

Sławomir Leciejewski

Specyfika wspomaganych komputerowo badań eksperymentalnych w naukach przyrodniczych

Studia Philosophiae Christianae 45/1, 119-131

2009

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

SŁAWOMIR LECIEJEWSKI
Institut Filozofii UAM, Poznań

SPECYFIKA WSPOMAGANYCH KOMPUTEROWO BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH W NAUKACH PRZYRODNICZYCH

1. Wprowadzenie. 2. „Odległość” pomiędzy podmiotem a przedmiotem eksperymentu z kwbd. 3. Interpretacja wyników eksperymentów z kwbd. 4. Metody numeryczne w układach empirycznych – uzasadnianie numeryczne. 5. Podsumowanie.

1. WPROWADZENIE

Zastosowanie komputera w laboratoryjnych układach badawczych prowadzi na ogół do znacznego zwiększenia możliwości pomiarowych. Komputer pozwala na prowadzenie pomiarów w sposób nieprzerwany przez długi czas, analizę dowolnej liczby danych doświadczalnych napływających z dużą szybkością i jednocześnie kontrolę wielu urządzeń laboratoryjnych. Dane wprowadzone do pamięci komputera poddawać można dowolnemu przetwarzaniu, między innymi cyfrowej redukcji szumów, filtracji czy uśrednianiu. Ułatwiony jest proces znajdowania widma sygnału (szybka transformata Fouriera), dopasowania rezultatów pomiarowych do przewidywań teoretycznych, analizy statystycznej. Analizę danych doświadczalnych można przeprowadzić w trakcie pomiaru i na bieżąco wpływać na warunki doświadczania.

W przypadku eksperymentu wykorzystującego współczesne techniki informatyczne mamy do czynienia z trzema wzajemnie na siebie oddziałującymi czynnikami: eksperymentatorem (podmiotem – P) projektującym eksperyment i interpretującym jego wyniki, badanym obiektem (O), tj. przedmiotem badań doświadczalnych (np. zjawiskiem, procesem itp.) oraz z tym, co pośredniczy pomiędzy P i O,

tj. z systemem automatyzacji badań doświadczalnych (abd)¹. Wiele może być powodów wprowadzenia takiego ogniwa pośredniczącego. System automatyzacji badań doświadczalnych może:

- chronić organizm eksperymentatora przed szkodliwym oddziaływaniem obiektu badanego,
- odciążyć eksperymentatora od zbyt żmudnych i bardzo czasochłonnych czynności,
- zwiększyć dokładność pomiarów lub/i ich liczbę wykonanych w jednostce czasu,
- ułatwić operowanie dużymi zbiorami danych,
- umożliwić koordynację wielu czynności związanych z wykonywaniem złożonego doświadczenia,
- zapewnić optymalne warunki wykonywania doświadczeń zgodnie z założonymi kryteriami ich efektywności,
- pomóc w przedstawieniu wyników badań w sposób bardziej poglądowy,
- pomóc w selekcji wyników oraz w ich syntezie.

Częścią abd może być tzw. komputerowe wspomaganie badań doświadczalnych (kwbd). Jest to „ogół metod i środków służących usprawnieniu, zgodnie z założeniami eksperymentu (naukowego, technicznego, medycznego itd.), procesów pobierania informacji o badanym obiekcie i jej przetwarzania za pomocą środków techniki komputerowej (...). Środki sprzętowe i programowe zastosowane do tego celu w określonym eksperymencie (...) tworzą system kwbd. System ten (...) jest integralną (a niekiedy główną) częścią składową systemu abd. Ten ostatni, rozumiany szeroko, może ponadto obejmować, z jednej strony – środki pobierania danych doświadczalnych (a więc: czujniki, urządzenia pomiarowe, manipulatory laboratoryjne itp.), z drugiej zaś strony – środki udostępniania danych (służące do ich wizualizacji, archiwizowania, rozpowszechniania itp.)”².

W swoim artykule omówię specyfikę współczesnego sposobu eksperymentowania, która wynika z coraz powszechniejszego stosowania technik informatycznych. Wpływa ono na zmianę relacji

¹ Terminy „automatyzacja badań doświadczalnych” i „komputerowe wspomaganie badań doświadczalnych” zaczerpnięto z: J. Kulkowski, *Komputery w badaniach doświadczalnych*, Warszawa 1993.

² Tamże, 8.

pomiędzy podmiotem eksperymentu (P) a jego przedmiotem, tj. badanym obiektem (O), co wywiera wpływ na wyniki badań przeprowadzanych z użyciem komputerów.

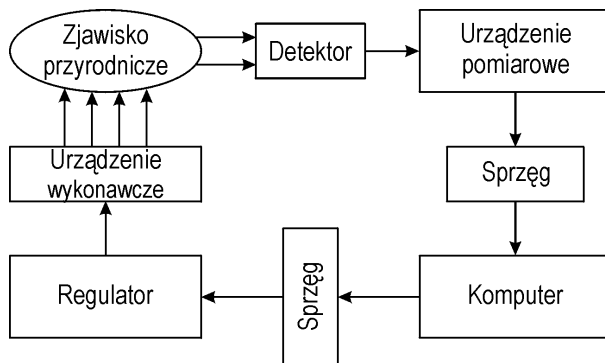
W artykule spróbuję odpowiedzieć na następujące pytania. Czy zastosowanie komputerowego wspomagania badań doświadczalnych wprowadza do eksperymentów tylko niepodlegające dyskusji zmiany ilościowe, czy także mamy tu do czynienia ze zmianami jakościowymi? Czy zmienia się „odległość” pomiędzy podmiotem (P) a przedmiotem (O) eksperymentu dzięki zastosowaniu sprzęgów (interface)? Czy interpretacja wyników eksperymentów z kwbd różni się od interpretacji wyników klasycznych badań empirycznych? Czy zastosowanie metod numerycznych wprowadza inny rodzaj uzasadniania hipotez naukowych (uzasadnianie numeryczne)? Czy zatem status eksperymentatora w naukach empirycznych zmienia się w sposób jakościowy w przypadku, gdy eksperyment czy teoretyczne badanie naukowe jest wspomagane przez współczesne techniki informatyczne? Czy zatem wspomagane komputerowo badania eksperymentalne mają swoją specyfikę? Czy różnią się jakościowo od badań eksperymentalnych przeprowadzanych bez wspomagania komputerowego?

2. „ODLEGŁOŚĆ” POMIĘDZY PODMIOTEM A PRZEDMIOTEM EKSPERYMENTU Z KWBD

Możliwości maszyn cyfrowych w dziedzinie przetwarzania informacji są wykorzystywane w laboratoriach do zbierania i przetwarzania danych oraz analizy i kontroli parametrów eksperymentu³. Komputery są szczególnie niezbędne w tych eksperymentach, w których dane napływają z dużą szybkością, z wielu źródeł, jak również gdy zachodzi konieczność bieżącej kontroli wielu parametrów, gdy w dodatku doświadczenie jest przeprowadzane przez długi czas.

Ogólny schemat układu eksperymentalnego wykorzystującego komputer przedstawiono na rysunku:

³ Kwestie poruszane w niniejszym paragrafie omawiam, wykorzystując ustalenia poczynione w pracach: J. L. Kulikowski, dz. cyt.; T. Stacewicz, A. Kotlicki, *Elektronika w laboratorium naukowym*, Warszawa 1994, 278–300; H. Szydłowski, *Pomiary fizyczne za pomocą komputera*, Poznań 1999, 11–26.



Schemat układu eksperymentalnego wykorzystującego komputer

W wyniku zjawisk przyrodniczych w detektorach (czujnikach) powstają sygnały elektryczne odpowiadające wielkościom fizycznym (jak: temperatura, ciśnienie, naprężenie, natężenie promieniowania, natężenie pola magnetycznego, potencjał elektrochemiczny itp.). Zwykle sygnały te nie mogą być przekazane bezpośrednio do komputera i wymagają przetworzenia w urządzeniach pomiarowych (jak: dyskryminator, analizator amplitudy, woltomierz fazowy itp.). Urządzenia pomiarowe łączą się z urządzeniem cyfrowym za pomocą sprzęgów (interface). Również za pośrednictwem sprzęgów komputer steruje regulatorami, co umożliwi kontrolę parametrów eksperymentu za pomocą urządzeń wykonawczych (jak np. grzejniki, zawory dozujące, silniki, zasilacze, regulatory natężenia promieniowania itp.).

Większość detektorów i urządzeń pomiarowych reaguje na oddziaływanie fizyczne, takie jak: ciśnienie, temperatura, napięcie elektryczne, szybkość przepływu cieczy itp., które w określonych granicach zmieniają się w sposób ciągły⁴. Oddziaływania takie nazywa się sygnałami analogowymi. W celu przystosowania ich do komputerowej obróbki, sygnały analogowe muszą być przetworzone w kodowane zapisy cyfrowe. Rolę tę spełniają przetworniki analo-

⁴ Por. J. L. Kulikowski, dz. cyt., 84–101.

gowo–cyfrowe (a/c), umieszczone na styku analogowej i cyfrowej części systemu (między urządzeniem pomiarowym a komputerem na rysunku). Podobnie, jeśli sygnały cyfrowe (np. z komputera sterującego eksperymentem) mają być użyte do wytwarzania sygnałów analogowych (np. zmiany położenia osi potencjometru, kąta ustawienia obiektywu przyrządu optycznego, podgrzania badanej próbki itp.), to muszą być one przetworzone w postać analogową za pomocą przetwornika (c/a) cyfrowo–analogowego (między komputerem a regulatorem na rysunku).

Z punktu widzenia projektanta i użytkownika systemu przedstawionego na rysunku, istotny jest wybór przetworników a/c i c/a w taki sposób, by ich parametry odpowiadały przewidzianej dla nich klasie zastosowań. Jedną z takich cech charakterystycznych przetwornika a/c i c/a jest fizyczny charakter sygnału analogowego i dopuszczalny zakres jego zmienności na wejściu przetwornika a/c (lub wyjściu przetwornika c/a). W praktyce analogowe sygnały nieelektryczne przed wprowadzeniem do interfejsu powinny być przekształcone w analogowe sygnały elektryczne (napięciowe lub prądowe). Standardowe przetworniki a/c są bowiem produkowane jako układy scalone przetwarzające analogowe sygnały elektryczne w elektryczne sygnały cyfrowe. Do najważniejszych parametrów charakteryzujących takie przetworniki należą:

1. rzeczywisty zakres przetwarzania (od U_0 do U_{\max}),
2. całkowity błąd przetwarzania („szum kwantowania”),
3. współczynnik różniczkowej nieliniowości przetwornika.

Do ważnych cech charakterystycznych przetworników a/c należą także czas i częstotliwość przetwarzania. Czas przetwarzania to czas upływający między momentem podania na wejście przetwornika sygnału inicjującego odczyt napięcia a momentem ustalenia się na wyjściu zakodowanej wartości napięcia. Częstotliwość przetwarzania natomiast to maksymalna liczba przetworzeń napięcia wejściowego w wartości zakodowane w jednostce czasu. Tak więc każdy taki przetwornik a/c ma określoną „bezwładność” (czas przetwarzania), co może prowadzić do „niezauważenia” przez system kwbd pewnych szybkozmiennych procesów. Natomiast „ziarnistość” (częstotliwość przetwarzania) w pobieraniu danych może spowodować to, że system kwbd nie „zauważy” procesów przebiegających pomiędzy

skwantowanymi (co wynika z istoty działania przetworników a/c i c/a) chwilami odczytu danych z urządzenia pomiarowego.

Tak więc zastosowanie kwbd z przetwornikami a/c (pomiędzy urządzeniem pomiarowym a komputerem) i c/a (pomiędzy komputerem a regulatorem), ze względu na „szumy” w tych przetwornikach wywołane tak wieloma czynnikami, że nie sposób ich uwzględnić i wyeliminować, powoduje, że niejednokrotnie eksperymentator „widzi” w badanym zjawisku znacznie więcej (lub mniej), niż się później okazuje, np. z badań prowadzonych alternatywnymi metodami (o ile takie są możliwe).

Można zatem zauważyć, że problem produkowania artefaktów przez aparaturę z rysunku jest złożony. Do części analogowej niewątpliwie i z powodzeniem można by odnieść intuicje przedstawicieli nowego eksperymentalizmu: I. Hackinga i A. Franklina⁵. W przypadku części *stricte* cyfrowej (tj. komputera) właściwie problemu nie ma, gdyż komputer albo działa właściwie, albo nie działa wcale; jest to kolejna z wielu jego zalet. Niestety bardzo skomplikowane jest zagadnienie tworzenia się artefaktów w sprzęgach (interfejsach).

⁵ Przedstawiciele nowego eksperymentalizmu reprezentują nowy sposób uprawiania metodologii. Na podstawie analiz eksperymentów – w wykonaniu których częstokroć uczestniczą – wyciągają wnioski i postulaty odnoszące się do praktyki naukowej.

I. Hacking, A. Franklin i P. Galison są zdania, że eksperymentowanie w nauce współczesnej staje się w dużym stopniu działalnością autonomiczną. Świadczy na korzyść tej tezy mają: dychotomia „kultur teoretycznych” i „kultur eksperymentalnych”, ścisły związek pracy eksperymentalnej z techniką i technologią oraz a–teoretyczność niektórych praktyk eksperymentalnych.

Bardzo ważną rolę, jaką ma spełniać eksperyment według przedstawicieli nowego eksperymentalizmu, jest kreowanie nowych zjawisk takich, które nie występują w przyrodzie. I. Hacking uważa, że eksperymentować, to znaczy wytwarzać, produkować, doskonalić i stabilizować zjawiska. Postulatem trzech wyżej wymienionych autorów jest przyznanie zasadniczej roli w eksperymentalnym badaniu naukowym – manipulowaniu, działaniu, ingerencji (*intervening*).

A. Franklin uważa, że w nauce dość często zdarzają się przypadki, gdy eksperyment wskazuje na potrzebę poszukiwania nowej teorii (np. badania nad niezachowaniem parzystości). Są także eksperymenty pomiarowe, które niekoniecznie muszą być „mocno” zaangażowane teoretycznie (np. XIX–wieczna spektroskopia).

Tutaj nie wystarczą proste sposoby ich demaskowania, np. na podstawie sieci, koincydencji czy „ślepej próby”⁶.

Oczywiście można próbować stosować różne metody kodowania sygnału cyfrowego i porównywać uzyskane rezultaty, ale ze względu na tzw. minimalne napięcie z zakresu przetwarzania interfejsu trudno mówić o ślepej próbie. Wtedy gdy będziemy testowali „podkład” i będzie on poniżej minimalnego napięcia na przetworniku a/c, po prostu nie otrzymamy żadnej informacji o tym „podkładzie”. A przecież może on, później, w czasie eksperymentu, nałożony na sygnał od obiektu badanego, dawać przyczynek do nieadekwatnego obrazu tej sytuacji; jednocześnie nie będziemy mogli tego artefaktu wyeliminować, gdyż nie będziemy nic o nim wiedzieć.

Tak więc wprowadzenie kwbd powoduje „oddalenie” eksperymentatora od obiektu badanego oraz pojawienie się zupełnie nowych artefaktów, które nie mogły pojawić się w eksperymentach przeprowadzanych bez użycia komputerów. Wprowadzenie urządzeń komputerowych będących częścią układu eksperymentalnego powoduje pojawienie się jakościowo nowych błędów, wobec których eksperymentatorzy wykorzystujący współczesne techniki eksperymentalne nie mogą przejść obojętnie.

3. INTERPRETACJA WYNIKÓW EKSPERYMENTÓW Z KWBD

Interpretacji wyników eksperymentów przeprowadzanych z kwbd dokonam na przykładzie urządzenia pomiarowego FT-IR (*Fourier Transform Infrared Spectrometer*). Spektroskopia w podczerwieni stosowana jest szeroko np. w katalizie do charakterystyki katalizatora oraz określenia struktury cząstek zaabsorbowanych na powierzchni. Jej zaletą jest możliwość rejestracji widm w podwyższonych temperaturach (do ok. 700 K) i ciśnieniach zbliżonych do tych, w jakich zachodzi reakcja.

Techniki transformacji fourierowskiej w spektroskopii stanowią fizyczną realizację procedury matematycznej. W spektroskopii

⁶ Omówienie problemu demaskowania artefaktów zaproponowane przez I. Hackinga i A. Franklina znaleźć można w: D. Sobczyńska, *Wokół filozofii eksperymentu. Poglądy „nowego eksperymentalizmu”*, w: *Teoria i eksperyment*, red. J. Such, J. Wiśniewski, Poznań 1992, 27–28.

w podczerwieni z transformacją Fouriera (FT-IR) konstruuje się interferogram, doprowadzając do interferencji dwie wiązki promieniowania o nieco różnych drogach optycznych i rejestrując natężenie promieniowania jako funkcję różnicy dróg optycznych⁷.

Szerokie stosowanie tej metody okazało się możliwe dzięki sprzęgnięciu spektrometru z komputerem, co umożliwiło bardzo szybkie wykonywanie skomplikowanych i pracochłonnych obliczeń transformaty Fouriera i przedstawienie wyniku w postaci widma IR na ekranie monitora lub w postaci wydruku.

Sposób wymiany danych pomiędzy spektrometrem a komputerem odbywa się w sposób analogiczny do przedstawionego na rysunku. Interesująca jest sama obróbka sygnału z detektora (tj. wyniku pomiaru) przez system komputerowy. Może być ona realizowana np. przez program *Bio-Rad MERLIN*, który pozwala także rejestrować widmo IR związku i zapisywać je w pamięci komputera.

Program ten pozwala również na porównywanie danego widma z widmami biblioteki dostarczonej wraz z oprogramowaniem. Biblioteka *Bio-Rad IR SearchMaster* umożliwia wyszukanie w widmie charakterystycznych pasm, pochodzących np. od pary wodnej, tlenków węgla itd. Pozwala również porównywać zarejestrowane widma z widmami znajdującymi się w bibliotece. Odbywa się to na trzy sposoby, poprzez porównanie:

1. intensywności pasm,
2. częstotliwości charakterystycznych pasm (struktur)⁸,
3. pól powierzchni pików⁹.

Dwie pierwsze z wyżej wymienionych metod porównywania widm empirycznych z widmami teoretycznymi z powodzeniem stosowane były przed wprowadzeniem kwbd. Zastosowanie w nich komputera do interpretacji wyników wprowadziło tylko zmiany ilościowe – dokładniejsze i szybsze porównanie danych empirycznych z krzywymi teoretycznymi. Stosowanie zaś metody porównania pól po-

⁷ Por. schemat interferometru Michelsona znajdujący się w: P. W. Atkins, *Chemia. Przewodnik po chemii fizycznej*, tłum. z ang. K. Pigoń, Warszawa 1997, 310.

⁸ Częstotliwość charakterystycznych pasm, tj. ich położenie na wykresie świadczy o rodzaju danego związku chemicznego.

⁹ Pola powierzchni pików pozwalają na badania ilościowe, które informują o strukturze danego związku, która wpływać może np. na jego reaktywność.

wierzchni pików bez kwbd było praktycznie niemożliwe, gdyż trudno wyobrazić sobie efektywne, nienumeryczne metody liczenia pól powierzchni złożonych krzywych empirycznych¹⁰. Dlatego w tym wypadku mamy do czynienia ze zmianą jakościową w prowadzeniu badań doświadczalnych. Kwbd umożliwiło zastosowanie nowej metody interpretacji wyników eksperymentalnych (porównanie pól powierzchni pików)¹¹.

Analityczne obliczanie pól powierzchni krzywych empirycznych jest niemożliwe, gdyż nie można w sposób jednoznaczny podać funkcji opisującej takie widmo. Mogą być one zatem całkowane tylko numerycznie. Zaletą całkowania numerycznego jest to, że pozwala ono na obliczanie wartości liczbowej całek oznaczonych, gdy całkowanie metodami analitycznymi jest niemożliwe, wadą zaś – że pozwala obliczyć tylko przybliżoną wartość całki, gdyż każdy rodzaj całkowania numerycznego (np. metoda prostokątów (trapezów)¹² czy metoda kwadratur Gaussa¹³) obarczony jest błędem metody.

¹⁰ W latach 70–tych XX w. możliwe były tylko przybliżone porównania dwóch różnych widm wykonywane w mało precyzyjny sposób. Wycinano z wydruku widma piki nożyczkami i ważono wycięte fragmenty wydruku uzyskując w ten sposób relacje pomiędzy polami powierzchni pików dwóch różnych widm, uzyskanych z dwóch różnych związków chemicznych.

¹¹ Komputerowe wspomaganie badań doświadczalnych (kwbd) umożliwia interpretację widma, która nie byłaby możliwa dla bardzo skomplikowanych związków bez kwbd. W latach 70–tych XX w. nie można było uzyskać bardzo czułego widma i nie można było go dobrze zinterpretować. W wyniku mało rozwiniętej wtedy techniki spektroskopowej nie można było na przykład uzyskać dynamicznego modelu cząsteczki.

Warto nadmienić, że rewolucje naukowe dokonują się często poprzez skok technologiczny w aparaturze pomiarowej (wspomaganej komputerowo). Zdominowanie filozofii nauki przez analizy wytworów pracy naukowej może prowadzić do niezauważenia specyfiki czynności pracy naukowców i konsekwencji metodologicznych wpływających z praktyki laboratoryjnej. Konsekwencje analiz pracy badawczej mogą być znaczące (np. przedstawione w niniejszym artykule) a często są pomijane w analizach metodologicznych.

¹² Omówienie metody prostokątów (trapezów) znaleźć można w: Z. Fortuna, B. Macukow, J. Wąsowski, *Metody numeryczne*, Warszawa 2001, 164–175.

¹³ Omówienie metody kwadratur Gaussa znaleźć można w: Tamże, 175–185.

Obserwator stosujący w swych badaniach kwbd otrzymuje narzędzie, które umożliwi prowadzenie efektywnego porównywania wyników eksperymentów z założoną teorią. Nie byłoby to możliwe bez stosowania systemu kwbd, zwiększającego także szybkość i dokładność pomiarów.

Eksperymentowanie z kwbd rodzi także nowe problemy. Oprócz tych dotyczących skwantowania danych pobieranych przez komputer z detektora i prowadzących do niepewności odnośnie do tego, co dzieje się z układem badanym pomiędzy kolejnymi pomiarami, pojawiają się także nowe błędy wynikające ze stosowania metod numerycznych.

Tym samym obserwator stosujący kwbd „przybliży się” do badanego zjawiska (poprzez nowe numeryczne metody analizy danych doświadczalnych), a jednocześnie się od niego „oddala” (dzięki nowym klasom błędów będących rezultatem stosowania interfejsów i niedokładności metod numerycznych).

4. METODY NUMERYCZNE W UKŁADACH EMPIRYCZNYCH – UZASADNIANIE NUMERYCZNE

Metody numeryczne są działem matematyki stosowanej, którego przedstawiciele zajmują się opracowywaniem i badaniem metod przybliżonego rozwiązywania problemów obliczeniowych w modelach matematycznych fizyki, techniki, ekonomii czy medycyny itd. Poszukiwanie takich metod przybliżonego rozwiązywania zagadnień obliczeniowych ma długą tradycję (Gauss, Newton, Fourier), jednak rozwój nowoczesnych metod numerycznych rozpoczął się dopiero w latach pięćdziesiątych XX w. dzięki zastosowaniu komputerów i, co za tym idzie, radykalnemu rozwojowi możliwości obliczeniowych.

Jak wiadomo, wyniki metod numerycznych znajdują praktyczne zastosowanie m.in. w grafice komputerowej i przetwarzaniu sygnałów cyfrowych. Jednym z klasycznych zastosowań metod numerycznych jest także całkowanie newtonowskich równań ruchu w ramach szczególnej teorii zaburzeń.

Prace matematyków wskazały na trudności dotyczące analitycznego uzasadnienia stabilności Układu Słonecznego. Metody analityczne bowiem mogą być stosowane w sposób ścisły tylko do nie-

skończenie małych zaburzeń, gdyż prowadzą do rozwiązań w postaci szeregów, które nie zawsze są zbieżne. Dlatego niekiedy pewniejsze rezultaty daje numeryczna szczególnie teoria zaburzeń. Metodę tę można zastosować np. przy badaniu orbit planet w Układzie Słonecznym. Może ona służyć do uzasadnienia stabilności układu oraz prowadzić do znalezienia ważnych prawidłości (np. zjawiska chaosu dla orbit niektórych planet).

W drugiej połowie XX w. zaczęto zatem stosować obliczenia numeryczne z wykorzystaniem komputerów dla uzasadniania stabilności Układu Słonecznego. Do niedawna podobne zadanie przerażało znacznie możliwości obliczeniowe komputerów. Oszacowano, że prześledzenie torów planet Układu Słonecznego w ciągu wieku z zadowalającą dokładnością obliczeniową wymagałoby rocznej pracy superkomputera (10^{15} operacji arytmetycznych). Ponieważ jednak szybkość nowych komputerów podwaja się średnio co półtora roku (prawo Moore'a), nie mówiąc już o pojawieniu się komputerów wieloprocesorowych, w latach dziewięćdziesiątych XX w. osiągnięto interesujące wyniki dotyczące zarówno przyszłości, jak i przeszłości Układu Słonecznego. Wykazano, że przez około 10^9 lat od chwili obecnej orbity czterech wielkich planet zewnętrznych nie podlegają znaczącym, nieregularnym zmianom, lecz są przewidywalne niemalże zgodnie z wyobrażeniami Newtona, Laplace'a i Lagrange'a.

Podczas obliczeń numerycznych orbit Plutona, Ziemi i Marsa stwierdzono, że są one chaotyczne, tzn. cechują się wielką wrażliwością na warunki początkowe. Z tego względu, na przykład dokładny rozmiar i położenie orbity Plutona po upływie około 500 mln lat są zupełnie nieprzewidywalne; podanie położenia i mimośrodów orbity Ziemi za 50 do 100 mln lat także jest niemożliwe; również nachylenie osi obrotu większości planet od ekliptyki nie jest przewidywalne w skali miliardów lat i może się zmienić.

Warto podkreślić, że to właśnie niedoskonałości metod analitycznych służących do uzasadniania stabilności Układu Słonecznego skłoniły naukowców do szukania zupełnie innych metod uzasadniania. Dzięki wzrostowi szybkości obliczeniowej współczesnych komputerów stało się możliwe powstanie nowego typu uzasadniania, dla którego proponuję nazwę „uzasadnianie numeryczne”. Dzięki dużej mocy obliczeniowej możliwe jest stosowanie złożonych i cza-

sochłonnych metod numerycznych, które nie mogły być stosowane wcześniej, gdyż obliczenia trwałyby dziesiątki, a nawet setki lat.

W przypadku procedury uzasadniania numerycznego mamy do czynienia z komputerem jako urządzeniem pośredniczącym pomiędzy obserwatorem (eksperymentatorem) a badanym zjawiskiem. Zastosowanie metod numerycznych przy analizie danych empirycznych często w ogóle umożliwia uzasadnienie jakiejś prawidłowości czy hipotezy (np. stabilności Układu Słonecznego), jednakże może także wprowadzać nowe jakościowo błędy (artefakty powstające w sprzęgach, błędy zaokrągleń w obliczeniach numerycznych itd.). Ponadto zastosowanie współczesnych technik informatycznych w naukach empirycznych wymusza na eksperymentatorze posiadanie dodatkowych kompetencji w postaci wiedzy i umiejętności informatycznych. Są one niezbędne do napisania programu analizującego dane, a także pozwalają ustrzec się od błędów, które mogą pochodzić z cyfrowej części układu eksperymentalnego¹⁴.

5. PODSUMOWANIE

Na zakończenie warto jeszcze raz powtórzyć odpowiedź na pytanie, czy zastosowanie współczesnych technik informatycznych w badaniach z zakresu nauk empirycznych zmienia coś w sposobie eksperymentowania? Niewątpliwie i bezdyskusyjnie są zmiany ilościowe w eksperymentach z komputerowym wspomaganie badań doświadczalnych. Eksperymentator w tym wypadku otrzymuje szybkie i precyzyjne narzędzie służące do rejestracji pomiarów oraz przeprowadzania obliczeń¹⁵.

Zastosowanie komputerów w badaniach doświadczalnych wprowadza ponadto pojawienie się nowych jakości, tj. umożliwia stosowanie nowych metod interpretacji wyników eksperymentów, które byłyby niemożliwe bez kwbd. Ponadto dzięki dużej mocy obliczeniowej współczesnych komputerów możliwe jest stosowanie złożo-

¹⁴ Por. S. Leciejewski, *Komputer we współczesnych eksperymentach naukowych (próba przypisu do koncepcji nowego eksperymentalizmu)*, w: *Cywilizacyjne dylematy rozwoju nauki i techniki*, red. A. Szczuciński, Poznań 2000, 71–74, 76, 78, 80–90.

¹⁵ Por. W. Ufnalski, *Obliczenia fizykochemiczne na Twoim PC*, Warszawa 1997.

nych i czasochłonnych metod numerycznych, które nie mogły być stosowane w przeszłości.

Można więc powiedzieć, że dzięki zastosowaniu kwbd sytuacja eksperymentatora uległa zmianie. Użycie współczesnych technik informatycznych w naukach empirycznych otworzyło dla obserwatora nowe jakościowo sposoby badań naukowych (nowe sposoby porównywania danych empirycznych z założoną teorią oraz możliwość uzasadniania numerycznego). Wprowadziło także nowe klasy błędów (błędy metod numerycznych, artefakty powstające w sprzęgach), które musi on uwzględniać w swej pracy badawczej.

Tak więc wspomagane komputerowo badania eksperymentalne mają swoją specyfikę i są jakościowo inne względem badań przeprowadzanych bez kwbd.

CHARACTERISTIC OF EXPERIMENTAL RESEARCH IN LIFE SCIENCE SUPPORTED BY COMPUTERS

Summary

The use of computers in research laboratories results in significant increase in measurement abilities. Computers allow continuous and long-lasting measurement, the analysis of unlimited empirical data inflowing of a great speed, and simultaneous control of numerous laboratory devices. Data can be processed in any way, for example by digital noise reduction, filtration or averaging. Such procedures of adjusting obtained measurement to predicted results, and statistical analysis can be conducted more easily. Empirical data analysis can be conducted during the measurement process which allows immediate modification of the experiment conditions.

The experiment which applies modern computing technology consists of three interacting factors: experimenter (P) whose role is to project the experiment and analyze the findings, object undergoing the research (O) and automated empirical research system which is a connection between P and O and which can contain so-called computer aided empirical research (KWBD).

The paper presents the specificity of the modern way of experimenting which is the result of more common usage of computer technology. It influences the experimenter and the object relation which affects the results of the study carried out with the application of computers.