Filozofia Nauki
Rok IV, 1996, Nr 2(14)

Danuta Sobczyńska

Idea komplementarności eksperymentów

Wstęp

Pojęcie „komplementarności eksperymentów" („eksperymentów komplementarnych") wprowadził J. Such [Such 1992; 1994]. Chodzi mu o „pary eksperymentów, których wyniki uzupełniają się w pewien sposób, są względem siebie komplementarne": „nakładają one na siebie wzajemnie pewne ograniczenia, wykluczające pewne możliwe interpretacje — możliwe, jeśli się je rozpatruje oddzielnie" [Such 1992, s. 47].

W rozważaniach stosuję pojęcie „komplementarności" w sensie rozszerzonym — jako pewną ideę, pojawiającą się również w refleksji «neoeksperymentalistów» i pokrewnych im «z ducha» filozofów nauki. Wydaje się, że potrzebne jest łączne rozważenie tych koncepcji, gdyż dopiero tak potraktowane charakteryzują w pełni tę cechę eksperymentów naukowych, którą nazwać można „komplementarnością".

Po krótkim zaprezentowaniu wspomnianych wyżej koncepcji pragnę je uzupełnić o własne ustalenia, dotyczące różnych aspektów komplementarności. Pozwoli to na analizę pewnych nowych wizji nauki, które są żywo dyskutowane we współczesnej filozofii nauki. Koncepcje te wiążą się z jednym z aspektów komplementarności eksperymentów, rozważanym przez A. Franklina [Franklin 1981]. Mam oczywiście świadomość tego, że zapewne istnieje wiele innych sposobów rozwinięcia idei komplementarności eksperymentów, różnych od tego, który poniżej przedstawiam.

1. Koncepcja eksperymentów komplementarnych

W polskiej refleksji nad eksperymentem na czoło wysuwają się obszerne i erudycyjne studia J. Sucha nad znaczeniem i rolą eksperymentu rozstrzygającego w nauce [Such 1975]. Sformułowana przez niego koncepcja holizmu teoretyczno-eksperymentalnego

zrywa z dychotomią tego, co «teoretyczne» i tego, co «eksperymentalne», i harmonijnie równoważy rolę obu czynników w kształtowaniu się tzw. sytuacji rozstrzygającej w nauce.

W sformułowanej ostatnio koncepcji eksperymentów komplementarnych J. Such [Such 1992; 1994] zwraca uwagę na fakt, że pewne eksperymenty mogą we wzajemnym «dodatnim sprzężeniu» — w sytuacji, gdy rozpatruje się ich pary, trójki itd. — spotęgować swoją moc rozstrzygania. Moc rozstrzygająca danego eksperymentu nie stanowi bowiem jego cechy immanentnej, lecz zależy od tego, z jakimi innymi eksperymentami konfrontuje się sprawdzane systemy teoretyczne [Such 1992, s. 47]. Jako przykład komplementarnej pary eksperymentów J. Such przytacza eksperymenty fizyczne, które (wprawdzie *ex post*) pomogły w falsyfikacji dziewiętnastowiecznej koncepcji eteru. Przeprowadzony w 1851 r. eksperyment A.H.L. Fizeau dotyczył prędkości rozchodzenia się światła w poruszającej się wodzie; eksperyment A.A. Michelsona z 1881 r. miał na celu ustalenie ruchu Ziemi względem eteru. Pierwszy z nich — klasyczny eksperyment o wyniku pozytywnym — wykazał, że prędkość światła w wodzie zależy od ruchu wody; drugi — klasyczny eksperyment o wyniku negatywnym — wykazał, że prędkość światła nie zależy od ruchu Ziemi. Oba eksperymenty wychodziły od hipotezy eteru. Rozpatrywane łącznie, doprowadziły do odrzucenia wszelkich hipotez, zakładających istnienie eteru: zarówno spoczywającego, jak też częściowo lub całkowicie «pociąganego» przez poruszające się ciała. J. Such zauważa, że podobnie komplementarny charakter miały inne pary eksperymentów (obserwacji) ówczesnej astronomii, sugerujące całkowicie sprzeczne własności eteru: jego ogromną (lub znikomo małą) gęstość oraz jego wysoką (lub bardzo niską) sprężystość. W ten sposób eter dziewiętnastowiecznej fizyki stopniowo tracił prawo obywatelstwa w nauce.[1]

Zauważmy, w ślad za autorem koncepcji, że to, który z pary eksperymentów komplementarnych uznany zostanie za rozstrzygający, jest często kwestią historyczną. W rozważanej tutaj parze za rozstrzygający uważa się zwykle przeprowadzony później eksperyment A. Michelsona, który — mówiąc obrazowo — postawił kropkę nad i. Sądzę jednak, że komplementarne grupy eksperymentów mogą występować zarówno w pewnym porządku czasowym, jak też mogą być równoczesne. Pierwsze z nich nazwałabym „diachronicznymi grupami eksperymentów komplementarnych", a drugie — „grupami synchronicznymi".

Do «synchronicznych» grup eksperymentów komplementarnych odnoszą się dwie dyrektywy metodologiczne J. Sucha, kierowane pod adresem badaczy pracujących w eksperymentalnych dziedzinach wiedzy. Chodzi o to, aby uczeni „w procesie projektowania i przeprowadzania eksperymentów sprawdzających poświęcali więcej uwagi

[1] Por. referat L. Kostry „Racje natury filozoficznej i fizykalnej, które skłoniły A. Einsteina do odrzucenia eteru fizyki XIX w. (w r. 1905) i wprowadzenia eteru relatywistycznego (w r. 1916)" wygłoszony podczas VI Polskiego Zjazdu Filozoficznego w Toruniu (1995 r.).

przeprowadzaniu właśnie eksperymentów komplementarnych względem siebie, tzn. takich, że wynik jednego z nich wywiera bezpośredni wpływ na sposób interpretacji wyniku pozostałego eksperymentu, przy czym oba wchodzące w grę eksperymenty dostarczają wzajemnie wzmacniających się wyników, tj. argumentów przeciwko jakiejś hipotezie lub teorii" [Such 1992, s. 55]. Wykorzystanie komplementarności polegać może także na tym, aby uczeni „konfrontowali uzyskane wyniki eksperymentalne nie tylko z teoriami (za pośrednictwem ich konsekwencji obserwacyjnych), lecz również, by konfrontowali bezpośrednio jedne wyniki doświadczalne z innymi, czyli przeprowadzali konfrontację faktów ze sobą" [Such 1992, s. 56].

2. Idee pokrewne rozwijane w neoeksperymentalizmie

2.1. Komplementarność metod w usuwaniu artefaktów aparaturowych

Jak wiadomo, neoeksperymentalizm, pozostający w opozycji do teoretycyzmu, jest tym kierunkiem we współczesnej filozofii nauki, który eksponuje istotną rolę i duży stopień autonomii eksperymentu w nauce oraz jego heurystyczne możliwości. Twórcy tego kierunku, I. Hacking [Hacking 1983], A. Franklin [Franklin 1986] i P. Galison [Galison 1987], interesują się przede wszystkim «współczesną historią» badań w dziedzinie fizyki mikrocząstek i fizyki wysokich energii. Sięgając jednak do odleglejszej historii nauki — np. historii mikroskopu [Hacking 1985] — odnajdują fascynujący zapis zmagań uczonych z pozornymi efektami tego urządzenia: artefaktami.

Każdy aparat badawczy wytwarza efekty uboczne swej pracy, nazywane często „szumami". Efekty te powstają jako wynik pracy aparatu «na biegu jałowym», bądź towarzyszą — zwykle stale — pracy nad badanym zjawiskiem. Jest rzeczą oczywistą, że niepożądane efekty pracy aparatury budzą niepokój uczonych i teoretyków poznania naukowego. Zdaniem neoeksperymentalistów, wyolbrzymianie negatywnego znaczenia artefaktów jest niepotrzebne i szkodliwe. W funkcjonalno-inżynieryjnym podejściu do aparatu, którego budowa jest badaczowi znana, znaleźć można sposoby demaskowania tych łudzących badacza efektów.

Artefakty mikroskopowe (przede wszystkim aberracja sferyczna i chromatyczna) w początkach «kariery» mikroskopu były dla badaczy tak uciążliwe i mylące, że w XVIII stuleciu niektórzy poważni biolodzy programowo nie używali tego instrumentu, jako produkującego «nierealne» obrazy. Walka pokoleń optyków (zwłaszcza E. Abbego i kierowanej przezeń firmy Zeissa w Jenie) z wadami mikroskopów, przyczyniła się skutecznie do usunięcia rozmytych konturów i tęczowych obwódek zniekształcających obrazy mikroskopowe. Dzisiaj niezawodność tego instrumentu stała się dla I. Hackinga poważnym argumentem przemawiającym na rzecz realizmu eksperymentalnego. Na realistyczne traktowanie obrazów dawanych przez współczesne, wielce zróżnicowane mikroskopy, pozwala kompleksowość (a może właśnie komplementarność?) metod mikroskopowych.

I. Hacking przedstawia następujące argumenty, pozwalające skutecznie odróżniać artefakty od obrazów rzeczywistych:

1. Metoda sieci

W celu określenia w badaniu mikroskopowym wielkości bezwzględnej różnych obiektów sporządza się skalowane siateczki. Rysunek sieci wykonany w skali makro poddaje się pomniejszeniu mikrofotograficznemu; w mikroskopie, po nastawieniu odpowiedniego powiększenia, siatka uzyskuje znów wymiary makroskopowe. Badacz otrzymuje obraz sieci o takiej wielkości «oczek», jak wyjściowa. Kontrola badacza nad pracą aparatu — od narysowania siatki, poprzez jej pomniejszenie, do obserwacji obrazu powiększonego — upewnia go, że obserwuje obraz rzeczywisty, a nie artefakt. Ponadto w różnych typach mikroskopów siatka „wciąż wygląda jak sieć. Będąc antyrealistą musiałbyś założyć, że kartezjański demon maligny zamieszkał w mikroskopach" [Hacking 1985, s. 147].

2. Metoda koincydencji

Oprócz mikroskopów optycznych znane są dzisiaj mikroskopy elektronowe, fluoryzacyjne, polaryzacyjne, akustyczne itd. Jeżeli obraz pewnego preparatu w każdym z tych instrumentów wygląda tak samo, stanowi to argument za rzetelnością poszczególnych obrazów, a zatem umacnia stanowisko realizmu eksperymentalnego. Musiałaby zaistnieć «kosmiczna koincydencja», prawdziwa «zmowa Natury», gdyby wszystkie nasze teorie, dotyczące funkcjonowania różnych typów mikroskopów, były fałszywe w ten sposób, aby produkować w każdym z aparatów taki sam artefakt.

3. Metoda «ślepej próby» (wzorcowania lub kalibracji)

W ten sposób w polskiej terminologii określa się metodę, nazywaną przez A. Franklina [Franklin 1986] „*calibration*". Załóżmy, że w spektroskopii IR pragniemy uzyskać widmo pewnej substancji organicznej. Preparat sporządzony jest jako zawiesina w oleju nośnym. W celu uniknięcia zafałszowania obrazu właściwego widma badacz sprawdza, czy sam olej nie daje sygnału absorpcji w przewidywanym dla próbki zakresie długości fali. Widmo substancji właściwej zdejmuje się tylko przy negatywnym wyniku ślepej próby. Analogiczne zabiegi (wyznaczanie wzorców, współczynników kalibracyjnych, badanie «poziomu szumów» itp.) wykonuje się rutynowo w rozmaitych innych operacjach badawczych, analitycznych, diagnostycznych. Dodajmy, że od około piętnastu lat podobnym celom służą metody komputerowe: transformacja fourierowska pozwala na likwidację obrazu «szumów» w zapisie widma, a cyfrowe «uśrednianie» dużej liczby mało czytelnych widm znacznie poprawia ich jakość.

Typy komplementarności przedstawione wyżej nie wiążą się bezpośrednio z procedurami rozstrzygania w dziedzinie wiedzy. Spełniają raczej drugą z dyrektyw metodologicznych J. Sucha, dotyczącą porównywania świadectw eksperymentalnych między sobą. Niekiedy mogą mieć chakater diachroniczny, zwykle jednak stosowane są równolegle w aktualnej praktyce badawczej. Dwa pierwsze przykłady dotyczą komplementarności wyników uzyskiwanych przez zastosowanie różnych metod (lub różnych wariantów jednej metody) i różnych aparatów badawczych. Trzeci przykład — kalibra-

cji — dotyczy swego rodzaju «komplementarności» wyników jednego aparatu: wyników testujących sam aparat i wyników testu badanej próby.

2.2 Komplementarność teoretyczno-techniczna

Pod tak przeze mnie określony typ komplementarności podpadałyby eksperymenty, które są jednocześnie pojęciowo istotne (*conceptually important*) i dobre technicznie (*technically good*) [Franklin 1981]. Pierwsze z nich — to eksperymenty rozstrzygające w stosunku do teorii, zarówno pozytywnie, jak i negatywnie. Drugie pozwalają na precyzyjniejszy niż w przeszłości pomiar wilkości fizycznych. Eksperymenty dobre technicznie można podzielić dalej na:

— eksperymenty polegające na ulepszeniu aparatów istniejących;

— eksperymenty polegające na skonstruowaniu całkiem nowych aparatów.

A. Franklin początkowo skłonny był traktować rozłącznie eksperymenty dobre technicznie i eksperymenty pojęciowo istotne. Badania dobre technicznie niekoniecznie musiały być pojęciowo istotne, i na odwrót. Autor podawał przykłady badań C.P. Davissona i L.H. Germera z lat dwudziestych, które przekonały badaczy do hipotezy L. de Broglie'a na temat falowej natury elektronu, oraz słynnych eksperymentów C.S. Wu z 1957 r., które miały ogromne znaczenie dla rozstrzygnięcia hipotezy o łamaniu parzystości w oddziaływaniach słabych. Jedne i drugie, chociaż bardzo ważne z punktu widzenia teorii, nie odznaczały się wszakże perfekcją techniczną. Oba natomiast warunki: istotności pojęciowej oraz perfekcji technicznej, spełniały przykładowo dokonane przez R.A. Millikana pomiary ładunku elektronu na kroplach oleju. Jest rzeczą oczywistą, że najistotniejsze dla nauki są te badania, które w optymalny sposób łączą perfekcję techniczną ze znaczeniem teoretycznym rozstrzyganych zagadnień.

T. Lai [Lai 1984] w swojej dyskusji skoncentrował się przede wszystkim na technicznej doskonałości eksperymentów. Chociaż oba rodzaje eksperymentów «dobrych technicznie» są istotne, gdyż pozwalają na dokonywanie pomiarów precyzyjniejszych niż poprzednio, to jednak skonstruowanie nowych aparatów jest z pewnością trudniejsze, niż ulepszanie już istniejących. Aparaty takie, nim zostaną zbudowane, trzeba zaprojektować, co wymaga znajomości zarówno teorii, jak i najnowszych rozwiązań technicznych. Według T. Lai'ego eksperymenty dobre technicznie (w drugim ze znaczeń) reprezentują przełom technologiczny, nowy rodzaj *know-how* nauk eksperymentalnych.

Planowania i projektowania wymaga nie tylko aparatura; planowane powinny być również eksperymenty. Tego rodzaju planowanie wymaga jednak doskonałego rozpoznania wiarygodności teorii, gdyż tylko na dobrych teoriach można budować eksperymenty pojęciowo znaczące. T. Lai, podobnie jak P. Galison [Galison 1987], w projektowaniu eksperymentów dostrzega nie tylko czynnik teoretyczny, lecz również wiedzę i zręczność płynące bezpośrednio z wykonywanych działań: zastosowanie wiedzy inżynierskiej, poszerzanie możliwości aparatury, doskonałą znajomość najnow-

szych metod, krótko — wspomniane wyżej *know-how*, doświadczenie i wiedzę praktyczną.

Idąc śladem rozważań obu autorów, M. Morrison [Morrison 1986] zastanawia się nie tylko nad współdziałaniem teorii i empirii, lecz także nad rolą technicznie dobrych eksperymentów w podnoszeniu statusu świadectw eksperymentalnych uznawanych za pojęciowo znaczące. Jej obszerne studium dotyczy historii badań nad strukturą subtelną widma atomu wodoru. Najważniejsze i rozstrzygające okazały się tutaj niezmiernie precyzyjne pomiary niewielkich zmian częstotliwości promieniowania, dokonywane na fotogramach widm za pomocą mikrofotometru. Rozwiązano przy tej okazji rozmaite problemy — zarówno techniczne, jak i teoretyczne (dotyczące kwestii rozszczepienia orbitali elektronowych).

W roku 1938 R.C. Wiliamsowi udało się pokonać przeszkody wynikające ze zbyt dużego uziarnienia fotogramów. W roku 1947 W.E. Lamb i R.C. Retheford zastosowali metody spektroskopii mikrofalowej do określania przejść między poziomami emisji. W tym samym roku I.I. Rabi ze współpracownikami dokonał pierwszych pomiarów momentu magnetycznego elektronu, a w rok później J. Schwinger wykrył i zmierzył znikomo małe zmiany momentu magnetycznego elektronu (stała fizyczna, tzw. magneton Bohra). W rozwoju tych badań autorka dostrzega liczne momenty świadczące o tym, że eksperymenty dobre technicznie stawały się zarazem coraz bardziej istotne pojęciowo. Eksperymenty i pomiary, których «siłą nośną» była doskonałość techniczna, zapoczątkowały powstanie nowej gałęzi fizyki — elektrodynamiki kwantowej.

3. Aspekty komplementarności eksperymentów

3.1. Aspekt metodologiczny

Aspekt metodologiczny jest — jak się wydaje — najważniejszym wyróżnikiem komplementarności eksperymentów, z racji kluczowych zagadnień weryfikacji wiedzy (a więc tak czy inaczej rozumianej jej prawdziwości). Wydaje się również, że ku niemu «zbiegają się» czy «skłaniają» także inne aspekty, przywołane w dalszym ciągu tekstu. Komplementarność metodologiczna (lub weryfikacyjna) może przejawiać się, jak już podkreślałam, w trybie diachronicznym lub w trybie synchronicznym. Zastosowanie eksperymentów komplementarnych w nauce nastąpiło zapewne na drodze intuicyjnej; dzięki pogłębionej analizie metodologicznej J. Sucha «wynalazek» ten, czy pomysł, przekształcił się w dyrektywę, w jaki sposób planować badania naukowe, aby najpełniej wykorzystać walory rozstrzygające wzajemnie dopełniających się wyników eksperymentalnych.

Metodologiczny aspekt komplementarności może przejawiać się w dwóch istotnych sytuacjach tworzenia nowej wiedzy:

— w kontekście uzasadniania (przypadek opisany przez J. Sucha);

— w kontekście odkrycia.

Kontekst odkrycia tradycyjnie cieszył się mniejszym zainteresowaniem metodologów niż kontekst uzasadniania. Wydaje się jednak, że i w wypadku odkryć naukowych idea komplementarności eksperymentów zastosowana wielostronnie i twórczo doprowadzić może do sporych sukcesów. Tezy tej staramy się bronić w artykule poświęconym niedawnemu odkryciu fullerenów [Sobczyńska, Sobczyński w druku]. Identyfikacji nowej, wielce interesującej odmiany alotropowej węgla o strukturze piłki futbolowej, dokonano dzięki celowo zastosowanym eksperymentom komplementarnym — przede wszystkim dzięki różnym rodzajom spektroskopii.

Na koniec wypada podkreślić, że w obu kontekstach komplementarność metodologiczna eksperymentów oznacza ich nastawienie na konfrontację z pewną hipotezą lub teorią; w wypadku odkrycia fullerenów istotną rolę odegrały również inne aspekty komplementarności, o których będzie mowa poniżej.

3.2 Aspekt metodyczny

Aspekt metodyczny komplementarności eksperymentów ma mniejsze znaczenie z punktu widzenia rozstrzygania wiedzy teoretycznej, istotny jest natomiast w codziennej praktyce laboratoryjnej. Domeną wzajemnego dopełniania się eksperymentów w sensie metodycznym jest właśnie zakres samej metody naukowej, pojętej dosyć specjalistycznie. Na ten aspekt komplementarności i związaną z nim rolę aparatury naukowej zwrócili uwagę przede wszystkim neoeksperymentaliści. Komplementarne wyniki uzyskiwane przy pomocy sprzętu różnego rodzaju — uzgadniane i porównywane ze sobą — pełnią funkcje dwojakiego rodzaju:

— sceptykom ukazują rzetelność samej metody;

— uczonym pozwalają na uzyskanie pogłębionej wiedzy o badanym obiekcie.

Druga z wymienionych funkcji uzyskuje coraz większe znaczenie w nauce, zwłaszcza we wszelkiego rodzaju badaniach diagnostycznych, dotyczących własności materii. Ta sama cząsteczka chemiczna — np. fullerenu — «oglądana» w różnych rodzajach spektroskopii, ujawnia za każdym razem inny aspekt swojej struktury. Złożenie poszczególnych obrazów daje najpełniejszą z możliwych informację o jej strukturze, własnościach, zachowaniach chemicznych itp. Komplementarność metodyczna odgrywa, jak się wydaje, szczególną rolę w kontekście odkrywania; jest istotnym składnikiem heurezy. Weryfikuje bowiem, na zasadzie «każda z każdą», poszczególne metody, oraz pozwala naszkicować możliwie pełny obraz nowo odkrytych obiektów: chemicznych, biologicznych, kosmicznych itp.

3.3. Aspekt socjologiczny

Wraz ze zmianami instytucjonalnych form nauki, zmienia się także strona socjologiczna prowadzonych w nauce badań eksperymentalnych. Zmieniają się również wzorce współpracy i rywalizacji naukowej. Rozwijająca się dzisiaj dynamicznie socjologia nauki mogłaby dostarczyć tutaj wielu interesujących przykładów. Dla celów tego tekstu pozostańmy jednak przy omawianym już poprzednio zakresie literatury przedmiotu.

W klasycznym przykładzie eksperymentów komplementarnych podanym przez J. Sucha występowali indywidualni badacze — A.H.L. Fizeau i A.A. Michelson. Każdy z nich reprezentował własną opcję teoretyczną i własny styl pracy badawczej. O uzyskanie odrębnych — a zatem potencjalnie komplementarnych — punktów widzenia, łatwiej zarówno pojedynczym badaczom, jak i odrębnym zespołom. W zespołach zwykle wypracowuje się — chociażby roboczo — jeden model teoretyczny; w zespole również obowiązuje pewien wspólny styl pracy eksperymentalnej; zwykle również tylko zespół może dysponować unikalnym sprzętem, którego brak w innych ośrodkach. Jednakże uzyskiwana w ten sposób komplementarność jest zazwyczaj ubocznym, a nie zamierzonym efektem pracy odrębnych badaczy lub zespołów.

Rozważany od strony socjologicznej przykład komplementarności zespołów znaleźć można w pracy P. Galisona [Galison 1987]. Porównuje on pracę dwóch grup badawczych, które w latach 1920-1930 zajmowały się składem promieniowania kosmicznego. Kierownikiem pierwszego zespołu był R.A. Millikan, kierownikiem zespołu drugiego — H. Bethe. R.A. Millikan i jego współpracownicy przez wiele lat nie akceptowali mechaniki kwantowej, natomiast grupa H. Bethego czyniła użytek z nowych idei, zarówno w planowaniu badań, jak i interpretacji wyników. P. Galison, podsumowując wyniki prac obu grup, które zakończyły się odkryciem neutrina, pisze: „Chociaż wychodzili oni z dwóch bardzo różnych tradycji teoretycznych i eksperymentalnych, doszli jednocześnie do bliźniaczych konkluzji: że fizyka nie wymaga radykalnej reformy mechaniki kwantowej dla wyjaśnienia wyników, ale mogłaby wymagać nowych cząstek" [Galison 1987, s. 18].

Interesujący przykład stanowi również opisana przez P. Galisona historia innych grup, pracujących nad promieniowaniem kosmicznym. W jednej z nich preferowano stosowanie liczników Geigera, w drugiej — komór mgłowych i pęcherzykowych. Między wynikami uzyskiwanymi w obu grupach narastały sprzeczności, między uczonymi — ostra rywalizacja. W przecięciu tego «węzła gordyjskiego» pomocny okazał się pomysł teoretyczny J.R. Oppenheimera. Zaproponował on mianowicie, aby tzw. kaskady cząstek towarzyszące przejściu promieniowania przez komory detekcyjne, potraktować jako kolejne produkty wielu prostych oddziaływań. Po przyjęciu tego założenia oba typy urządzeń detekcyjnych ukazały w pełni swoją komplementarność w analizie szeregu elementarnych procesów i cząstek występujących w promieniowaniu kosmicznym.

Komplementarność zespołów badawczych we wspólnym procesie odkrywania ukazała się w całej pełni we wspomnianym już niedawnym odkryciu fullerenów. Godne podkreślenia jest to, że grupa H. Kroto z Wielkiej Brytanii i grupa R. Smalleya z Houston w USA działały na zasadach pozytywnej współpracy i wymiany doświadczeń, nie zaś wyścigu i rywalizacji. We współpracy grup z dwóch kontynentów pośredniczyły techniczne środki komunikacji: telefon, fax, poczta elektroniczna. Towarzyszyła jej również wysoka świadomość metodologiczna, polegająca na zamierzonym wykorzy-

stywaniu komplementarności eksperymentów. Wydaje się, że w wypadkach «ostrej» rywalizacji naukowej cecha ta ujawnić się może jedynie «nie wprost».

3.4. Aspekt technologiczny

Chociaż o wpływie technicznych środków poznania naukowego na rozwój wiedzy naukowej napisano już sporo, zagadnienie komplementarności teoretyczno-technicznej badań empirycznych, poruszone przez A. Franklina, T. Lai'ego i M. Morrison, jest zupełnie nowe. Uwypukla ono ukształtowany w ostatnich dziesięcioleciach wymóg technicznej doskonałości prowadzonych badań.

Sztuka techniczno-eksperymentalna musi podołać coraz subtelniejszym i bardziej skomplikowanym problemom stawianym przez teorię. Należą do nich np. pomiary stałych fizycznych o znikomo małych wartościach. Techniczna precyzja pomiaru musi być niezmiernie wysoka, a badania muszą być powtarzalne; zatem wysoka musi być niezawodność aparatury. Technika eksperymentalna wyznacza coraz częściej «pułap naukowości» swoich czasów, pewien «horyzont odkryć możliwych».

Kiedy w latach trzydziestych naszego stulecia P.L. Kapica uzyskał bardzo silne pola magnetyczne, naturalnym dążeniem naukowców było zastosowanie tych pól w eksperymentach z dziedziny nowych wówczas koncepcji: teorii względności i elektrodynamiki. Problemem oddziaływania pola magnetycznego ze światłem zainteresowany był osobiście sam A. Einstein, pisząc: „Nie wierzę, aby Bóg stworzył świat takim, że prędkość światła nie zależy od niczego" [cyt. za: Kapica 1969, s. 7]. Wielu badaczy namawiało P.L. Kapicę do przeprowadzenia eksperymentów prowadzących do wykrycia tej zależności. Ten jednak uporczywie odmawiał, gdyż wstępne, rozpoznawcze próby z polami o natężeniu 20 000 Oe nie dały znaczących efektów. Były jednak i inne powody — doświadczenia uczonego, znającego historię nauki i przypadki podobne, jak niżej opisany.

Prawo zachowania masy odkryto doświadczalnie pod koniec XVIII stulecia (A. Lavoisier, M. Łomonosow). Na początku XX w. H.H. Landolt powtórzył eksperymenty Lavoisiera (równość mas układów zamkniętych przed i po reakcji) z największą możliwą wówczas do uzyskania dokładnością do dziesiątego miejsca po przecinku. Gdyby był w stanie zwiększyć dokładność swoich pomiarów jeszcze o 2-3 miejsca, odkryłby tzw. relatywistyczny defekt masy, przewidziany nieco później w teorii Einsteina. „Dzisiaj już rozumiemy — pisze Kapica — że Landolt był bardzo blisko odkrycia jednego z najbardziej fundamentalnych praw przyrody" [Kapica 1969, s. 8]. Lecz gdyby poświęcił jeszcze wiele lat na doskonalenie swoich pomiarów, na zwiększenie ich dokładności, czy byłyby one przekonujące dla jego współczesnych? Zapewne nie. Znalazłyby się bowiem poza wspomnianym «horyzontem odkryć możliwych», właściwym technice jego czasów.

Mówiąc o teoretyczno-technicznej komplementarności eksperymentów nadal — jak i poprzednio — patrzymy na badania empiryczne z punktu widzenia rozstrzygania przez nie teorii. W nauce współczesnej zaczynają się jednak pojawiać przeciwstawne

trendy. R.G. Woolley [Woolley 1978], chemik-teoretyk zajmujący się interpretacją widm związków organicznych, zauważa, że w nauce niekiedy to teorie grupuje się w określone zbiory zorientowane wobec eksperymentów, w których mogą być testowane. W takich wypadkach teoria traci swoją wyróżnioną pozycję na rzecz eksperymentu.

3.5. Aspekt ekonomiczny i inne

Wśród innych, możliwych do wyłonienia aspektów komplementarności eksperymentów, w dzisiejszych realiach funkcjonowania nauki na czoło wysuwa się niewątpliwie ich aspekt ekonomiczny.[2] Badania naukowe finansowane są przez agendy państwowe czy rozmaite fundacje, a przyznane nauce środki są skrupulatnie planowane i rozliczane. Niektóre rodzaje badań (np. w dziedzinie przestrzeni kosmicznej czy mikrocząstek) są zbyt kosztowne dla większości państw o niezbyt wysokim poziomie dochodu narodowego. Czy w tej sytuacji postulat «komplementarności finansowej» można rozważać jako skuteczną dla uczonych z tych krajów strategię?

Praktyka nauki dowodzi, że w istocie często postulat ten realizuje się dzięki międzynarodowej współpracy naukowej. Ośrodek CERN koło Genewy, Centrum Badań Jądrowych w Dubnej itp., umożliwiają badaczom z krajów uboższych przeprowadzanie ich programów eksperymentalnych. Podobne rozwiązanie wykorzystują również badacze indywidualni: skomplikowane badania aparaturowe realizują podczas stypendiów zagranicznych czy odwiedzin w krajowych ośrodkach wyposażonych w unikalną aparaturę, natomiast mniej złożone, przygotowawcze lub obliczeniowe fragmenty pracy — w ośrodku macierzystym. Mimo wszystkich niedogodności tego sposobu, wydaje się, że jest on optymalnym zastosowaniem «komplementarności ekonomicznej».

W niektórych wypadkach w sukurs przychodzi własna zaradność i inwencja badaczy. W takich dziedzinach, jak np. chemia syntez organicznych, bardziej liczy się maestria eksperymentatora niż posiadanie drogiego, specjalistycznego instrumentarium. Niekiedy — chociaż dzisiaj zapewne coraz rzadziej — wykonanie pewnych prostszych przyrządów możliwe jest we własnym zakresie. „Przetrwanie — a także sukces — zależy od wyrobienia w sobie skłonności do tworzenia narzędzi z tego, co jest pod ręką. [...] Ludzie muszą być tutaj dobrzy w elektronice, umieć obchodzić się z narzędziami i różnymi materiałami, tak żeby nieuniknione problemy z budowaniem, utrzymaniem i przystosowaniem aparatury dały się w ogóle rozwiązać. Niedostatek bardziej niż środowisko obfitości stwarza szansę powstania świadomości znaczenia szerokiej gamy rzeczy, które można wykorzystać dla zapewnienia postępu badawczego, a do tych rzeczy trzeba zaliczyć także pięć niewspomaganych zmysłów" [Zenzen, Restivo 1982, s. 453].

---

[2] P. Prof. H. Eilstein bardzo dziękuję za zwrócenie mojej uwagi na ten aspekt komplementarności eksperymentów.

Również w niektórych działach fizyki narzędzia wytwarza się «z tego, co jest pod ręką», a przynajmniej wykorzystuje się tańsze i dostępniejsze aparaty, zamiast unikalnych i kosztownych. Twórcy teoretycznych podstaw fizyki laserów, Ch.H. Townes i N.G. Basow, byli zdania, że za pomocą tych niedrogich dzisiaj i niezbyt wielkich urządzeń można zdobyć tyleż podobnych informacji, co w eksperymentach z zastosowaniem akceleratorów [por. Szczuciński 1992, s. 58]. Nie była to wszakże prognoza całkiem trafna; dzisiejsi fizycy amerykańscy jedyną szansę na sformułowanie «teorii ostatecznej» widzą w budowie nowego potężnego akceleratora o średnicy ok. 80 km! (Zauważmy tutaj kolejny element komplementarności teoretyczno-technologicznej.) S. Weinberg [Weinberg 1994] relacjonuje zmagania fizyków z Kongresem USA o przyznanie środków finansowych na rozpoczęcie budowy *Super Collidera*. Jedynym efektem walki uczonych o to nowe narzędzie badawcze jest, do tej pory, jego znakomita książka...

Już na koniec, powiedzmy krócej o innych aspektach komplementarności. Można zapewne wymienić tutaj komplementarność czasową oraz komplementarność skali. Pierwsza z nich dotyczyłaby uzupełniających się badań, prowadzonych w zasadniczo różnej perspektywie czasowej. Druga dotyczyłaby różnych skal prowadzonych badań, określających wielkość obiektu i/lub układu eksperymentalnego. Zawsze też w obrębie danej grupy eksperymentów zachodziłby charakterystyczny stosunek dopełniania się badań pod takim czy innym względem.

Przykładów pierwszego aspektu komplementarności dostarczają w najbardziej wyrazistej formie badania w dziedzinie uprawy roślin czy hodowli zwierząt. W tych dyscyplinach badacze zmuszeni są komplementarnie łączyć krótkotrwałe «epizody eksperymentalne» z badaniami długofalowymi, trwającymi kilka/kilkanaście sezonów uprawnych czy hodowlanych. W tej dziedzinie nauki odnotowano również swoisty «rekord» — najdłuższy, systematycznie prowadzony przez trzydzieści lat eksperyment rolniczy [por. Catt, Handerson 1993].

Komplementarność skali eksperymentów występuje, gdy badania w mniejszej (lub lokalnej) skali przenosi się (lub uogólnia za pomocą metod statystycznych albo procedur teoretycznych danej nauki) na obszar o większej skali. Przykładów dostarczają tutaj dyscypliny demograficzne, socjologiczne, niekiedy psychologiczne lub biologiczne. Spektakularnym przykładem mogą być również eksperymenty chemiczne o przeznaczeniu technologicznym, przenoszone z mikroskali laboratoryjnej do układów ćwierćczy półtechnicznych, aby wreszcie stać się podstawą potężnych technologii przemysłowych. Między mikroskalą a makroskalą tych eksperymentów zachodzi niewątpliwie stosunek komplementarności, tak wszakże złożony (uwikłany m.in. w trudne kwestie «przekładalności» skali), że omawiać go szerzej w tym miejscu niepodobna.

4. Podsumowanie i wnioski

4.1. Komplementarność aspektów, czyli o potrzebie nowoczesnej strategii badań

Dotychczasowe rozważania wskazują wyraźnie, jak złożoną cechą jest komplementarność eksperymentów. Cecha ta została zauważona przez autorów reprezentujących różne obszary językowe i tradycje filozoficzne — jest zatem istotnym wyróżnikiem badań eksperymentalnych w nauce. Niektóre z jej aspektów — metodologiczny, socjologiczny czy ekonomiczny — mogłyby stać się przedmiotem odrębnych studiów. Tutaj jednak zapytamy bardzo ogólnie, czy pomiędzy poszczególnymi aspektami komplementarności zachodzą znaczące relacje, i czy mogą one stanowić przesłanki pozwalające na wypracowanie efektywnej strategii badań.

Spójrzmy na problem z punktu widzenia autonomicznych i heteronomicznych czynników rozwoju nauki. Z pierwszymi z nich wiążą się najściślej aspekty: metodologiczny, metodyczny i teoretyczno-techniczny. Z grupą czynników heteronomicznych powiązane są najściślej aspekty: ekonomiczny i socjologiczny oraz dość często okres i skala prowadzonych badań.

Korelacje te jednak nie są całkowicie jednoznaczne. Wiadomo i z doświadczeń polskich, i z cytowanej tutaj książki S. Weinberga, że autonomiczne poznawcze dążenia nauki bywają drastycznie ograniczane przez dysponentów publicznych funduszy. Aspekt ekonomiczny wpływa również na techniczną doskonałość badań, określa ich skalę i czas trwania, pozwala pozyskać do współpracy lepiej lub gorzej przygotowanych uczonych. Z drugiej zaś strony «czynnik ludzki» zaznaczyć się może niebagatelną siłą przekonywania w walce o środki finansowe, poparcie sponsorów i opinii publicznej, wreszcie o taką strategię badawczą, która okaże się, w danych warunkach, najbardziej efektywna.[3] Oznacza to zaś działanie — w zastanych realiach — na rzecz optymalnego zestrojenia wszystkich aspektów komplementarności eksperymentów w ten sposób, aby umożliwić nauce pełnienie jej najważniejszej funkcji: weryfikacji wiedzy. Konieczna jest zatem praca samych uczonych nad pogłębianiem własnej świadomości metodologicznej i zdobywaniem rozeznania we wszelkich aspektach funkcjonowania nauki w świecie współczesnym.

4.2. W stronę nowej filozofii nauk eksperymentalnych

W tradycyjnej metodologii wierzono bez zastrzeżeń, że istnieje wyraźna i uzasadniona opozycja pomiędzy teorią i eksperymentem, ontologią i technologią, reprezentacją i interwencją. Zarówno potoczna, jak i metodologiczna intuicja wiążą z nauką raczej pierwsze człony każdej z tych opozycyjnych par. Mają one bowiem charakter

[3] Por. referat W. Gasparskiego „Projektowanie dla poznania. Z zagadnień metodologii nauki"wygłoszony podczas Polskiego Zjazdu Filozoficznego w Toruniu (1995 r.).

działalności umysłowej, niekiedy tylko wspartej doświadczeniem zmysłowym. Człony drugie w każdej z par oznaczają czynnik działania, praktyki, techniki, czegoś podrzędnego wobec teorii, co może zniknąć, spełniwszy swą służebną rolę. Eksperyment, technika, interwencja, nie posiadają — w opinii większości filozofów nauki — samodzielnej wartości poznawczej. Z tego powodu tytuł książki A. Franklina — *The Neglect of Experiment* — wyraża również określony stan świadomości metodologicznej — świadomości, dodajmy, która jest fałszywa również ze względu na współczesne realia pracy w naukach eksperymentalnych.

Teoretycyzm współczesnej metodologii, chociaż zwalczany przez R. Rorty'ego czy neoeksperymentalistów, ustępuje jednak powoli. W tradycji filozoficznej, jak podkreślają H. Radder [Radder 1988; 1993] czy S. Lelas [Lelas 1993], teoria zawsze dotyczy świata i jego imanentnych własności, jest *about the world*. Nie dotyczy natomiast naszych testów, przedsięwzięć eksperymentalnych, techniki. Nastała już pora, zauważa H. Radder, aby mówiąc o nauce, mówić także o praktyce eksperymentalnej i technologii angażującej teorie naukowe — aby mówić o nauce jako *science in the world*: takiej nauce, w której następuje systematyczna, materialna realizacja (termin G. Bachelarda przypomniany przez H. Raddera) idei i pomysłów teoretycznych. Te zaś, zmaterializowane, zaczynają żyć swoim własnym życiem — w przyrodzie i w środowisku cywilizacyjnym człowieka. Ujawnia się w nich zatem, mówiąc językiem tego tekstu, istotna komplementarność teorii i techniki.

Procesy, o których mowa, rozpoczynają się w łonie samej nauki. Teoria mówi o tym, co jest, technika eksperymentalna — *know-how* — o tym, co jest możliwe. Neoeksperymentaliści, zwłaszcza I. Hacking [Hacking 1983], zwracają uwagę na istotny wyróżnik dzisiejszej fizyki: nauka ta przeszła mianowicie do «rutynowej produkcji» efektów związanych z określonym typem aparatury. „Eksperymentować — znaczy wytwarzać, produkować, doskonalić i stabilizować zjawiska" [Hacking 1983, s. 230]. Dzisiejsza fizyka, częściowo także chemia oraz niektóre działy biologii, wyrosły z aktywnego, kreatywnego doświadczenia. Eksperymentalna działalność nauki posiada zaś «swoje własne życie», własną historię i autonomię w obrębie przyrodoznawstwa.

Zdeterminowanie teorii działalnością eksperymentalną, podkreśla S. Lelas [Lelas 1993], wyraża się w coraz częściej ponawianym postulacie, aby nowe teorie wyposażone były w kod praktyczny dotyczący eksperymentu, aby mogły pomyślnie przejść próbę praktyki. Struktura teorii musi być na tyle kompatybilna ze strukturą eksperymentu (będącego w zasięgu współczesnej technologii lub chociażby pomyślanego), aby teoria mogła stać się częścią «wiedzy w świecie». Jeżeli nauka nie polega tylko na teoretyzowaniu, lecz i na działaniu, to teoria zależy od aktywności eksperymentalnej, a eksperymentowanie — od teorii. Teoria zaś może być postrzegana nie tylko jako przewodnik działań intelektualnych, lecz i jako instrument projektowania eksperymentu.

Literatura

Catt J.A., Henderson I.F., 1993, „Rothamsted Experimental Station — 150 Years of Agricultural Research: The Longest Continuos Scientific Experiment?", *Interdisciplinary Science Review*, vol. 18, no 4.

Franklin A., 1981, „What Makes a «Good» Experiment?", *British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 32, no 3.

Franklin A., 1986, *The Neglect of Experiment*, Cambridge.

Galison P., 1987, *How Experiments End*, Chicago - London.

Hacking I., 1983, *Representing and Intervening*, Cambridge.

Hacking I., 1985, „Do We See Through a Microscope?", [w:] P.M. Churchland, C.A. Hooker (red.), *Images of Science*, Chicago - London. Tłum. polskie w: D. Sobczyńska, P. Zeidler (red.) *Nowy eksperymentalizm — teoretycyzm — reprezentacja*, Poznań 1994.

Kapica P.L., 1969, „Przyszłość nauki", [w:] P.L. Kapica i in., *Przyczynek do rozwoju nauki w świecie współczesnym*, Warszawa.

Lai T., 1984, „On the Philosophical Relevance of the Technically Good Experiments", *British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 35, no 2.

Lelas S., 1993, „Science as Technology", *British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 44, no 3.

Morrison M., 1986, „More on the Relationship Between Technically Good and Conceptually Important Experiments", *British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 37, no 1.

Radder H., 1988, *The Material Realization in Science*, Van Gorcum.

Radder H., 1993, „Science, Realization and Reality", *Studies in the History and Philosophy of Science*, vol. 24, no 3.

Sobczyńska D., Sobczyński A., w druku, „Fullereny: proces odkrycia naukowego w perspektywie eksperymentalistycznej".

Such J., 1975, *Czy istnieje experimentum crucis?*, Warszawa.

Such J., 1992, „O tak zwanych eksperymentach komplementarnych", [w:] D. Sobczyńska, P. Zeidler (red.) *Nowy eksperymentalizm — teoretycyzm — reprezentacja*, Poznań.

Szczuciński A., 1992, „Między eksperymentem fizycznym i technicznym", [w:] J. Such, J. Wiśniewski (red.) *Teoria i eksperyment*, Poznań.

Weinberg S., 1994, *Sen o teorii ostatecznej*, Warszawa.

Wooley R.G., 1978, „Must a Molecule Have a Shape?", *J. Amer. Chem. Soc.*, 15.

Zenzen M., Restivo S., 1982, „The Mysterious Morphology of Immisible Liquids: A Study of Scientific Practise", *Social Science Information*, vol. 21, no.3.