rozwój fizyki mikroświata. Niewielką zaś, jeśli w ogóle jakąkolwiek, rolę odgrywała – nieprzewidywalna w swym funkcjonowaniu – wyobraźnia twórcza genialnych uczonych. Treść kolejno dodawanych do systemu twierdzeń teoretycznych nie zależała więc od subiektywnych pragnień czy lęków, ani od interesów grupowych.

Jeśli natomiast przez „przekonanie obiektywne” rozumiemy przekonanie, które przedstawia rzeczywistość taką, jaką ona jest sama w sobie, bez elementów obrazu – o konwencjonalnym charakterze – dodanych przez ludzi, to Bohrowskich poglądów na budowę atomów za takowe uznać nie sposób: żaden fizyk nie uważa dziś jego modeli, dosłownie rozumianych, za prawdziwe. Tak jak nikt dziś nie uważa za prawdziwy poglądu Kopernika i Galileusza, iż Ziemia tkwi nieruchomo w środku świata. A przecież sformułowanie heliocentryzmu fizycy zgodnie uznają za miłowy krok w rozwoju wiedzy. Podobnie jest z modelem Bohra: choć w połowie lat 1920-ch został zastąpiony przez model w pełni kwantowy, to nadal wykładany jest w podręcznikach, a jego skonstruowanie każdy fizyk uważa za wielki sukces poznawczy.

To napięcie między „epistemologicznym” pojęciem obiektywności jako niezależności procesu poznawczego w naukach od czynników pozanaukowych, a „ontologicznym” pojęciem obiektywności jako wymogu jedno-jednoznacznego odwzorowania świata, jest nieusuwalne.

Literatura

- Dahl P., 1997, *Flash of the Cathode Rays: A History of J. J. Thomson's Electron*, Bristol & Philadelphia: Institute of Physics Publishing.
- Dorling J., 1971, *Einstein's Introduction of Photons: Argument by Analogy or Deduction from Phenomena?*, „The British Journal for the Philosophy of Science” 22, 1–8.

- Fleck L., 1935, *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache: Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv*. Bruno Schwabe und Co. Wyd. pol. *Powstanie i rozwój faktu naukowego: wprowadzenie do nauki o stylu myślowym i kolektywie myślowym*, tłum. M. Tuskiewicz, Lublin: Wydawnictwo Lubelskie 1986.
- Fleck L., 1946, *Problemy naukoznawstwa*, „*Życie Nauki: Miesięcznik Naukoznawczy*” 1, 322–336.
- Heilbron J. L., Kuhn T. S., 1969, The Genesis of the Bohr Atom, *Historical Studies in the Physical Sciences* I, 211–290.
- Kuhn T. S., 1962, *The Structure of Scientific Revolutions*, The University of Chicago Press.
- Kuhn T. S., 1978, *Black-Body Radiation and the Quantum Discontinuity 1894–1912*, Chicago: The University of Chicago Press; 2nd ed. *With a new Afterword* 1986.
- Pietruska-Madej E., 1990, *Odkrycie naukowe: kontrowersje filozoficzne*, Warszawa: PWN.
- Sady W., 2013, *Quanta appeared not in Max Planck's mind, but on paper*, „*Pragmatics and Cogniton*” 21(3), 521–529.
- Szyborski K., 1980, *Relacje teorii i eksperymentu w genezie fizyki kwantowej*. Wrocław: Ossolineum.