

Izydora Dąmbska

## Pojęcie modelu i jego rola w naukach<sup>1</sup>

11 lutego 1959 roku na konferencji w Centre International de Synthèse w Paryżu Izydora Dąmbska wygłosiła referat zatytułowany „Le concept de modèle et son rôle dans les sciences”. Artykuł ten został opublikowany w materiałach pokonferencyjnych<sup>2</sup>. 16 marca 1960 roku na posiedzeniu Zakładu Logiki w Warszawie Dąmbska przedstawiła jego treść raz jeszcze, tym razem w języku polskim i pod nieco innym tytułem („O modelach i ich roli w nauce”). Streszczenie tego wystąpienia znajduje się w „Sprawozdaniach z Prac Naukowych Wydziału Nauk Społecznych PAN”<sup>3</sup>. Pełna wersja referatu w języku polskim nie została jednak nigdy wcześniej opublikowana i z tego powodu jest w Polsce prawie nieznaną. Praca Dąmbskiej zasługuje na uwagę z kilku względów. Po pierwsze, autorka wprowadza zasadniczy podział na dwa rodzaje modeli — modele-wzory i modele-odwzorowania — oraz podaje ich definicje, których nie odnajdujemy w żadnej innej jej pracy. Po drugie, rozważa różnorodne przykłady modeli, np. modele w etyce i moralności (ideały etyczne), w estetyce i sztuce (kanony estetyczne), w socjologii (modele państwa), w logice (struktury formalne — układy równań, teorie; także koła Eulera), w fizyce (modele w mechanice klasycznej, atom Bohra i teorie fizyczne). W innych pracach Dąmbskiej nie znajdziemy również rozważań o modelach w etyce, moralności, estetyce i socjologii, cho-

<sup>1</sup> Treść tego artykułu została przedstawiona na konferencji w Centre International de Synthèse 11 lutego 1959 roku. Autorka pragnie wyrazić raz jeszcze wdzięczność inicjatorom tego spotkania: Pani Suzanne Delorme i Panu Paulowi Chalus, przewodniczącemu posiedzenia — Panu René Poirier, Panu André Lalande, który zaszczylił je swą obecnością, oraz wszystkim, którzy zechcieli wziąć udział w dyskusji tak dla autorki owocnej.

<sup>2</sup> Izydora Dąmbska, *Le concept de modèle et son rôle dans les sciences*, „Revue de Synthèse”, t. 13-14 trzeciej serii (t. LXXX serii głównej), styczeń-czerwiec 1959, s. 39-51.

<sup>3</sup> Izydora Dąmbska, *O modelach i ich roli w nauce* (streszczenie), „Sprawozdania z Prac Naukowych Wydziału Nauk Społecznych PAN”, r. IV, 1961, z. 2(19), s. 100-102.

*ciaż czyni uwagi o modelach w naukach empirycznych. Po trzeciej, wyróżnia dwa rodzaje modeli w naukach empirycznych — (1) modele znajdujące zastosowanie w fizyce klasycznej i będące tworem geometrycznymi (przedstawionymi schematycznie lub tylko opisanymi) odwzorowującymi struktury innych obiektów oraz (2) modele znajdujące zastosowanie w fizyce współczesnej, a będące pewnymi teoriami. Wreszcie, Dąmbska bada różnorodne funkcje modeli (wyjaśniającą, dydaktyczną, demonstratywną, heurystyczną itd.).*

*Aleksandra Horecka*

Gdy analizowałam w obszerniejszym kontekście — w pracy poświęconej metodom filozofii i nauk — rolę analogii, zauważyłam, że jej funkcja nie ogranicza się do tego, iż zaobserwowana lub zakładana analogia podsuwa myślicielowi nowe zagadnienie czy nową hipotezę, lub też że stanowi podstawę pewnego sposobu argumentacji dotyczącej dziedziny jego badań: analogia odgrywa także rolę w różnych operacjach poznawczych, które możemy określić mianem homotetycznych i które polegają między innymi na tworzeniu nowych teorii na wzór teorii uznanych za modele. Teoria utworzona w ten sposób ma strukturę izomorficzną lub homomorficzną ze strukturą jej modelu. Dzięki temu może być on ujęty jako termin pilotujący tej analogii, której nowa teoria stanowi termin pilotowany.

Trzeba wyjaśnić, że przez „analogię” rozumiem tutaj podobieństwo strukturalne określonych układów (zbiorów) obiektów, czyli podobieństwo relacji między elementami tych układów (zbiorów) i podobieństwo ich własności ufundowanych na tych relacjach. Nazywam te układy (zbiory) „terminami”, a ich elementy — „członami analogii”. W najprostszym wypadku, w analogii proporcji  $A:B = C:D$ , całość  $A:B$  jest terminem, a jej elementy  $A, B$  są członami analogii. Analogia jest relacją symetryczną, ale w różnych operacjach logicznych zawsze kładziemy nacisk na jeden z owych dwóch terminów, aby skonstruować, przedstawić lub wyjaśnić drugi. Ten pierwszy nazywam właśnie „terminem pilotującym”, zarezerwowawszy dla drugiego nazwę „termin pilotowany”.

Operacje homotetyczne opierają się na założeniu, że struktury pewnych systemów przedmiotów są homologiczne, co pozwala wyjaśnić je za pomocą teorii analogicznych względem innych teorii-modeli. Doniosłość modeli w naukach i różne znaczenia, w których posługujemy się terminem „model”, skłaniają nas do przeprowadzenia dokładniejszej analizy tego pojęcia. W mojej pracy zamierzam zatem:

1. wyeksplikować definicję analityczną pojęcia modelu,
2. rozróżnić główne typy modeli,
3. pokazać na kilku przykładach ich funkcję metodologiczną w różnych naukach.

Termin „model” przeniesiony z dziedziny sztuki i rzemiosł do dziedziny nauk teoretycznych — tak samo jak terminy „konstrukcja” i „struktura” — jest powszechnie

używany w rozważaniach metateoretycznych i — tak jak w podobnych wypadkach — nie ma określonego i doprecyzowanego znaczenia. Mówimy o modelach w matematyce i logice („model systemu formalnego”, „model języka”), w fizyce („model atomu”, „model teorii”), w biologii („model systemu nerwowego”), w moralności („model cnót”), w socjologii („model państwa”) itd. Wydaje się zatem ważne, by uściślić znaczenie lub znaczenia tego terminu, a dzięki temu wydobyć jego sens operacyjny w nauce. W użyciu tego terminu możemy zaobserwować dwie różne tendencje. Jedna wyraża się w znanej żartobliwej sentencji lorda Kelvina: „Dopóki nie mogę podać modelu mechanicznego, dopóty nie rozumiem”<sup>4</sup>, w której przez „model” rozumie się konkretną konstrukcję ilustrującą pewną teorię fizyczną; druga — to ta, w której rozważa się modele jako bardziej abstrakcyjne struktury formalne logiki matematycznej, o tyle, o ile spełniają one zbiór warunków sformułowanych w metateorii nauk apriorycznych. W pierwszym wypadku konkretna cecha naoczności wydaje się istotna, w drugim — nie jest w ogóle brana pod uwagę. Poza tym model raz jest czynnikiem, który służy za punkt wyjścia operacji homotetycznych zmierzających do stworzenia pewnej nowej teorii wyjaśniającej, a innym razem — środkiem logicznej kontroli określonych nowych struktur formalnych. Ponieważ i natura, i funkcje modelu są pojmowane w tak różny sposób, konieczne jest — aby dojść do pojęcia modelu operacyjnie wartościowego — naszkicowanie teorii uwzględniającej owe różnorodne funkcje metodologiczne.

Jeśli weźmie się w nawias sens metaforyczny, słowo „model” ma w języku potocznym dwa odrębne znaczenia. W jednym z nich model jest przedmiotem-wzorem, który możemy odtwarzać lub naśladować — z reguły chodzi tu o przedmiot jednostkowy (realny lub fikcyjny). W tym wypadku pojęcie modelu jest względne. Pewien przedmiot jest modelem z uwagi na swoją funkcję nadawania się do tego, aby ktoś wytworzył coś na jego wzór, np. Napoleon pozujący do swojego portretu tworzonego przez Davida lub postać fikcyjna dramatu, np. Hamlet Szekspira, jako model aktorskiej kreacji scenicznej. To pojęcie modelu odgrywa ważną rolę w moralności i wychowaniu. Różne typy ideałów w moralności nie są niczym innym jak tylko modelami — jako przedmioty proponowane do naśladowania. Poszczególne postaci stają się modelami ze względu na określone własności, które staramy się realizować, gdy owe postaci naśladujemy (np. święty Franciszek z Asyżu jako model miłości i pokory chrześcijańskiej). Ta sama jednostkowa postać może stanowić odmienne modele w zależności od aspektu, który zamierzamy naśladować. Interesujące uwagi na ten temat możemy znaleźć w *Traité de l'argumentation* Chaïma Perelmana i Lucie Olbrechts-Tyteca. Autorzy pokazują, w jaki sposób różne teksty moralistyczne przedstawiają postać Jezusa jako model do naśladowania w odmiennych aspektach. Na przykład Bossuet ukazuje Jezusa jako model sprawiedliwości suwerena, Locke

---

<sup>4</sup> William Thomson (Lord Kelvin), *Lectures on molecular dynamics and the wave theory of light*, Baltimore 1884, s. 270. Cytuję za Pierrem Duhemem, *La théorie physique*, Paris 1906, s. 113.

— jako model tolerancji, de Méré — jako model łaskawości itd.<sup>5</sup>. Są powody, by uważać, że w podobnych wypadkach model stanowi już raczej uogólniony schemat, a nie przedmiot jednostkowy.

W drugim znaczeniu tego słowa przez „model” rozumiemy przedmiot, który odtwarza w sposób mniej lub bardziej schematyczny i zmodyfikowany strukturę pewnego określonego przedmiotu jednostkowego lub klasy przedmiotów określonego rodzaju. Tak na przykład model wieży Eiffla jest przedmiotem jednostkowym, który w pewnej innej skali, z pominięciem pewnych szczegółów, reprezentuje ową konstrukcję architektoniczną. Model świątyni doryckiej lub model nowego typu samolotu są przedmiotami jednostkowymi, a zatem przedmiotami innej kategorii formalnej niż obiekty przez nie reprezentowane: modele te odtwarzają w sposób schematyczny strukturę pewnego rodzaju architektonicznego lub pewnego rodzaju mechanizmu. Tak więc funkcja modelu polega na:

- (1) byciu dla kogoś przedmiotem do odwzorowania lub naśladowania,
- (2) schematycznym odwzorowaniu innych przedmiotów.

Czasem jeden i ten sam przedmiot spełnia zarazem obie funkcje. Odlew pojęty jako model schematyczny świątyni doryckiej może służyć podczas lekcji rysunku jako model do skopiowania przez uczniów.

Wydaje się, że ów podwójny aspekt jest często właściwy modelom drugiego rodzaju (schematom odwzorującym strukturę obiektu lub typu obiektów); innymi słowy, model-odwzorowanie służy często jako model-wzór do odwzorowania. I wydaje się, że właśnie takie pojęcie modelu jest punktem wyjścia do konstrukcji pojęcia modelu w teoriach naukowych.

W tym wypadku pewien przedmiot może być rozpatrywany jako model, gdy pełni funkcję reprezentowania struktury pewnego określonego typu obiektów i gdy ma za zadanie służyć jako termin pilotujący izomorficzny lub homomorficzny z drugim terminem pewnej innej, analogicznej konstrukcji. Przedmioty konkretne, służące jako modele w technice i w sztuce, ustępują miejsca w naukach teoretycznych schematom struktur geometrycznych lub mechanicznych, lub też czysto formalnych struktur logicznych. Tym, co wydaje się istotne dla tej idei modelu, przeniesionej z dziedziny techniki i sztuki do dziedziny nauk teoretycznych, jest izomorfizm lub homomorfizm struktury przedmiotu-modelu ze strukturą przedmiotów, które ten model odwzorowuje.

Również pierwsze pojęcie modelu (modelu jako przedmiotu do naśladowania) występuje w formie przetworzonej i zmodyfikowanej, zwłaszcza w naukach humanistycznych i społecznych. Ideały etyczne, kanony estetyczne, utopie społeczne lub ekonomiczne można także uznać za modele. Tym konstrukcjom intelektualnym odpowiadają w naukach stosowanych i w praktyce określone normy lub zasady, które wskazują, w jaki sposób modele mogą być zrealizowane. Sama realizacja jest skąd-

<sup>5</sup> Chaïm Perelman i Lucie Olbrechts-Tyteca, *Traité de l'argumentation*, Paris 1958, t. II, s. 497-498.

nań tworzeniem wytworów o strukturach izomorficznych lub homomorficznych ze strukturami modeli. Na przykład, jako rezultat teorii społecznej może narodzić się idea społeczeństwa, która — ujęta jako model — stanowi punkt wyjścia sformułowania reguł lub norm prawnych zmierzających do jej skonkretyzowania w organizacji życia politycznego jakiegoś kraju.

To samo dotyczy modeli artystycznych (np. modelu dramatu klasycznego lub kanonu rzeźby greckiej), etycznych (ideału mądrości, ideału świętości itp.). Lecz czyż sam model nie odtwarza w wymienionych wypadkach pewnych struktur indywidualnych lub typowych? Czyż nie jest on także modelem odtwarzającym? Na przykład model dramatu klasycznego — czyż nie jest on schematem odtwarzającym strukturę właściwą dziełom dramatycznym Ajschylosa, Sofoklesa, Eurypidesa? Model mądrości — czyż nie jest pojmowany jako obraz moralnej osobowości Sokratesa? Niemniej, jeśli przyjąć odróżnienie modeli-odwzorowań od modeli-wzorów, modele, o których teraz mówimy, należą do modeli-wzorów, ponieważ w wypadku modelu to nie jego pochodzenie psychologiczne i nie warunki, w których się konstytuuje, lecz funkcja jemu właściwa decyduje o jego charakterze. Modele są przedmiotami przeznaczonymi do odwzorowania przez kogoś lub przedmiotami coś odwzorowującymi; i to za sprawą tych dwóch funkcji stają się one modelami, niezależnie od ich pochodzenia psychologicznego. W naukach humanistycznych określone przedmioty pełnią właśnie pierwszą, a nie drugą funkcję, i — w konsekwencji — stają się modelami w pierwszym znaczeniu tego słowa.

Lecz co to znaczy, że pewien przedmiot odwzorowuje inny przedmiot lub że sam jest przedmiotem do odwzorowania? Jeśli chodzi o modele w naukach — a to właśnie interesuje nas tu w pierwszej kolejności — trzeba jeszcze wyróżnić model  $M$  jako model w ścisłym sensie tego słowa i model  $\bar{M}$  jako model w sensie szerszym. Nazwijmy  $M(w)$  i  $\bar{M}(w)$  „modelami-wzorami”, a  $M(o)$  i  $\bar{M}(o)$  — „modelami-odwzorowaniami”. Powiemy wówczas, że:

1. Przedmiot  $O$  jest modelem  $M(w)$  przedmiotu  $O'$  lub klasy przedmiotów  $O'$  wtedy i tylko wtedy, gdy pewien podmiot świadomy, czyli pewna osoba  $P$ , przyporządkowuje przedmiotowi  $O$  przedmiot lub klasę przedmiotów  $O'$  w taki sposób, aby struktura  $S$  lub część struktury  $S$  przedmiotu lub klasy przedmiotów  $O'$  była izomorficzna ze strukturą  $S$  przedmiotu  $O$ ;

2. Przedmiot  $O$  jest modelem  $M(o)$  przedmiotu lub klasy przedmiotów  $O'$  wtedy i tylko wtedy, gdy pewien świadomy podmiot, czyli osoba  $P$ , przyporządkowuje przedmiot  $O$  przedmiotowi lub klasie przedmiotów  $O'$  tak, by struktura  $S$  przedmiotu  $O$  była izomorficzna ze strukturą  $S'$  przedmiotu lub klasy przedmiotów  $O'$ .

Wydaje się, że relatywizacja modelu do świadomego podmiotu jest konieczna, aby wykluczyć z zakresu pojęcia modelu wypadek, w którym mamy do czynienia ze współwystępowaniem struktur izomorficznych niezależnych od homotetycznych operacji poznawczych. Z dwóch brył ośmiościennych żadna nie jest ani  $M(w)$ , ani  $M(o)$  drugiej pomimo izomorficzności ich struktur geometrycznych, jeśli relatywizacja,

o której tu mówimy, nie zachodzi. W sensie rozszerzonym możemy mówić o modelach tam, gdzie struktury  $O$  i  $O'$  nie są izomorficzne, a jedynie homomorficzne.

Zdefiniowawszy w ten sposób pojęcie modelu, rozważymy teraz kilka konkretnych przykładów zastosowania modeli w naukach, aby jaśniej określić ich funkcje metodologiczne.

Rola modeli w fizyce teoretycznej jest ogólnie znana i uznana. Ważne jest jednak, by pokazać, że pojęcie modelu w dziedzinie fizyki zmieniało się w trakcie rozwoju fizyki dwudziestego wieku. Model fizyki klasycznej jest najczęściej pewną konstrukcją geometryczną lub mechaniczną, odwzorowującą strukturę pola zjawiska po to, aby owo zjawisko reprezentować w sposób konkretny i — dzięki temu — wyjaśnić relacje funkcjonalne zachodzące w polu. Dominacja mechaniki w fizyce klasycznej i jej znaczenie w dziedzinie techniki i fizyki eksperymentalnej nie pozostawały bez wpływu na wybór modeli. Duhem, w swym doniosłym *Traité sur la théorie physique*, rozważa zagadnienie modeli jako środków służących do wyjaśniania używanych przez pewnych fizyków o zmyśle wyobraźni (*a l'esprit imagiatif*). W pracy *L'évolution de la mécanique* (Paris 1903), podobnie jak w *La théorie physique, son objet et sa structure* (Paris 1906), Duhem poświęca wiele uwagi roli modelu w fizyce. Według niego model nie jest niczym innym jak tylko drugorzędnym środkiem pomocniczym (*auxiliaire secondaire*), wymyślonym przez uczonych, którzy dzięki swojej umysłowości geometrów-empiryków odwołują się w swych badaniach do spostrzegalnych obrazów. Fizycy tego typu — a są to według Duhema przede wszystkim fizycy angielscy — wprowadzają do swoich teorii fizycznych modele mechaniczne i geometryczne.

Pozostawiwszy na boku problem psychologiczny modelu w fizyce, rozważymy dokładniej sam termin „model”, którym posługuje się Duhem. Nie wydaje mi się, aby był on używany w sposób jednoznaczny i bardzo ścisły. Aby to pokazać, porównamy niektóre z wypowiedzi, w których jest on omawiany. „Zastosowanie podobnych modeli mechanicznych — pisze Duhem, mówiąc o modelach w elektrostatyce — przywołujących [...] cechy charakterystyczne teorii, którą należy przedstawić, jest niezmiennie. Zamiast ułatwić zrozumienie teorii francuskiemu czytelnikowi użycie podobnych modeli mechanicznych, przeciwnie, zmusza go do włożenia dużego wysiłku w zrozumienie funkcjonowania aparatu, w poznanie analogii między właściwościami tego aparatu a propozycjami teorii, którą należy zilustrować”<sup>6</sup>. „Szereg modeli [...] może zaoferować analogie ciekawe, intuicyjne, płodne między prawami fizyki i funkcjonowaniem pewnych mechanizmów”<sup>7</sup>. Z tych wypowiedzi możemy wywnioskować, że „model mechaniczny lub geometryczny” jest terminem analogii odtwarzającym strukturę drugiego terminu analogii, który nie jest niczym innym jak zbiorem twierdzeń teorii fizycznej. Ale trudno jest przyjąć izomorficzność struktury między zespołem twierdzeń i pewną konstrukcją mechaniczną. Trzeba przyjąć do-

<sup>6</sup> Pierre Duhem, *La théorie physique*, cyt. wyd., s. 111.

<sup>7</sup> Pierre Duhem, *L'évolution de la mécanique*, Paris 1903, s. 195-196.

datkowo, że odpowiedniość izomorficzna zachodzi między strukturą modelu mechanicznego i strukturą systemu wielkości fizycznych opisanych w sposób abstrakcyjny przez równania teorii.

O tym, że takie ujęcie stanowi możliwą interpretację myśli Duhema, świadczą inne ustępy jego dzieła. „Fizyk wyobraźni (*physicien imaginaire*) — mówi na przykład — nie będzie czuł się usatysfakcjonowany, dopóki nie zastąpi różnych jakości ciał, dostępnych tylko abstrakcyjnym koncepcjom i reprezentacji numerycznej, kombinacjami figur dostępnych intuicji geometrycznej i dających się narysować”<sup>8</sup>. Lub jeszcze: „rozumieć zjawisko fizyczne to jest więc dla fizyka ze szkoły angielskiej złożyć model, który naśladuje to zjawisko; odtąd rozumieć naturę rzeczy materialnych to wyobrazić sobie mechanizm, którego działanie będzie reprezentowało, symulowało cechy ciał”<sup>9</sup>. Przeciwnością jest natomiast typ wyobraźni fizyka angielskiego umysłowości uczonych francuskich, dodaje, że mimo iż niektórzy (np. Kartezjusz) skłaniają się do opisywania rzeczywistości w języku geometrii i mechaniki brył oraz konstruują różne schematy reprezentujące własności materii, wskazują przez te schematy — i na tym polega według Duhema różnica — jedynie takie cechy, które mogą być przyjęte ze względu na konsekwencje wywiedzione z hipotez kosmologicznych założonych w ich systemie<sup>10</sup>. Modele te były dla nich tylko elementem pomocniczym w stosunku do teorii, jej ilustracją wyjaśniającą, podczas gdy dla fizyków imaginatywnych (*imaginatifs*) stanowiły własność teorii jako punkt wyjścia hipotez. Funkcje metodologiczne modelu będą więc w tych dwóch wypadkach inne: w jednym — heurystyczna lub odkrywczą, w drugim — jedynie dydaktyczną.

Jednak Duhem wyraża się także czasami tak, jakby model mógł zastąpić teorię lub był z nią identyczny. W takim kontekście termin „model” otrzymuje nowe znaczenie. Mówiąc o teorii Maxwella, którą utożsamia, naśladując w tym Hertza, z jego systemem równań, nazywa te równania „modelem algebraicznym” praw fizycznych. „Intuicji zmysłu wyobraźni pozostawia on [Maxwell] porównywanie praw fizyki i modelu algebraicznego, który ma je naśladować. Nie zatrzymując się dłużej przy tym porównaniu, śledzi dalej rolę modelu; zestawia równania elektrodynamiki, najczęściej nie szukając odpowiedniości między tymi równaniami i prawami fizyki”<sup>11</sup>. Tutaj model nie jest już konkretnym schematem geometrycznym lub mechanicznym, lecz „systemem równań”, modelem algebraicznym, który ma imitować prawa. Otwartą kwestią pozostaje to, czy prawa, o których mowa, są pojęte ontologicznie jako regularności w następstwie zdarzeń, czy też jako elementy logiczne teorii fizycznej. Niemniej, ogólnie rzecz biorąc, Duhem skłania się ku mówieniu o prawach jako elementach teorii.

<sup>8</sup> Tamże, s. 181.

<sup>9</sup> Pierre Duhem, *La théorie physique*, cyt. wyd., s. 113.

<sup>10</sup> Tamże, s. 115-116.

<sup>11</sup> Tamże, s. 126.

To nowe i mało precyzyjne pojęcie modelu algebraicznego prowadzi do idei modelu, która wydaje się dziś operacyjnie przekonująca w fizyce matematycznej, w matematyce i logice. Zapewne można rozumieć uwagi Duhema w ten sposób, że prawa dotyczące pewnej określonej dziedziny zjawisk fizycznych mogą być pojęte jako interpretacja wyznaczona przez podstawienie — w miejsce zmiennych tych równań — symboli oznaczających określone wielkości fizyczne. Ten sam system równań mógłby otrzymać różne interpretacje i służyć jako model odmiennych zbiorów praw. W tym wypadku model jest pewnym systemem struktury logicznej, przyporządkowanej różnym interpretacjom fizycznym równań teorii.

W tak abstrakcyjnej fizyce współczesnej model ujęty jako spostrzegalna konstrukcja mechaniczna lub geometryczna utracił swoją rolę heurystyczną. Nie znaczy to jednak, że wszelkie modele opuściły obszar dzisiejszej fizyki. Co więcej, pojęcie to zmieniło się, zgodnie z głębokimi przemianami pojęć teorii fizycznych. Aby zdać sobie z tego sprawę, należy naszkicować charakterystyczne różnice zachodzące między fizyką klasyczną i współczesną. Jasno i zwięźle ujął je Jean-Louis Destouches w *Principes fondamentaux de la physique théorique*. Podsumuję je tu krótko.

Fizyka klasyczna używa pojęć odnoszących się do zjawisk dostępnych badaniom eksperymentalnym w skali człowieka. Zakłada ona ciągły czas rzeczywisty, absolutną przestrzeń euklidesową, absolutną równoczesność zdarzeń, jednorodną mechanikę newtonowską, ścisłą determinację własności fizycznych ujętych jako własności realne materialnych obiektów, rozchodzenie się fal jako ruch rzeczywisty w ośrodku fizycznym. Nowa fizyka — przeciwnie — zgłębia dziedzinę fenomenów skali innej niż skala człowieka (fizyka kosmiczna i mikrofizyka). Zmienia to w zasadniczy sposób technikę eksperymentu, z czym łączy się wpływ przyrządów mierniczych na system obserwowany w mikrofizyce i warunki specyficzne rejestrowania zjawisk kosmicznych. Pojęcia fizyki klasycznej tracą swoje zastosowanie w opisie tego nowego świata faktów. Fizyka współczesna odrzuca ciągłość energii i materii, pojęcie czasu absolutnego i pojęcie absolutnej przestrzeni, podaje w wątpliwość ścisły determinizm praw fizycznych, modyfikuje pojęcie przedmiotu fizycznego, relatywizując je do obserwatora i oprzyrządowania mierniczego, stającego się ważnym elementem teorii fizycznej, oraz postulując korpuskularno-falowy dualizm zjawiska światła oraz materii. Teorie fizyczne opisują w języku matematycznym świat całkiem różny od spostrzegalnego świata fizyki klasycznej<sup>12</sup>. Rozwój nowych teorii fizycznych i krytyka podstaw fizyki klasycznej skłaniają także do rewizji metodologii fizyki. Teorie fizyczne, które pojawiły się jako formalne systemy dedukcyjne, dzięki interpretacji empirycznej ich zasad (terminów, postulatów) nie tracą swych związków z rzeczywistością spostrzegalną i nie unikają kontroli eksperymentalnych metod badawczych. Jaka jest zatem rola modelu w nowej fizyce? I w jakim sensie używany jest tu termin „model”?

<sup>12</sup> Jean-Louis Destouches, *Principes fondamentaux de la physique théorique*, t. I, Paris 1942, s. 21-29.



Wydaje się, że niepowodzenie tendencji absolutystycznych w wyjaśnianiu zjawisk fizycznych i głębokie różnice — o których była mowa — między siatkami pojęciowymi fizyki klasycznej i fizyki współczesnej (teorii względności i teorii kwantów) można w wysokim stopniu złożyć na karb ograniczenia roli heurystycznej naocznych modeli geometrycznych i mechanicznych w rodzaju obiektów ujmowanych w skali naszego potocznego doświadczenia. Niemniej, pewne konstrukcje abstrakcyjne, które dzięki swojej strukturze odwzorowują struktury systemów fizycznych, nie przestały odgrywać ważnej roli w fizyce współczesnej. Nie należy też sądzić, że wszystkie środki konkretyzacji i reprezentacji naocznej zniknęły z fizyki współczesnej. Jednak ich zastosowanie w fizyce ma raczej naturę dydaktyczną i wyjaśniającą, a nie odkrywczą lub demonstratywną. Einsteiński człowiek w windzie, demon Maxwella, który oddziela w pomysłowy sposób cząstki gazu poruszające się z ogromną prędkością od cząstek powolnych, to pewne fikcje, które reprezentują w sposób przybliżony określone struktury fizyczne. Jednak nie są to ich modele. Z kolei model atomu Bohra, odgrywający tak istotną rolę w powstaniu hipotezy kwantowej, przeciwnie — jest pewną konstrukcją myślową odwzorowującą w skali mikrofizycznej strukturę układu fizycznego o skali kosmicznej, mianowicie strukturę Układu Słonecznego. Konstrukcja myślowa — przywołana przez księcia Louisa de Broglie’a — fali materii (*onde-pilote*), którą możemy ująć także jako model fizyczny, stała się punktem wyjścia jego hipotezy dotyczącej analogicznej struktury światła i materii.

Oprócz typu modeli, które odwzorowują pewne relacje określonego pola fizycznego, istnieje w fizyce współczesnej typ modelu, który możemy nazwać „teorią-modelem”. Model ten pojawia się w dwóch wersjach — teoretycznej i metateoretycznej. W wersji teoretycznej pewna teoria  $Th$  jest modelem  $M(o)$  teorii  $Th'$ , gdy twierdzenia teorii  $Th'$  dotyczące systemu fizycznego  $S'$  są odwzorowane przez analogiczne twierdzenia teorii  $Th$  dotyczącej systemu fizycznego  $S$ , homologicznego względem  $S'$ . Ideę tę możemy także wyrazić inaczej, mówiąc, że pewna teoria  $Th$  jest modelem  $M(o)$  innej teorii  $Th'$ , gdy te dwie teorie są analogiczne i gdy  $Th$  odwzorowuje  $Th'$  w celu opisanego pewnego układu  $S$  pewnej struktury homologicznej ze strukturą  $S'$ , która odpowiada teorii  $Th'$ .

Ten typ operacji homotetycznej w fizyce został scharakteryzowany dokładniej przez Paulette Février. Według niej dany system utworzony z określonego zbioru terminów  $T$  i zdań  $\wp$  — nazwijmy go systemem  $T\wp$  — jest analogiczny w stosunku do teorii-modelu  $Th_M$ , „jeżeli możemy przyporządkować zbiorowi  $T$  w sposób ogólnie wieloznaczny<sup>13</sup> zbiór  $T_M$  terminów, a zbiorowi  $\wp$  — zbiór  $\wp_M$  zdań teorii  $Th_M$ ”. To przyporządkowanie spełnia następujące warunki: „jeśli zdaniom  $p$  i  $q$  z  $\wp$ , takim, że przy przyjętych regułach wnioskowania  $p$  uzasadnia  $q$ , czyli  $p \rightarrow q$  (tzn.  $q$  jest wyprowadzalne z  $p$ ), przyporządkowane są odpowiednio zdania  $p_M$  pewnego pod-

<sup>13</sup> W oryginale: „d’une manière en général multivoque”; nie jest jasne, czy chodzi o przyporządkowanie jedno-wieloznaczne czy wielo-wieloznaczne (przyp. tłum.).

zbioru  $P$  i zdania  $q_M$  pewnego podzbioru  $Q$  zbioru  $\wp_M$ , to zbiory  $P$  i  $Q$  są takie, że żadne zdanie  $p_M$  z  $P$  nie pociąga negacji żadnego zdania  $q_M$  z  $Q$ , czyli:

$$((p_M \in P) \wedge (q_M \in Q)) \rightarrow \sim (p_M \rightarrow \sim q_M)^{14}.$$

Février zdaje sobie sprawę z tego, że nie wystarczy, aby pewna nowa teoria fizyczna skonstruowana na podstawie modelu była logicznie uzasadniona; trzeba jeszcze, aby miała ona znaczenie fizyczne i była adekwatna. W tym sensie teoretycznym teoria falowa światła służy jako model teorii elektromagnetycznej, a mechanika analityczna i optyka geometryczna, uznane przez Hamiltona za teorie analogiczne, służyły za model mechaniki falowej Schrödingera<sup>15</sup>.

W wersji metateoretycznej pojęcia modelu abstrahuje się od empirycznej interpretacji fizycznej określonego systemu formalnego, traktując model jako konstrukcję czysto logiczną, służącą do weryfikacji struktury innego wybranego systemu formalnego. To pojęcie modelu jest typu  $M(o)$  i należy do teorii nauk formalnych, ale interesuje także metodologię fizyki o tyle, o ile odnosi się do fizyki matematycznej.

Niektórzy fizycy współcześni, np. książę Louis de Broglie i jego uczniowie, stosują rozróżnienie między fizyką teoretyczną wyrażoną w języku matematyki i fizyką matematyczną. Analizując teorie fizyczne, możemy rozważać ich sens empiryczny, który odpowiada strukturze systemów fizycznych świata empirycznego — uprawiamy wtedy fizykę teoretyczną. Możemy jednak rozważać te teorie same w sobie, abstrahując od znaczenia ich zdań, aby — jak mówi de Broglie — „wydobyć ich szkielet logiczny i usystematyzować z ogólniejszego punktu widzenia ich strukturę matematyczną i zależności między nimi”<sup>16</sup>. Mamy wtedy do czynienia z fizyką matematyczną. Moglibyśmy zapytać, czy w takim wypadku uzasadnione jest jeszcze mówienie o fizyce: przyporządkowanie tej nauki światu zjawisk empirycznych jest przecież rzeczą istotną. Ale w teorii tak rozumianej fizyki matematycznej metateoretyczne pojęcie teorii-modelu jako czynnika operacyjnego służącego sprawdzaniu konstrukcji systemów dedukcyjnych nie jest bez znaczenia.

Model w sensie, który interesuje teorię systemów formalnych logiki i matematyki, jest związany z pojęciem interpretacji systemu dedukcyjnego, a dokładniej — z interpretacją jej zdań elementarnych. W tym znaczeniu model jest — według Ladrière’a — pewnym zbiorem elementów  $E(e)$  przyporządkowanym systemowi  $SF$  w taki sposób, że:

1. Twierdzeniom  $SF$  odpowiadają wypowiedzi złożone z elementów  $E(e)$ .
2. Można niezależnie od  $SF$  wykazać prawdziwość lub fałszywość tych wypowiedzi.

<sup>14</sup> Paulette Février, *La structure des théories physiques*, Paris 1951, s. 74.

<sup>15</sup> Por. Louis de Broglie, *Une tentative d'interprétation causale et non linéaire de la mécanique ondulatoire*, Paris 1956, s. 7.

<sup>16</sup> Por. Louis de Broglie, Przedmowa do dzieła Jeana-Louisa Destouches’a, *Les principes de la mécanique ondulatoire*, Paris 1953, s. 45.

3. Zdaniom wywiedzionym z  $SF$  odpowiadają wypowiedzi prawdziwe zbudowane z elementów  $E(e)$ <sup>17</sup>.

Naturę odpowiedniości  $E(e)$  i  $SF$  precyzuje Evert Willem Beth w ostatniej książce *Les fondements logiques des mathématiques* (Paris 1955) systematyzując różne typy tego rodzaju modeli<sup>18</sup>, oraz — w sposób ogólniejszy — Wang Hao, który formułuje pojęcie modelu w następujący sposób: „System  $S$  ma model w innym systemie  $S'$ , gdy możemy zinterpretować przedmioty i własności oraz relacje przyjmowane przez  $S$  jako część tych przyjmowanych przez  $S'$  w taki sposób, że wybrane zdania (w  $S$ ) o tych pierwszych stają się takimi (w  $S'$ ) o tych drugich. Gdy istnieje model  $S$ -a w  $S'$ , wyciągamy wniosek, że jeśli  $S'$  jest niesprzeczny, wtedy i  $S$  taki jest”<sup>19</sup>.

Rola modelu różni się tu od tej, którą omawialiśmy wcześniej. Nie jest to ani rola heurystyczna, ani wyjaśniająca. Model w metateorii nauk dedukcyjnych jest konstrukcją kontroli logicznej w stosunku do systemu formalnego  $SF$ . Możemy ująć tę konstrukcję logiczną jako model  $M(o)$ , ponieważ struktura formalna elementów  $E(e)$  odpowiada w sposób izomorficzny strukturze formalnej  $SF$ , którą odwzorowuje.

Nie należy z tego wyciągać wniosku, że w naukach dedukcyjnych mamy do czynienia jedynie z modelami w ujęciu metateoretycznym. W rozwoju nauk matematycznych zastosowanie modeli w sensie teoretycznym jest również spotykane dość często. Przytoczmy jako przykład model grupy transformacji zaproponowany przez Liego i wprowadzony w zmodyfikowanej formie przez Hilberta, który pozwala przyporządkować owym grupom różne geometrie jako konstrukcje analogiczne. Przedstawia je Poincaré w artykule poświęconym analizie prac Hilberta o podstawach geometrii<sup>20</sup>. Skądinąd wszystkie interpretacje geometryczne lub arytmetyczne mogą być ujmowane jako różne modele teoretyczne.

Nie mniej interesujące jest zastosowanie tego rodzaju modeli w logice. Metoda Eulera lub Venna — polegająca na przedstawianiu relacji logicznych za pomocą konstrukcji geometrycznych — obejmuje budowanie różnych modeli, które:

1. odtwarzają za pomocą konstrukcji przestrzennej izomorficzne lub homomorficzne relacje logiczne,
2. pozwalają dzięki temu sprawdzać w prosty sposób prawomocność określonych form rozumowania.

Na przykład układ przestrzenny kół Eulera odpowiada w sposób izomorficzny relacjom między zbiorami stanowiącymi pole zmienności rzeczywistych zmiennych nazwowych. Modele te przyjęte w rachunku logicznym ze zmiennymi nazwowymi, takimi jak np. sylogistyka Arystotelesa, pozwalają intuicyjnie sprawdzać, które tryby

<sup>17</sup> Jean Ladrière, *Les limitations internes des formalisms*, Louvain 1957, s. 43.

<sup>18</sup> Por. tamże, s. 106.

<sup>19</sup> Wang Hao, *Arithmetic models for formal systems. Methods*, III (1951), s. 223. Por. także Nicolas Bourbaki, *Eléments des mathématiques*, XVII, Paris 1954, s. 26.

<sup>20</sup> Henri Poincaré, *Œuvres*, Paris 1956, t. XI, 1, s. 112.

sylogistyczne są poprawne, a które — niepoprawne. W tym wypadku pełnią one zatem nie tylko funkcje wyjaśniającą i dydaktyczną, lecz także demonstratywną. Funkcje te możemy założyć tylko pod warunkiem, że istnieje izomorficzna zgodność struktury modelu ze strukturą reprezentowanych zbiorów.

We wszystkich wypadkach zastosowania modelu, bez względu na pełnioną przez funkcję metodologiczną, struktury odgrywające rolę modelu powinny być pojmowane jako terminy pilotujące analogii, jako wzory  $M(w)$  lub jako odwzorowania  $M(o)$  innych struktur, które im odpowiadają i które stanowią drugi termin analogii. W rezultacie problem modelu może być ujęty jako jeden z problemów szczegółowych zagadnienia ogólniejszego — pojęcia i roli analogii w poznaniu naukowym. Analizując ten problem szczegółowy, próbowaliśmy wydobyć punkt widzenia teorii nauk, wskazać różne typy modeli (przedmioty konkretne, schematy geometryczne lub mechaniczne, struktury logiczne) i ich różne funkcje poznawcze (wyjaśniającą, heurystyczną, demonstratywną). Zdaję sobie sprawę, jak z konieczności niepełna jest ta charakterystyka — że raczej sygnalizuje tylko różne problemy zamiast je w sposób stanowczy rozstrzygać. Niech dawna maksyma „prudens quaestio dimidium scientiae”<sup>21</sup> będzie stosownym usprawiedliwieniem.

Kraków, 15 kwietnia 1959

Izydora Dąmbska  
Profesor Uniwersytetu Jagiellońskiego

(przełożyła Aleksandra Horecka,  
przekład przejrzała Magdalena Wojtyła-Orczyk,  
zredagowała Halina Zelnik)

---

<sup>21</sup> „Mądre pytanie to połowa poznania” (przyp. tłum.).