

Zenon E. Roskal

Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II

Zasada przyczynowości w kontekście eksperymentalnych badań ruchów Browna

Zasada przyczynowości doskonale ilustruje interakcje pomiędzy nauką i filozofią. Sformułowana na gruncie filozofii była wielokrotnie wykorzystywana w nauce, także w badaniach tzw. ruchów Browna¹. W filozofii scholastycznej na zasadzie przyczynowości oparte były argumenty za istnieniem Boga. Podważanie tych argumentów przez filozofów nowożytnych dało z jednej strony radykalną krytykę ontologicznych sformułowań tej zasady (Hume), z drugiej zaś strony, jej oryginalne ujęcie (Kant), zgodnie z którym zasada przyczynowości ma charakter epistemologiczny. Pod wpływem prac J.S. Milla (1806–1873) ukształtowała się ontologiczna interpretacja zasady przyczynowości jako tezy na temat ustroju przyrody.

Wszeczeńświat, tak dalece jak go znamy, jest zbudowany w ten sposób, że cokolwiek jest prawdą w jednym przypadku, jest prawdą we wszystkich przypadkach pewnego rodzaju; jedyną trudnością jest znaleźć, jakiego rodzaju są te przypadki. Ten fakt powszechny, który jest naszym gwarantem wszystkich wniosków z doświadczenia, różni filozofowie opisywali w różnej postaci słownej. Mówili, że bieg zdarzeń w naturze jest jednostajny; że wszeczeńświatem rządzą prawa ogólne; i rzeczy temu podobne.²

Mill zasadę przyczynowości rozumiał ontologicznie jako jednostajność przyrody. Z drugiej strony charakteryzując praktykę badawczą nauk przyrodniczych uważał, że badania eksperymentalne charakteryzują się poszukiwaniem przyczyn:

¹ Aproksymacją tego zjawiska w „długim” okresie czasu jest tzw. proces Wienera. Jeden z najbardziej znanych procesów stochastycznych cechującą się mocną własnością Markowa (proces Markowa), zgodnie z którą przyszłe stany procesu są warunkowo niezależne od stanów przeszłych. Ruchy Browna były przedmiotem filozoficznych analiz. Por. m.in. D. Mayo, *Brownian motion and the Appraisal of Theories*, [w:] A. Donovan et al. (eds.), *Scrutinizing Science. Empirical Studies of Scientific Change*, Kluwer, Dordrecht 1988, s. 219-243; J. von Plato, *Theory and Experiment in the Study of Brownian Motion and Radioactivity*, [w:] D. Anapolitanos et al. (eds.), *Philosophy and the Many Faces of Science*, Rowman, New York 1997, s. 144-154.

² J.S. Mill, *System logiki dedukcyjnej i indukcyjnej*, przeł. C. Znamierowski, PWN, Warszawa, 1962, t. 1, s. 477.

Obserwacja, krótko mówiąc, bez eksperymentu (zakładając, że dedukcja nie daje żadnej pomocy) może ustalać następstwa i współlistnienia, lecz nie może wykazywać związku przyczynowego.³

Według tego filozofa tylko eksperyment jest w stanie wykazać istnienie związku przyczynowego pomiędzy badanymi zjawiskami. Zasada przyczynowości i badania eksperymentalne zostały zatem już u Milla powiązane i dociekania istoty metody eksperymentalnej powinny, jak sądzę, zawierać analizy zastosowań zasady przyczynowości.

Prace tzw. nowych eksperymentalistów utworzyły nowe konteksty analizy badań empirycznych. Filozofowie ci

[...] próbują właśnie wyodrębnić, opisać i bliżej scharakteryzować te elementy eksperymentalnego postępowania, które zapewniają obiektywność eksperymentalnym wynikom, tzn. decydują o tym, że wyników tych nie można interpretować wyłącznie w kategoriach subiektywnych, jako rezultatów psychologicznych, historycznych, socjologiczno-ekonomicznych uwarunkowań, lecz że są one wynikiem oddziaływań zachodzących w realnie istniejącym świecie przyrody.⁴

Zasada przyczynowości w interpretacji ontologicznej gwarantuje istnienie obiektywnej sfery bytu, ale problemem jest to, w jaki sposób badania eksperymentalne są w stanie odsłonić obiektywną rzeczywistość?

W artykule spróbuję odpowiedzieć na pytanie, czy badania eksperymentalne, które miały na celu potwierdzenie hipotezy, zgodnie z którą przyczyną ruchów Browna jest oddziaływanie molekuł cieczy na cząsteczki zawiesziny, dają się wpisać w koncepcję eksperymentu lansowaną przez nowych eksperymentalistów? Przyjmując perspektywę Milla, zgodnie z którą tylko eksperyment ujawnia istnienie związku przyczynowego, chcę pokazać, że w eksperymentach mających potwierdzić teoretyczny opis ruchów Browna podany przez Einsteina i Smoluchowskiego, były elementy, które ufundowały obiektywność kauzalnego modelu zjawiska ruchów Browna.

Cele te wyznaczają strukturę artykułu, który będzie się składać z trzech części. W pierwszej części przedstawię szkieletowo dyskusję nad zasadą przyczynowości, wyodrębniając taką jej interpretację, która będzie relewantna dla problematyki badań ruchów Browna. W części drugiej wyodrębnię ciąg prac badawczych nad

³ *Ibidem*, s. 598. Stanowisko Milla wydaje się zbieżne z tzw. manipulacyjną koncepcją przyczynowości, którą rozwinął przede wszystkim James Woodward (*Making Things Happen: A Theory of Causal Explanation*, Oxford University Press, Oxford 2003), ale także Peter Munzies i Huw Price (*Causation as a Secondary Quality*, „The British Journal for the Philosophy of Science” 1993, 44 no. 2, s. 187-203). We współczesnej filozofii nauki rzadko eksploruje się ten wątek, ale w pracach, które integrują problematykę historii nauki z problematyką filozofii nauki zauważa się przełomowe znaczenie dokonań Milla w kształtowaniu współczesnego pojęcia eksperymentu. Por. F. Steinle, *Experiments in History and Philosophy of Science*, „Perspectives on Science” 2002, 10 no. 4, s. 408. Krytykę stanowiska Milla, zgodnie z którym tylko w badaniu eksperymentalnym możemy ustalić przyczynę przedstawił m.in. P. Lipton, *Inference to the Best Explanation*, Routledge, London 1993, s. 115-116. Por. także: S. Rappaport, *Inference to the Best Explanation: Is It Really Different from Mill's Methods?*, „Philosophy of Science” 1996, 63, s. 65-80.

⁴ M. Bombik, *Nowy eksperymentalizm a wartość eksperymentalnego uzasadnienia w naukach empirycznych*, „Studia Philosophiae Christianae” 2005, 41 nr 1, s. 23.

ruchami Browna, które prowadziły do zaakceptowanej współcześnie teorii oraz poglądy na zasadę przyczynowości Mariana Smoluchowskiego. Część trzecia artykułu będzie poświęcona na wyodrębnienie tego elementu, który zapewnił realistyczną interpretację eksperymentalnych badań ruchów Browna.

1. Sformułowania i interpretacje zasady przyczynowości

Zasadę przyczynowości można różnie formułować, ale poszczególne sformułowania, na ogół nie są jednak równoważne. W drugiej połowie XIX w. w wyniku silnych wpływów pozytywizmu i scjentyzmu ontologiczne interpretacje zasady przyczynowości zostały zdominowane przez interpretacje epistemologiczne. Max Planck (1858–1947), podsumowując XIX-wieczne dyskusje nad zasadą przyczynowości, które szły w kierunku wykazania jej hipotetycznego charakteru wniósł istotną uwagę.

Można oczywiście nazwać prawo przyczynowości hipotezą – mniejsza o nazwę. W każdym razie nie jest to hipoteza taka, jak wiele innych, lecz główna i podstawowa hipoteza, przesłanka tego, że tworzenie hipotez w ogóle ma sens. Albowiem wszelka hipoteza, wrażliwa jakąś określoną regułą, zakłada ważność prawa przyczynowości.⁵

Joachim Metallmann (1889–1942) zasadzie przyczynowości poświęcił pierwszy rozdział swojej monografii na temat determinizmu. Doszedł do wniosku, że

[...] (1) zasada przyczynowości zmienia się co do swej treści, (2) zmiany te zależą zarówno od postępów i stanu naukowej analizy doświadczenia, jak i od analizy i postawy filozoficznej.⁶

Jego zdaniem analiza doświadczenia naukowego jest zarazem analizą zasady przyczynowości, ale z drugiej strony „Každą krytyką zasady przyczynowości, analiza jej treści, dyskusja jej funkcji, stanowi w gruncie rzeczy badanie istoty doświadczenia”⁷. Powiązanie zasady przyczynowości i badań eksperymentalnych wpisuje się zatem nie tylko w problematykę filozofii nauki, ale także wchodzi w zakres zainteresowań poznawczych historii nauki.

Zmienność sformułowań zasady przyczynowości dostrzegają także filozofowie, którzy nad historyczny punkt widzenia przedkładają rozważania systematyczne. Może dlatego nie dostrzegają historycznych prawidłowości a jedynie chaos różnorodnych ujęć tej zasady. Według Romana Ingardena (1893–1970)

⁵ M. Planck, *Prawo przyczynowości a wolność woli*. Odczyt wygłoszony w Pruskiej Akademii Nauk 17 lutego 1923 r. [w:] *Jedność fizycznego obrazu świata*. Wybór pism filozoficznych, przeł. R. i S. Kernerowie, Książka i Wiedza, Warszawa 1970, s. 115.

⁶ J. Metallmann, *Determinizm nauk przyrodniczych*, Polska Akademia Umiejętności, Kraków 1934, s. 26.

⁷ *Ibidem*, s. 58. Por. także: J. Mączka, *Wszechświat strukturalny. Strukturalizm w dziele Joachima Metallmanna a strukturalizm współczesnej nauki*, Biblos, Tarnów 2002, s. 31-41, gdzie problem ten rozważany jest w szerszym kontekście.

zasada przyczynowości (w jego terminologii: „zasada przyczyny”) była formułowana na tak różne sposoby, że nie ma żadnej ustalonej tradycji, z której można by czerpać⁸. Ten punkt widzenia utrwalił Ernest Nagel (1901–1985), który też twierdził, że nie ma „powszechnie przyjętego sformułowania tego prawa ani też nie ma powszechnej zgody co do tego, co ono stwierdza”⁹. Według niego zasada przyczynowości ma wyłącznie charakter metodologiczny. Może być rozumiana jedynie jako dyrektywa badawcza, która formułuje cel nauk teoretycznych, jakim jest osiągnięcie wyjaśnień *d e t e r m i n i s t y c z n y c h*¹⁰.

Z drugiej jednak strony zasadę przyczynowości traktuje się jako tezę empiryczną. Zgodnie z poglądem rozpropagowanym przez Schlicka zasada przyczynowości (teza determinizmu), którą rozumie jako podleganie zjawisk (deterministycznym) prawidłowościom w ten sam sposób poddaje się empirycznym testom, jak i każde poszczególne prawo przyrody¹¹. Empiryczny charakter zasady przyczynowości w ujęciu Schlicka jest skontrastowany z jej powszechnie przyjmowaną w XIX w. interpretacją, zgodnie z którą przyczynowość ujmowana w zasadzie przyczynowości jest aprioryczną kategorią organizującą ludzkie doświadczenie¹². Takie rozumienie zasady przyczynowości podtrzymywał jeszcze w drugiej połowie XX w. Leopold Regner (1912–1997). Według niego

Zasada przyczynowości jest założeniem apriorycznym, które samo przez się nie dostarcza odpowiedzi na pytanie, co w danym jednostkowym wypadku jest racją

⁸ Por. R. Ingarden, *Spór o istnienie świata*, t. 3: *O strukturze przyczynowej realnego świata*, przeł. D. Gierulanka, PWN, Warszawa 1981, s. 151. Por. także: R. Ingarden, *Niektóre twierdzenia o związku przyczynowym*, „Sprawozdania Towarzystwa Naukowego w Toruniu” 9 (1955), s. 77-82.

⁹ E. Nagel, *Struktura nauki*, przeł. J. Giedymin, B. Rassalski, H. Eilstein, PWN, Warszawa 1970, s. 278, 283.

¹⁰ Zasada przyczynowości „jest dyrektywą zalecającą szukania wyjaśnień posiadających pewne ogólne określone cechy i nawet wielokrotne niepowodzenie w poszukiwaniu takich wyjaśnień dla jakiegokolwiek dziedziny zdarzeń nie jest, z logicznego punktu widzenia, przeszkodą w dalszym poszukiwaniu” (*ibidem*, s. 282–283). Nagel swoje poglądy na temat zasady przyczynowości zawdzięczał Ludwikowi Silbersteinowi (1872–1948), którego pracę na temat przyczynowości (*Causality: A Law of Nature or a Maxim of the Naturalist*, MacMillan, New York 1933) znał i wielokrotnie wykorzystywał w swoich analizach tego zagadnienia. Silbersteina interpretację zasady przyczynowości można znaleźć w: P. Flin, A. Stępień, *Ludwik Silberstein o przyczynowości w przyrodzie*, „Zagadnienia Filozoficzne w Nauce” 2011, 49, s. 138-148.

¹¹ „One may now speak of an empirical test of the principle of causality *in the same sense* as of the test of some special law of nature. And that we may in some sense justifiably speak of it by the existence of science” (M. Schlick, D. Rynin, *Causality in Contemporary Physics (I)*, „The British Journal for the Philosophy of Science” 1961, 12 no. 47, 1961, s. 178-179, 193. Zgodnie z tym poglądem zasada przyczynowości jest „udowodniona” dzięki temu, że nauka istnieje.

¹² Najbardziej radykalne sformułowanie tej koncepcji przyczynowości podał Artur Schopenhauer (1788–1860), który uprościł filozofię kantowską i uznał tylko przyczynowość utożsamioną z materią w fizjologicznej teorii umysłu za jedyną aprioryczną jego formę. Według niego „czysta materia [...] jest przyczynowością samą, pomyslaną obiektywnie, czyli w przestrzeni którą wypełnia. [...] cała istota materii [...] jest jedynie i na wskroś samą przyczynowością. [...] Jednakże sama przyczynowość jest formą naszego intelektu; albowiem podobnie jak przestrzeń i czas znana nam jest *a priori*” (A. Schopenhauer, *Świat jako wola i przedstawienie*, przeł. J. Garewicz, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1995, t. 2, s. 439).

zaistnienia danej jednostkowej rzeczy. Odpowiedzi na to pytanie można oczekiwać tylko od doświadczenia.¹³

Stanisław Mazierski (1915–1993) wyartykułował pięć sformułowań zasady przyczynowości, z którym dwa wyrażają aspekt ontologiczny¹⁴. Kolejne dwa sformułowania ukazują epistemologiczny charakter tej zasady. Ostatnie, piąte sformułowanie tej zasady – jego zdaniem – dzielą uczeni, którzy „przypisują jej tylko rolę regulatywną w badaniach przyrodniczych”¹⁵. Mazierski zauważa, że zasada przyczynowości

[...] wyraża bardzo ogólnie regularność zachodzących zdarzeń, pozwalającą prognozować przyszłe zdarzenia z jednej strony, a z drugiej — wskazuje na realność, dynamiczność zachodzących zdarzeń, którym towarzyszy przekazywanie energii pod różnymi postaciami.¹⁶

Ten wątek został wcześniej rozwinięty przez Maria Bungego, który przeprowadził najbardziej wnikliwe analizy tej zasady. Według niego poprawne sformułowanie zasady przyczynowości musi zawierać trzy momenty: (1) warunkowanie, (2) egzystencjalną nadrzędność przyczyny nad skutkiem i (3) bezwyjątkowość¹⁷. Zgodnie ze sformulowaniem zasady przyczynowości podanym przez M. Bungego głosi ona, że „Każde zdarzenie należące do pewnej klasy C wywołuje zdarzenie należące do pewnej klasy E”¹⁸. Jest to sprecyzowanie rozpowszechnionego sformułowania zasady przyczynowości w postaci tezy, zgodnie z którą jednakowe przyczyny w podobnych warunkach wywołują jednakowe skutki. Tezę tę nazywa Bunge właśnie *z a s a d ą p r z y c z y n o w o ś c i*, a druga teza wchodząca zazwyczaj w określenie tej zasady, zgodnie z którą każde zdarzenie ma swoją przyczynę, nazwana jest przez niego tezą determinizmu kauzalnego lub kauzalizmu. Takie sformułowanie zasady przyczynowości nie jest typowe dla filozofii przyczynowości, ale uwypukla związek zasady przyczynowości z koncepcją związku przyczynowego.

¹³ L. Regner, *Indeterminizm w mechanice kwantowej a zasada przyczynowości w świetle filozofii św. Tomasza*, „Roczniki Filozoficzne”, 1961, 9 nr 3, s. 68.

¹⁴ Jan Karol Dorda SJ (1891–1971) w opublikowanej wiele lat po śmierci monografii na temat przyczynowości sprawczej, w rozdziale zatytułowanym „Wielość sformułowań zasady przyczynowości” wyróżnił aż siedem sformułowań tej zasady. Jednakże wszystkie te sformułowania były używane tylko w kontekście filozofii (neo) scholastycznej i wyrażają metafizyczny aspekt zasady przyczynowości. W najbardziej ogólnym sformułowaniu zasada ta mówi „Actus educitur de potentia per ens actu – Akt wyprowadza się z możliwości (tworzywa) przez byt, który ten akt posiada” (J.K. Dorda, *Studium o przyczynowości sprawczej z zastosowaniami w kosmologii*, Wydawnictwo WAM, Kraków 2001, s. 195).

¹⁵ S. Mazierski, *Prawa przyrody. Studium metodologiczne*, Redakcja Wydawnictw Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego, Lublin 1993, s. 67-68.

¹⁶ S. Mazierski, *Zakres stosowalności zasady przyczynowości*, „Studia Philosophiae Christianae” 1992, 28 nr 2, s. 80.

¹⁷ Por. M. Bunge, *O przyczynowości. Miejsce zasady przyczynowej w nauce współczesnej*, przeł. S. Amsterdamski, PWN, Warszawa 1968, s. 58.

¹⁸ *Ibidem*, s. 66.

W ujęciu Władysława Krajewskiego (1919–2006) zasada przyczynowości utożsamiona jednak z tezą („każde zdarzenie ma swoją przyczynę”¹⁹) odróżniona jest od tzw. jednoznacznego determinizmu kauzalnego, który jest według niego równoznaczny z tzw. fizyczną zasadą przyczynowości. Zdaniem Krajewskiego należy jeszcze wprowadzić zasadę statystycznego determinizmu kauzalnego, według której „jednakowe przyczyny (w jednakowych warunkach) wywołują z jednakowym prawdopodobieństwem określone skutki”²⁰. Widać, że bardzo różnie można pojmować zasadę przyczynowości. Na potrzeby niniejszego artykułu przyjmę Maria Bungego sformułowanie zasady przyczynowości. W tym sformułowaniu zasada przyczynowości ma ontologiczny charakter i jest stowarzyszona z dyrektywą metodologiczną nakazującą poszukiwanie przyczyn zjawisk. Istotne jest jednak to, że zasada przyczynowości w tym ujęciu *explicite* wiąże się z fizykalistyczną koncepcją związku przyczynowego wyartykułowaną m.in. przez Maxa Kistlera²¹. Taka koncepcja związku przyczynowego jest – jak sądzę – wbudowana w poznanie naukowe. Zechcę to pokazać na przykładzie eksperymentalnych badań ruchów Browna. Warto jeszcze odnotować, że poszczególne sformułowania zasady przyczynowości mają charakter bardzo ogólnych założeń filozoficznych i nie przekładają się na praktykę eksperymentalną, którą wyznaczają stan rozwoju techniki i nauki. Daje to autonomię badaniom eksperymentalnym, ale ramy tym badaniom stwarza fizykalistyczna koncepcja związku przyczynowego.

2. Zasada przyczynowości i postulat przyczynowego wyjaśnienia ruchów Browna

W celu zawężenia pola rozważań wybrałem badania ruchów Browna. Wybór ten został podyktowany głównie tym, że eksperymentalne badania tego zjawiska prowadziły do sprzecznych wyników. Skutkowało to nie tylko trudnościami teoretycznego ujęcia ruchów Browna, ale także pewnym brakiem zaufania do obserwacji i eksperymentu. Eksperymentalne badania ruchów Browna są aktualnie prowadzone i na tej drodze uzyskiwane są nowe i interesujące wyniki, ale przyczyna tego zjawiska została już dawno znaleziona. Trudności z eksperymentalnym znalezieniem przyczyny ruchów Browna okazały się mieć jednak metodologiczne tło. Dlatego też przypadek ten jest ciągle interesujący dla filozofii nauki.

¹⁹ Ingarden był przekonany, że takie sformułowania należy precyzować. W jego ujęciu teza ta powinna być sformułowana następująco „Każde zdarzenie w świecie posiada swoją bezpośrednią (wprost lub nie wprost) albo pośrednią najbliższą przyczynę” (R. Ingarden, *Spór o istnienie świata*, t. 3, s. 151). Precyzacja ta jest jednak zbędna, na co zwrócił już uwagę M. Bunge (*idem, op. cit.*, s. 68-71).

²⁰ W. Krajewski, *Związek przyczynowy*, PWN, Warszawa 1967, s. 242.

²¹ M. Kistler, *Causation and Laws of Nature*, Routledge, London – New York 2006, s. 71-72.

Armin Teske (1910–1967), który interesował się w równym stopniu zasadą przyczynowości i ruchami Browna, dał kilka interesujących uwag na te tematy. W jego ujęciu zasada przyczynowości

[...] głosi, że każde wydarzenie ma swoje przyczyny, po których następuje w sposób konieczny. Kryterium tej zasady jest możliwość obliczenia przyszłości ze znajomości wszystkich przyczyn, czyli mówiąc fizycznie ze znajomości stanu układu i praw przyrody. Po odrzuceniu tego kryterium z zasady przyczynowości pozostaje pusty schemat [...].²²

Według tego autora zasada przyczynowości jest nierozzerwalnie związana z tzw. zasadą determinizmu. Ten punkt widzenia został jednak odrzucony przez wielu filozofów, którzy rozróżniali, a nawet przeciwstawiali te zasady. Osobliwe jest to, że Teske traktuje zasadę determinizmu (podobne przyczyny w podobnych warunkach powodują podobne skutki) jako kryterium zasady przyczynowości²³. Badając metodologiczne aspekty ruchów Browna, nie wspomina o tej zasadzie, ale stawia interesującą tezę, która jednak dotyczy problematyki przyczynowości. Według niego długa lista błędów eksperymentalnych w tych badaniach jest skutkiem *sui generis* błędu systematycznego. Ten błąd jest przez niego zidentyfikowany.

Niepowodzenia, a zwłaszcza sprzeczne wyniki, w ciągu tylu lat prześladowane badania nad ruchami Browna, wiążą się z błędnym, jakkolwiek z całą oczywistością się narzucającym, odbiorem „jednostki właściwej”. [...] znalezienie miary dla danego zjawiska było zarazem ujawnieniem jego prawdziwych przyczyn. Jeżeli bowiem miarą ruchu jest nie prędkość, lecz przesunięcie w określonym czasie (właściwie średni kwadrat przesunięcia), wiemy zarazem, że mamy do czynienia ze zjawiskiem podlegającym prawom statystycznego nakładania się elementów.²⁴

Wypowiedź ta stwarza nową perspektywę, z której zagadnienie ruchów Browna ma nie tylko historyczne znaczenie jako kontekst, w którym nastąpiła akceptacja kinetyczno-molekularnego modelu budowy materii, ale także staje się źródłem współczesnej refleksji nad metodami nauk przyrodniczych. Dociekania istoty metody eksperymentalnej poprzez analizę zastosowań zasady przyczynowości w kontekście eksperymentalnych badań ruchów Browna stają się ciekawym celem poznawczym, kiedy przyświeca nam myśl, zgodnie z którą znalezienie właściwej miary dla danego zjawiska jest zarazem ujawnieniem jego przyczyny. Poszukiwanie przyczyn zjawisk w równym stopniu zależy od zastosowania metody eksperymentalnej, co i od właściwej konceptualizacji zjawiska. Stawia to wyzwania przed nowym eksperymentalizmem, w którym utrzymuje się tezę o niezależności

²² A. Teske, *Znaczenie i granice dowodu Neumanna*, [w:] *idem*, Wybór prac z historii i filozofii nauki, Ossolineum, Wrocław – Warszawa – Kraków 1970, s. 39.

²³ Nasuwa to analogię z pojęciem prawdy i kryteriami prawdziwości, które czasami utożsamia się z definicją prawdy.

²⁴ A. Teske, *Metodologiczne aspekty badań nad ruchami Browna*, [w:] *idem*, Wybór prac z historii i filozofii nauki, s. 89.

praktyki eksperymentalnej od teorii²⁵. Poszukując argumentów na rzecz tej tezy, chciałbym pokazać, że eksperymentalne badania ruchów Browna ujawniają, że postęp techniczny był jednym z czynników uniezależniających badania eksperymentalne od ram teoretycznych, ale decydującym czynnikiem było powiązanie aplikowanej w tych badaniach zasady przyczynowości z fizykalistyczną koncepcją związku przyczynowego.

Badania ruchów drobin organicznych (i nieorganicznych) zawieszonych w cieczy, rozpoczęte przez Roberta Browna (1773–1858) w 1827 r., miały swoje precedensy w nauce XVIII-wiecznej²⁶. Współczesne prace historyków nauki wskazują, że podobne badania prowadził także Jan Ingenhousz (1730–1799), który w 1784 r. opisał zjawisko chaotycznego ruchu cząstek pyłu węglowego na powierzchni alkoholu²⁷. Od początku poszukiwano przyczyn tego zjawiska, ale poszczególne eksperymenty nie potwierdzały wysuwanych na gruncie ówczesnej wiedzy fizycznej hipotez, co mogło podważyć zaufanie także i do zasady przyczynowości i prowadzić do wniosku, że ruch drobin w zawieszynie nie ma żadnej przyczyny.

Pierwsze eksperymenty przeprowadził już odkrywca zjawiska – Robert Brown. Eksperyment Browna może być zinterpretowany jako zastosowanie sformułowanych później tzw. kanonów Milla. Stosując kanony jedynej zgodności i jedynej różnicy wykluczył hipotezę, zgodnie z którą przyczyną obserwowanych ruchów drobin w cieczach jest ich wzajemne oddziaływanie. Wykluczył tę moż-

²⁵ Teza ta została hasłowo wyartykułowana przez I. Hackinga, według którego eksperyment ma swoje własne życie (I. Hacking, *Representing and Intervening*, Cambridge University Press, Cambridge 1983, s. 160). Rozwijając ten punkt widzenia, twierdzi się, że aktualnie prowadzone w nauce badania eksperymentalne ogniskowane są na takich cząstkowych zadaniach, jak: kalibrowanie instrumentów, usuwanie czynników ubocznych czy odróżnianie realnych zjawisk od artefaktów. Por. D. Mayo, *The New Experimentalism, Topical Hypothesis, and Learning from Error*, „Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy Science Association” 1994 no. 1, s. 270-271. Warto jednak zauważyć, że takie zadania mają nie tylko aktualnie prowadzone eksperymenty, ale także te, które miały na celu badanie ruchów Browna. Dotyczy to zwłaszcza eksperymentów przeprowadzonych w początkach XX w., które miały potwierdzać teoretyczne ujęcie ruchów Browna przedstawione przez Einsteina i Smoluchowskiego.

²⁶ Smoluchowski nie tylko opracował matematyczną teorię tego zjawiska, ale w późniejszym czasie interesował się także kwestiami historycznymi. Na podstawie opracowań historycznych dotyczących ruchów Browna (informacje te mogły też pochodzić z publikacji R. Browna), które znał i wykorzystywał w swoich artykułach naukowych, jako poprzedników Browna w badaniach tego zjawiska wymienia dwóch XVIII-wiecznych biologów Johna Needhama (1713–1781) i Wilhelma von Gleichen-Rußwurma (1717–1783). Według Smoluchowskiego uczeni ci mieli obserwować to zjawisko odpowiednio w 1750 i 1764 r. Por. M. Smoluchowski, *O fluktuacjach termodynamicznych i ruchach Browna*, „Prace Matematyczno-Fizyczne” 1914, 25, s. 213.

²⁷ Z drugiej strony twierdzenie to jest kwestionowane jako zbyt entuzjastyczne przypuszczenie, a nawet uważa się, że istnieją rozstrzygające dowody, iż Ingen-Housz nie obserwował ruchów Browna. Por. F.M. Shlesinger, *Physics in the noise*, „Nature” 2001, 411 no. 7, s. 641; P. Smit, *Jan Ingen-Housz (1730–1799): Some New Evidence About His Life and Work*, „Janus”, 1980 no. 67, s. 125-139; P.W. van der Pas, *The Discovery of the Brownian Motion*, „Scientiarum Historia”, 13, 1971, no. 13, s. 127-132; N. Beale. E. Beale, *Echoes of Ingen Housz. The long lost story of the genius who rescued the Habsburgs from smallpox and became the father of photosynthesis*, The Hobnob Press, Salisbury 2011, s. 344-345; P. Pearle P. et al, *What Brown saw and you can too*, „American Journal of Physics” 2010, 78, no. 12, s. 1278-1289. Najbardziej kompetentnie historię badań ruchów Browna przedstawił B. Duplantier, *Brownian motion „Diverse et Undulating”*, „Progress in Mathematical Physics”, 2006, 47, s. 201-293.

liwość po przeprowadzeniu specjalnie obmyślonego eksperymentu, w którym poszczególne drobiny zostały wyizolowane w wyniku mieszania zawiesiny z olejkim migdałowym. Także takie hipotetyczne przyczyny jak prądy konwekcyjne w cieczy zostały przez niego wyeliminowane²⁸.

Jednakże opinia co do prawdziwości tych eliminacji była podzielona. Zdawało się kilkakrotnie, że usiłowania idące w kierunku przeciwnym zostały uwieńczone sukcesem i że prawdziwą przyczyną jest jeden z czynników odrzuconych przez Browna.²⁹

Stosunkowo wcześniej została wysunięta hipoteza, zgodnie z którą przyczyną obserwowanego ruchu mikroskopijnych cząsteczek jest ruch niedających się zaobserwować molekuł cieczy. Najwcześniej hipotezę o wewnętrznej przyczynie ruchów Browna sformułował Ludwig C. Wiener (1826–1896), który był matematykiem, ale również zręcznym eksperymentatorem. Christian Wiener już w 1863 r. przekonująco pokazał, że ruchy Browna nie mają żadnych zewnętrznych przyczyn i mogą być powodowane wyłącznie przez przyczyny wewnętrzne (ruchy molekuł cieczy)³⁰. Niezależnie w 1877 r. taką hipotezę wysunął także Joseph Desaulx (1828–1891). Hipoteza ta oparta była na analizie działania radiometru Crookesa i twierdziła, że przyczyną ruchów Browna jest termiczny ruch molekuł cieczy, w której zawieszono były cząstki brownowskie³¹. Dopiero jednak prace francuskiego fizyka Louisa (Leona) Gouya (1854–1926) rozpropagowały na tyle tę hipotezę, że stała się ona powszechnie znana w środowisku fizyków przełomu XIX i XX w.³² Hipotezę tę znał nie tylko Smoluchowski, ale także Einstein, który przed Smoluchowskim i niezależnie od niego opracował matematyczną teorię ruchów Browna. Prawdopodobnie dla Einsteina, tak jak i dla Smoluchowskiego, źródłem informacji na ten temat były prace Poincarégo³³.

²⁸ Wynikiem jego dwóch prac (1828 i 1829 r.) było stwierdzenie, że żaden z następujących czynników nie jest przyczyną ruchu: prądy w cieczy, parowanie, wzajemne oddziaływanie poruszających się ziarenek i działania kapilarne” (A. Teske, *Marian Smoluchowski. Życie i twórczość*, PWN, Kraków 1955, s. 159); M. Kerker, *Brownian Movement and Molecular Reality prior to 1900*, „Journal of Chemical Education”, 1974, 51, s. 764-768.

²⁹ A. Teske, *Metodologiczny aspekt badań...*, s. 84. Por. także M. Nott, *Molecular reality: the contribution of Brown, Einstein and Perrin*, „School Science Review” 2005 no. 86, s. 39-40, gdzie szczegółowo opisany jest eksperyment Browna. Warto odnotować, że eksperymenty Browna były prowadzone za pomocą udoskonalonych mikroskopów z achromatycznym obiektywem.

³⁰ Oprócz Wienera włoski fizyk Giovanni Cantoni (1818–1897) i belgijski jezuita Ignacy Carbonelle (1829–1889) wymieniani są jako zwolennicy tej hipotezy. Por. R. Toncelli, *Le Rôle des principes dans la construction des théories relativistes de Poincaré et Einstein: Dissertation présentée en vue de l'obtention du titre de Docteur en Sciences*, Connaissances et Savoirs, 2013, s. 179. Por. także: H.B. Casimir, *Haphazard Reality: Half a Century of Science*, Amsterdam University Press, Amsterdam 2010, s. 41; B. Fernandez, G. Ripka, *Unravelling the Mystery of the Atomic Nucleus. A Sixty Year Journey 1896–1956*, Springer, New York 2013, s. 494.

³¹ „The influence of the motion of translation of the liquid molecules acting on the surface of the particles permits us to explain easily all displacement hitherto observed” (D. Dusenbery, *Living at Micro Scale. The Unexpected Physics of Being Small*, Harvard University Press, Cambridge Mass. – London 2009, s. 78).

³² Gouy jako pierwszy zauważył niemożliwość pogodzenia ruchów Browna z II zasadą termodynamiki (zasadą Carnota). Jego uwagi były źródłem nowej (statystycznej) interpretacji tej zasady podanej później m.in. przez Smoluchowskiego. Por. B. Duplantier, *op. cit.*, s. 215.

³³ David Cahan pisze wprost: „he learned about George-Louis Gouy's work on Brownian motion from Henry Poincaré's *Science et hypothèse*” (D. Cahan, *The Zeiss Werke and the Ultramicroscope: the Creation*

Marian Smoluchowski (1872–1917) – fizyk, który dał poprawny opis matematyczny ruchów Browna, w publikacjach poświęconych temu zagadnieniu wprost na zasadę przyczynowości nie powoływał się, aczkolwiek zakładał jej ontologiczną wersję, usiłując kauzalnie wyjaśnić zjawisko ruchów Browna. Wprost o zasadzie przyczynowości pisał w swoich pracach popularnonaukowych, w których też można spotkać jedno z jej najbardziej rozpowszechnionych sformułowań. Według Smoluchowskiego „prawo to twierdzi: (1) że każde zdarzenie ma swoją przyczynę, (2) że jednakowe przyczyny wywierają skutki jednakowe”³⁴. Tezy te mają jednak różny charakter i nie powinny być traktowane jako równorzędne składniki zasady przyczynowości. W praktyce badawczej łączono jednak te tezy i Smoluchowski, pomimo dużej świadomości metodologicznej także te różne tezy traktował jako sformułowanie zasady przyczynowości.

Hipoteza o molekularnej przyczynie ruchów Browna, aczkolwiek poparta badaniami eksperymentalnymi i argumentami teoretycznymi nie została jednak zaakceptowana w XIX w. Kuriozalne było to, że eksperymenty prowadziły do sprzecznych wyników. Stan badań nad ruchami Browna, po blisko osiemdziesięciu latach obserwacji i eksperymentów, został podsumowany przez Smoluchowskiego następująco:

[...] w ogóle żadnych dokładniejszych badań nad tem zjawiskiem nie wykonano, mimo, że każdy przyrodnik obserwował je odtąd tysiące razy przy pracach mikroskopijnych [...].³⁵

Wyjaśnienie tego stanu rzeczy nie wyczerpuje się jak sędzę w odpowiedzi podanej przez Armina Teskego, zgodnie z którą trudności były spowodowane tym, że za miarę intensywności ruchu brano prędkość zamiast średniego kwadratu przesunięcia. Okazuje się, że trudności miały też charakter techniczny i dopiero rozwinięcie określonych technologii pozwalało na przeprowadzenie konkluzywnych eksperymentów.

Przełomem w eksperymentalnych badaniach ruchów Browna okazało się skonstruowanie w 1902 r. przez pracujących dla korporacji Carl Zeiss Henry’ego Siedentopfa (1872–1940) i Richarda Zsigmondy’ego (1865–1929) ultramikroskopu. Urządzenie to wykorzystywało znane zjawisko fizyczne zwane efektem Tyndalla, ale wymagało zaawansowanych rozwiązań technicznych (optycznych). Mikroskop nowego typu pozwalał na identyfikacje cząstek o średnicy 4 nm, które były poza zasięgiem tradycyjnych mikroskopów. Oczywiście zdolność rozdziel-

Scientific Instrument in Context, [w:] *Scientific Credibility and Technical Standards in 19th and early 20th century Germany and Britain*: In *19th and Early 20th Century Germany and Britain*, J. Buchwald (ed.), Kluwer, Dordrecht 1997, s. 102).

³⁴ M. Smoluchowski, *Poradnik dla samouków: wskazówki metodyczne dla studujących poszczególne nauki*, Wydawnictwo A. Heflich i S. Michalskiego, Warszawa 1917, t. 2, s. 19. Por. Z. Roskal, *Mariana Smoluchowskiego ujęcie zasady przyczynowości w badaniach ruchów Browna*, „Zagadnienia Filozoficzne w Nauce” 2017, 62, s. 99-126.

³⁵ M. Smoluchowski, *Ewolucja teorii atomistycznej*, [w:] *Pisma Mariana Smoluchowskiego*, J. Stock, W. Natanson (red.), Polska Akademia Umiejętności, Kraków 1928, t. 3, s. 21.

cza ultramikroskopu nie mogła być większa niż pozostałych mikroskopów, gdyż wyznaczają ją prawa optyki, ale dzięki wykorzystaniu efektu Tyndalla³⁶ można było stwierdzić obecność mniejszych cząstek poprzez obserwację odbitego od nich światła³⁷.

Dzięki nowemu instrumentowi zostały zaprojektowane i wykonane liczne eksperymenty, które umożliwiły zaakceptowanie hipotezy o wewnętrznej przyczynie (ruch termiczny molekuł) ruchów Browna. Eksperymenty te usuwały wątpliwości zasiane jeszcze w latach 60. XIX w. przez szwajcarskiego botanika i fizjologa Carla Nägelego (1817–1891). Uczony ten twierdził na podstawie przeprowadzonych obserwacji i eksperymentów, ale także argumentów teoretycznych, że intensywność ruchów Browna nie zależy od promienia drobin.

Jednym z pierwszych eksperymentów wykorzystujących ultramikroskop przeprowadził Richard Zsigmondy w Getyndze. W eksperymencie można było zastosować w miejsce tzw. cząstek brownowskich koloidalne złoto. Cząsteczki złota miały o wiele mniejsze średnice niż dotychczas używane cząsteczki gumiguty i bardzo łatwo można było niezbitcie uzasadnić tezę, zgodnie z którą intensywność ruchów Browna jest odwrotnie proporcjonalna do średnicy cząstek brownowskich. Zsigmondy jako jeden z pierwszych eksperymentatorów badających ruchy Browna nie nazywał obserwowanych przesunięć w ciągu określonego czasu prędkościami, dyskutując zaś przyczyny ruchów Browna podkreślił, że ich wskazanie będzie możliwe dopiero na gruncie kinetyczno-molekularnego modelu budowy materii³⁸.

Należy jednak zauważyć, że kwestia eksperymentalnego sprawdzenia hipotezy, zgodnie z którą przyczyną ruchów Browna są zderzenia z molekułami cieczy, ma bardziej ogólny charakter niż eksperymentalne potwierdzenie teorii Einsteina-Smoluchowskiego. Problem ten został dobrze już opracowany przez historyków nauki, którzy wykazali, że eksperymenty Theodora Svedberga (1884–1971) i Maxa Seddiga (1877–1963), a nawet Felixa Exenera (1876–1930) – wbrew stanowisku Smoluchowskiego – nie były potwierdzeniem tej teorii³⁹. Potwierdzeniem teorii, co jest uwypuklane w wypowiedziach nowych eksperymentalistów, nie może być pojedynczy eksperyment, ale seria powtarzalnych eksperymentów. Kryterium to

³⁶ Zjawisko to polega na charakterystycznym rozproszeniu światła (stożek Tyndalla) przez drobne cząstki zawieszone w ośrodku ciekłym lub gazowym (koloidy).

³⁷ Por. D. Cahan, *The Zeiss Werke and the Ultramicroscope: The Creation of a Scientific Instrument in Context*, [w:] *Scientific Credibility and Technical Standards in 19th and early 20th century Germany and Britain*, J. Buchwald (ed.), Kluwer, Dordrecht 1997, s. 67-115.

³⁸ B. Średniawa, *Rola współpracy Mariana Smoluchowskiego i Teodora Svedberga w prowadzonych w pierwszych latach XX wieku badaniach ruchów Browna i fluktuacji*, „Postępy Fizyki” 1991, t. 42, z. 4, s. 428-429.

³⁹ Por. m.in. R. Maiocchi, *The Case of Brownian Motion*, „The British Journal for the History of Science” 1990, 23 no. 3, s. 257-283; M. Kerker, *The Svedberg and Molecular Reality*, „Isis” 1976, 67 no. 2, s. 190-216; C. Bigg, *A Visual History of Jean Perrin's Brownian Motion Curves*, [w:] *History of Scientific Observation*, (eds.) L. Daston, E. Lunbeck, The University of Chicago Press, Chicago – London 2011, s. 156-179.

spełniają dopiero eksperymenty przeprowadzone w latach 1908–1909 przez Jeana Perrina (1870–1942).

3. Fizykalistyczna koncepcja związku przyczynowego

Realistyczną interpretację teorii ruchów Browna przedstawionej przez Einsteina i Smoluchowskiego zapewnia fizykalistyczna koncepcja związku przyczynowego, zakładana przez tych fizyków. Bardziej widoczne jest to w pismach Mariana Smoluchowskiego. Porównując metody zastosowane przez Smoluchowskiego w badaniach ruchów Browna, Teske zauważa, że

Punktem wyjścia Smoluchowskiego jest obraz poglądowy: ziarenko Browna uderzane przez molekuly ośrodka. Metoda polega na prześledzeniu skutków tych uderzeń. Analiza wstępna rozjaśnia najpierw ogólne zarysy obrazu, po czym następuje szczegółowe ujęcie rachunkowe.⁴⁰

Powyższa charakterystyka metody badawczej Smoluchowskiego wyraźnie pokazuje, że punktem wyjścia jest zasada przyczynowości w wersji ontologicznej powiązana z fizykalistyczną koncepcją związku przyczynowego. Smoluchowski uściśla intuicje związane z aplikacją tej zasady do ruchów Browna, wyjaśniając trudności polegające na tym, że przy bardzo dużej ilości zderzeń (10^{20} na sekundę) obserwowana prędkość ziarenka Browna nie jest zgodna z wyliczoną teoretycznie. Przyjmuje, że istnieją czynniki, które ograniczają wzrost prędkości cząsteczki. Ograniczenie polega na tym, że transfer pędu będzie się zmniejszać wraz ze wzrostem prędkości cząsteczki. Wyraźnie zatem oddziaływanie przyczynowe rozumie zgodnie z fizykalistyczną koncepcją związku przyczynowego. Zgodnie z tą koncepcją wytwarzanie skutku przez przyczynę polega właśnie na przekazie pędu.

W pracy poświęconej ruchom Browna pisze o wewnętrznych źródłach energii tych ruchów, uznając, że energia cieplna (szum termiczny) to „właściwy czynnik zjawiska”⁴¹. Ze wszystkich możliwości wyjaśnienia zjawiska ruchów Browna wybiera model kauzalny, który polega na tym, że

[...] ruch Browna powstaje wskutek przypadkowych uderzeń drobin cieczy, udzielających ciałkom odpowiednich prędkości w coraz to innych kierunkach. [...] Tłumacząc ruchy Browna w sposób kinetyczny nie potrzebujemy oczywiście troszczyć się o źródło energii, gdyż energia rozproszona przez tarcie wewnętrzne ma swoje źródło właśnie w energii ruchu cieplnego.⁴²

Jednoznacznie Smoluchowski wiąże skutek (ruchy Browna) z przyczyną (szum termiczny) według ontologicznego ujęcia zasady przyczynowości (M. Bunge), zgodnie z którym przyczyna generuje skutek.

⁴⁰ A. Teske, *Marian Smoluchowski...*, s. 176.

⁴¹ M. Smoluchowski, *Zarys kinetycznej teorii ruchów Browna i roztworów mętnych*, „Rozprawy Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego Akademii Umiejętności w Krakowie” Seria A. 1906, t. 46, s. 259-260.

⁴² *Ibidem*, s. 260, 278.

Wytwarzanie skutku przez przyczynę odbywa się zgodnie z fizykalistyczną koncepcją związku przyczynowego, wyartykułowaną m.in. przez Max Kestlera. Zgodnie z tą koncepcją przyczynowość redukuje się do transferu pewnej wielkości podlegających zachowaniu wielkości fizycznych, tj. energia czy pęd⁴³. Chociaż Smoluchowski nie pisze o tym wprost, to jednak uzyskiwanie przez mikroskopijne ciała prędkości wiąże się z przekazem pędu, co zgodne jest z Maxa Kistlera koncepcją związku przyczynowego.

Smoluchowski poszukuje przyczyny obserwowalnego (pośrednio) zjawiska na takim poziomie organizacji materii, którego obserwacja w jego czasach nie była możliwa. Kinetyczno-molekularny model budowy materii na początku ubiegłego wieku był hipotezą, którą jednak – zdaniem Smoluchowskiego – można było udowodnić dzięki eksperymentalnym badaniom ruchów Browna. Dlatego też we współczesnej filozofii nauki akceptuje się tezę, zgodnie z którą podane przez Smoluchowskiego (i Einsteina) teoretyczne wyjaśnienie ruchów Browna jest wyjaśnieniem przyczynowym i dzięki temu przekłada się ono na spór o realistyczną interpretację teorii naukowych⁴⁴.

Najlepiej fizykalistyczna koncepcja związku przyczynowego wykorzystana w teoretycznych rozważaniach Smoluchowskiego ujawnia się w jego projektach eksperymentów. Miały one pokazać wpływ fluktuacji termicznych w gazach na przedmioty makroskopowe. Smoluchowski przedstawił pomysł eksperymentu, który dość szybko, chociaż już po jego śmierci, został zrealizowany⁴⁵. W eksperymencie tym miały być pokazane oddziaływania molekuł gazu na małe zwierciadło zawieszone na bardzo cienkiej (grubości kilku dziesiątych mikrona) nici (kwarcowej). Promień światła padający na to zwierciadło miał wskazywać jego drgania, które – w opinii Smoluchowskiego – były generowane przez chaotyczne ruchy molekuł gazu. Ruch wahadła był uwarunkowany przekazem pędu od molekuł gazu. Oczywiście impulsy te częściowo się równoważyły, ale po uśrednieniu pozostawała nadwyżka pędu, który był przekazywany zwierciadłu i powodował dające się obserwować, makroskopowe ruchy⁴⁶.

⁴³ M. Kistler, *op. cit.*, s. 71-72.

⁴⁴ „It was known from the theoretical work of Smoluchowski and Einstein, and from the experimental work of Perrin, that the atomic theory presented a potential explanation of the peculiar motions of small particles suspended in a liquid ... the particles were being bombarded by molecules, and thus were constantly gaining linear momentum in random directions” (Ch. Hitchcock, *Causal explanation and scientific realism*, „Erkenntnis” 1992, 37, no. 2, s. 161-162).

⁴⁵ Po raz pierwszy projekt takiego eksperymentu Smoluchowski przedstawił na Zjeździe Przyrodników w Münster w roku 1912, czyli sześć lat po publikacji, w której przedstawił wyjaśnienie ruchów Browna. Idee tego eksperymentu mógł zaczerpnąć z publikacji L. Gouya. Później wielokrotnie do tej koncepcji wracał w swoich późniejszych publikacjach. „[...] torsyjne fluktuacje molekularne bardzo małego zwierciadła torsyjnego muszą w pewnych okolicznościach osiągać wartości mierzalne” (M. Smoluchowski, *Kilka przykładów ruchów Browna przy działaniu sił zewnętrznych*, [w:] Wkład polskich uczonych do fizyki statystyczno-molekularnej, T. Piech (red.), Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław 1962, s. 171).

⁴⁶ Konstrukcja wykorzystująca światło odbite od zwierciadła zawieszonego na wadze skręceń była już zastosowana w słynnym eksperymencie Cavendisha, ale tam w grę wchodził moment siły o wiele większej wartości. Później rozwiązanie takie było stosowane w konstrukcji galwanometrów. Z uwagi na bardzo wysoką czułość

Eksperyment ten został pod koniec lat 30. ubiegłego wieku udoskonalony dzięki wykorzystaniu postępów w technice fotograficznej⁴⁷. W nowym eksperymencie, który został przeprowadzony w 1938 r. przez Eugena Kapplera (1905–1977), była „możliwość zaobserwowania prawdziwego ruchu Browna, a więc nie tylko wypadkowej poszczególnych »kroków«, lecz właśnie owych kroków”⁴⁸.

Eksperyment ten wizualizował ruch Browna i pokazywał jak transport energii kinetycznej molekuł gazu do zwierciadła staje się przyczyną jego obserwowalnego ruchu. W tym eksperymencie była także założona koncepcja związku przyczynowego wyartykułowana przez Max Kistlera, gdyż energia kinetyczna należy do tych wielkości fizycznych, które są zachowywane w izolowanych układach.

Uwagi końcowe

Eksperymentalne badania ruchów Browna ujawniły przyczynę tego zjawiska dopiero wówczas, gdy możliwe było przeprowadzenie serii powtarzalnych eksperymentów, które okazały się zgodne z głównymi twierdzeniami kinetycznej teorii gazów. Eksperymenty te były możliwe dzięki postępom techniki zwłaszcza dzięki wynalezieniu ultramikroskopu i rozwojowi fotografii (nowe typy lamp błyskowych i lepsze migawki). Elementy te wskazują na niezależne od teorii czynniki postępu wiedzy naukowej. Występowanie tych elementów w eksperymentalnych badaniach ruchów Browna pokazuje, że doskonale wpisują się one w koncepcję eksperymentu lansowaną przez tzw. nowych eksperymentalistów. Jednakże to nie te elementy fundowały obiektywność poznania naukowego. Obiektywność badań eksperymentalnych była ufundowana na fizykalistycznej koncepcji związku przyczynowego stowarzyszonej z ontologiczną wersją zasady przyczynowości.

tych instrumentów pokazywały one ruchy Browna, ale wskazania te były wówczas interpretowane jako skutek mikrowstrząsów sejsmicznych. Nieusuwalność szumu termicznego prowadziła do naturalnej granicy czułości tych instrumentów. Gustaf Ising (*A natural limit for the sensibility of galvanometers*, „The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science” 1926, 1 no. 4, s. 827) jako pierwszy zwrócił uwagę, że przyczyną tego zjawiska są ruchy Browna, wskazując równocześnie na Mariana Smoluchowskiego, który przewidział teoretycznie (w 1912 r.) takie zjawisko.

⁴⁷ E. Kappler, *Die Brownsche Molekularbewegung*, „Naturwissenschaften” 1938, 27, s. 649.

⁴⁸ A. Teske, *Marian Smoluchowski...*, s. 183.

Zenon E. Roskal

Causality Principle in the Context of Experimental Research of the Brownian Motion

Abstract

The basic condition underlying scientific research is the firm belief in the causal inevitability of natural phenomena according to the causality principle. I assert that scientific research, especially the experimental research of the Brownian motion, can be considered to be primarily the application of the principle of causality. In search for the causes of Brownian motion, the Causality Principle was adopted with the experimental method of research too. In Mario Bunge's formulation of the principle of causality the effect is accompanied in a permanent and necessary way by the cause inasmuch as it is generated by the cause. However, the generation of the effect occurs by way of the transfer of energy and momentum. It is because of the kinetic energy of liquid molecules that the Brownian particles perform a motion observed under a microscope. In the article, I show how experimental researches on the Brownian motion demonstrate that motion is generated by thermal fluctuations of molecules and how these researches adopted the physicalistic concept of causal relation.

Keywords: the principle of causality, experiment, Brownian motion, new experimentalism.

