Radosław Kazibut
Instytut Filozofii UAM, Poznań

Eksperymentalna praktyka badawcza nauki a zasada intersubiektywnej sprawdzalności

Wstęp

Projektowanie i wykonywanie eksperymentów jest niezbywalnym elementem praktyki badawczej nauk przyrodniczych. Mówiąc metaforycznie, eksperymentowanie jest motorem napędzającym rozwój wiedzy naukowej „człowieka poznającego". Historycy nauki mogą z pewnością wskazać wiele eksperymentów, które rozpłynęły się w morzu aktywności eksperymentalnej człowieka i są bliżej znane tylko tym, którzy są zaangażowani w praktykę badawczą danej dziedziny nauki. Jednak są także takie eksperymenty, które były powszechnie dyskutowane i na stałe wywalczyły sobie miejsce w swoistym „panteonie eksperymentalnej sławy". Eksperymenty, których dzieje przedstawione są w pierwszej części artykułu, mogły być kolejnymi „kamieniami milowymi" nauki. Jednakże tak się nie stało. Zadecydowało o tym wiele czynników; na niektóre z nich zwrócę uwagę, referując dzieje „odkryć": „polimeru wody"[1] i „zimnej syntezy". Rezultaty omawianych przeze

[1] W przypadku „polimeru wody" należy mówić raczej o dokonywaniu obserwacji, a nie o eksperymentowaniu. Mam świadomość, że metodologia nauk empirycz-

mnie eksperymentów są bardzo kontrowersyjne. Nie tylko z tego powodu, że autorzy tych eksperymentów formułowali w oparciu o wyniki swoich badań bardzo śmiałe hipotezy, ale przede wszystkim ze względu na charakter dyskusji, jaką podjęła wspólnota naukowa, analizując wyniki zaprezentowanych poniżej eksperymentów.

Zasada intersubiektywnej sprawdzalności wyników badań eksperymentalnych jest fundamentalną dyrektywą metodologiczną nauki. Należy uznać, że o ocenie rezultatów eksperymentów decyduje między innymi to, czy powyższa reguła metodologiczna była w pełni respektowana przez naukowców przy wykonywaniu i powtarzaniu danego eksperymentu. W drugiej części artykułu, w oparciu o przedstawione w części pierwszej dzieje dwóch eksperymentów, wskażę niektóre problemy, jakie powstają na styku praktyki eksperymentalnej współczesnej nauki i metodologicznej oceny wytworów poznania naukowego, wynikające ze stosowania zasady intersubiektywnej sprawdzalności wyników eksperymentów. Niebagatelne znaczenie dla prowadzonych przeze mnie rozważań, będzie miało wprowadzenie dystynkcji na powtarzalność i odtwarzalność wyników eksperymentów. Rozróżnienie to jest niezwykle istotne dla problematyki podjętej w tym artykule, a zostanie w pełni przedstawione w drugiej części pracy. Na gruncie dokonanych w artykule analiz postaram się wykazać, iż dyrektywę intersubiektywnej odtwarzalności wyników eksperymentów należy sformułować tak, aby uwzględniała specyfikę praktyki badawczej danej nauki przyrodniczej, dla której ta zasada ma być stosowana.

---

nych nie utożsamia pojęć eksperymentu i obserwacji, wskazując na różne znaczenie tych pojęć w praktyce badawczej. Jednakże w dalszej części artykułu dla uproszczenia będę mówił konsekwentnie o eksperymencie w przypadku „polimeru wody", a nie o obserwacji.

1. Dzieje dwóch eksperymentów

1.1. Polimer wody[2]

Powszechność występowania w przyrodzie wody, a także fakt jej stałego użytkowania w życiu codziennym, w przemyśle i gospodarce sprawia złudne wrażenie, że woda jest substancją bardzo dobrze poznaną przez naukowców. Wydaje się, że ludzie, którzy nie są związani z praktyką badawczą - zwykli konsumenci wody, mogą sądzić, że nauka, a w szczególności chemia, odkryła wszystkie własności chemiczne i fizyczne tej cieczy. Jednakże badacze w dalszym ciągu starają się odkryć nieznane dotąd właściwości wody.

Hilary Putnam następująco charakteryzuje sposób posługiwania się terminem woda:

> Mówiąc „woda", mam na myśli płyn, który spada w postaci deszczu w naszym otoczeniu, płyn, który wypełnia znane nam jeziora i rzeki itd. Jeżeli gdzieś w kosmosie znajduje się Ziemia Bliźniacza, gdzie wszystko wygląda mniej więcej tak, jak u nas, poza tym, że płynem, który pełni rolę „wody" na Ziemi Bliźniaczej, nie jest H_2O, lecz XYZ, nie przeczy to wcale naszemu twierdzeniu, że „woda jest H_2O". Wyraz „woda" odnosimy do dowolnego płynu, który ma taki sam skład chemiczny itd., co nasze wzorcowe przykłady wody. Odkrycie składu chemicznego lub praw zachowania się określonej substancji może doprowadzić uczonych do stwierdzenia, że pewien płyn, który laik uznałby za wodę, naprawdę wcale wodą nie jest (laik respektowałby takie orzeczenie) [1998, s. 482].

Sytuację, w której być może bylibyśmy zmuszeni do zmiany naszego sposobu myślenia i mówienia o wodzie, jako o cieczy charakteryzującej się określonymi i uznawanymi przez badaczy właściwościami, ilustrują dzieje „odkrycia" polimeru wody. Omawia-

[2] Historia „odkrycia" polimeru wody referowana jest w oparciu o następujące prace: J. van Brakel, *Philosophy of Chemistry*, W. J. McKinney, *Experimenting on and Experimenting with: Polywater and Experimental Realism*, A. M. Diamond Jr., *The Polywater Episode and the Appraisal of Theories*.

ny przypadek jest szczególnie interesujący nie tylko z punktu widzenia filozofii nauki, ale także od strony analizy praktyki badawczej współczesnej chemii. Powszechnie bowiem przypisywane wodzie właściwości nie umożliwiają cząsteczkom H_2O tworzenia łańcuchów, czyli polimerów liniowych. Z powodu swojej struktury polarnej cząsteczka wody może tworzyć niewielkie układy typu $(H_2O)_n$, gdzie n<3 lub 4, natomiast „[...] termin «polimer» odnosi się do dużej cząsteczki utworzonej z wielu części. Jej struktura zależy od wyjściowego monomeru" [Stevens 1983, s. 17].

Pierwsza wzmianka o zaobserwowaniu anomalnej cieczy, zinterpretowanej później jako polimer wody, pojawiła się w 1962 roku w rosyjskim periodyku naukowym „Kolloidnyi Zhurnal". Autor publikacji - rosyjski chemik Mikołaj Fedyakin - prowadził w latach sześćdziesiątych badania, w trakcie których obserwował zachowanie się wody umieszczonej w naczyniach włosowatych (o przekroju 10-300 μm). Po kilkudniowej obserwacji kapilar Fedyakin stwierdził, iż na powierzchni wody w nich umieszczonej powstaje anomalna ciecz, charakteryzująca się zaskakującymi właściwościami - odmienną od zwykłej wody lepkością i gęstością, a także poddająca się skropleniu przy niższym ciśnieniu, niż zakłada to równanie Kelvina. Zaobserwowane anomalne właściwości wody Fedyakin próbował wyjaśnić za pomocą hipotezy zakładającej, iż anomalne właściwość wody w kapilarach są spowodowane przez odmienną strukturę badanej cieczy. Bariera językowa spowodowała, iż wyniki tych badań przez parę lat znane były tylko rosyjskiemu środowisku naukowemu. Praca Fedyakina została rozpowszechniona na Zachodzie przez innego Rosjanina, B. V. Derjaguina, dopiero w 1966 roku. W swoich publikacjach Derjaguin, w oparciu o własne prace eksperymentalne, a także wyniki uzyskane przez Fedyakina, stwierdził, iż obserwowana anomalna woda ma niezwykłe właściwości. Po pierwsze, analizowana ciecz miała 15 razy większą lepkość niż zwykła woda. Po drugie, substancja miała inną temperaturę krzepnięcia - około -30°C, a wrzenia - 250°C. Oprócz tego wykazał, że anomalna ciecz ma gęstość 2,1-2,5 g/cm^3, czyli o 1,1-1,5 g/cm^3 większą niż zwykła woda [McKinney 1991, s. 300].

niej społeczności naukowej. Szybko podjęto próby powtórzenia wyników eksperymentu Rosjan, z różnymi wynikami - zarówno pozytywnymi, jak i negatywnymi.

Użycie po raz pierwszy terminu „polimer wody" przypisuje się amerykańskiemu chemikowi E. Lippincotowi, który na podstawie badań spektroskopowych sformułował interpretację, zgodnie z którą anomalna woda jest łańcuchem cząsteczek - $(H_2O)_n$. We wcześniejszej literaturze przedmiotu, w której podejmowano dyskusję tego problemu, pojawiało się wiele innych określeń anomalnego zjawiska: woda II, specyficzna woda, super woda, zmodyfikowana woda itd. [Van Brakel 2000, s. 89]. Porównanie przez Lippincota 100000 widm promieniowania w zakresie podczerwieni zwykłej wody z widmem promieniowania anomalnej cieczy pozwoliło mu na postawienie hipotezy, iż ciecz zgromadzona w kapilarach jest polimerem wody. Analizy prowadzone metodą spektroskopową, a także prace porównawcze, zdawały się potwierdzać hipotezę, że badana substancja składa się z atomów wodoru i tlenu. Rejestrowane w pomiarach Lippincotta częstotliwości pasm (1100, 1400, 1600 cm^{-1}) są zwykle przypisywane atomom wodoru i tlenu. Rejestrowano również wartość 3300 cm^{-1}, którą przypisuje się czystej wodzie. Wyniki tych badań, jak i fizyczne właściwości anomalnej cieczy, stanowiły dla Lippincotta wystarczającą podstawę do stwierdzenia, że możemy postulować istnienie łańcucha polimeru $(H_2O)_n$, tzn. polimeru wody.

Od chwili postawienia tej hipotezy dyskusja nad interpretacją anomalnej cieczy przybrała na sile. Obok głosów przychylnych tej hipotezie pojawiły się głosy krytyczne, odrzucające całkowicie taką możliwość wytłumaczenia obserwowanej anomalii. Jednakże problem istniał, gdyż pozostawało niezbitym faktem, że woda w pewnych określonych warunkach eksperymentalnych charakteryzuje się właściwościami całkowicie różnymi od powszechnie znanych i akceptowanych. Krytyka przeciwników hipotezy „polimeru wody" zmierzała do wykazania, iż przyczyną powstania anomalii są różne substancje wchodzące w reakcje z wodą umieszczoną w kapilarach. W pierwszej kolejności wskazywano na możliwość reagowania obserwowanej cieczy z wodą, mającą się znajdo-

wać w kwarcowych ściankach kapilar. Jednakże zarzut ten został oddalony, gdyż udało się wykazać, iż w procesie produkcji naczyń włosowatych ewentualna woda uwięziona w szklanych ściankach ulega całkowitemu rozpadowi. Pojawiły się również głosy stwierdzające, że środowisko naukowe zbyt pochopnie, bez gruntownej analizy eksperymentu wysunęło hipotezę powstawania polimeru wody. Dokładne prześledzenie procedury eksperymentalnej pozwala na wskazanie szeregu uchybień, które stawiają pod znakiem zapytania doniesienia rosyjskich naukowców [McKinney 1991 s. 306].

Bardzo ważnym argumentem wymierzonym w poprawność eksperymentu było zwrócenie uwagi na możliwość zanieczyszczenia kapilar użytych do przeprowadzenia eksperymentu, przed lub w trakcie jego przebiegu. Zarzut ten miał ogromne znaczenie, gdyż jeżeli udałoby się wykazać, że kapilary nie były „sterylne", byłoby to poważną przesłanką umożliwiającą wyjaśnienie anomalii. Wysunięto również hipotezę, iż kwarcowe naczynia włosowate (SiO_2) mogą wchodzić w reakcję z wodą umieszczoną w kapilarze, co mogłoby mieć wpływ na powstanie anomalnej wody. Hipotezę tę jednak odrzucono. Ponadto problemem pozostawało to, gdzie znajduje się granica pomiędzy słupkiem wody a słupkiem postulowanego polimeru. Sformułowano hipotezę, że anomalna woda jest mieszaniną normalnej wody i polimeru wody [McKinney 1991, s. 303]. Wątpliwości budziły również procedury obserwacyjne w tym sensie, że interpretacje wyników pomiarów spektroskopowych nie były jednoznaczne.

Obok linii krytyki, zakładającej możliwość zanieczyszczenia kapilar, pojawiła się nowa: możliwość odmiennej interpretacji uzyskanych widm pozwalała wątpić w istnienie polimeru wody. Pomimo fali krytyki hipoteza o istnieniu polimeru wody w dalszym ciągu posiadała wielu zwolenników. Szczególnie ważne było to, że substancja w kapilarach charakteryzowała się znacznie większą gęstością niż zwykła woda, a także miała wyższą temperaturę wrzenia. Jednakże możliwość zanieczyszczenia kapilar była ciągle poważnym argumentem pozwalającym na alternatywne wyjaśnienie obserwowanej anomalii. Różnego typu zanieczyszczenia organiczne

i nieorganiczne mogły decydować o powstawaniu w naczyniach włosowatych zagadkowej substancji. W celu rozwiania wszelkich wątpliwości w wielu laboratoriach powtórzono bardzo dokładnie eksperyment przy zachowaniu szczególnej ostrożności. W pierwszej kolejności zwrócono uwagę na przygotowanie kapilar, w których miała być umieszczona próbka badanej wody. Kapilary zostały bardzo dokładnie umyte i wytrawione, aby całkowicie wyeliminować możliwość ich zanieczyszczenia. Ponadto zamiast zwykłej wody, jakiej używano w pierwszych eksperymentach, zastosowano wodę potrójnie destylowaną. Wprowadzenie do eksperymentu wody destylowanej miało gwarantować to, że żadne zanieczyszczenia organiczne lub nieorganiczne, które mogły znajdować się w zwykłej wodzie, nie mogły wpłynąć na uzyskane wyniki eksperymentu. Efekt był zaskakujący - powstała w kapilarach substancja zawierała mniej niż 50% wody, w skład reszty wchodziły jony pierwiastków: sodu, wapnia, potasu, chloru i siarki, oraz inne składniki. Jednak także te skrupulatne próby odtworzenia eksperymentu nie przekonały sceptyków, którzy twierdzili, że ewentualna reakcja chemiczna, jaka mogła zajść pomiędzy wodą a kwarcowymi ściankami naczynia włosowatego, mogła być przyczyną anomalnego zachowania się wody. Krytycy hipotezy „polimeru wody" w dalszym ciągu starali się obalić tę hipotezę, wskazując na inne możliwości zanieczyszczenia analizowanych próbek. Twierdzili, iż jedyną hipotezą, która może wyjaśnić obserwowanie anomalnego zachowania się wody, są zanieczyszczenia.

Należy zwrócić uwagę na to, że argument ten działa zarówno na niekorzyść hipotezy o powstawaniu polimeru wody, w tym sensie, że zanieczyszczenia mogły wpływać na powstawanie obserwowanej anomalii, jak również jako argument przemawiający na rzecz tej hipotezy. Nieprawidłowe przygotowanie kapilar mogło równie dobrze decydować o tym, że wiele grup badawczych osiągnęło negatywne wyniki w swoich laboratoriach, próbując powtórzyć eksperyment Rosjan. Ponadto bardzo wątpliwe wydaje się to, iż o efektach eksperymentów powtórzonych w wielu laboratoriach mógł decydować ten sam zestaw zanieczyszczeń. Fakt, iż we wszystkich przypadkach o powstaniu anomalnej wody miały-

by rozstrzygać identyczne zanieczyszczenia, jest nie mniej zaskakujący, jak fakt obserwowania polimeru wody. W 1970 roku odbyła się pierwsza międzynarodowa konferencja, na której podjęto dyskusję nad polimerem wody. Sam autor odkrycia bronił się przed głosami krytycznymi, twierdząc, że nigdy nie postulował istnienia polimeru wody. Stwierdził, iż w swoich pracach utrzymywał, że woda w określonych warunkach charakteryzuje się nieznanymi dotąd właściwościami.

Analizę opisanego przypadku utrudnia dodatkowo to, że wiele grup badawczych zastosowało w swoich badaniach różne metody eksperymentalne, co oczywiście mogło mieć także wpływ na uzyskiwane wyniki. Można stwierdzić, iż żadna ze stron sporu nie przedstawiła na tyle niepodważalnego argumentu, że mógłby on jednoznacznie rozstrzygnąć, czy postawiona hipoteza o istnieniu „polimeru wody" jest prawdziwa czy fałszywa.

1.2. „Zimna synteza"[3]

23 marca 1989 roku dwóch chemików z uniwersytetu w Utah – Martin Fleischmann i Stanley Pons – poinformowało o wynikach swoich badań, które wstrząsnęły środowiskiem naukowym. Ogłosili oni, iż dokonali „zimnej syntezy", będącej odpowiednikiem syntezy termojądrowej: dokonali w warunkach laboratoryjnych syntezy, która jest źródłem energii słonecznej. Dotychczasowe kierunki badań nad tego typu syntezą zakładały konieczność odtworzenia warunków panujących w gwiazdach w celu wykreowania tego zjawiska. Prace nad gorącą syntezą straciłyby na znaczeniu, gdyby autorom zimnej syntezy udało się dokonanie tego, co z teoretycznego punktu widzenia uważa się za niemożliwe – doprowadzenie w temperaturze pokojowej do zespolenia atomów ciężkiego wodoru w hel.

[3] Historię zimnej syntezy referuję w oparciu o książkę H. Collins, T. Pinch, *Golem czyli, co trzeba wiedzieć o nauce*, Warszawa 1998 i artykuł B.V. Lewensteina, *The Cornell Cold Fusion Archive*, zamieszczonego na stronie www.wpi.edu /Academics/ Depts/ Chemistry/ Courses/ CH215X/cold fusion.html.

O niezwykłości eksperymentu Fleischmanna i Ponsa świadczyło to, iż instrumentarium użyte do przeprowadzenia eksperymentu było bardzo proste, a w samym zamyśle eksperymentu nie było niczego zaskakującego. Urządzenie, dzięki któremu dokonana została synteza, było zbudowane ze zbiornika wypełnionego ciężką wodą i dwóch elektrod w nim umieszczonych - elektrody palladowej jako katody i elektrody platynowej jako anody. W celu zwiększenia przewodnictwa elektrycznego ciężkiej wody rozpuszczono w niej pewną ilość soli - deuterotlenku litu. W tak zbudowanym urządzeniu miała zachodzić zimna synteza. Po paru godzinach od przepuszczenia przez ogniwo prądu, autorzy eksperymentu stwierdzili, iż zachodzi postulowana synteza: udało się zarejestrować wydzielane przez układ ciepło i neutrony oraz inne produkty uboczne syntezy jądrowej (tryt).

Prostota eksperymentu, a także jego doniosłość, spowodowały burzliwą dyskusję wśród naukowców. Wiele grup badawczych deklarowało chęć powtórzenia i odtworzenia eksperymentu Fleischmanna i Ponsa, prosząc ich o przekazanie potrzebnej w tym celu dokumentacji. Jednak sprawa odtworzenia wyników uzyskanych przez autorów „zimnej syntezy" nie okazała się tak prosta, jak by się wydawało. Z czasem zaś zaczęła się komplikować jeszcze bardziej. Dużym zaskoczeniem okazało się istnienie drugiej grupy badawczej, która również prowadziła badania nad „zimną syntezą" i uzyskała podobne wyniki. Co więcej, obie grupy zupełnie nie wiedziały o swoim istnieniu. Drugą niezależną grupę tworzyli naukowcy z Uniwersytetu Bringhama Yannga z Utah, zgromadzeni wokół fizyka Stevena Jonesa. Co prawda nie zarejestrowali oni wydzielania ciepła przez ich „ogniwo" w trakcie syntezy, ale zaobserwowali neutrony - jednak w znacznie mniejszej ilości niż grupa Fleischmanna i Ponsa.

W krótkim czasie zaczęły do Utah docierać wiadomości z różnych stron świata o tym, że w wielu laboratoriach udało się powtórzyć eksperyment. 10 kwietnia 1989 roku badacze z Uniwersytetu A&M w Teksasie ogłosili, że udało im się zarejestrować efekt termiczny. Druga ekipa z Georgia Institute of Technology w Atlancie doniosła, iż przy ich próbie powtórzenia eksperymentu detektory

wykryły neutrony. Optymizm i ogromne nadzieje, jakie naukowcy wiązali z zimną syntezą, rosły w ogromnym tempie. Wielu badaczom, a w szczególności samym autorom odkrycia, wydawało się, że są bliscy dokonania rewolucji w nauce, o ile nie została ona już dokonana. Po fali optymistycznych doniesień okazało się jednak, że w wielu laboratoriach, w których z „sukcesem" powtórzono zimną syntezę, dopuszczono się karygodnych błędów. Pozytywne wyniki osiągnięte przez te grupy były coraz częściej kwestionowane przez innych badaczy. Okazało się, że na Politechnice w Georgii detektor neutronów był wrażliwy na ciepło, co miało wpływ na jego odczyty; z kolei w innym laboratorium pomiar nadwyżki energii wydzielanej w trakcie syntezy był zaburzony przez złe uziemienie urządzenia rejestrującego. Liczba laboratoriów, w których próba odtworzenia eksperymentu zakończyła się porażką, stale rosła. W niektórych z nich udało się tylko w niewielkim stopniu powtórzyć wyniki Fleischmanna i Ponsa. Jednak w większości wypadków niczego nie udało się zaobserwować.

W dyskusji, która toczyła się nad eksperymentem „zimnej syntezy", bardzo ważnym elementem był metodologiczny aspekt prowadzonego sporu - problem intersubiektywnej powtarzalności eksperymentu. Autorzy „zimnej syntezy" uważali, iż wszystkie wyniki negatywne uzyskane przez grupy, które podejmowały próby powtórzenia ich eksperymentu, są konsekwencją błędów popełnionych przy powtórzeniu eksperymentu pierwotnego. Z drugiej strony padały zarzuty wobec eksperymentu oryginalnego [Collins, Pinch 1998, s. 111]. Autorzy krytyki dostrzegali w eksperymencie Fleischmanna i Ponsa wiele uchybień, które mogły mieć wpływ na zaskakujący wynik ich eksperymentu.

W tym okresie dyskusja nad „zimną syntezą" koncentrowała się na problemach, jakie napotkały grupy próbujące powtórzyć eksperyment i odtworzyć urządzenie Fleischmanna i Ponsa. Głównym źródłem tych trudności było to, iż twórcy eksperymentu bardzo ogólnikowo zaprezentowali dane techniczne swojego urządzenia, a także metodykę eksperymentu (dla wielu grup problemem było dobranie prawidłowych wymiarów elektrod albo czasu trwania eksperymentu). Brak szczegółowych danych opisujących eks-

peryment mógł mieć ogromny wpływ na wynik ewentualnych prób jego powtórzenia. Dlatego też liczba kolejnych prób przeprowadzenia eksperymentu, które kończyły się fiaskiem, rosła gwałtownie. W kwietniu 1989 roku Fleischmann i Pons przedstawili Kongresowi Stanów Zjednoczonych raport. Utrzymywali w nim, że za wszystkie nieudane odtworzenia ich eksperymentu są odpowiedzialni naukowcy stosujący ogniwo o nieprawidłowych parametrach. Jedna z grup zbudowała swoje ogniwo w oparciu o zdjęcie zamieszczone w jednym z amerykańskich dzienników. Okazało się, że ogniwo prezentowane na zdjęciu było nieproporcjonalnie powiększoną, dla celów promocji odkrycia, repliką oryginału użytego w pierwotnym eksperymencie.

Kolejnym zastrzeżeniem kierowanym pod adresem odkrywców „zimnej syntezy" było to, że do swojego eksperymentu nie wprowadzili ogniwa kontrolnego. Jednakże ten zarzut został szybko odrzucony. Stało się tak dzięki pomyślnym wynikom uzyskanym przez Roberta Hugginsa - fizyka z Uniwersytetu Stanforda. Wprowadził on do eksperymentu ogniwo kontrolne, w którym ciężką wodę zastąpił zwykłą. Wyniki były jednoznaczne: tylko ogniwo oparte na ciężkiej wodzie produkowało energię cieplną. Kolejna krytyczna uwaga przeciwników „zimnej syntezy" dotyczyła także metodyki eksperymentu. Tym razem zauważono, że ogniwo użyte przez Fleischmanna i Ponsa było otwarte, co mogło mieć wpływ na fakt rejestrowania nadwyżki ciepła. Przeciwnicy sugerowali, iż w wypadku otwartych ogniw mogło dochodzić do niekontrolowanych reakcji, w trakcie których wydzielane było rejestrowane ciepło. Jednakże również w tym wypadku krytyka została odrzucona. John Appelby z A&M w Teksasie wykonał bardzo precyzyjny eksperyment z zastosowaniem ogniwa zamkniętego i również zarejestrował wydzielanie ciepła.

Autorom „zimnej syntezy" wydawało się, że wszystkie krytyczne uwagi wcześniej czy później uda się odeprzeć, tym bardziej że wiele zastrzeżeń straciło swoją moc dzięki precyzyjnemu powtórzeniu eksperymentu, uwzględniającemu wszystkie wątpliwości formułowane przez przeciwników zimnej syntezy. Ponadto kilka kolektywów naukowych, podejmujących próbę powtórzenia eks-

perymentu Fleischmanna i Ponsa, świadomie podłączyło swoje ogniwa do prądu o niższym natężeniu niż w eksperymencie pierwotnym. Pomimo że zwolennikom „zimnej syntezy" udawało się wychodzić obronną ręką z „pułapek" formułowanych przez oponentów, wielu naukowców nie było przekonanych do samej idei „zimnej syntezy". Co więcej, lista laboratoriów, w których nie udało się zaobserwować oczekiwanych wyników, wciąż się wydłużała. Tak było również w przypadku negatywnych osiągnięć zespołu z Kalifornijskiego Instytutu Techniki pod kierunkiem Nathana Lewisa i fizyka Charliego Barnesa. Grupa ta wykonała eksperyment Fleischmanna i Ponsa bardzo precyzyjnie, jednak bez oczekiwanego efektu. Na podstawie swojej pracy badacze tej grupy przedstawili stanowisko, w którym stwierdzili, iż energię cieplną obserwowaną w pierwotnym eksperymencie można wytłumaczyć błędem eksperymentatorów. Mógł on polegać na tym, iż nieprawidłowo wykonano mieszaninę elektrolitu, co skutkowało powstaniem „gorących miejsc", powodujących zarejestrowanie nadwyżek energii. Ostatecznie zarzut ten został uchylony, gdyż wykazano, że ruch pęcherzyków deuteru, powstających w trakcie syntezy, wpływa doskonale na wymieszanie się elektrolitu.

Podział środowiska naukowego na entuzjastów i przeciwników zimnej syntezy pogłębiał się coraz bardziej. Sytuacja stała się patowa w chwili pojawienia się doniesień, iż niektóre grupy wykryły śladowe ilości trytu, który jest naturalnym składnikiem ciężkiej wody. Co więcej, autorzy eksperymentu przyznali, że oni także znaleźli tryt. Przyjęli oni, iż jest on ubocznym produktem syntezy. Ten fakt ostatecznie podzielił badaczy. Zwolennikom „zimnej syntezy" nie udało się przekonać przeciwników, iż elektrolity użyte w trakcie eksperymentów były wolne od zanieczyszczeń. Krytycy „zimnej syntezy" zaczęli wykorzystywać ten argument jako rozstrzygający, wykazując różne możliwości zanieczyszczenia elektrolitu przez tryt.

Przeciwnicy eksperymentu Fleischmanna i Ponsa uznali, iż pozytywne wyniki uzyskane przez autorów „zimnej syntezy" w najlepszym przypadku są efektem błędów popełnionych przez eksperymentatorów, w najgorszym – świadomym działaniem, mającym

wprowadzić w błąd środowisko naukowe, zaś samym autorom zapewnić przez krótką chwilę sławę i korzyści materialne płynące z zainteresowania mediów i innych badaczy anomalnym zjawiskiem.

Z drugiej strony, zwolennicy „zimnej syntezy" wyniki negatywne tłumaczyli niekompetencją tych, którzy podjęli próbę powtórzenia eksperymentu pierwotnego, a nie uzyskali wyników pozytywnych. Obie strony nie tylko zarzucały sobie błędy, wynikające z niewłaściwego przeprowadzenia eksperymentu, ale także świadome „naciąganie" wyników swoich badań po to, aby obronić stawiane przez siebie hipotezy.

2. Problem powtarzalności i odtwarzalności eksperymentu

Jeden z twórców Nowego Eksperymentalizmu, Ian Hacking, stawia tezę, iż zagadnienie powtarzalności zjawisk (wyników eksperymentów) jest „pseudoproblemem" wytworzonym przez metodologów [zob. Sobczyńska, 1992, s.15]. Według niego zadaniem współczesnej praktyki eksperymentalnej nie jest powtarzanie cudzych eksperymentów, lecz „[...] czynić tę samą rzecz lepiej - wytwarzać bardziej stabilne, mniej zakłócone wersje zjawiska" [Hacking 1983, s. 231]. Wydaje się, że proponowana przez Hackinga strategia jest bardzo użyteczna z punktu widzenia praktyki badawczej nauk empirycznych. Można się zgodzić z tezą, iż wielokrotne powtarzanie eksperymentu pierwotnego nie niesie za sobą żadnego postępowego przesunięcia problemowego (w sensie Lakatosa) [Lakatos 1995]. Jednym z zadań praktyki eksperymentalnej jest „kreowanie nowych zjawisk", a nie powielanie wcześniejszych osiągnięć badaczy. Jednakże propozycja Hackinga jest adekwatnym opisem nauki tylko wtedy, gdy - jak postuluje Hacking - w poznaniu naukowym spotykamy się z sytuacją „klarowną", tzn. eksperymentu nie ma sensu powtarzać, gdyż możliwość jego powtórzenia

nie stanowi dla badacza żadnego problemu. Przedstawione w pierwszej części artykułu dzieje „polimeru wody" i „zimnej syntezy" pokazują, że istnieją przypadki, w których właśnie powtórzenie eksperymentu pierwotnego nastręcza poważne trudności. Problem jest intrygujący - dlaczego nie możemy powtórzyć eksperymentu? Dlatego też sądzę, iż omawiane przypadki badań eksperymentalnych stawiają hackingowski „pseudoproblem" w zupełnie innym świetle, czyniąc go zajmującym zagadnieniem metodologiczno-filozoficznym.

Peter Plesch w artykule pod tytułem *On the Distinctness of Chemistry* [Plesch 1999] dokonuje bardzo ważnego rozróżnienia na powtarzalność i odtwarzalność eksperymentu. Ten dychotomiczny podział jest szczególnie istotny dla dalszych, prowadzonych przeze mnie w tym artykule analiz problemu intersubiektywnej sprawdzalności wyników eksperymentu. W ujęciu Plescha termin „powtarzalność" eksperymentu odnosi się do procedury ponownego uzyskiwania zjawiska badanego przez chemika, tzn. gdy np. stwierdza on, że otrzymana substancja jest wybuchowa. Interesuje się on wtedy wyłącznie jakościowymi aspektami obserwowanego zjawiska, a pomija jego aspekty ilościowe. Z kolei gdy chemik mówi o „odtwarzalności" eksperymentu, musi uwzględnić wszystkie warunki towarzyszące danemu zjawisku, np. wszystkie czynniki wpływające na przebieg odtwarzanej syntezy. Oznacza to, że powinien odtworzyć przebieg powielanej syntezy nie tylko pod względem jakościowym, ale i ilościowym. Należy dodać, że powtarzalność eksperymentu jest warunkiem koniecznym jego odtworzenia, ale nie na odwrót [Plesch 1999, s. 10-11].

Zwrócimy uwagę na to, że odtwarzalność w sensie Plescha jest w rozumieniu Hackinga pseudoproblemem. Natomiast powtarzalność w ujęciu Plescha byłaby w pewnym sensie bliska innej idei Hackinga - kreowania tych samych zjawisk w zmieniających się warunkach. Zdaniem Plescha przyjęte przez niego rozumienie terminu „odtwarzalność" ukazuje specyfikę praktyki badawczej współczesnej chemii, w której niezwykle ważnym elementem jest umiejętność odtwarzania warunków przebiegu badanych zjawisk [Plesch 1999, s. 10]. Ponadto z rozważań Plescha wynika, iż dyrek-

tywa „odtwarzalności" w praktyce badawczej chemii jest warunkiem zbyt mocnym, ponieważ chemik w swojej pracy eksperymentalnej (np. w trakcie przeprowadzania syntezy) nie jest w stanie ani uwzględnić, ani nawet przewidzieć wszystkich warunków towarzyszących eksperymentowi.

„Dogmatem" refleksji nad poznaniem naukowym jest dyrektywa intersubiektywnej sprawdzalność wyników eksperymentów, w której skład wchodzi zasada intersubiektywnej powtarzalności i odtwarzalności wyników eksperymentów. Jednakże nawet niewielka zmiana warunków pierwotnych może spowodować, iż nie uda się powtórzyć, a przede wszystkim odtworzyć eksperymentu [Plesch 1999, s. 7]. Jest to problem, który zostanie szerzej omówiony w dalszej części artykułu.

Śledząc historię badań naukowych, nie sposób nie zauważyć, że na dzieje nauki nie składają się tylko mniej lub bardziej spektakularne sukcesy eksperymentalne, ale także porażki. Sytuacje, w których nie można powtórzyć i/lub odtworzyć danego eksperymentu, są równie często obecne w dziejach nauki. Jedną z przyczyn, które uniemożliwiają badaczom powtórzenie i odtworzenie eksperymentu, jest brak dostępu do odpowiedniej technologii eksperymentalnej, tzn. eksperymentator nie ma dostępu do odpowiedniej aparatury. Jednakże w omawianych w pierwszej części artykułu przykładach problem taki się nie pojawia, ponieważ aparatura wymagana dla powtórzenia i odtworzenia „zimnej syntezy" i obserwowania „polimeru wody", jest tak prosta, że można było powielić[4] te eksperymenty nawet w najsłabiej wyposażonych laboratoriach. Dostępność odpowiedniego zaplecza laboratoryjnego, w referowanych przeze mnie przypadkach, nie mogła więc decydować o tym, że nie można było powtórzyć i/lub odtworzyć eksperymentu. Jednakże wielu grupom badawczym nie udało się uzyskać takich samych wyników, jakie osiągnęli Fleischmann i Pons czy Derjaguin. O niepowodzeniach mogło decydować wiele

[4] Termin „powielenie" używam w znaczeniu kolejne, ponowne wykonanie eksperymentu (np. syntezy) według tego samego opisu (tej samej preparatyki), zarówno w aspekcie jakościowym, jak i ilościowym.

czynników. Jednym z nich może być niepoprawne odtworzenie warunków, w jakich wykonano eksperyment pierwotny. Świetnie ilustruje to sytuacja, w której ogniwo do „zimnej syntezy" zostało skopiowane na podstawie zdjęcia zamieszczonego w codziennej gazecie. Błędne odtworzenie warunków, w jakich wykonano eksperyment pierwotny, zdecydować mogło o całkowitym fiasku powtórzenia i odtworzenia wyników eksperymentu, tzn. nieprawidłowe rozmiary ogniwa zastosowanego w syntezie spowodowały, że nie udało się uzyskać wyników porównywalnych z wynikami Fleischmanna i Ponsa. Wpływ na porażkę przy powtórzeniu i/lub odtworzeniu eksperymentu pierwotnego może mieć także wadliwa aparatura zastosowana przy próbie powielenia eksperymentu. Jest to sytuacja właściwie analogiczna do omówionej powyżej, gdyż wadliwość aparatury determinuje to, że eksperymentator nie może wytworzyć w swoim laboratorium warunków identycznych z warunkami, w jakich wykonano eksperyment pierwotny. O fiasku powtórzenia i/lub odtworzenia eksperymentu decyduje także szereg innych czynników - różnego typu zanieczyszczenia, niedokładność eksperymentatora, ale także fakt, iż eksperyment pierwotny został wykonany z pogwałceniem zasad pracy eksperymentalnej.

Należy dodać, że wszystkie wymienione przeze mnie czynniki, jakie decydują o niepowodzeniu powtórzenia i/lub odtworzenia eksperymentu, były wykorzystywane jako argumenty przez obie strony sporu w dyskusji nad interpretacją wyników uzyskanych w eksperymentach z „polimerem wody" i „zimną syntezą". Dla tej części badaczy, którzy stanowczo odrzucali hipotezy „polimeru wody" i „zimnej syntezy", negatywne wyniki, jakie uzyskali w swoich pracach, świadczyły o tym, że zaskakujące rezultaty eksperymentów pierwotnych były spowodowane przez przytaczane powyżej czynniki. Z drugiej strony, dla naukowców opowiadających się za podtrzymaniem hipotezy „polimeru wody" i „zimnej syntezy" te same czynniki decydowały o wszystkich porażkach prób powielenia wyników eksperymentów pierwotnych.

Podsumowując sytuację, w której mamy do czynienia z fiaskiem powtórzenia lub odtworzenia eksperymentu, należy zauwa-

żyć, że gdy nie możemy wykreować w powielanym eksperymencie takiego samego zjawiska, jak w eksperymencie pierwotnym, musimy mówić o niepowtórzeniu, jak i - co oczywiste - o nieodtworzeniu eksperymentu. W przypadku przedstawionych w pierwszej części artykułu eksperymentów - o uzyskaniu wyników negatywnych zadecydowało niewłaściwe odtworzenie warunków eksperymentu pierwotnego.

Powielanie eksperymentu jest sytuacją typową dla praktyki badawczej - do tego stopnia charakterystyczną, że uznane zostaje przez Hackinga, jak już stwierdziliśmy, za „pseudoproblem". Fiasko powtórzenia i odtworzenia jest dla badaczy sygnałem, który informuje ich o tym, iż eksperyment pierwotny mógł być błędnie przeprowadzony, co z kolei może być przesłanką do podważenia zarówno jego wyników, jak i proponowanych interpretacji tych wyników. Jednak z drugiej strony to, iż nie udaje się powtórzyć i/lub odtworzyć wyników eksperymentu pierwotnego, może świadczyć również o tym, że należy dalej prowadzić badania, gdyż jest coś do „odkrycia" [Plesch 1999, s. 11].

Referowane przykłady „polimeru wody" i „zimnej syntezy" doskonale uwypuklają najbardziej interesujący aspekt problemu powtarzalności i odtwarzalności eksperymentu. W obu omawianych przypadkach mieliśmy do czynienia z „częściowym" powtórzeniem i odtworzeniem eksperymentu pierwotnego. Z „częściowym" w tym sensie, iż kolejne grupy uzyskały wyniki tylko częściowo zbliżone do tych, które osiągnięto w eksperymentach pierwotnych. W oparciu o przypadki przedstawione w pierwszej części artykułu spróbuję przeanalizować te sytuacje, w których możemy mówić o „częściowym" powtórzeniu i „częściowym" odtworzeniu eksperymentów pierwotnych.

Przyjmę, że o „częściowym" powtórzeniu eksperymentu można mówić wtedy, gdy badacz powielający eksperyment odmiennie interpretuje jego rezultaty, choć zasadniczo odtworzył wyniki eksperymentu. Niektórzy eksperymentatorzy, którzy obserwowali w kapilarach wodę o anomalnych właściwościach, zbliżonych do tych, które zostały zarejestrowane w eksperymencie pierwotnym, odrzucili hipotezę „polimeru wody" jako hipotezę wyjaśniającą.

Dyskusja wokół interpretacji widma promieniowania anomalnej wody wzmocniła argumentację wielu teoretyków i eksperymentatorów wątpiących w możliwość powstawania długich łańcuchów o wzorze $(H_2O)n$. Skoro więc nie przypisują oni anomalnej wodzie struktury polimeru, uzasadnione wydaje się stwierdzenie, że w powielanych eksperymentach (obserwacjach) nie powtórzyli zjawiska zwanego „polimerem wody". Jeśli jednak wszystkie makroskopowe właściwości obserwowanej cieczy pokrywały się z tymi, które stwierdzono w eksperymencie pierwotnym, to problem, czy eksperyment został powtórzony, pozostaje otwarty. Jego rozstrzygnięcie jest o tyle arbitralne, że zależy od tego, czy założymy, iż o istnieniu danego indywiduum chemicznego rozstrzyga jego struktura chemiczna, czy fakt, że posiada ono określone właściwości makroskopowe. Zwolennicy tego drugiego stanowiska mogą się upierać, że pierwotny eksperyment został powtórzony, choć chemicy nie mają prawa stosować względem obserwowanej cieczy nazwy „polimer wody".

Innym przykładem „częściowego" odtworzenia eksperymentu jest sytuacja, w której nie udaje się uzyskać np. takiej samej wydajności syntezy, jak w eksperymencie pierwotnym. Kilku grupom badawczym, które podjęły próbę przeprowadzenia „zimnej syntezy", udało się powtórzyć syntezę, ale tylko „częściowo" ją odtworzyć. W trakcie ich eksperymentów udało się zarejestrować niewielkie ilości wydzielanego ciepła, jak i śladowe ilości neutronów – odczyty te były dalekie od tych, jakie ogłosili autorzy eksperymentu.

W oparciu o analizy omówionych eksperymentów i rozróżnienie wprowadzone za Pleschem na powtórzenie i odtworzenie eksperymentu, możemy wyróżnić następujące przypadki: eksperyment powtórzony i odtworzony, eksperyment powtórzony a nieodtworzony, eksperyment powtórzony i „częściowo" odtworzony, eksperyment „częściowo" powtórzony i odtworzony lub „częściowo" odtworzony oraz eksperyment niepowtórzony i tym samym nieodtworzony. W powyższych analizach wykazałem również, że różnego rodzaju czynniki wpływają na to, czy eksperymentator podejmujący się powtórzenia i/lub odtworzenia eksperymentu pierwotnego uzyska rezultaty pozytywne, negatywne czy „czę-

ściowo" zbliżone do wyników otrzymanych w eksperymentach pierwotnych.

Jednym z ważniejszych problemów, jaki był podnoszony zarówno przez zwolenników hipotezy „polimeru wody" i „zimnej syntezy", jak i przez tych badaczy, którzy odmiennie interpretowali wyniki tych eksperymentów, jest wpływ „zanieczyszczeń" na ostatecznie uzyskiwane wyniki powtórzenia i odtworzenia eksperymentu. Peter Plesch zwraca uwagę na to, że „zanieczyszczenia" były w wielu przypadkach przyczyną nieoczekiwanych reakcji chemicznych, co z kolei wpływało na dokonanie odkrycia i sformułowanie nowego faktu naukowego [Plesch 1999, s. 10]. Jednakże znaczenie tego argumentu w przypadku „polimeru wody" i „zimnej syntezy" jest zupełnie inne niż w przypadku rozumienia tego problemu przez Plescha. Dla Plescha „zanieczyszczenia" decydują o wykreowaniu nowego zjawiska, czyli w pewnym sensie przypadek decyduje o dokonaniu odkrycia przez badacza, który nie zwrócił uwagi na możliwość „zanieczyszczenia" stosowanych odczynników i reagentów. Dopiero dokładna analiza substratów użytych w syntezie pozwala stwierdzić, że odpowiedzialne za reakcję są „zanieczyszczenia".

W referowanych przypadkach „zanieczyszczenia" pełniły raczej rolę czegoś, co można nazwać „potencjalnym falsyfikatorem" eksperymentu pierwotnego i jego powtórzeń. Występowanie „zanieczyszczeń" miało decydować o odmiennej interpretacji wyników uzyskanych przez poszczególne grupy badawcze. „Zanieczyszczenia" mają taki sam wpływ na wszystkie możliwe sytuacje eksperymentalne: przy powtórzeniu eksperymentu, przy „częściowym" odtworzeniu eksperymentu, jak i przy fiasku powtórzenia. We wszystkich wypadkach „zanieczyszczenia" miały wpływać na wynik eksperymentu. Dla naukowców podtrzymujących hipotezę „polimeru wody" lub „zimnej syntezy" „zanieczyszczenia" miały decydować o negatywnych rezultatach grup badawczych, którym nie udało się powielić eksperymentu pierwotnego, z kolei dla przedstawicieli tych grup wyniki pozytywne były efektem „zanieczyszczenia" próbek w eksperymencie pierwotnym, co oczywiście decydowało o odrzuceniu stawianych hipotez, np. powstanie polimeru wody miało być spowodowane przez organiczne lub nie-

organiczne zanieczyszczenia znajdujące się na ściankach kapilar użytych do eksperymentu.

Kolejnym ważnym argumentem, którym posługiwały się obie strony sporów, było wzajemne zarzucanie sobie świadomego pogwałcenia zasad prowadzenia praktyki eksperymentalnej, np. nieuwzględnienie w eksperymencie pierwotnym eksperymentu kontrolnego (dla „zimnej syntezy" miało być to ogniwo kontrolne wypełnione nie ciężką wodą, lecz zwykłą). Należy zwrócić uwagę, że nieprawidłowe odtworzenie warunków eksperymentu pierwotnego w eksperymencie powtórzonym ma swoje źródło w kilku czynnikach, nie tylko w niekompetencji lub złej woli eksperymentatora podejmującego się odtworzenia eksperymentu. Jednym z takich czynników jest blokowanie przez autorów eksperymentu dostępu do pełnego opisu metodyki ich eksperymentu, co oczywiście wpływa na wyniki uzyskiwane przez naukowców próbujących powtórzyć i odtworzyć eksperyment pierwotny. Przyczyn takiego postępowania może być wiele, np. dążenie do opatentowania przeprowadzonej syntezy, obawa przed wykradzeniem cennej technologii. Nakłada się na to problem zakłóceń pochodzących od aparatury pomiarowej, co w efekcie skutkuje niejednorodnością interpretacji uzyskanych wyników.

Dokonana przeze mnie analiza czynników, mających wpływ na fiasko powtórzenia lub odtworzenia wyników eksperymentu, nie jest pełna. Jednakże analiza ta prowadzi do wniosku, że nawet niewielka zmiana warunków eksperymentu niejednokrotnie decyduje o tym, czy uda się powtórzyć eksperyment pierwotny, a tym bardziej go odtworzyć. To, jak precyzyjnie badacz odtworzy warunki eksperymentu pierwotnego, ma istotny wpływ na wyniki, jakie osiągnie w swoich pracach. Można postawić tezę, że istnieje pewien „margines błędu" dla odtwarzanych warunków. Jeżeli ilość popełnionych błędów, które w jakiejś skali, przy próbie odtwarzania warunków eksperymentu, są prawie zawsze nieuniknione, jest niewielka – badacze uzyskują wyniki bardzo zbliżone do wyników oryginalnego eksperymentu. Jednakże gdy ilość popełnionych przeoczeń i pomyłek przy próbie powielenia wyników eksperymentu przekracza ten „margines", należy się spodziewać, że eks-

peryment nie będzie powtórzony, a przede wszystkim jego rozultaty nie będą odtworzone. Pomiędzy tymi „granicami" znajdują się wyniki „częściowo" odtwarzające rezultaty pierwotnych eksperymentów. Granica błędu jest nieostra i dla różnych eksperymentów może być odmienna.

Dyrektywa intersubiektywnej sprawdzalności jest jedną z reguł, przez pryzmat której dokonujemy oceny wyników eksperymentów. Jednakże, jak starałem się wykazać, odtworzenie tych samych warunków w eksperymencie ponownie wykonanym jest często bardzo trudna, a niejednokrotnie niemożliwe. Konsekwencją takiego stanu rzeczy jest to, że w kolejnych powtórzeniach nie udaje się powielić wyników uzyskanych w eksperymencie pierwotnym. Tym samym konsekwentnie stosując zasadę intersubiektywnej powtarzalności i odtwarzalności wyników eksperymentów, należałoby odrzucić wyniki tych eksperymentów. Jednakże przeprowadzone analizy wskazują na to, iż zasada intersubiektywnej odtwarzalności wyników eksperymentów jest dyrektywą trudną do utrzymania z punktu widzenia praktyki badawczej, np. współczesnej chemii. Niekiedy „sztywne" utrzymywanie tej zasady, jeżeli stosujemy ją jako podstawowy miernik oceny wyników pracy eksperymentalnej, jest niezwykle dyskusyjne. Można postawić tezę, że jeżeli zasada ta w dalszym ciągu ma być stosowana, to należałoby ją w taki sposób zmodyfikować, aby uwzględniała specyfikę danej dyscypliny naukowej. Specyfika praktyki badawczej, zwłaszcza współczesnej chemii, uniemożliwia bowiem niejednokrotnie dokładne, w dopuszczanych granicach błędu, odtworzenie wyników eksperymentu.

Literatura

Collins H., Pinch T. (red.), 1998, *Golem, czyli co trzeba wiedzieć o nauce*, Warszawa.

Diamond A. M. Jr., 1992, *The Polywater Episode and the Apprasial of Theories*, w: *Scrutinizing Science. Empirical Studies of Scientific Change*, A. Donovan, L. Laudan, R. Laudan (red.), Baltimore-London.

Hacking I., 1983, *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, New York–Cambridge.

Lakatos I., 1995, *Pisma z filozofii nauk empirycznych*, Warszawa.

Lewenstein B. V., *The Cornell Cold Fusion Archive*, www. wpi.edu/Academics/Depts/Chemistry/Chemistry/Courses/CH215X/Coldfusion. html.

McKinney W. J., 1991, *Experimenting on and Experimenting with: Polywater and Experimental Realism*, „The British Journal for the Philosophy of Science" nr 42, s. 295–307.

Plesch P. H., 1999, *On the Distinctness of Chemistry*, „Foundations of Chemistry" nr 1, s. 6–15.

Putnam H., 1998, *Wiele twarzy realizmu i inne eseje*, Warszawa.

Sobczyńska D., 1992, *Wokół filozofii eksperymentu. Poglądy „Nowego Eksperymentalizmu"*, w: *Teoria i eksperyment*, J. Such, J. Wiśniewski (red.), Poznań.

Sobczyńska D., Zeidler P. (red.), 1999, *Chemia: Laboratorium myśli i działań*, Poznań.

Stevens M. P., 1983, *Wprowadzenie do chemii polimerów*, Warszawa.

Van Brakel J., 2000, *Philosophy of Chemistry. Between the Manifest and the Scientfic Image*, Leuven.