

Aleksander Kuisz

Zasada korespondencji a jedność fizyki

We współczesnej nauce mają miejsce dwie przeciwstawne tendencje — do unifikacji i do dywersyfikacji. Zwolennicy pierwszej tendencji usiłują sprowadzić wszystkie zjawiska do jednego podstawowego rodzaju, za jaki przez długi czas uważano ruch mechaniczny; a wszystkie nauki — do jednej podstawowej, przede wszystkim do mechaniki (później do fizyki). Zwolennicy drugiej tendencji akcentują z kolei różność, pluralizm, niewspółmierność metod, teorii i obrazów świata. W aspekcie jedności nauki powstaje pytanie o związek między jej poziomami i gałęziami.

Fizyka, jako najbardziej rozwinięta nauka przyrodnicza, daje bogaty materiał, którego analiza może wnieść istotny wkład do badań nad tym problemem. Jest ona nauką rozgałęzioną i wielopoziomową, w której strukturze funkcjonuje wiele teorii. Każda z tych teorii bada swoją dziedzinę zjawisk fizycznych i ma własne środki dla ich opisu, do których można zaliczyć aparat matematyczny teorii, system pojęć, aksjomatów, praw itd. Teorie te są ze sobą związane na pomocą różnego typu związków, różniących się swoją intensywnością, bezpośrednim lub pośrednim charakterem, rolą w rozwoju i funkcjonowaniu fizyki. Na przykład Popper i Lakatos wskazują na związki logiczne między teoriami. W. Krajewski rozróżnia teorie porównywalne ($D_1 \cap D_2 \neq \emptyset$, gdzie D_1 i D_2 są dziedzinami rzeczywistości tych teorii) i nieporównywalne ($D_1 \cap D_2 = \emptyset$). Na podstawie korelacji ich dziedzin opisu i języków, wyróżnia on dla porównywalnych teorii odmienne rodzaje i poziomy ich związków, od redukcji do korespondencji ([8]).

Można wspomnieć jeszcze o dwóch rodzajach wzajemnych związków pomiędzy teoriami. Jest to, po pierwsze, przemieszczenie informacji wewnątrz fizyki, które prowadzi do takich efektów, jak rozpowszechnienie idei, metod, pojęć z jednych dziedzin fizyki do innych, i po drugie — synteza idei wziętych z różnych teorii fizycznych i tworzenie nowej teorii, obejmującej te teorie (np. kwantowa mechanika relatywistyczna).

Pytanie o związek między teoriami we współczesnej fizyce spróbujemy rozpatrzyć w tej pracy z punktu widzenia zasady korespondencji. Zanalizujemy ją w aspekcie fizycznym, metodologicznym i filozoficznym — w świetle problemu jedności fizyki. Zaczniemy od aspektu fizycznego, w którym wydzielimy, z jednej strony, momenty jedności wzajemnych związków teorii w świetle zasady korespondencji, i z drugiej, te sprawy, które uwypuklają własności odmienności i nieredukowalności teorii.

Po raz pierwszy idea korespondencji pojawiła się w postaci zasady odpowiedniości i wypowiedziana została przez N. Bohra jako zasada asymptotycznej zgodności rezultatów obliczeń, przeprowadzonych za pomocą różniących się pomiędzy sobą metod klasycznych i kwantowych. Zgodność ta występowała tylko w dziedzinie małych częstotliwości. Analizując stany atomu, które charakteryzują się wielkimi liczbami kwantowymi, Bohr zauważył, że w tej dziedzinie możliwe jest użycie sposobów opisu stosowanych w mechanice klasycznej dlatego, iż różnica pomiędzy kwantowymi wartościami energii i częstotliwości zmniejsza się ze wzrostem tych liczb, co doprowadza do ciągłego widma występującego w teorii klasycznej.

Rozważania Bohra były następujące. Rozłóżmy klasyczny ruch układu elektronów w ciąg Fouriera z częstotliwościami $\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_N$, tak że wielkości opisujące atomy (na przykład moment elektryczny) mają częstotliwości wyrażające się za pomocą wzoru:

$$\Omega = n_1\nu_1 + n_2\nu_2 + \dots + n_N\nu_N$$

gdzie n_1, n_2, \dots, n_N — liczby całkowite. Wtedy częstotliwość światła wypromieniowanego przy przejściu ze stanu stacjonarnego (n_1, n_2, \dots, n_N) do stanu stacjonarnego $(n_1', n_2', \dots, n_N')$, jest równa:

$$\nu = \frac{E(n_1, n_2, \dots, n_N) - E(n_1', n_2', \dots, n_N')}{h}$$

Przy dużych wartościach n_1, n_2, \dots, n_N częstotliwość dana wzorem (2) asymptotycznie zgadza się z jedną z klasycznych częstotliwości ze wzoru (1). Widać więc, że teoria kwantowa i klasyczna mają wspólną empiryczną dziedzinę zastosowania — obszar długich fal (małych częstotliwości), w którym ich przewidywania potwierdzają się równie dokładnie. W tym zakresie osiąga się asymptotyczną zgodność praw fizyki kwantowej i klasycznej (Rumer, Ryvkin, Alekseev, [7]).

Uogólnienie idei korespondencji odegrało poważną rolę w następnym etapie rozwoju teorii kwantowej. Metody obliczeń natężenia i polaryzacji promieniowania jeszcze wtedy nie istniały, a postulaty Bohra dawały możliwość obliczeń bez odwoływania się do klasycznych modeli jedynie w wypadku częstotliwości. Korespondencja widmo-ruch, postulowana przez Bohra, pozwoliła sformułować wzory kwantowe na podstawie klasycznych podejść: „...mimo iż proces promieniowania nie może być opisany na bazie zwykłej elektrodynamiki, zgodnie z którą natura promieniowania emitowanego przez atom jest w prosty sposób powiązana ze składowymi harmonicznymi ruchu układów, to ustalone jest jednak występowanie daleko posuniętej korespondencji różnych typów możliwych przejść między stanami stacjonarnymi z jednej strony i różnych składowych ruchu z drugiej” ([10], s. 416). Właśnie w takiej formie, jak to przedstawił

Bohr, zasada korespondencji stanowiła główną metodologiczną komponentę programu badawczego rozwoju mechaniki kwantowej, będąc podstawowym empirycznym narzędziem w procesie jej tworzenia. Na podstawie tej idei W. Heisenberg stworzył macierzową wersję mechaniki kwantowej.

Nie mniej ważną rolę odegrała zasada korespondencji w rozwoju wersji falowej mechaniki kwantowej (Rumer, Ryvkin, [7]). Przy tworzeniu jej podstawowego równania, E. Schrödinger posługiwał się analogią między równaniami i fundamentalnymi pojęciami optyki geometrycznej i mechaniki klasycznej, ustalonymi przez W. R. Hamiltona, oraz ideą dualizmu korpuskularno-falowego L. de Broglie'a. Równania optyki falowej w granicach małych długości fal przechodzą w równania optyki geometrycznej i są jej uogólnieniami. Dokładnie tak samo, zgodnie z ideą Schrödingera, równania mechaniki kwantowej powinny być uogólnieniami równań mechaniki klasycznej. Dzięki temu nowa teoria znalazła się w pełnej analogii formalnej do mechaniki klasycznej. Co więcej, jej pojęciom i prawom nadano sens fizyczny analogiczny do tego, jaki miały one w mechanice klasycznej. Przy formalnym założeniu, że $h \rightarrow 0$, aparat matematyczny mechaniki kwantowej przechodzi w aparat matematyczny jej klasycznego analogonu. Na tym etapie korespondencja pomiędzy mechaniką klasyczną a kwantową nie ogranicza się już zatem do asymptotycznej zgodności; jest ona głębsza, rozszerza swój zakres na aparaturę matematyczną i prawa obu teorii, i — co jest bardzo ważne — jest ona nieodłączną częścią teorii (Rumer, Ryvkin, [7]).

Badania zasady korespondencji były kontynuowane w monografii I.V. Kuznecova ([3]). Po raz pierwszy zanalizował on działanie tej zasady wobec innych teorii fizycznych, takich jak mechanika klasyczna i teoria względności, klasyczna i kwantowa fizyka statystyczna, optyka falowa i geometryczna, elektrodynamika i teoria sił jądrowych. Okazało się, że zakres działania tej zasady jest znacznie szerszy niż sądzono. Przedstawimy pokrótce wyniki tych badań, które nam będą później potrzebne. W odniesieniu do mechaniki klasycznej i relatywistycznej, zdaniem Kuznecova, działanie zasady korespondencji ma charakter wyraźniejszy niż w wypadku mechaniki klasycznej i kwantowej. Przekształcenia Galileusza są granicznym przypadkiem przekształceń Lorentza, pod warunkiem, że prędkości ciał są małe w stosunku do prędkości światła. Równania mechaniki relatywistycznej przy założeniu $c \rightarrow \infty$ przechodzą w prawa mechaniki Newtona. Ogólna teoria względności przy nieobecności pola grawitacyjnego i dążeniu potencjałów grawitacyjnych do zera ($g_{ik} \rightarrow 0$, przy $i \neq k$ i $g_{ik} \rightarrow 1$, przy $i = k$) przechodzi w szczególną teorię względności, a przy małych prędkościach i słabych polach — w mechanikę klasyczną. Relatywistyczna mechanika kwantowa asymptotycznie przechodzi w nierelatywistyczną mechanikę kwantową przy warunku $c \rightarrow \infty$ i w mechanikę teorii względności, kiedy można zaniedbać wielkość kwantu działania ($h \rightarrow 0$). W warunkach, kiedy można założyć jednocześnie nieskończenie wielką prędkość światła i nieskończenie mały kwant działania ($c \rightarrow \infty$, $h \rightarrow 0$), mechanika relatywistyczna z wystarczającą dokładnością przechodzi w klasyczną mechanikę newtonowską. Podobne wyniki dotyczyły i innych teorii fizycznych: klasycznej i kwantowej fizyki

statystycznej, optyki geometrycznej i kwantowej, elektrodynamiki klasycznej i kwantowej i innych.

Analiza związków pomiędzy teoriami w takim aspekcie pozwoliła Kuznecowowi dojść do wniosku, że zasada korespondencji występuje jako ogólna prawidłowość historii rozwoju fizyki teoretycznej, wychodząca daleko poza ramy szczególnych form wzajemnego związku tych czy innych oddzielnie wziętych teorii. W formie najogólniejszej zasada korespondencji brzmi: „teorie, które zostały potwierdzone eksperymentalnie dla tej czy innej dziedziny zjawisk fizycznych, w momencie pojawienia się nowych, ogólniejszych teorii nie są odrzucane jako fałszywe, tylko zachowują swoje znaczenie jako forma graniczna oraz szczególny przypadek nowej teorii” ([7], s. 50). Jak pokazały późniejsze badania, przeprowadzone przez wielu uczonych (por. np. [7], [9], [2]), wyniki badań Kuznecova oraz jego sformułowanie zasady korespondencji, odnoszące się do teorii jako całości, mają charakter wyraźnie redukcjonistyczny i mogą dotyczyć tylko matematycznych aparatów teorii lub ich matematycznych formalizmów.

Ważnym aspektem wzajemnego związku teorii fizycznych jest związek ich pojęć i praw, na co zwracają uwagę W. Mejbbaum, Z. Augustynek, L. Nowak, N. F. Ovčinnikov, Krajewski, Kuhn, Feyerabend i inni, ([2], [7], [10]). Istnieje wiele różnych stanowisk na ten temat — od stanowisk, głoszących pełną korespondencję terminologii i praw teorii, do akcentujących pełną niezależność aparatów pojęciowych i języków teorii. Przedstawimy obecnie zwięźle najbardziej znane i wypracowane koncepcje. Zaczniemy od Ovčinnikova ([7]), który opierając się na idei jedności wiedzy ludzkiej, dochodzi do wniosku, że chociaż treść pojęć w strukturze różnych teorii ulega radykalnym zmianom, to jednak można wykazać ich określoną jedność. Przede wszystkim, pojęcia klasyczne i nowoczesne nie wykluczają się nawzajem. Współczesna fizyka tworzy jednolite pojęcia, w których treści pozostawia się istotne miejsce dla klasycznego rozumienia. Jako przykłady można wskazać pojęcia takie, jak *ruch*, *masa*, *bezwładność* i inne.

Problem pojęć i praw analizuje również Krajewski za pomocą koncepcji idealizacji i faktualizacji w nauce ([10]). Na jej podstawie analizuje on relację korespondencji pomiędzy starą (korespondowaną) teorią T_1 i „nową, dokładniejszą teorią tej samej dziedziny rzeczywistości T_2 (korespondującą)”, oraz prawami i pojęciami fizycznymi tych teorii. Określając tę relację pisze: „W świetle bowiem rozwoju nauki prowadzącego do sformułowania T_2 okazuje się zawsze, że T_1 jest teorią idealizującą, która nie brała pod uwagę pewnych czynników ubocznych, uwzględnionych dopiero przez T_2 . Inaczej mówiąc, T_2 uchyla pewne założenia idealizujące zawarte w T_1 . Relacja korespondencji jest zatem relacją faktualizacji teorii idealizacyjnej” ([10], s. 124).

Rozpatrując problem korespondencji w aspekcie związku mechaniki klasycznej (MK), kwantowej (MKw) i relatywistycznej (MR), dochodzi on do wniosku, że zarówno MKw, jak i STW (szczególna teoria względności) okazują się różnymi faktualizacjami MK, gdyż znoszą różne założenia idealizacyjne. Przytoczymy tutaj dwa przykłady korespondencji pojęć tych teorii. MK zakłada, że energia jest nieskończenie

podzielna. U podstaw MKw leży pojęcie *kwantu działania* — h . Założenie MK o nieskończonej podzielności energii jest więc, w świetle nowej wiedzy, założeniem idealizacyjnym, które MKw zastępuje założeniem faktualnym. Analogiczne założenie MK o nieistnieniu maksymalnej prędkości jest również założeniem idealizacyjnym, które STW zastępuje założeniem faktualnym ograniczenia prędkości granicą — c . Pojęcia starej teorii faktualizują się wobec tego przy przejściu do teorii nowej.

Niezależnie od akceptacji koncepcji Krajewskiego i Ovčinnikova i innych, należy wskazać zasięg ich zastosowania. Analizując aparat pojęciowy teorii w związku z jej strukturą i dziedziną, którą ona opisuje, można wyróżnić dwa rodzaje pojęć, które nazwiemy „pojęciami ogólnymi” i „pojęciami szczególnymi”. Pojęcia ogólne to te, które wychodzą poza ramy każdej teorii wziętej oddzielnie. Posiadając większy stopień ogólności, wchodzą one zarówno w skład teorii korespondowanej, jak i korespondującej, z reguły opisującej głębszy poziom przyrody. Są to pojęcia, których stopień idealizacji jest bardzo wysoki, a ich faktualizacja jeszcze nie jest pełna; dlatego posiadają one większe możliwości konkretyzacji i uzupełnienia treściowego.

Druga grupa pojęć — szczególne pojęcia teorii — odnoszą się do specyficznych cech tej dziedziny fizycznej rzeczywistości, którą opisuje zawierająca je teoria. Takie pojęcia, jak pojęcie *spinu*, *kwantu działania* — h , oraz niektóre zasady i prawa kwantowe, odzwierciedlają specyficzne cechy, które są właściwe tylko mikroświatowi, a z kolei c — prędkość światła — charakteryzuje osobliwe właściwości dziedziny efektów relatywistycznych, opisanej za pomocą MR. Pojęcia te nie są w stanie korespondować dlatego, że nie mają i mieć nie mogą w mechanice klasycznej bezpośrednich analogów. Dlatego właśnie dzięki ich eliminacji z formalizmów teorii drogą przejścia granicznego, udaje się uzyskać korespondencję pojęć, które są z nimi związane za pomocą praw, ale mają charakter ogólny.

Przedstawiona powyżej asymptotyczna zgodność teorii, oraz korespondencja ich matematycznych formalizmów i pojęć ogólnych, są składnikami jedności fizyki z punktu widzenia wzajemnych związków teorii. Asymptotyczna zgodność teorii jest odzwierciedleniem zgodności teorii i ich dziedzin w granicznych obszarach ich funkcjonowania. Wskazuje ona na to, że dziedziny rzeczywistości fizycznej nie są zamknięte, izolowane jedna od drugiej, a ich granice nie są dokładnie określone i nieprzekraczalne. W związku z tym w obszarach granicznych istnieje możliwość zastosowania obu «sąsiadujących» teorii. Korespondencja formalizmów matematycznych jest najwyraźniejszym momentem tego aspektu jedności. Osiąga się ją dzięki «multi-referencjonalnym» właściwościom aparatury matematycznej teorii, na które wskazuje R. Wójcicki ([9]). Jednym z momentów tego aspektu jedności jest korespondencja ogólnych pojęć teorii w procedurze ich faktualizacji przy przejściu od teorii T_1 do teorii T_2 .

Drugim aspektem jedności fizyki w związku z zasadą korespondencji jest metodologiczny aspekt jedności rozwoju wiedzy fizycznej. Można tu również wydzielić następujące momenty: rolę zasady korespondencji jako programu badawczego w tworzeniu nowej wiedzy i jej rolę w ustalaniu kierunku rozwoju wiedzy fizycznej.

W swoim pierwotnym sformułowaniu odwołującym się do odpowiedniości, zasada korespondencji występowała jako kluczowy element w pierwszym programie badawczym postulatów kwantowych Bohra, natomiast w Mkw nabrała ona charakteru dyrektywy metodologicznej. Jak zaznacza W. Niedźwiedzki: „Zasada korespondencji (w sensie reguły prakseologicznej) stanowi *leitmotiv* badań, które doprowadziły Heisenberga do sformułowania mechaniki macierzowej” ([10], s. 354). Trzeba także zauważyć, że jedynym uzasadnieniem słuszności i żywotności tego postulatu była jego instrumentalna przydatność w rozwoju mechaniki kwantowej.

Warto zwrócić uwagę na jeszcze jeden moment wzajemnego związku teorii, mianowicie na proces rozwoju ich metodologii. Istota jego polega na tym, że w procesie tworzenia nowej teorii, przede wszystkim jej aparatury matematycznej i pojęciowej, wykorzystuje się nie tylko wiedzę, której dostarcza stara teoria, ale także doskonalą się i rozwija metody, za pomocą których stara teoria została stworzona oraz tworzy się metody nowe. Istnieje dużo przykładów takich sytuacji w historii nauki. Moment ten może być rozpatrywany nie tylko w perspektywie rozwoju metod teoretycznych, ale również w rozwoju metody eksperymentalnej, ponieważ są podstawy, żeby przypuszczać, iż metoda ta również zachowuje związek dziedziczności w procesie rozwoju fizyki eksperymentalnej. W szczególności, obserwacja zakłada dość długi ciąg empirycznych operacji i technicznych urządzeń, za pomocą których zjawiska mikroskopowe transformują się w zjawiska makroskopowe, żeby stać się obserwowalnymi dla badacza. Ten ciąg instrumentów i metod eksperymentalnych powinien posiadać własności zgodności i korespondencji, żeby mikroobiekt mógł być ujawniony.

Zwróćmy jeszcze uwagę na jedną ciekawą różnicę aspektu fizycznego i metodologicznego. Fizyczny aspekt jedności fizyki, dotyczący korespondencji od nowej teorii T_2 do starej T_1 , ujawnia jej działanie wobec związków między teoriami fizycznymi, rzecz można, «do tyłu». W aspekcie metodologicznym natomiast akcent pada na jego działanie «do przodu», tzn. na jego rolę w tworzeniu nowej teorii i rozwoju wiedzy fizycznej. Analiza zasady korespondencji w aspekcie metodologicznym pokazuje więc, że jest ona wyrazem jedności naszych sposobów uzyskania nowej wiedzy w postaci programu badawczego, spełnia efektywną rolę w procesie rozwoju wiedzy fizycznej. Wskazując na zachowanie dziedziczności, podkreśla jego ukierunkowany charakter.

Trzeci aspekt roli zasady korespondencji w jedności fizyki związany jest z kopenhaską interpretacją mechaniki kwantowej. Można go nazwać aspektem filozoficznym. Zawiera on w pewnym sensie dwa poprzednie. Istota kopenhaskiej interpretacji polega na wzajemnym związku zasad korespondencji i komplementarności. Zasada komplementarności rzuca światło na dwie kwestie: uzupełnienie opisów macierzowego i falowego w mechanice kwantowej i ustalenie zakresu ważności MKw i MK, przy czym MKw nie obala MK. Mowa w niej zawsze o «wiedzy» o mikroświecie, a nie o mikroświecie «jako takim». Mechanika kwantowa jest pojmowana jako instrument pojęciowy, umożliwiający porządkowanie i przewidywanie faktów i zjawisk — i nic poza tym. Równanie Schrödingera opisuje «dynamikę» prawdopodobieństw związa-

nych z parametrami charakteryzującymi badany w doświadczeniu układ kwantowy. Funkcja falowa Ψ nie umożliwia czasoprzestrzennego opisu układu, jak to miało miejsce w fizyce newtonowskiej; opis ten więc nie jest deterministyczny. Z drugiej strony, akt obserwacji wymaga opisu czasoprzestrzennego, deterministycznego, tzn. wykorzystywania metod klasycznych. Obie te zasady dostarczają łącznie pełnej korespondencji formalnej między mechaniką kwantową a klasyczną oraz określają zakres ważności tych teorii (Niedźwiedzki, [10]). Chociaż teorie te mają swoje własne zakresy stosowania, jednak ich wzajemne związki za pomocą zasady korespondencji ustalają możliwość przekładu ich języków, pojęć, aparatów matematycznych itd.

Dzięki zasadzie korespondencji mechanika klasyczna jest w stanie interpretować fakty z dziedziny nieobserwacyjnej, to znaczy z dziedziny mechaniki kwantowej. Przy tym mechanika klasyczna nabiera szczególnej roli teorii obserwacyjnej: „[...] nawet jeśli zjawiska wykraczają poza ramy tłumaczenia fizyki klasycznej i to dowolnie daleko, to jednak opis jakiegokolwiek doświadczenia musi być wyrażony w terminach klasycznych” ([1], s. 64). Wyróżniony zaś charakter aparatury pojęciowej fizyki klasycznej, jak zaznacza Niedźwiedzki, wynikać ma ze swoistego usytuowania człowieka jako podmiotu poznawczego w określonej warstwie Uniwersum.

Jedność wiedzy fizycznej w aspekcie filozoficznym jest więc oparta na jedności działalności poznawczej podmiotu, związanej z jego umiejscowieniem w określonej dziedzinie świata. Właśnie niemożliwość interpretacji faktów innej niż za pomocą pojęć fizyki klasycznej, wymaga warunku korespondencji fizycznej i metodologicznej. Spełnienie tego warunku pozwala podmiotowi poznającemu tworzyć jednolity system wiedzy o rzeczywistości fizycznej.

Literatura

- [1] Bohr, N., *Fizyka atomowa a wiedza ludzka*, Warszawa 1963.
- [2] Krajewski, W., *Correspondence Principle and Growth of Science*, Boston 1997.
- [3] Kuznecov, I.V., *Princip sootvetstvija v sovremennoj fizike i jego filozofskoe znaczenie*, Moskwa 1948.
- [4] Bażenov, A.B. (red.), *I. Njuton i filozofskie problemy jestestvoznanija XX wieka*, Moskwa 1991.
- [5] Krajewski, W., Strawieński, W. (red.), *O uniwersalności i jedności nauki*, Warszawa 1993.
- [6] Bażenov, L.B. (red.), *Princip dopolnitelnosti*, Moskwa 1979.
- [7] Kedrov, B.M., Ovičnikow, N.F. (red.), *Princip sootvetstvija*, Moskwa 1979.
- [8] Krajewski, W. (red.) *Relacje między teoriami a rozwój nauki*, Wrocław 1978.
- [9] Wójcicki, R., *Teorie w nauce*, Warszawa 1991.
- [10] Krajewski, W. (red.), *Zasada korespondencji w fizyce a rozwój nauki*, Warszawa 1974.