



**Zagadnienia
Filozoficzne
w Nauce**



**Philosophical
Problems
in Science**



**Copernicus
Center**



**Copernicus
Center
PRESS**

**Zagadnienia Filozoficzne
w Nauce**

**Philosophical Problems
in Science**

© Copernicus Center Press, 2018

Editorial Board

Editor-in-Chief: dr hab. Paweł Jan Polak

Deputy Editor-in-Chief: dr hab. Janusz Mączka

Honorary Editor: prof. dr hab. Michał Heller

Editorial Secretary: Piotr Urbańczyk

Cover design: Mariusz Banachowicz

Adjustment and correction: Artur Figarski

Technical editor: Artur Figarski

Typographic design: Piotr Urbańczyk

Typeset in L^AT_EX

ISSN 0867-8286 (print format)

e-ISSN 2451-0602 (electronic format)

Editorial Office

Zagadnienia Filozoficzne w Nauce

Wydział Filozoficzny UPJPII

ul. Kanonicza 9, 31-002 Kraków

POLAND

e-mail: zagadnienia@upjp2.edu.pl

www.zfn.edu.pl



**Copernicus
Center**
PRESS

Publisher: Copernicus Center Press Sp. z o.o.

pl. Szczepański 8, 31-011 Kraków POLAND

tel. (+48) 12 448 14 12

e-mail: marketing@ccpress.pl

www.ccpress.pl

Zagadnienia Filozoficzne w Nauce

Philosophical Problems in Science

LXIV ■ 2018

Artykuły

Mariusz Stopa

Teoria kategorii i niektóre jej logiczne aspekty 7

Tadeusz Sierotowicz

Filozofia dramatu jako filozoficzna tradycja badawcza 59

Z prac Komisji Filozofii Nauk PAU

Andrzej Królak, Mandar Patil

Joint detection of gravitational waves from binary black hole and binary neutron star mergers by LIGO and Virgo 95

Sławomir Leciejewski

Struktura cyfrowej rewolucji naukowej 117

Mateusz Hohol	
<i>Biopsychologiczne podstawy poznania geometrycznego</i>	137
Damian Wąsek	
<i>Teologia katolicka w konfrontacji z neuronaukami: przyczynek do dialogu</i>	167
	Recenzje
Michał Heller	
<i>Filozofia kosmologii – program otwarty</i>	185
Jerzy Dadaczyński	
<i>Bernard Bolzano: pierwsze (historycznie) matematyczne ujęcie pojęcia kontinuum</i>	195
Kamil Trombik	
<i>Myślenie na długi dystans</i>	201
Roman Krzanowski	
<i>The Daniel Dennett’s New Mind: Darwin, Turing but no Bach</i>	209

Artykuły

Articles

Teoria kategorii i niektóre jej logiczne aspekty

Mariusz Stopa

Uniwersytet Jagielloński, Instytut Filozofii;
Kolegium Filozoficzno-Teologiczne Dominikanów

Category theory and some of its logical aspects

Abstract

This article is intended for philosophers as a short partial introduction to category theory (CT) and its peculiar connection with logic. First, we consider CT itself. We give a brief insight into its history, introduce some basic definitions and present examples. In the second part, we focus on categorical topos semantics for propositional logic. We give some properties of logic in toposes, which, in general, is an intuitionistic logic. We next present two families of toposes whose tautologies are identical with those of classical propositional logic. The relatively extensive bibliography is given in order to support further studies.

Keywords

category theory, topos theory, categorical logic, propositional logic, intuitionistic logic, non-classical logic.

1. Wstęp

Teoria kategorii (dalej także TK), choć jest stosunkowo młodą teorią matematyczną, posiada już dzisiaj ważną pozycję we współczesnej matematyce, a jej zastosowania obecne są m.in. w teoretycznej informatyce oraz fizyce matematycznej¹. Stanowi ona doniosły „język” opisujący struktury matematyczne i ich systemy, z którym związany jest cały zasób pojęć i metod o poziomie abstrakcji i ogólności, jakiego nie obserwowano dotąd w matematyce (por. Marquis, 2009, s. 2). Ponadto teoria kategorii łącząc na głębokim poziomie algebrę, geometrię i logikę ujawnia swoją ogromną moc unifikującą. Jej znaczenie dla filozofii, choć dopiero powoli odkrywane, ujawnia się przede wszystkim poprzez wspomniany bogaty, wewnętrzny związek z logiką, czy przez jej znaczenie dla filozofii matematyki i fizyki, np. w kontekście, odpowiednio, podstaw matematyki i strukturalizmu. Temat związków teorii kategorii z filozofią wymagałby co najmniej osobnej publikacji.

Niniejsza praca napisana jest z myślą o filozofach, choć skorzystać z niej mogą także inni Czytelnicy zainteresowani teorią kategorii lub logiką. Ma ona stanowić elementarne wprowadzenie do teorii kategorii (choć nawet to brzmi na wyrost w stosunku do bogactwa tej teorii) oraz zasygnalizować możliwe znaczenie tej teorii dla filozofii, szczególnie poprzez analizę jej związków z logiką zdań. Pod koniec pracy, w sekcji 8, omawiamy także kilka przykładów innych zastosowań TK w filozofii. Jednym z celów niniejszej pracy jest także podanie bibliografii do dalszych studiów.

¹ Niniejszy artykuł jest zmienioną i rozszerzoną wersją nieopublikowanej pracy dyplomowej o tym samym tytule, napisanej przez autora pod kierunkiem ks. prof. Michała Hellera w ramach studiów filozoficznych w Kolegium Filozoficzno-Teologicznym Polskiej Prowincji Dominikanów w 2017 roku.

Jako ogólne wprowadzenia do teorii kategorii warto polecić są m.in. (Lawvere i Schanuel, 1997; Smith, 2016; Simmons, 2011; Goldblatt, 2006; Awodey, 2010; Leinster, 2014)². Dobrym wprowadzeniem do tematu TK, wraz z bardzo bogatą literaturą, jest także hasło „Category Theory” w *Stanford Encyclopedia of Philosophy* (zob. Marquis, 2015). Z polskich podręczników do TK, o ile nam wiadomo, dostępne są jedynie książka Z. Semadeniego i A. Wiwegera (1972) oraz skrypt M. Zawadowskiego (2012). Spośród innych prac w języku polskim dotyczących teorii kategorii wskaźmy najpierw, wprowadzający do tematu związków TK z logiką i filozofią, artykuł M. Hellera (Heller, 2016b), gdzie znajduje się także cenny przewodnik po niektórych pozycjach dostępnej literatury wraz z krótkim komentarzem. Natomiast w pracy (Bondecka-Krzykowska i Murawski, 2008) autorzy skupiają się na innych aspektach TK, mianowicie na jej znaczeniu w ramach strukturalizmu (w filozofii matematyki) oraz dla podstaw matematyki. Omówienie niektórych pojęć TK podaje także B. Skowron (2015), a Z. Król (2006) porusza m.in., kluczowy dla niniejszej pracy, temat związków TK z logiką (choć nie jest to główny wątek tej książki). Powyższa lista nie wyczerpuje bynajmniej polskich publikacji dotyczących TK i jej związków z logiką czy filozofią, mimo wszystko jednak literatura polskojęzyczna w tym ważnym temacie jest bardzo uboga. Brakuje m.in. przystępnych wprowadzeń do TK i jej związków z logiką, które z jednej strony omawiałyby dane zagadnienia dość ściśle, wraz z komentarzem i przykładami, a z drugiej strony byłyby bardziej przystępne, np. dla filozofów, niż opracowania ściśle matematyczne. Zarządzenie tej potrzebie było naszą podstawową motywacją przy pisaniu niniejszej pracy.

² W niniejszej pracy w wielu miejscach opieraliśmy się szczególnie na podręczniku R. Goldblatta (2006).

Ze względu na bardzo szeroki zakres teorii kategorii nie jest możliwe, w granicach niniejszej pracy, przedstawienie dokładnego wprowadzenia do tej teorii, które zawierałoby choćby większość podstawowych pojęć wraz z odpowiednim komentarzem. Natomiast ze względu na wzajemną zależność tych pojęć nie jest także możliwe przedstawienie bardziej zaawansowanych pojęć bez omówienia bardziej podstawowych. Ostatecznie zdecydowaliśmy, aby w niniejszej pracy najpierw omówić dokładniej jedynie niektóre podstawowe pojęcia, nawet kosztem pominięcia innych fundamentalnych pojęć (np. takich jak funktor, transformacja naturalna czy funktory sprzężone, o których jedynie wspominamy w niektórych miejscach, szczególnie w sekcji 3), a następnie przejść do omówienia logiki zdań w toposach, do czego także potrzebować będziemy nowych pojęć.

W sekcji 2 przedstawiamy wrywkową historię rozwoju teorii kategorii wraz z niektórymi jej zastosowaniami. Kolejna część wprowadza niektóre z podstawowych pojęć teorii kategorii wraz z komentarzami i przykładami. Sekcja 4 przedstawia kategorijskie podejście do teoriomnogościowego mówienia o elementach zbioru. W kolejnej sekcji wprowadzamy nowe pojęcia stosowane standardowo w teorii kategorii, które będą nam potrzebne w dalszej części pracy. Następnie przechodzimy do przedstawienia znaczenia teorii kategorii. Dokładniej rozważamy, i to bardzo pobieżnie, tylko jeden przykład, będący jednak bezpośrednim zastosowaniem teorii kategorii w jednej z dziedzin filozofii, mianowicie semantykę toposów w ramach logiki zdań. Ze względu na fundamentalne znaczenie logiki dla filozoficznych rozumowań, związki teorii kategorii z logiką mogą mieć o wiele szersze filozoficzne zastosowanie. W sekcji 6 wprowadzamy potrzebne pojęcia oraz pokazujemy w jaki sposób toposy mogą stanowić semantykę dla logiki zdań. W kolejnej sekcji omawiamy różne własności

logiki toposów. Na koniec, w ostatniej części, wspominamy krótko o innych zastosowaniach TK w filozofii. Po krótkim zakończeniu następują dwa bardziej techniczne dodatki oraz literatura.

2. Zarys rozwoju teorii kategorii i jej sukcesów

W niniejszej sekcji jedynie sygnalizujemy niektóre ważne wydarzenia i prace dotyczące rozwoju teorii kategorii. Za początek tej teorii może uchodzić praca Samuela Eilenberga³ i Saundersa Mac Lane'a z 1945 roku (Eilenberg i Mac Lane, 1945). Co ciekawe, jak piszą sami autorzy (zob. Eilenberg i Mac Lane, 1945, s. 247), idea kategorii pojawia się w niej jako pojęcie pomocnicze dla bardziej podstawowych pojęć tzw. funktora i naturalnej transformacji⁴. Kategorie pełnią wtedy rolę dziedziny i przeciwdziedziny funktorów. Antycypacje teorii funktorów i naturalnych transformacji, ograniczonych jednak tylko do grup, pojawiają się już w ich wcześniejszej pracy (Eilenberg i Mac Lane, 1942).

³ Z osobą Samuela Eilenberga wiąże się polski wątek dotyczący teorii kategorii, gdyż był on polskim Żydem urodzonym w Warszawie w 1913 r. Tam też na Uniwersytecie Warszawskim uzyskał doktorat z matematyki. Był ważnym przedstawicielem warszawskiej szkoły matematycznej. Później był także członkiem bourbakistów. Znany był jako Sammy lub S²P²: „Smart Sammy the Polish Prodigy” (zob. przedmowa D. Eisenbuda, doktoraanta Mac Lane'a w jego książce *Saunders Mac Lane: A Mathematical Autobiography*).

⁴ Choć są to fundamentalne pojęcia teorii kategorii, w niniejszym szkicowym opracowaniu nie podajemy ich ścisłej definicji. Omówienie tych pojęć Czytelnik znajdzie w każdym pełniejszym wprowadzeniu do teorii kategorii. Na potrzeby tej sekcji Czytelnik może myśleć o funktorze jako o pewnym abstrakcyjnym morfizmie (który z kolei jest pewnym abstrakcyjnym uogólnieniem funkcji) idącym z jednej kategorii do drugiej. Naturalna transformacja jest odpowiednim morfizmem działającym na poziomie funktorów, a więc idącym z jednego funktora do drugiego. Na krótko wrócimy do tych pojęć w sekcji 3.

Jako prehistorię teorii kategorii można przyjąć rozwój abstrakcyjnej algebry, teorii krat i algebry uniwersalnej. Mac Lane sugeruje, że są one, podobnie jak powstała niewiele wcześniej notacja funkcji za pomocą strzałki $f : X \rightarrow Y$, koniecznymi prekursorami TK (zob. Mac Lane, 1988, s. 333). Teorię kategorii można także postrzegać jako konceptualne rozszerzenie programu Kleina w geometrii (zob. Marquis, 2009, s. 3, gdzie autor pisze ponadto, iż jest to podstawowa teza całej tej książki). Już Eilenberg i Mac Lane w swojej pionierskiej pracy wspominają program erlangenński Kleina i dodają, że „przestrzeń geometryczna z jej grupą transformacji jest uogólniana do kategorii z jej algebrą odwzorowań” (Eilenberg i Mac Lane, 1945, s. 237, tłum. moje).

Pisząc ten założycielski artykuł Eilenberg i Mac Lane nie myśleli o powstającej właśnie teorii kategorii jako o nowej dziedzinie, która z czasem zacznie się samodzielnie rozwijać, lecz traktowali ją jedynie jako cenny język, czy nowy sposób patrzenia na struktury matematyczne. Przełomowym wydarzeniem, które znacząco przyczyniło się do dostrzeżenia ogromnego potencjału TK, było odkrycie przez Daniela Kana w jego pracy (Kan, 1958) pojęcia funktorów sprzężonych (*adjoint functors*)⁵. Jest to wyjątkowo ważne pojęcie, o którym Mac Lane napisał, że przedstawia ono poważny konceptualny postęp (a które zostało przeoczone zarówno przez bourbakistów, Eilenberga, jak i jego samego) oraz że przyczyniło się ono do usamodzielnienia się TK jako przedmiotu badań (por. Mac Lane, 1988, s. 341 i 360). Funktory sprzężone powiązały koncepcyjnie jednym pojęciem wiele różnych, nieraz odległych, konstrukcji matematycznych lub logicznych. Za pomocą funktorów sprzężonych można kategorijsko opisać

⁵ Przystępne omówienie funktorów sprzężonych zawiera (Marquis, 2015), dokładniej omawiają je np. (Smith, 2016; Simmons, 2011).

m.in. kwantyfikatory. Analiza kwantyfikatorów jako funktorów sprzężonych jest według S. Awodeya jednym z najbardziej znaczących odkryć we współczesnej logice (zob. Awodey, 1996, s. 235).

Nieco wcześniej swoją przygodę z TK rozpoczął wielki francuski matematyk Alexander Grothendieck, laureat Medalu Fieldsa, jeden z czołowych twórców geometrii algebraicznej. Szczególne znaczenie miała jego praca (Grothendieck, 1957). Zdefiniowane przez niego tzw. topozy Grothendiecka, będące pewnym uogólnieniem pojęcia przestrzeni, odegrały i nadal odgrywają ogromną rolę. Grothendieck uważał teorię toposów za swego rodzaju uogólnienie samej topologii. Francis William Lawvere i Myles Tierney dokonali następnie pewnego uproszczenia aksjomatów Grothendiecka dotyczących toposów. W ten sposób powstały tzw. elementarne topozy, zwane dalej po prostu toposami (zawierają one w sobie topozy Grothendiecka), które m.in. pełnią niezwykle ważną funkcję w związkach teorii kategorii z logiką (zob. sekcje 6 i 7). O początkach teorii toposów McLarty m.in. tak pisze: „teoria toposów powstała z pracy Grothendiecka w zakresie geometrii, topologicznych zainteresowań Tierneya i ciekawości Lawvere’a w zakresie podstaw fizyki” (zob. McLarty, 1990, s. 352, tłum. moje). Widać tutaj pewien ślad tego, jak szerokim i ważnym pojęciem jest topos. Wspomnijmy tylko, że poza niezwykle ważną rolą toposów w ramach teorii kategorii, w związkach z logiką oraz w standardowej matematyce, mają one także znaczenie w fizyce⁶.

⁶ W zastosowaniach do fizyki, teoria toposów wykorzystywana jest m.in. w ramach prac nad podstawami fizyki (zob. np. Döring i Isham, 2011), w mechanice kwantowej (zob. np. Abramsky i Coecke, 2008), a nawet w ramach prac nad kwantową grawitacją (zob. np. Isham i Butterfield, 1999). Szereg innych odnośników do zastosowań TK w fizyce zainteresowany Czytelnik znajdzie w przypisie 26. pracy (Heller, 2015). Na polskim gruncie TK stosują do fizyki m.in. M. Heller i J. Król (zob. np. ich ostatnie wspólne prace 2017a,b,c).

Ważną pracą dla rozwoju teorii kategorii był także doktorat F.W. Lawvere'a z 1963 r. pt. „*Functorial Semantics of Algebraic Theories*” napisany pod kierunkiem Eilenberga, w którym autor m.in. zaproponował kategorię kategorii (*the category of categories*), a także rozwinął swoją elementarną (tj. wyrażoną w języku logiki pierwszego rzędu) teorię kategorii zbiorów (ETCS – *Elementary Theory of the Category of Sets*), którą rok później dopracował i opublikował w formie artykułu (rozszerzoną wersją tamtego artykułu jest praca (Lawvere, 2005), natomiast cała teoria jest szerzej rozwinięta w podręczniku (Lawvere i Rosebrugh, 2003) będącym wprowadzeniem do matematyki w oparciu o kategorijskie podejście do zbiorów). O tym artykule Mac Lane napisał, że „ustalił on zaskakujący fakt, iż jest możliwe sformułowanie formalnej podstawy matematyki innej niż standardowe podstawy, które dają aksjomatyczna teoria mnogości i teoria typów” (zob. Mac Lane, 1988, s. 342, tłum. moje). W ETCS zupełnie nieobecne jest pierwotne pojęcie „bycia elementem” (zbioru), któremu w standardowej teorii mnogości na poziomie języka odpowiada symbol predykatywny „ \in ”, dlatego teoria ta nazywana jest czasem teorią „zbiorów bez elementów”⁷. W tym kontekście Mac Lane pisze (zob. Mac Lane, 1988, s. 342), że okazało się możliwe zastąpienie pierwotnego pojęcia „bycia elementem” (zbioru) przez pierwotne pojęcie „składania funkcji” (pomiędzy zbiorami), choć nie jest to bezpośrednie zastąpienie jednego pojęcia drugim, lecz przejście do zupełnie innego myślenia o zbiorach. Ten nowy sposób myślenia sam Lawvere opisał jako myślenie o istocie matematyki w kategoriach formy (kiedy to wiodącym pojęciem jest izomorficznie inwariantna

⁷ W sekcji 4 pokazujemy, jak w TK możemy mówić o pewnych elementach zbiorów (dokładniej obiektów) jedynie za pomocą morfizmów.

struktura⁸), w przeciwieństwie do substancji (której odpowiadałoby rozumienie zbiorów poprzez ich elementy⁹). Podobna zmiana myślenia widoczna była już wcześniej w niektórych dziedzinach matematyki, dopiero teraz jednak została dopuszczona także do samych jej podstaw.

Wyjątkowo ważnym i ciekawym zastosowaniem teorii kategorii jest stworzenie nowych podstaw geometrii różniczkowej. Dokładniej rzecz biorąc, geometria nie tylko zyskała nowe podstawy, ale otrzymała zupełnie nowe oblicze. Jest to tzw. syntetyczna geometria różniczkowa (*synthetic differential geometry*), w której podstawową rolę odgrywają tzw. gładkie topozy (*smooth toposes*) (zob. np. Kock, 2006; Bell, 2008; Moerdijk i Reyes, 1991). Jest to osobny, szeroki, szczególnie ważny dla fizyki temat, gdyż wszystkie podstawowe równania fizyki matematycznej są równaniami różniczkowymi. Rozwój syntetycznej geometrii różniczkowej jest szczególnie ważny dla ogólnej teorii względności, w której geometria różniczkowa odgrywa fundamentalną rolę. Ponieważ jednak teorii toposów używa się obecnie także do opisu mechaniki kwantowej, zatem sukces poszukiwań nowej kwantowej teorii grawitacji może być uzależniony m.in. od rozwoju matematyki właśnie w obszarze teorii kategorii.

⁸ Związane jest to z tym, że pojęcia TK definiowane są (jedyne) z dokładnością do jedynego izomorfizmu, a nie jednoznacznie. Niektóre takie pojęcia omawiamy w dalszej części tekstu (np. obiekt końcowy na s. 24, czy produkt na s. 31).

⁹ Dokładnie rzecz biorąc Lawvere pisze, że substancja [pisana małą literą] matematyki tkwi w Formie, a nie w Substancji (rozumianych jak powyżej, pisanych wielką literą) (zob. Lawvere, 2005, s. 7). Ciekawe, że już Cantor i Zermelo poróżnili się w swoim podejściu do teorii zbiorów właśnie w tej kwestii. Cantor reprezentował izomorficzno-inwariantne podejście do zbiorów, podczas gdy Zermelo krytykował takie podejście Cantora i idąc za Fregem uważał, że teoria mnogości musi być ufundowana na pojęciu „należenia do” (zob. wstęp McLarty’ego w Lawvere, 2005, s. 2).

3. Niektóre podstawowe pojęcia i przykłady

Spróbujmy teraz nieco dokładniej przyjrzeć się teorii kategorii i jej specyfice. Zaczniemy od definicji samej kategorii. Każda kategoria to pewna kolekcja „rzeczy” zwanych obiektami oraz pewna kolekcja „rzeczy” zwanych strzałkami lub morfizmami. Każda taka strzałka ma przypisane dwa obiekty (może to być ten sam obiekt dwukrotnie): dziedzinę (początek) i przeciwdziedzinę (koniec, nazywany także kodziedziną). Strzałki te muszą spełniać pewne bardzo podstawowe i naturalne prawa. Warto pamiętać jednak, że obiekty wcale nie muszą być zbiorami, czy przestrzeniami jakiegokolwiek rodzaju, a strzałki nie muszą być funkcjami (czy to dowolnymi pomiędzy zbiorami, czy zachowującymi odpowiednią strukturę przestrzeni). Są to dowolne (abstrakcyjne) „rzeczy”, które spełniają odpowiednie aksjomaty. Zaczynijmy więc od formalnej definicji kategorii.

Definicja 1. *Kategoria \mathcal{C} składa się z rodziny obiektów $\text{Ob}(\mathcal{C})$ (które będziemy oznaczać A, B, C, \dots) i rodziny morfizmów (strzałek) $\text{Arr}(\mathcal{C})$ (które będziemy oznaczać f, g, h, \dots), takich że:*

- każdy morfizm f ma jednoznacznie wyznaczoną dziedzinę $\text{dom}(f)$ i kodziedzinę $\text{cod}(f)$, które są obiektami; piszemy $f : A \rightarrow B$ lub $A \xrightarrow{f} B$, jeśli $A = \text{dom}(f)$, $B = \text{cod}(f)$;
- dla dowolnych morfizmów $f : A \rightarrow B$ i $g : B \rightarrow C$ istnieje jednoznacznie określone złożenie $g \circ f : A \rightarrow C$. Składanie jest łączne:

$$h \circ (g \circ f) = (h \circ g) \circ f,$$

gdzie dziedziny i kodziedziny są następujące:

$$A \xrightarrow{f} B \xrightarrow{g} C \xrightarrow{h} D$$

- dla każdego obiektu B istnieje morfizm identyfikacyjny $1_B : B \rightarrow B$ (oznaczany także id_B), który jest jedyneką dla składania:

$$1_B \circ f = f \quad \text{i} \quad g \circ 1_B = g,$$

jeśli $f : A \rightarrow B$, a $g : B \rightarrow C$.

Będziemy używać także sformułowań \mathcal{C} -obiekt, \mathcal{C} -strzałka, na elementy, odpowiednio, $\text{Ob}(\mathcal{C})$ i $\text{Arr}(\mathcal{C})$ (choć nieraz, szczególnie gdy będzie jasne o jaką kategorię chodzi, będziemy również pomijać przedrostek „ \mathcal{C} -”). Rodzinę wszystkich strzałek idących z A do B będziemy oznaczać poprzez $\mathcal{C}(A, B)$ lub $\text{Arr}_{\mathcal{C}}(A, B)$ (jeśli będzie oczywiste o jaką kategorię chodzi, to piszemy także $\text{Arr}(A, B)$).

Warto podkreślić, że rodzinę obiektów wprowadza się jedynie dla bardziej intuicyjnego opisu kategorii, jest ona jednak formalnie całkowicie eliminowalna. Piszą o tym wprost Eilenberg i Mac Lane w swojej pionierskiej pracy tuż po podaniu definicji kategorii: „jest zatem jasne, że obiekty mają drugorzędne znaczenie i mogą być zupełnie pominięte w definicji kategorii” (zob. Eilenberg i Mac Lane, 1945, s. 238, tłum. moje). Szerzej rozważa tę kwestię i omawia jej filozoficzne znaczenie M. Heller w (Heller, 2016a), podając definicję kategorii odnoszącą się jedynie do strzałek, a będącą równoważną do powyższej (zob. także Semadeni i Wiweger, 1972, s. 39n). Kluczową rolę strzałek widać również po tym, że w definicji kategorii, strzałki muszą spełniać odpowiednie warunki, a o obiektach nic nie zakładamy.

Powyżej podana definicja kategorii jest bardzo abstrakcyjna i ogólna. Przejawia się to w tym, że bardzo wiele różnych, powszechnie spotykanych struktur matematycznych ma postać kategorii. Z braku miejsca przyjrzymy się tylko niektórym przykładom.

Rozważmy na początek kategorie składające się z tylko jednego obiektu i pewnej ilości strzałek. Zauważmy, że dowolna półgrupa (monoid) (G, \cdot) jest właśnie taką kategorią, gdzie elementy tej półgrupy $a, b, c, \dots \in G$ są strzałkami (morfizmami). Strzałką identycznościową jest element neutralny, a składaniem strzałek jest działanie grupowe:

$$a \circ b = a \cdot b.$$

Wszystkim warunkom definicyjnym kategorii zadość czynią aksjomaty półgrupy (działanie jest łączne, a element neutralny spełnia warunki dla składania identyczności). Widzimy, że struktura strzałek w dowolnej kategorii z jednym obiektem odpowiada dokładnie strukturze półgrupy (monoidowi).

Aby w języku kategorii zdefiniować grupę, zdefiniujmy pewien szczególny typ morfizmu.

Definicja 2. *Morfizmem odwrotnym* do $f : A \rightarrow B$ nazywamy morfizm $f^{-1} : B \rightarrow A$, taki że

$$f^{-1} \circ f = \mathbf{1}_A \quad \text{i} \quad f \circ f^{-1} = \mathbf{1}_B.$$

Morfizm posiadający odwrotny nazywany jest *izomorfizmem*¹⁰. Jak łatwo pokazać, odwrotny morfizm, jeśli istnieje, jest wyznaczony jednoznacznie. Ponadto $(f^{-1})^{-1} = f$, możemy więc mówić o f i f^{-1} jako o wzajemnie odwrotnych izomorfizmach. Jeśli istnieją takie morfizmy f i f^{-1} jak w powyższej definicji, to obiekty A i B nazywamy

¹⁰ Czytelnik mający pewne doświadczenie z różnymi strukturami matematycznymi w ramach standardowej matematyki, zetknął się już zapewne z pojęciem izomorfizmu, jako bijekcji zachowującej pewną strukturę (np. izomorfizm pomiędzy grupami czy izomorfizm liniowy pomiędzy przestrzeniami wektorowymi). Powyższa definicja izomorfizmu uogólnia standardowe jego pojmowanie sprowadzając się do tego znaczenia w ramach standardowych struktur matematycznych, jednocześnie rozszerzając jego stosowanie do dowolnej kategorii.

izomorficznymi, co oznaczamy $A \cong B$. Podkreśliśmy, że izomorficzność dwóch obiektów zależy od struktury strzałek pomiędzy nimi, a więc jest zależna od danej kategorii. Poprzestaśmy na ogólnym komentarzu, że izomorficzne obiekty można uważać za w pewnym sensie równoważne lub posiadające tę samą strukturę¹¹. Dysponując pojęciem izomorfizmu możemy zdefiniować grupę jako kategorię z jednym obiektem, w której wszystkie strzałki są izomorfizmami. Natomiast naturalne uogólnienie do dowolnej kategorii¹², w której wszystkie strzałki są izomorfizmami, prowadzi dokładnie do pojęcia grupoidu.

Przejdźmy do kategorii z większą ilością obiektów. Najprostsze tego typu kategorie będą posiadały jedynie strzałki identycznościowe (są to tzw. *kategorie dyskretne*). Dowolny zbiór może być postrzegany jako taka właśnie kategoria. Jego elementy są obiektami tej kategorii, a brakowi jakiegokolwiek struktury zbioru odpowiada istnienie jedynie trywialnych strzałek identycznościowych. Jeśli rozważymy kategorie z co najwyżej jedną strzałką idącą od dowolnego obiektu do (w ogólności) innego dowolnego obiektu otrzymamy dokładnie kategorie, które odpowiadają quasi-porządkom. Jeśli (P, \preceq) jest dowolnym quasi-porządkiem, to obiektami kategorii są elementy zbioru P , a pomiędzy $a, b \in P$ jest strzałka wtedy i tylko wtedy, gdy zachodzi $a \preceq b$. Można łatwo pokazać, że częściowym porządkiem odpowiadają dokładnie tzw. *kategorie szkieletowe (skeletal)* (są to kategorie, które na mocy definicji posiadają tę własność, że izomorficzność do-

¹¹ Można pokazać, że izomorficzność obiektów pociąga bijekcję pomiędzy rodzinami strzałek z jednego i drugiego obiektu, jak i bijekcję pomiędzy rodzinami strzałek do jednego i drugiego obiektu (zob. Smith, 2016, s. 30, tw. 14).

¹² Dokładnie rzecz biorąc należy ograniczyć się do tzw. małych kategorii zdefiniowanych poniżej.

wolnych obiektów oznacza ich tożsamość (identyczność)) z maksymalnie jedną strzałką idącą od dowolnego obiektu do innego (w ogólności) obiektu.

Kategorie rozważane powyżej są przykładami tzw. małych kategorii. Kategorię nazywamy *małą*, jeśli zarówno rodzina obiektów, jak i rodzina strzałek mogą być jedno-jednoznacznie odwzorowane w elementy jakichś zbiorów¹³. Kategorię, która nie jest mała, nazywamy *dużą*. Wśród dużych kategorii wyróżniamy także tzw. kategorie *lokalnie małe*. Są to takie kategorie, dla których żądamy jedynie, aby dla dowolnych dwóch obiektów A i B rodzina strzałek $\text{Arr}(A, B)$ mogła być jedno-jednoznacznie odwzorowana w elementy jakiegoś zbioru. Jest wiele ważnych kategorii, które choć nie są małe, są jednak lokalnie małe.

Bardzo ważną rodzinę lokalnie małych kategorii stanowią kategorie, których obiekty są zbiorami z pewną strukturą, jak np. zbiory częściowo uporządkowane, grupy, czy przestrzenie topologiczne, a morfizmami są odpowiednie odwzorowania zachowujące daną strukturę. Najuboższą strukturą jest zwykły zbiór niemający tak naprawdę żadnej struktury. Kategoria Set składa się z obiektów, którymi są zbiory i morfizmów, którymi są standardowe funkcje. Kategoria Poset składa się z obiektów, którymi są zbiory częściowo uporządkowane (ang. *poset* – *partially ordered set*) i morfizmów, którymi są odwzorowania zachowujące porządek, a więc funkcje monotoniczne. W kategorii Group mamy grupy i homomorfizmy grupowe, a w kategorii Top przestrzenie topologiczne i odwzorowania ciągłe. To oczy-

¹³ Często przyjmuje się w rozważanej definicji, że rodzina obiektów i rodzina strzałek są po prostu (zwykłymi) zbiorami (w przeciwieństwie do klas właściwych). Jeśli jednak jako teorię zbiorów przyjęlibyśmy ZFC, to elementami dowolnego zbioru mogą być jedynie inne zbiory. Wtedy strzałki musiałyby być zbiorami, czego nie chcemy zakładać.

wicie tylko niektóre przykłady, istnieją także kategorie zbiorów skończonych, macierzy, przestrzeni wektorowych, rozmaitości i wiele innych.

Z jednych kategorii możemy także tworzyć inne kategorie. Podstawowymi operacjami są m.in.: wzięcie odpowiedniej mniejszej podkategorii danej kategorii, iloczyn dwóch kategorii, utworzenie kategorii strzałek, której obiektami są strzałki pierwotnej kategorii (a strzałkami są odpowiednie pary strzałek pierwotnej kategorii). Wszystkie te konstrukcje, ze względu na brak miejsca oraz brak większego powiązania z dalszą treścią artykułu, omawiamy w dodatku I.

Jak mogliśmy się już nieco przekonać, jedną z podstawowych idei teorii kategorii jest badanie pewnych obiektów poprzez morfizmy łączące obiekty z innymi obiektami. Idąc dalej za tą ideą, aby dowiedzieć się nieco więcej o samych kategoriach należałoby spróbować zbadać odpowiednie strzałki pomiędzy samymi kategoriami traktowanymi jako obiekty jakiejś większej kategorii¹⁴. Takimi strzałkami pomiędzy kategoriami są tzw. funktory. Są one tak zdefiniowane, że łączą odpowiednio obiekty i struktury strzałek jednej kategorii z obiektami i strukturą strzałek drugiej kategorii. Może to się dokonywać na różny sposób. Rozważmy tylko jeden przykład. Tzw. funktor zapominania (*forgetful functor*) idący z kategorii Group do kategorii Set, który każdej grupie (będącej obiektem Group) przypo-

¹⁴ W związku z kategorią, której obiektami są inne kategorie, należy oczywiście uważać, by nie popaść w problem analogiczny do paradoksu Russella dotyczącego zbioru wszystkich zbiorów. Nie wchodząc głębiej w to zagadnienie zauważmy, że jeśli na przykład ograniczymy się do kategorii małych, to kategoria, której obiektami będą wszystkie małe kategorie, a strzałkami funktory pomiędzy tymi kategoriami, będzie poprawnie określona.

rządkowuje zbiór jej elementów, a homomorfizmowi funkcję, którą on sam jest. Funktor ten zapomina więc o strukturze grup i „zaczyna” je postrzegać (w docelowej kategorii) jak zwykle zbiory¹⁵.

Można pójść jeszcze o jeden poziom wyżej. Skoro funktory, jako morfizmy pomiędzy kategoriami, a więc pomiędzy pewnymi strukturami, są tak ważne i ciekawe, to możemy znowu zastosować podstawową ideę teorii kategorii i przejść do badania funktorów poprzez odpowiednie strzałki łączące różne funktory, takie jak transformacje naturalne (*natural transformations*). Funktory jako obiekty i transformacje naturalne pomiędzy nimi jako strzałki tworzą bardzo ważne w teorii kategorii tzw. kategorie funktorowe. Przypomnijmy, że w swoim założycielskim artykule (Eilenberg i Mac Lane, 1945) Eilenberg i Mac Lane piszą, że transformacje naturalne i funktory są bardziej podstawowe od samych kategorii. Niestety w niniejszej pracy nie będziemy się jednak zajmowali, skądinąd niezwykle ważnymi dla TK, kategoriami funktorowymi.

To wstępne i bardzo pobieżne wprowadzenie w świat kategorii jest jednak, mamy nadzieję, wystarczające, aby dostrzec choć ślad powszechności kategorii oraz ich siły unifikującej wiele pojęć i struktur matematycznych.

¹⁵ Bez wprowadzania pojęcia funktora sprzężonego, zanotujmy jedynie bardzo ciekawy fakt, że w TK w bardzo elegancki sposób można otrzymać tzw. wolne (*free*) struktury, mianowicie poprzez (lewy) funktor sprzężony do funktora zapominania. W powyższym przypadku taki funktor sprzężony (który zawsze idzie w przeciwnym kierunku, a więc w naszym przykładzie z Set do Group) przyporządkowuje każdemu zbiorowi grupę wolną (*free group*), której zbiorem wolnych generatorów jest dany zbiór.

4. Strzałki zamiast „ \in ”

W teorii mnogości zbiory określane są poprzez podanie w jakiś sposób elementów, które należą do danego zbioru. Na poziomie języka, w którym wyraża się aksjomaty teorii mnogości (Zermelo-Fraenkela), odpowiada temu używanie dwuargumentowego symbolu predykatywnego „ \in ”. Zbadamy teraz, czy i jak w teorii kategorii, mając do dyspozycji jedynie strzałki pomiędzy obiektami, możemy mówić o jakichś elementach obiektów.

Spróbujmy zastosować tutaj metodę często stosowaną przy próbie znalezienia kategoriynego odpowiednika pojęcia teoriomnogościowego. Metoda ta polega na tym, aby najpierw spróbować wyrazić rozważane pojęcie jedynie za pomocą funkcji pomiędzy zbiorami. Następnie próbujemy zdefiniować kategoriyny odpowiednik w kategorii *Set*, w której strzałkami są właśnie funkcje pomiędzy zbiorami, a następnie uogólniamy sytuację na dowolną kategorię. Oczywiście jest to jedynie zgrubny schemat. Pojęcia kategoriynne mają inną naturę. Wiele z nich, m.in. przez to, że są definiowane za pomocą morfizmów, jest określonych jedynie z dokładnością do izomorfizmu. Jest to ważna cecha teorii kategorii pokazująca jej strukturalny charakter.

Niech X będzie dowolnym niepustym zbiorem. Zauważmy, że zbiór funkcji o dowolnej jednoelementowej dziedzinie (oznaczymy ją jako $\{\star\}$) i przeciwdziedzinie X odpowiada jedno-jednoznacznie zbiorowi elementów zbioru X . Symbolicznie możemy to zapisać jako

$$f_i : \{\star\} \ni \star \longmapsto x_i \in X.$$

Należy teraz zdefiniować kategoriynie obiekt odpowiadający w *Set* zbiorowi jednoelementowemu. Jak łatwo sprawdzić, czyni temu zadość następująca definicja:

Definicja 3. Obiekt 1 nazywamy *końcowym* (*terminal*), jeśli dla dowolnego obiektu A istnieje dokładnie jedna strzałka idąca z A do 1 (oznaczana $A \dashrightarrow 1$, gdzie linia przerywana graficznie obrazuje jedyność tej strzałki).

Dualnym pojęciem¹⁶ jest *obiekt początkowy* (*initial*) (oznaczany 0), z którego idzie dokładnie jedna strzałka do każdego obiektu danej kategorii. Będziemy jednak mówić głównie o obiekcie końcowym.

Dana kategoria może w ogóle nie posiadać obiektu końcowego, może posiadać jeden taki obiekt lub wiele. Można jednak udowodnić proste twierdzenie, że obiekty końcowe, jeśli istnieją, są jednoznaczne z dokładnością do jedynego izomorfizmu, tj. jeśli 1 i $1'$ są końcowe, to istnieje dokładnie jeden izomorfizm z 1 do $1'$. To samo dotyczy oczywiście obiektów początkowych.

Spójrzmy na kilka przykładów. W **Set** obiektem końcowym jest dowolny zbiór jednoelementowy, początkowym jest zbiór pusty. W zbiorze częściowo uporządkowanym postrzeganym jako kategoria, obiektem końcowym jest element największy (jeśli istnieje), początkowym element najmniejszy (jeśli istnieje). W kategorii **Group** obiektem końcowym jest jednoelementowa grupa (składająca się jedynie z elementu neutralnego), która jest jednocześnie obiektem początkowym w tej kategorii.

Zgodnie z tym co zauważyliśmy powyżej, morfizmy $f_i : 1 \rightarrow X$ w **Set** odpowiadają jedno-jednoznacznie elementom $x_i \in X$ (morfizmy f_i będziemy więc oznaczać także jako x_i lub po prostu x). Mo-

¹⁶ Mówimy o pewnych pojęciach, że są wzajemnie dualne, gdy zamiana kierunku wszystkich strzałek w jednym pojęciu prowadzi do drugiego. Jeśli z danym pojęciem związane jest także składanie odwzorowań, należy także odpowiednio przededefiniować operację składania poprzez odwrócenie kolejności składanych morfizmów.

zemy więc myśleć o tych morfizmach jak o kategoryjnej wersji elementów zbioru X . Nic nie stoi na przeszkodzie, aby uogólnić ten typ morfizmów na dowolną kategorię posiadającą element końcowy.

Definicja 4. W kategorii \mathcal{C} posiadającej obiekt końcowy 1 , *elementem globalnym* dowolnego obiektu X nazywamy dowolny morfizm $1 \rightarrow X$.

Uzasadnienie użycia nazwy „globalny” podamy poniżej. Powyższe pojęcie, zdefiniowane teraz całkowicie na gruncie teorii kategorii, zaczyna funkcjonować już zgodnie z jej „filozofią”. Zauważmy więc, że np. w *Group* morfizmy są homomorfizmami grupowymi, a więc z grupy jednoelementowej (obektu końcowego w *Group*) istnieje tylko jedna strzałka do dowolnej innej grupy¹⁷, tj. każda (dowolnie wielka) grupa posiada tylko jeden element globalny.

Wprowadzimy teraz pojęcie, które potrafi odróżnić kategorie, w których elementy globalne w pewnym sensie w pełni penetrują obiekty, od tych, w których te elementy są niewystarczające (jak widzieliśmy powyżej na przykładzie *Group*).

Definicja 5. Niech \mathcal{C} posiada obiekt końcowy 1 . Niech ponadto X, Y będą dowolnymi \mathcal{C} -obektami, a $f, g : X \rightarrow Y$ dowolnymi strzałkami z $\mathcal{C}(X, Y)$. \mathcal{C} nazywamy *upunktowaną* (*well-pointed*), gdy z faktu, iż dla wszystkich elementów globalnych $x : 1 \rightarrow X$ zachodzi $f \circ x = g \circ x$, wynika że $f = g$.

Jak łatwo sprawdzić *Set* jest upunktowana, natomiast *Group* nie. Widzimy więc, że w teorii kategorii nie można ograniczyć się do elementów globalnych. Dlatego wprowadzamy szersze pojęcie.

¹⁷ Jest tak dlatego, że każdy homomorfizm grupowy musi odwzorować element neutralny jednej grupy koniecznie w element neutralny drugiej grupy, gdyż inaczej nie byłby spełniony warunek homomorficzności tego odwzorowania, a więc zachowania struktury grupy.

Definicja 6. *Uogólnionym elementem \mathcal{C} -obiektu X nazywamy (dowolną) \mathcal{C} -strzałkę o kodziedzinie X . Dziedzinę tej strzałki nazywamy sceną (stage) tego uogólnionego elementu.*

Uogólnione elementy nazywane są czasami także zmiennymi elementami, a ich dziedziny, dziedzinami zmienności. Będziemy też mówić o nich po prostu jako o elementach. Rozważmy pewien taki element obiektu X , np. $x : A \rightarrow X$. Nazywanie A sceną lub dziedziną zmienności ma wyrażać intuicję, że obiekt A jest jakby miejscem, z którego ten element ogląda obiekt X . Stosuje się także oznaczenie $x \in_A X$, które można odczytywać jako „z punktu widzenia A (ze sceny A) x należy do X ”.

Możemy teraz wytłumaczyć nazywanie globalnymi elementów, których scena jest obiektem końcowym 1 . Rozważmy dwa różne elementy globalne $x_1, x_2 : 1 \rightarrow X$. Dla dowolnego obiektu A istnieje dokładnie jedna strzałka z tego obiektu w 1 (z definicji obiektu końcowego). Widzimy więc, że dowolnym globalnym elementom możemy w jednoznaczny sposób (dokładnie rzecz biorąc injektywnie, choć w ogólności nie surjektywnie) przyporządkować odpowiednie elementy uogólnione ze sceny A . Zobrazujmy to diagramem

$$\begin{array}{ccc}
 & & x_1 \circ !_A \\
 & \curvearrowright & \\
 A & \xrightarrow{!_A} & 1 \xrightarrow{x_1} X \\
 & \curvearrowleft & \\
 & & x_2 \circ !_A
 \end{array}$$

Można więc powiedzieć, że globalne obiekty są globalnie obserwowalne (z dowolnej sceny), stąd ich nazwa. Dlatego też zamiast $x \in_1 X$, możemy, niezbyt ściśle, pisać po prostu $x \in X$.

Uogólnione elementy już w pełni penetrują obiekty w dowolnej kategorii. Dokładnie rzecz biorąc można udowodnić twierdzenie mó-

wiące, iż równoległe morfizmy $f, g : X \rightarrow Y$ w dowolnej kategorii są tożsame wtedy i tylko wtedy, gdy działają tak samo na wszystkich uogólnionych elementach¹⁸.

Na koniec tej części zauważmy kilka podstawowych faktów. Sam obiekt końcowy ma (z definicji) dokładnie jeden element uogólniony z dowolnej sceny („na dowolnym stage’u”). Kategoria może w ogóle nie posiadać obiektu końcowego, a nawet jeśli go posiada, to dany (dowolny) obiekt może w ogóle nie posiadać globalnych elementów (po prostu może nie istnieć strzałka z 1 do tego obiektu), choć zawsze musi posiadać co najmniej jeden uogólniony element (swoją strzałkę identycznościową).

5. Dalsze pojęcia

Wprowadzimy teraz kolejne ważne dla teorii kategorii pojęcia, które ponadto będą nam potrzebne w dalszej części pracy. Omówimy je tylko pobieżnie, zainteresowanego Czytelnika odsyłamy do literatury wspomnianej we wstępie.

Zacznijmy od wzajemnie dualnych pojęć monomorfizmu i epimorfizmu.

Definicja 7. Strzałkę $f : A \rightarrow B$ nazywamy *monomorfizmem* (*monic*), jeśli dla dowolnej pary strzałek $g, h : C \rightarrow A$ z równości $f \circ g = f \circ h$ wynika, że $g = h$. Mówimy, że monomorfizmy są lewostronnie skraccalne i oznaczamy je szczególnym rodzajem strzałki $f : A \rightarrow B$.

¹⁸ Łatwo można to zobaczyć: skoro f, g działają tak samo na wszystkich uogólnionych elementach obiektu X , to w szczególności dotyczy to $1_X : X \rightarrow X$, zatem $f \circ 1_X = g \circ 1_X$, a stąd $f = g$.

Strzałkę $f : A \rightarrow B$ nazywamy *epimorfizmem* (*epic*), jeśli dla dowolnej pary strzałek $g, h : B \rightarrow C$ z równości $g \circ f = h \circ f$ wynika, że $g = h$. Mówimy, że epimorfizmy są prawostronnie skracalne i oznaczamy je szczególnym rodzajem strzałki $f : A \twoheadrightarrow B$.

W Set pojęcie monomorfizmu pokrywa się z injektywnością funkcji, a epimorfizmu z surjektywnością. W Group pojęcia te pokrywają się z ich standardowym znaczeniem jako odpowiednich homomorfizmów grupowych. Zwracamy uwagę, że o ile w Set posiadanie własności monomorficzności i epimorficzności jednocześnie jest równoważne z izomorficznością, o tyle w ogólności nie jest to prawdą¹⁹.

Mając już pojęcie monomorfizmu, możemy zdefiniować teraz tzw. podobiekty (*subobjects*), które są kategoryjnym odpowiednikiem podzbiorów. Rozważmy najpierw następującą definicję:

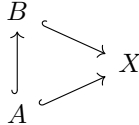
Podobiektem obiektu X nazywamy dowolny monomorfizm $f : A \rightarrow X$ o kodziedzinie X .

Jak okaże się za chwilę, będziemy musieli nieco zmodyfikować powyższą próbę zdefiniowania podobiektu, spójrzmy jednak najpierw na pewne własności tak zdefiniowanego pojęcia.

Jeśli X jest zbiorem, to w ramach teorii mnogości rodzinę jego podzbiorów nazywamy zbiorem potęgowym tego zbioru i oznaczamy $\mathcal{P}(X)$. Relacja zawierania się zbiorów jest częściowym porządkiem na zbiorze potęgowym. Zatem struktura $(\mathcal{P}(X), \subseteq)$ rozważana jako częściowy porządek, zgodnie z wcześniejszymi rozważeniami, może

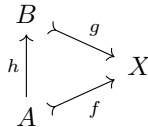
¹⁹ Na przykład w rozważanej wcześniej kategorii odpowiadającej quasi-porządkowi, od jednego dowolnego obiektu do drugiego dowolnego obiektu jest co najwyżej jedna strzałka, zatem wszystkie strzałki są zarówno monomorfizmami, jak i epimorfizmami. Jednak bardzo prosto wskazać przykład kategorii, w której istnieje strzałka niebędąca izomorfizmem (choć jest zarówno mono- jak i epimorfizmem). Np. kategoria z dwoma obiektami i jedyną nieidentycznościową strzałką idącą od jednego do drugiego obiektu.

być traktowana jako kategoria, w której z obiektu A do B istnieje strzałka wtedy i tylko wtedy, gdy $A \subseteq B$. Wtedy następujący diagram (poniższy typ strzałek jest standardowo używany na oznaczenie inkluzji)



komutuje²⁰. To zachowanie podpowiada nam definicję zawierania się pomiędzy podobiektami (danego, tego samego obiektu). Ze względu jednak na aktualnie tylko roboczą definicję podobiektu, wyrazimy ją w języku monomorfizmów.

Definicja 8. Mówimy, że monomorfizm $f : A \rightarrow X$ zawiera się w monomorfizmie $g : B \rightarrow X$, co oznaczamy $f \subseteq g$, wtedy i tylko wtedy, gdy istnieje strzałka $h : A \rightarrow B$ taka, że diagram



komutuje (można pokazać, że także h jest wtedy monomorfizmem).

Dla podobiektów zdefiniowanych według naszej wstępnej definicji, zawieranie się powyższe nie posiada własności antysymetryczności, gdyż jeśli $f \subseteq g$ i $g \subseteq f$, to dziedziny morfizmów f i g są jedynie izomorficzne (a nie tożsame), a więc f nie musi być równe g . Takie podobiektu f i g o izomorficznych dziedzinach i tożsamych kodziedzinach możemy nazwać izomorficznymi i oznaczyć $f \simeq g$. Izomorfizm

²⁰ Komutowanie diagramu, jak i samo pojęcie diagramu w teorii kategorii, wyjaśniamy na s. 53. W skrócie oznacza to, iż złożenie strzałek wzdłuż różnych dróg daje ten sam wynik. W powyższym przypadku, komutowanie diagramu oznacza, że złożenie inkluzji $A \hookrightarrow B$ oraz $B \hookrightarrow X$ daje dokładnie inkluzję $A \hookrightarrow X$.

ten jest relacją równoważności, więc możemy utworzyć odpowiednie klasy równoważności

$$[f] = \{g : f \simeq g\} .$$

Owe klasy równoważności stanowią teraz właściwą definicję podobieństw.

Definicja 9. *Podobieństwem* obiektu X nazywamy klasę równoważności monomorfizmów o kodziedzinie X ze względu na relację równoważności \simeq .

Rodzinę podobieństw obiektu X oznaczamy $\text{Sub}(X)$ i możemy zapisać

$$\text{Sub}(X) = \{[f] : f \text{ jest monomorfizmem takim,} \quad (1)$$

$$\text{że } \text{cod}(f) = X\} .$$

Relację zawierania definiujemy teraz poprzez warunek

$$[f] \subseteq [g] \quad \text{wtw} \quad f \subseteq g .$$

Często upraszcza się jednak zapis (i język) pisząc, że f jest podobieństwem (zamiast pisać $[f]$). My także przyjmiemy to uproszczenie.

Warto zauważyć, że w Set zachodzi

$$\text{Sub}(X) \cong \mathcal{P}(X) , \quad (2)$$

a zatem pojęcie podobieństwa rzeczywiście uogólnia (na dowolną kategorię) teoriomnogościowe pojęcie podzbioru.

Produkty i koprodukty obiektów

Wprowadzimy teraz dwa kolejne, dualne względem siebie pojęcia.

Definicja 10. *Produktem* obiektów A i B nazywamy obiekt $A \times B$ wraz z parą strzałek $(\pi_1 : A \times B \rightarrow A, \pi_2 : A \times B \rightarrow B)$ taki, że dla dowolnej pary strzałek $f : C \rightarrow A$ i $g : C \rightarrow B$ istnieje dokładnie jedna strzałka $\langle f, g \rangle : C \rightarrow A \times B$ (nazywana czasem strzałką iloczynową) czyniąca komutatywnym diagram

$$\begin{array}{ccccc}
 & & C & & \\
 & f \swarrow & \vdots \langle f, g \rangle & \searrow g & \\
 & A & A \times B & & B \\
 & \xleftarrow{\pi_1} & & \xrightarrow{\pi_2} &
 \end{array}$$

Zachodzi więc $\pi_1 \circ \langle f, g \rangle = f$ i $\pi_2 \circ \langle f, g \rangle = g$ (morfizmy π_1, π_2 pełnią zatem funkcję odpowiednich rzutowań i tak również bywają nazywane).

Podobnie jak np. obiekt końcowy, również produkty zdefiniowane są tylko z dokładnością do jedynego izomorfizmu. Produktem dwóch zbiorów w **Set** jest ich iloczyn kartezjański (wraz z trywialnymi strzałkami rzutowań), a dwóch grup w **Group** iloczyn kartezjański grup (wraz z rzutowaniami). Produktem w quasi-porządku (o ile dany produkt istnieje) jest największe dolne ograniczenie, tj. kres dolny (wraz z odpowiednimi strzałkami). W częściowym porządku (która to kategoria, jak widzieliśmy, jest szkieletowa) produkt ten, o ile istnieje, jest jedyny.

Warto przytoczyć jeszcze jeden przykład produktu. W tym celu zauważmy, że jeśli jako obiekty pewnej kategorii przyjmiemy formuły jakiegoś języka zerowego (lub pierwszego) rzędu L , a co do strzałek założymy, że z obiektu φ do ψ istnieje maksymalnie jedna strzałka i to wtedy i tylko wtedy, gdy z formuły φ wynika logicznie formuła ψ (co oznaczamy za pomocą relacji konsekwencji semantycznej $\varphi \models \psi$), to rzeczywiście otrzymamy w ten sposób kategorię, którą

oznaczymy Prop_{\perp} . Jak łatwo sprawdzić, w Prop_{\perp} produktem dwóch dowolnych formuł będzie ich koniunkcja wraz z trywialnymi strzałkami rzutowań (na poszczególne człony koniunkcji).

Przykład pojęcia produktu jest zatem kolejnym dobrym przykładem na dużą abstrakcyjność i uniwersalność pojęć kategorialnych, w tym sensie, że pojęcie produktu sprowadza się w różnych kategoriach do tak standardowo odmiennych pojęć, jak iloczyn kartezjański zbiorów lub grup, kres dolny czy koniunkcja. Kategorialne pojęcie produktu abstrahuje zatem coś wspólnego w tych i innych pojęciach i wyprowadza nas przez to na zupełnie nowy poziom matematycznej abstrakcji. Jest to dobry przykład specyficznego charakteru całej teorii kategorii.

Pojęciem dualnym do produktu jest koprodukt (ściśłą definicję podajemy w dodatku II). Oczywiście także koprodukty zdefiniowane są z dokładnością do izomorfizmu. Koproduktem w Set jest rozłączna suma zbiorów, natomiast w quasi-porządku jest to najmniejsze górne ograniczenie, tj. kres górny (o ile istnieje). W częściowym porządku, tak jak to było dla produktu, koprodukt, o ile istnieje, jest jedyny. W Prop_{\perp} koproduktem jest logiczna alternatywa danych formuł.

Częściowy porządek, w którym dowolne dwa elementy mają zarówno kres dolny, jak i górny jest (z definicji) kratą. Widzimy więc, że w języku kategorijskim kratą jest częściowy porządek mający produkt i koprodukt dla dowolnych dwóch elementów.

6. Logika zdań w toposach

Kwestia zastosowania teorii kategorii w logice jest bardzo rozległa. Powstała nawet osobna dziedzina zwana logiką kategorijską (*categorical logic*). W niniejszej sekcji zarysujemy jedynie znaczenie seman-

tyczne pewnych kategorii zwanych toposami (ich definicję przedstawimy po omówieniu koniecznych do tego pojęć) dla języków zdaniowych.

Będziemy używać następujących oznaczeń: KRZ na logikę klasyczną zdań (klasyczny rachunek zdań) oraz INT na intuicjonistyczną logikę zdań (nieco więcej piszemy o niej w sekcji 7). Pisząc krótko o logice będziemy zawsze rozumieli logikę zerowego rzędu, tj. zdań.

Już na początku warto zauważyć, że podejście kategoryjne do matematyki ma swoją wyjątkową specyfikę. Nie zakładamy w punkcie wyjścia obowiązującej logiki, której będą podlegały różne obiekty matematyczne, lecz logika będzie częścią struktury toposów. To właśnie ze struktury strzałek danego toposu będziemy mogli odczytać logikę, jaka obowiązuje w danym toposie. Struktura toposu będzie decydowała zarówno o typie logiki (co możemy wyrazić przez aksjomaty, jakie są spełnione w danym toposie), jak i np. o ilości wartości logicznych obecnych w danym toposie traktowanym jako semantyka odpowiedniej logiki.

Do omówienia logiki toposu musimy teraz rozważyć centralne pojęcie klasyfikatora podobieństw.

Klasyfikator podobieństw

Kluczowym obiektem dla logicznej struktury toposów jest tzw. klasyfikator podobieństw (*subobject classifier*). Nie będziemy rozważać dokładnej definicji tego pojęcia (można je znaleźć np. w (Goldblatt, 2006, s. 81)), omówimy tylko jego rolę oraz podamy niektóre przykłady.

Klasyfikatorem podobieństw w kategorii \mathcal{C} posiadającej obiekt końcowy jest pewien obiekt (oznaczany przez Ω) wraz ze strzałką

będącą elementem globalnym obiektu Ω , oznaczaną $\top : 1 \rightarrow \Omega$. Ze względów o których poniżej, \top nazywa się strzałką prawdziwościową (*truth arrow*) i czasami oznacza się ją po prostu jako *true*, czyli prawda. Jak sugeruje sama nazwa, klasyfikator podobieństw rzeczywiście klasyfikuje podobiektwy. Można mianowicie udowodnić, że istnieje wzajemnie jednoznaczne przyporządkowanie podobiektów dowolnego obiektu X strzałkom $X \rightarrow \Omega$ (czyli elementom uogólnionym klasyfikatora podobiektów ze sceny X), co możemy zapisać

$$\text{Sub}(X) \cong \mathcal{C}(X, \Omega). \quad (3)$$

Wprowadźmy pewne oznaczenie na powyższe przyporządkowanie: strzałkę, która odpowiada podobiektowi f będziemy oznaczać przez χ_f .

Jak zawsze, spójrzmy najpierw na sytuację w *Set*. Obiektem Ω jest tutaj dwuelementowy zbiór, np. $\{0, 1\}$, o którym możemy myśleć jako o zbiorze wartości logicznych (fałsz i prawda). Jest jasne, że funkcje z danego zbioru X w zbiór $\{0, 1\}$ wyznaczają wzajemnie jednoznacznie podzbiory zbioru X (poprzez funkcje charakterystyczne przyjmujące wartość 1 na danym podzbiory, a poza nim 0, stąd wprowadzone powyżej oznaczenie χ_f). Przykłady niektórych własności klasyfikatorów podobiektów w innych toposach podamy w sekcji 7.

Toposy

Ze względu na brak odpowiednich pojęć, nie możemy w niniejszej pracy podać ścisłej definicji toposu. Aby jednak nieco dokładniej opisać czym jest topos²¹ zauważmy, że kategoria *Set* posiada następujące własności:

²¹ Wzorujemy się w tym opisie na (Bell, 2008, s. 113).

1. Istnieje obiekt końcowy 1 (którym w Set jest dowolny zbiór jednoelementowy).
2. Dla dowolnej pary obiektów A, B istnieje ich produkt $A \times B$ (którym w Set jest np. ich iloczyn kartezjański).
3. Dla dowolnej pary obiektów A, B istnieje obiekt oznaczany przez B^A (tzw. obiekt wykładniczy (*exponential object*)), którego elementy odpowiadają morfizmom $A \rightarrow B$ (w Set jest to np. zbiór wszystkich funkcji o dziedzinie A i przeciwdziedzinie B).
4. Istnieje klasyfikator podobieństw Ω (zwany także obiektem wartości prawdziwościowych (logicznych)), wraz z wyróżnionym elementem globalnym *prawda* (\top) (w Set jest to np. zbiór $\{0, 1\}$, a prawdą jest standardowo 1). Zauważmy, że dla dowolnego obiektu X , obiekt Ω^X odpowiada zbiorowi potęgowemu zbioru X ²².

Wszystkie powyższe cztery warunki mogą być wyrażone w czysto kategoryjnym języku, tj. jedynie za pomocą strzałek (dwa pierwsze zostały już wcześniej wyrażone przez nas w ten sposób).

Możemy teraz nieściśle (jedynie dlatego, że nie podaliśmy dokładnej definicji ani obiektu wykładniczego, ani klasyfikatora podobieństw) przyjąć, że (elementarnym) toposem nazywamy dowolną kategorię, która spełnia powyższe cztery warunki²³.

W dalszej części pracy będziemy potrzebowali także następującej definicji.

²² Jest tak, ponieważ zgodnie z wcześniejszym punktem Ω^X odpowiada rodzinie strzałek z X do Ω , a ponadto zachodzi (3) i (2).

²³ Początkowo w definicji elementarnego toposu przyjmowano znacznie mocniejsze warunki. Z czasem okazało się jednak, że wystarczy założyć jedynie te powyższe, a pozostałe własności są dowodliwe na mocy tych założeń. Przede wszystkim można udowodnić, że każdy taki topos posiada także dowolne tzw. granice i kogranice, a więc m.in. poznane już przez nas koprodukty.

Definicja 11. Topos nazywamy *zdegenerowanym* (*degenerate*), jeśli wszystkie jego obiekty są izomorficzne.

Teoria toposów ma zastosowanie zarówno w syntaktycznym jak i w semantycznym podejściu do logiki, my jednak zajmujemy się jedynie częścią semantyczną.

Semantyka toposów

Założmy więc, że mamy dany pewien język zdaniowy (zerowego rzędu). Niech Z oznacza zbiór symboli zdaniowych (zdań atomowych), a $\text{Fm}(Z)$ zbiór wszystkich sensownych formuł w tym języku, czyli zdań utworzonych poprawnie za pomocą symboli zdaniowych należących do Z i standardowych symboli logicznych $\neg, \vee, \wedge, \rightarrow$ (jak i ewentualnie nawiasów jako symboli pomocniczych).

W tradycyjnym podejściu modelem lub wartościowaniem nazywamy dowolne przyporządkowanie symbolom zdaniowym wartości logicznych prawdy lub fałszu, a więc odwzorowanie $Z \rightarrow \{0, 1\}$. Odwzorowanie to rozszerzamy następnie na wszystkie zdania, tj. na cały zbiór $\text{Fm}(Z)$. W tym celu definiujemy (np. za pomocą tzw. tabelek) działanie symboli logicznych jako odpowiednich funkcji na wartościach logicznych (lub ich parach), np. $\vee : \{0, 1\} \times \{0, 1\} \rightarrow \{0, 1\}$ jest zdefiniowana tak, że jako funkcja $\vee(0, 0) = 0$, w pozostałych przypadkach przyjmuje wartość 1.

Korzystając z odpowiednich pojęć teorii kategorii można wyrazić działanie tych symboli logicznych w języku strzałek (nie jest to zupełnie trywialne zadanie, gdyż jak pamiętamy w teorii kategorii nie możemy odnosić się do poszczególnych elementów obiektów, jednak jest to wykonalne). Ponadto możemy w naturalny sposób uogólnić ich działanie do sytuacji, gdy zamiast zbioru $\{0, 1\}$ mamy obiekt Ω (kla-

syfikator podobiektów, pełniący rolę obiektu wartości logicznych). W ten sposób otrzymujemy działanie symboli logicznych w dowolnym toposie jako odpowiednich strzałek: $\neg : \Omega \rightarrow \Omega$ dla negacji, natomiast pozostałe symbole logiczne są różnymi strzałkami $\Omega \times \Omega \rightarrow \Omega$ ²⁴ (nie podajemy tutaj dokładnej definicji tych strzałek, można je znaleźć np. w (Goldblatt, 2006, s. 139)). Zwracamy uwagę, że czymś innym są symbole logiczne jako część alfabetu danego języka, a czymś innym symbole logiczne zdefiniowane jako odpowiednie strzałki w toposie. Ze względów praktycznych, aby nie rozszerzać zbyt mocno notacji, pozostawiliśmy jednak te same oznaczenia na różnie rozumiane symbole logiczne.

Podkreślimy, że tak zdefiniowane symbole logiczne stanowią uogólnienie na dowolny topos standardowych symboli logicznych. Można mianowicie udowodnić, że w dowolnym toposie (mającym na przykład nieskończenie wiele wartości logicznych), działanie tych symboli logicznych na (zawsze obecnych) wartościach prawdy (\top) i fałszu (\perp)²⁵ sprowadza się zawsze do standardowego ich działania (zob. np. Goldblatt, 2006, s. 142, tw. 1). W szczególności, dla toposu *Set* otrzymujemy dwuwartościową logikę ze standardowo działającymi symbolami logicznymi, a więc logikę klasyczną. W ogólności jednak, o czym poniżej, logika jaka obowiązuje w dowolnym toposie nie będzie klasyczna.

²⁴ Produkt obiektów zdefiniowaliśmy w definicji 10.

²⁵ Fałsz, $\perp : 1 \rightarrow \Omega$ definiujemy w każdym toposie, jako $\chi_{!_0}$, gdzie $!_0 : 0 \rightarrow 1$ jest jedyną strzałką idącą z 0 do 1. W każdym toposie $!_0$ będzie monomorfizmem, jest to więc podobiekt obiektu końcowego.

Definicja semantyki w toposach

Zdefiniujemy teraz semantykę w dowolnym toposie \mathcal{E} . Elementy globalne obiektu Ω , czyli strzałki $1 \rightarrow \Omega$ pełnią rolę wartości logicznych (*truth-values*) jakie mogą przyjmować zdania przy danym wartościowaniu. Rodzinę wszystkich wartości logicznych możemy więc zapisać jako $\mathcal{E}(1, \Omega)$.

Określmy teraz wartościowanie zdań logicznych w toposie.

Definicja 12. \mathcal{E} -wartościowaniem (\mathcal{E} -valuation) nazywamy dowolną funkcję $V : Z \rightarrow \mathcal{E}(1, \Omega)$.

\mathcal{E} -wartościowanie przypisuje więc każdemu symbolowi zdaniowemu wartość logiczną (tj. strzałkę $1 \rightarrow \Omega$). Korzystając z działania symboli logicznych jako strzałek $\Omega \rightarrow \Omega$ (dla \neg) lub $\Omega \times \Omega \rightarrow \Omega$ (dla pozostałych symboli logicznych), rozszerzamy teraz jednoznacznie (analogicznie do standardowej procedury w ramach semantyki KRZ) \mathcal{E} -wartościowanie na cały zbiór $\text{Fm}(Z)$ wszystkich zdań poprzez warunki:

$$V(\neg\alpha) = \neg \circ V(\alpha)$$

$$V(\alpha \wedge \beta) = \wedge \circ \langle V(\alpha), V(\beta) \rangle$$

gdzie $\langle V(\alpha), V(\beta) \rangle$ jest strzałką produktową strzałek $V(\alpha)$ i $V(\beta)$ (zob. definicja 10) oraz dla pozostałych dwóch symboli logicznych (analogicznie do koniunkcji):

$$V(\alpha \vee \beta) = \vee \circ \langle V(\alpha), V(\beta) \rangle, \quad V(\alpha \rightarrow \beta) = \rightarrow \circ \langle V(\alpha), V(\beta) \rangle.$$

W wyniku tej operacji (wykonywanej indukcyjnie ze względu na złożoność formuł) otrzymujemy pełne \mathcal{E} -wartościowanie będące przyporządkowaniem każdej formule z $\text{Fm}(Z)$ wartości logicznej będącej strzałką $1 \rightarrow \Omega$.

Możemy teraz zdefiniować relację spełniania w toposie.

Definicja 13. Mówimy, że zdanie α jest \mathcal{E} -tautologią (\mathcal{E} -valid), co oznaczamy $\mathcal{E} \models \alpha$, jeśli dla dowolnego \mathcal{E} -wartościowania V , zachodzi $V(\alpha) = \top : 1 \rightarrow \Omega$.

7. Niektóre własności logiki toposów

Zanim omówimy nieco dokładniej różne logiki jakie obowiązują w toposach (rozumiane tutaj przede wszystkim semantycznie jako odpowiednie zbiory \mathcal{E} -tautologii) podkreślmy raz jeszcze, że logika dowolnego toposu nie jest w żaden sposób narzucona z zewnątrz, lecz wynika ze struktury strzałek danego toposu z kluczową rolą strzałek związanych z klasyfikatorem podobiektów. Każdy topos posiada określoną logikę, o której można by powiedzieć, że nie mamy na nią wpływu, możemy ją jedynie odkryć, opisać i ewentualnie jakoś użyć. W niniejszym opracowaniu omówimy jedynie niektóre własności logiki toposów. Powtórzmy, że ograniczamy się jedynie do logiki zdań, a także skupimy się na pokazaniu pewnych powiązań logiki toposów z KRZ (omówimy m.in. dwie rodziny toposów, w których zbiór tau-

tologii pokrywa się dokładnie z tautologiami KRZ). Należy jednak podkreślić, że bogactwo logiki toposów ujawnia się przede wszystkim w intuicjonistycznej logice wyższych rzędów.

Cała konstrukcja semantyki zdań w dowolnym toposie jest uogólnieniem standardowej klasycznej dwuwartościowej semantyki. Można mianowicie udowodnić, że dowolne zdanie jest Set-tautologią (w sensie \mathcal{E} -tautologii w toposie Set) wtedy i tylko wtedy, gdy jest tautologią klasycznego rachunku zdań (dalej nazywamy je po prostu tautologiami i oznaczamy $\models_{\text{KRZ}} \alpha$), co możemy zapisać symbolicznie

$$\text{Set} \models \alpha \quad \text{wtw} \quad \models_{\text{KRZ}} \alpha.$$

Zatem semantyka toposów w tym sensie uogólnia standardową klasyczną dwuwartościową semantykę, że jest o wiele bogatszą semantyką, która w przypadku toposu Set odtwarza dokładnie klasyczne tautologie.

Logiką panującą we wszystkich toposach jest logika intuicjonistyczna. Przy odpowiednio dobranej liście aksjomatów klasycznej logiki (np. jak w Goldblatt, 2006, s. 131), możemy powiedzieć, że logika intuicjonistyczna posiada wszystkie aksjomaty klasycznej logiki zdań z wyjątkiem aksjomatu wyłączonego środka ($\alpha \vee \neg \alpha$) oraz regułę wnioskowania taką samą, jak w klasycznej logice (tj. regułę odrywania (*modus ponens*)). Semantyka logiki intuicjonistycznej jest inna niż klasycznej. Właściwą semantyką, w sensie spełniania twierdzenia o pełności, jest np. semantyka topologiczna, czy semantyka Kripkego. Zainteresowanego Czytelnika odsyłamy do literatury (Dummett, 2000; Heyting, 1971; Troelstra i Dalen, 1988; Dalen, 2002).

W każdym toposie spełnione są wszystkie aksjomaty INT, a reguła wnioskowania zachowuje prawdę, tak więc w każdym toposie obowiązują wszystkie twierdzenia (równoważnie tautologie) INT. W niektórych toposach mogą być jednak spełnione także inne aksjo-

maty, np. w Set obowiązuje także wyłączony środek, przez co logika w tym toposie jest klasyczna. W ogólności zatem w toposach spotykamy różne tzw. pośrednie logiki (*intermediate logics*)²⁶. Jako że najmocniejszą taką logiką jest KRZ, logika w dowolnym toposie jest zatem słabsza od KRZ lub jej równa, a więc dowolna \mathcal{E} -tautologia (dla dowolnego toposu \mathcal{E}) jest tautologią KRZ (zob. Goldblatt, 2006, s. 143, tw. 2), co możemy zapisać symbolicznie

$$\text{jeżeli } \mathcal{E} \models \alpha, \text{ to } \models_{\text{KRZ}} \alpha. \quad (4)$$

W celu omówienia algebraicznego aspektu logiki zdań toposów, przypomnijmy, że istnieje ścisła odpowiedniość między spójnikami KRZ (negacją, alternatywą, koniunkcją i implikacją), a podstawowymi operacjami na podzbiorach danego zbioru (dopełnienie, suma, iloczyn i zawieranie się zbiorów). I tak np. sumę dowolnych podzbiorów zbioru X definiujemy za pomocą alternatywy: $A \cup B = \{x \in X : x \in A \vee x \in B\}$. Zbiór potęgowy $\mathcal{P}(X)$ z operacjami sumy, iloczynu i dopełnienia wraz z elementem najmniejszym (zbiór pusty) i największym (cały zbiór X) jest jednym z podstawowych przykładów struktury zwanej algebrą Boole'a. Jest ona algebraicznym odpowiednikiem klasycznej logiki (jest to tzw. algebra Lindenbauma-Tarskiego KRZ).

W teorii kategorii jako odpowiednik zbioru potęgowego $\mathcal{P}(X)$ rozważaliśmy powyżej (zob. (1) i (2)) rodzinę podobiektów $\text{Sub}(X)$ ²⁷. Zdefiniowaliśmy tam także relację zawierania się między podobiektami (które są, przypomnijmy, odpowiednimi strzałkami) będącą kategorijskim odpowiednikiem zawierania się zbiorów. Okazuje

²⁶ Z definicji są to niesprzeczne logiki zdań rozszerzające INT.

²⁷ Właściwym odpowiednikiem $\mathcal{P}(X)$ w toposach jest ściśle rzecz biorąc obiekt wykładniczy Ω^X . $\text{Sub}(X)$ jest pojęciem zewnętrznym względem danej kategorii (zob. dyskusja pod koniec niniejszej sekcji).

się, że można także zdefiniować kategoryjne odpowiedniki sumy, iloczynu i dopełnienia. Jednak odpowiednia algebra podobiektów, choć jest zawsze ograniczoną, dystrybutywną kratą i spełnia nawet jeden z warunków pochłaniania²⁸, nie jest w ogólności algebrą Boole'a! Jest to przejaw tego, że logika toposów w ogólności nie jest klasyczna. Algebrą podobiektów okazuje się być tzw. algebra Heytinga²⁹. Odzwierciedla to fakt, że w toposach obowiązuje INT, czy dokładniej logika pośrednia³⁰.

Powróćmy teraz do związków logiki toposów z KRZ. Wiemy już, że zawsze dowolna \mathcal{E} -tautologia jest tautologią KRZ (zob. (4)). Kiedy jednak implikacja zachodzi także w drugą stronę, tj. w jakich toposach zbiór \mathcal{E} -tautologii pokrywa się z tautologiami KRZ? Opiszemy dwie takie grupy toposów, które choć nie tożsame, będą jednak miały (niepustą) część wspólną. Pierwszą grupę stanowią tzw. toposy dwuwartościowe.

Definicja 14. Niezdegenerowany topos nazywamy *dwuwartościowym (bivalent)*, jeśli prawda (\top) i fałsz (\perp) są jego jedynymi wartościami logicznymi (globalnymi elementami klasyfikatora podobiektów).

²⁸ Mianowicie dla dowolnego podobiektu f zachodzi $f \cap -f = 0$, jednak w ogólności nie zachodzi $f \cup -f = 1$. Ten ostatni warunek jest jedynym z listy aksjomatów algebry Boole'a, który może nie być spełniony.

²⁹ Definicję i różne własności algebr Heytinga Czytelnik znajdzie np. w (Rasiowa i Sikorski, 1963) lub (Goldblatt, 2006).

³⁰ Przy standardowej definicji wartościowania zdań logicznych w algebrze Heytinga, ogół zdań będących H -tautologiami (tj. przyjmujących wartość jedynki w algebrze przy dowolnym wartościowaniu), jest zbiorem tautologii pewnej pośredniej logiki. Zdania będące H -tautologiami dla dowolnej algebry Heytinga H tworzą natomiast dokładnie zbiór tautologii INT. Można ponadto udowodnić, że dane zdanie jest \mathcal{E} -tautologią wtedy i tylko wtedy, gdy jest ono H -tautologią dla algebry Heytinga $\text{Sub}(1)$, gdzie 1 jest obiektem końcowym toposu \mathcal{E} .

Rzeczywiście zachodzi twierdzenie (zob. Goldblatt, 2006, s. 143, tw. 3) stanowiące, że jeżeli topos \mathcal{E} jest dwuwartościowy, to dla dowolnego zdania α zachodzi:

$$\mathcal{E} \models \alpha \quad \text{wtw} \quad \models_{\text{KRZ}} \alpha. \quad (5)$$

Zwróćmy uwagę, że w tym twierdzeniu dwuwartościowość toposu pociąga własność (5), jednak w drugą stronę implikacja nie zachodzi. Są zatem także inne toposy, nie dwuwartościowe, których tautologie są jednak tożsame z tautologiami klasycznego rachunku zdań. Takim toposem jest np. Set^2 (definicję tej kategorii podajemy w dodatku I) mający cztery wartości logiczne.

Drugą grupę toposów, których zbiór tautologii pokrywa się z tautologiami KRZ, są tzw. toposy klasyczne.

Definicja 15. Topos nazywamy klasycznym (*classical*), jeśli $[\top, \perp] : 1 + 1 \rightarrow \Omega$ jest izomorfizmem.

Zauważmy, że w każdym toposie istnieją \top i \perp oraz dowolne ko-produkty, więc strzałka $[\top, \perp]$ (por. definicja 16 w dodatku II) jest zawsze dobrze określona. Toposy klasyczne mogą, ale nie muszą być dwuwartościowe. Przykładem toposu klasycznego nieduwartościowego jest wspomniany powyżej topos Set^2 .

Przedstawimy jeszcze inną charakterystykę klasycznych toposów. Wspominaliśmy powyżej, że w każdym toposie algebra podobieństw jest algebrą Heytinga. Jeśli jednak dla każdego obiektu w toposie algebra podobieństw jest boolowska, to taki topos nazywamy boolowskim. Co więcej, okazuje się, że strukturą podobieństw dowolnego obiektu w toposie rządzi klasyfikator podobieństw (dokładnie struktura jego podobieństw), gdyż jeśli $\text{Sub}(\Omega)$ jest algebrą Boole'a, to wszystkie algebry podobieństw także są boolowskie. Boolowskość to-

posu jest jednak tylko innym obliczem jego klasyczności, gdyż można pokazać, że topos jest boolowski wtedy i tylko wtedy, gdy jest klasyczny (zob. Goldblatt, 2006, s. 156n, tw. 1).

Popatrzmy jeszcze na kilka przykładów. Wspomnieliśmy już, że topos może być klasyczny, ale nie dwuwartościowy (podaliśmy przykład Set^2). Możliwa jest także sytuacja odwrotna, topos może być dwuwartościowy, choć nie klasyczny³¹. Natomiast przykładem toposu, który nie jest ani klasyczny, ani dwuwartościowy może być Set^{\rightarrow} (zob. dodatek I) (ma on trzy wartości logiczne). W toposie tym jednak nie jest spełniona zasada wyłączonego środka (zob. Goldblatt, 2006, s. 142).

Zwróćmy uwagę, że w Set koprodukt $1 + 1$ jest dwuelementowym zbiorem, który jest izomorficzny z $\{0, 1\}$, będącym klasyfikatorem podobieństw w tym toposie. Widzimy więc, że pojęcia dwuwartościowości i klasyczności toposu, choć w ogólności różne, pokrywają się jednak w Set . Jest to dobry przykład bogactwa teorii kategorii, w której niektóre pojęcia pokrywające się w toposie Set , a więc w tym sensie nierozróżnialne w ramach podejścia teoriomnogościowego, są jednak w ogólności różnymi pojęciami kategorijskimi. Teoria kategorii okazuje się więc w takich sytuacjach bardziej precyzyjna i bogatsza pojęciowo od teorii mnogości.

Pojęcia dwuwartościowości i klasyczności są powiązane z wcześniej wprowadzonym pojęciem upunktowanej kategorii. Zachodzi mianowicie twierdzenie (por. Goldblatt, 2006, s. 118, tw. 2 i s. 120, tw. 4) stanowiące, że jeśli \mathcal{E} jest niezdegenerowanym upunktowanym toposem, to \mathcal{E} jest zarówno dwuwartościowy, jak i klasyczny.

Na koniec zwróćmy jedynie uwagę, że w naszej pobieżnej analizie znaczenia toposów dla logiki (czy także we wcześniejszym opisie

³¹ Nie podajemy przykładu, gdyż wymagałoby to wprowadzenia nowych definicji. Za interesowanego Czytelnika odsyłamy do (Goldblatt, 2006, s. 122n).

rodziny podobieństw danego obiektu w kategorii) korzystaliśmy często z tzw. opisu zewnętrznego (*external*), w którym odwoływaliśmy się nieraz do konstrukcji formalnie nienależących do danej kategorii. I tak np. rodzina podobieństw $\text{Sub}(X)$, która sama może nie być obiektem danego toposu (kategorii), jest więc zasadniczo zewnętrzna względem niego. Jeśli chcemy myśleć o toposie jako o samodzielnym uniwersum matematycznego dyskursu (jak to się robi chociażby w ramach podejścia kategoryjnego do podstaw matematyki, por. np. (Bell, 1986; 1981)), wtedy w ramach tego uniwersum formalnie postrzega się jedynie indywidua do niego należące. Obiektem, który jest wewnętrzną (*internal*) wersją pojęcia odpowiadającego zbiorowi potęgowemu, jest obiekt wykładniczy Ω^X (lub, jeśli kategoria nie posiada klasyfikatora podobieństw, definiowalny niezależnie od Ω , tzw. obiekt potęgowy (o ile istnieje)), podczas gdy $\text{Sub}(X)$ jest jego zewnętrzną wersją. Podobnie rozważana przez nas rodzina wartości logicznych $\mathcal{E}(1, \Omega)$ także należy do opisu zewnętrznego. Jej wersją wewnętrzną byłby obiekt $\Omega' \cong \Omega$. Nie wchodząc głębiej w tę tematykę, gdyż chcieliśmy jedynie zwrócić uwagę Czytelnika na rozróżnienie i obecność obu opisów: zewnętrznego i wewnętrznego, zakończmy jednak stwierdzeniem, że obecny zewnętrzny opis semantyki toposów jest bardzo cenny w rozjaśnianiu logicznych własności toposów.

8. Przegląd innych zastosowań teorii kategorii w filozofii

Wprowadzenie do niektórych podstawowych pojęć teorii kategorii oraz omówienie niektórych związków TK z logiką zdań, co było przedmiotem dotychczasowych rozważań, były głównymi zamierzeniami niniejszej pracy. Zauważmy jednak, że znaczenie TK dla filo-

zofii, choć jak się nam wydaje w znacznej mierze ciągle czekające na odkrycie, nie ogranicza się jedynie do logiki. W literaturze pojawia się wiele artykułów traktujących o znaczeniu TK dla takich zagadnień, jak chociażby wspomniane już strukturalizm, czy podstawy matematyki (zob. np. Awodey, 2004; Hellman, 2006; McDonald, 2012; Landry i Marquis, 2005; Bell, 1981; Bondecka-Krzykowska i Murawski, 2008).

W kontekście zastosowań TK w filozofii, warto wspomnieć także wydaną ostatnio książkę (Landry, 2018)³² o charakterystycznym tytule *Categories for the Working Philosopher*, będącą obszernym zbiorem prac szeregu uznanych autorów, traktującą właśnie o zastosowaniach TK w obszarach „od matematyki przez teorię dowodu, informatykę do ontologii, od fizyki przez biologię do nauk kognitywnych, od modelowania matematycznego przez strukturę teorii naukowych do struktury świata” (zob. Landry, 2018, s. vii, tłum. moje).

Chcemy na koniec omówić krótko kilka prac związanych z pewnymi zastosowaniami TK w filozofii (ze szczególnym uwzględnieniem wkładu polskich uczonych). Temat zastosowań TK jest bardzo obszerny, dlatego poniższe uwagi należy traktować jedynie jako wybiórcze zestawienie kilku przykładów. W żadnym wypadku nie jest to systematyczny przegląd zastosowań TK w filozofii, nie wspominając o zastosowaniach w innych dyscyplinach, szczególnie w fizyce (por. przypis 6 niniejszej pracy) i informatyce.

Wspomnijmy najpierw pracę (Heller, 2015), w której autor m.in. porusza temat związków TK z filozofią czasu i przestrzeni (a także ogólniej z filozofią fizyki). Możemy tam przeczytać o uogólnieniu pojęcia przestrzeni przez A. Grothendiecka i jego topusy, a także o tym, iż zastosowanie narzędzi kategoryjnych do filozofii przestrzeni

³² Dziękuję jednemu z anonimowych recenzentów za wskazanie mi tej (i kilku innych) publikacji.

nie tylko ujawnia niespodziewane aspekty starej dyskusji o relacyjnej, bądź substancjalnej naturze przestrzeni, ale także pokazuje związek logiki z samymi podstawami idei przestrzeni (zob. m.in. Heller, 2015, s. 197). W pracy tej M. Heller podaje także przykład kategorii **Leib**, która, jak sam autor pisze, pomimo ogromnej oszczędności oraz stanowiąc jedynie tzw. *toy-model*, może być interpretowana jako model Leibnizowskiej monadologii.

Zbigniew Król w swojej książce (Król, 2006) rozważa także kwestię zastosowań TK w filozofii, w tym przypadku w filozofii matematyki. Pisze m.in. o znaczeniu TK dla podstaw matematyki (stwierdza m.in., że „powstanie teorii kategorii zmieniło radykalnie sytuację w podstawach matematyki” (zob. s. 134)), czy o związku z hermeneutyczną strukturą „jeden-nad-wieleścią” (zob. szczególnie s. 132n). Przytacza także kilka twierdzeń dotyczących logiki panującej w toposach, o których my także pisaliśmy w sekcji 7. W pracy (Król, 2011), tenże autor twierdzi także, że teoria kategorii jest „najbardziej platońską teorią w sensie stosowanych metod” (s. 110) oraz wspomina ważną kwestię, mianowicie, że „rozwój teorii kategorii skłania do rezygnacji z jednego globalnego teoriomnogościowego środowiska, areny dla uprawiania całej matematyki, i zastąpienia go przez szereg lokalnych kategoryalnych struktur” (s. 111). Tę ostatnią kwestię omawia szerzej J.L. Bell w swoim artykule (Bell, 1986), wspominając m.in. bardzo ciekawe przykłady znane z literatury (zob. Takeuti, 1978), kiedy to samo matematyczne pojęcie liczby rzeczywistej, przy zmianie lokalnej struktury interpretacji (którą są odpowiednie toposy z tzw. obiektem liczb naturalnych, stanowiące uogólnione modele teorii mnogości w ramach których należy interpretować matematyczne pojęcia), transformuje się dokładnie w pojęcie funkcji ciągłej, funkcji mierzalnej, czy wręcz operatora samosprzężonego (zob. Bell, 1986, s. 417n).

Spośród innych zastosowań TK w filozofii, można wskazać na jej związek z teorią mereologii. T. Mormann w swoim artykule (Mormann, 2009) argumentuje, że klasyczna boolowska mereologia wymaga modernizacji, jako że w ogólności systemy mereologiczne okazują się nie być boolowskie. Dzięki TK możliwe staje się uogólnienie klasycznej mereologii. Dodatkowo każda kategoria \mathcal{C} posiada swoją własną \mathcal{C} -mereologię (zob. Mormann, 2009, s. 338)³³. Związki TK z mereologią omawiane są także w pracach (Mormann, 2010; Bell, 2004).

Wspomnijmy na koniec o artykule (Peruzzi, 2006), w którym autor rozważa dość śmiały, choć jak się wydaje ważny, temat znaczenia teorii kategorii dla filozofii XXI wieku. Najpierw zauważa on, iż najważniejsze zagadnienia badane przez filozofów w XX w. były usytuowane w obszarach semantyki, epistemologii i filozofii umysłu, a następnie twierdzi, że ich filozoficzna analiza okazała się zależeć od narzędzi, których dostarczała matematyka (zob. s. 426). W kolejnych rozdziałach Peruzzi szeroko omawia m.in. znaczenie i możliwe zastosowania teorii kategorii w filozofii języka (pojęcie znaczenia), filozofii nauki (pojęcie teorii) i znacznie skromniej w filozofii umysłu. Dwa ostatnie rozdziały poświęcone są szerszemu spojrzeniu na kategoryjne podejście do „architektury” matematyki oraz związkom TK z podstawami i filozofią matematyki. Nie wchodząc tutaj w ważne szczegóły, widzimy w tej pracy cenny przykład badań nad możliwą rolą TK we wspomnianych istotnych obszarach filozofii.

³³ W przypadku kategorii które są toposami, krata \mathcal{C} -części obiektu X (tj. podobieństw obiektu X), o której pisze Mormann a która jest właśnie odpowiednią \mathcal{C} -mereologią w tym przypadku, jest (zapewne – Mormann nie podaje dokładnej definicji) tym samym, co krata podobieństw o której pisaliśmy w jednym z akapitów sekcji 7.

9. Zakończenie

Dla wielu filozofów, szczególnie w Polsce, sama teoria kategorii jak i jej stopniowo odkrywane znaczenie dla filozofii ciągle pozostają nieznanne. Mamy jednak nadzieję, że niniejsza praca zachęci choć niektórych Czytelników do dalszych studiów, czemu też mają służyć dość liczne odniesienia do literatury. Powtórzmy raz jeszcze, że zarówno przedstawienie niektórych podstawowych pojęć i konstrukcji teorii kategorii, jak i kwestia jej związków z logiką, zostały omówione bardzo pobieżnie w stosunku do zakresu tych zagadnień. Zarysowaliśmy jedynie związek z logiką zdań, nie poruszając zupełnie kwestii logiki pierwszego rzędu czy wyższych, jak i niektórych podstawowych teorii, np. arytmetyki Peano. Nie wspomnieliśmy zupełnie m.in. o kotoposach (*cotoposes* lub *cotopoi*) i ich związku z logiką parakonsystentną (zob. np. Angot-Pellissier, 2015, a także Heller, 2016b). Poprzez dualność kotoposów do toposów dostaje się bardzo ciekawy wynik dualności logiki parakonsystentnej do logiki intuicjonistycznej. Listę zagadnień dotyczących samej TK, jak i jej związków z logiką, których nie poruszyliśmy w tej pracy można by jeszcze długo wymieniać. Zatrzymajmy się w tym miejscu, zostawiając te powyżej wspomniane jako możliwy plan dalszych studiów.

Warto jeszcze rozprawić się ze spotykanym czasami nieuzasadnionym traktowaniem na poważnie żartobliwej etykietyki przyczepianej niekiedy teorii kategorii, mianowicie że jest ona „abstrakcyjnym nonsensem” (*abstract nonsense*). Sformułowanie to ukuł Steenrod (wspomina o tym np. McLarty w (McLarty, 1990, s. 355)), traktując je jednak humorystycznie. On sam wykorzystał teorię kategorii w ramach swoich prac nad aksjomatyką teorii homologii, a o słynnym, założycielskim dla teorii kategorii artykule (Eilenberg i Mac Lane, 1945) powiedział, że miał na niego większy wpływ niż jakakolwiek

inna praca badawcza, gdyż zmienił jego sposób myślenia (zob. Mac Lane, 1988, s. 335). Mamy nadzieję, że niniejsza praca pokazała, że realnym nonsensem jest traktowanie teorii kategorii jako abstrakcyjnego nonsensu.

Na koniec (bazując na (Marquis, 2009, s. 1)) spróbujmy popatrzyć na teorię kategorii i jej znaczenie z nieco innej perspektywy. Wiele przełomowych dokonań w matematyce, które miały wpływ także na inne dziedziny nauki, wymagało znacznej ilości czasu i opracowania, zanim społeczność naukowa doceniła ich wyjątkową wartość. Dobrym przykładem może być sytuacja teorii grup. Wielu uważało początkowo, że jest ona zbyt abstrakcyjna. Jej przyswojenie i docenienie zajęło naukowcom prawie stulecie. Dziś już jednak nikt nie kwestionuje ogromnej wagi teorii grup zarówno w matematyce, jak i w fizyce czy chemii. Jaki będzie los teorii kategorii tego nikt nie wie. Nie ulega jednak wątpliwości, że jest to jedna z najogólniejszych, najbardziej abstrakcyjnych teorii matematycznych, która jest już dziś dosyć powszechnym narzędziem w rękach matematyków. Organizuje i unifikuje ona sporą część współczesnej matematyki, a także stosowana jest w logice, fizyce teoretycznej i teoretycznej informatyce. Być może jednak teoria kategorii, podobnie jak kiedyś o wiele uboższa teoria grup, nadal potrzebuje nieco czasu, aby dopiero ukazać swój pełny blask.

Podziękowania

Dziękuję ks. prof. Michałowi Hellerowi oraz dr. hab. Jerzemu Królowi za cenne konsultacje dotyczące niniejszej pracy. Dziękuję także anonimowym recenzentom tej pracy za cenne uwagi, w szczególności za informacje dotyczące literatury.

Dodatek I: Tworzenie nowych kategorii

Omówimy teraz kilka sposobów tworzenia nowych kategorii z już danych.

Podkategorie

Mówimy, że \mathcal{C} jest *podkategorią* kategorii \mathcal{D} (co oznaczamy przez $\mathcal{C} \subseteq \mathcal{D}$), jeśli $\text{Ob}(\mathcal{C}) \subseteq \text{Ob}(\mathcal{D})$ i $\text{Arr}(\mathcal{C}) \subseteq \text{Arr}(\mathcal{D})$ (oraz oczywiście jeśli \mathcal{C} sama w sobie jest kategorią). Np. ograniczając się do obiektów będących jedynie skończonymi zbiorami (zachowując wszystkie strzałki pomiędzy tymi obiektami) otrzymamy nową kategorię Finset (por. ang. *finite sets*), zachodzi więc $\text{Finset} \subseteq \text{Set}$. Podkategorię nazywamy *pełną* (*full*) jeśli dla dowolnych obiektów A, B z podkategorii \mathcal{C} zachodzi $\mathcal{C}(A, B) = \mathcal{D}(A, B)$. Oznacza to, że choć rodzina obiektów w podkategorii może być uboższa, to jednak w pełnej podkategorii pomiędzy tymi obiektami obecne są wszystkie strzałki z nadrzędnej kategorii. Przykładowo zauważmy, że kategoria Finset jest pełną podkategorią Set .

Iloczyn (produkt) kategorii

Rozważmy najpierw przykład kategorii Set^2 , która powstaje na bazie kategorii Set . Jako obiekty ma ona pary $\langle A, B \rangle$ dowolnych zbiorów A i B . Strzałką w Set^2 idącą od $\langle A, B \rangle$ do $\langle C, D \rangle$ jest para funkcji (strzałek w Set) pomiędzy odpowiednimi obiektami, mianowicie

$\langle f, g \rangle$, gdzie $f : A \rightarrow C$, $g : B \rightarrow D$. Składanie strzałek jest zdefiniowane w naturalny sposób: $\langle f, g \rangle \circ \langle f', g' \rangle = \langle f \circ f', g \circ g' \rangle$. Strzałką identycznościową na $\langle A, B \rangle$ jest $\langle 1_A, 1_B \rangle$.

Powyższą konstrukcją możemy uogólnić na iloczyn dowolnych dwóch kategorii \mathcal{C} i \mathcal{D} . Nowa kategoria $\mathcal{C} \times \mathcal{D}$ ma jako obiekty pary $\langle A, B \rangle$, gdzie A jest \mathcal{C} -obiektem, a B jest \mathcal{D} -obiektem. Strzałkę $\langle A, B \rangle \rightarrow \langle C, D \rangle$ definiujemy jako parę $\langle f, g \rangle$ złożoną z \mathcal{C} -strzałki $f : A \rightarrow C$ oraz \mathcal{D} -strzałki $g : B \rightarrow D$. Składanie i identyczności uogólniają się analogicznie.

Kategoria strzałek (*arrow category*)

Ciekawym przykładem konstrukcji nowej kategorii jest użycie strzałek z danej kategorii jako obiektów nowej kategorii. Przyjrzyjmy się najpierw tej konstrukcji na przykładzie Set . Nową kategorię strzałek będziemy oznaczać Set^{\rightarrow} . Jej obiektami są \mathcal{C} -strzałki, a więc funkcje $f : A \rightarrow B$. Strzałką w Set^{\rightarrow} idącą od obiektu $f : A \rightarrow B$ do $g : C \rightarrow D$ jest para funkcji $\langle h, i \rangle$ takich, że $g \circ h = i \circ f$, co równoważnie możemy przedstawić mówiąc, że następujący diagram

$$\begin{array}{ccc} A & \xrightarrow{h} & C \\ \downarrow f & & \downarrow g \\ B & \xrightarrow{i} & D \end{array} \quad (6)$$

ma komutować (pojęcie diagramu i jego komutowania wyjaśniamy poniżej).

Składanie definiujemy poprzez $\langle j, k \rangle \circ \langle h, i \rangle = \langle j \circ h, k \circ i \rangle$, co można zobrazować przez diagram

$$\begin{array}{ccccc} A & \xrightarrow{h} & C & \xrightarrow{j} & E \\ \downarrow f & & \downarrow g & & \downarrow l \\ B & \xrightarrow{i} & D & \xrightarrow{k} & F \end{array}$$

Otrzymujemy w ten sposób Set^{\rightarrow} -strzałkę idącą od $f : A \rightarrow B$, do $l : E \rightarrow F$.

Uogólnienie powyższej konstrukcji dla dowolnej kategorii \mathcal{C} jest trywialne. Powstała w ten sposób kategorię, której obiektami są \mathcal{C} -strzałki, oznaczamy $\mathcal{C}^{\rightarrow}$. Przykład ten jasno pokazuje, że o tym czy coś pełni w kategorii funkcję obiektu, czy strzałki nie decyduje jego wewnętrzna natura, lecz sama rola jaką pełni ono w danej kategorii.

Wyjaśnijmy w tym momencie nieco dokładniej pojęcie diagramu. *Diagramem* nazywamy graf skierowany, którego wierzchołki są obiektami kategorii, a krawędzie odpowiednimi strzałkami (używa się także bardziej kategoryjnej definicji diagramu jako odpowiedniego funktora, jednak pozostaniemy przy tutejszej definicji). Mówimy, że diagram komutuje, jeśli składanie strzałek wzdłuż dowolnych ścieżek (zgodnych ze zwrotem strzałek, a więc umożliwiających ich składanie) idących od jakiegoś dowolnego wspólnego wierzchołka początkowego do (w ogólności) innego wspólnego wierzchołka końcowego, daje tę samą strzałkę. Komutowanie diagramu jest więc równoważne odpowiednim równaniom, które muszą spełniać morfizmy. Np. powyżej widzieliśmy, że komutowanie diagramu (6) równoważne było spełnianiu przez morfizmy równania $g \circ h = i \circ f$.

Kategoria dualna

Dla dowolnej kategorii \mathcal{C} możemy utworzyć kategorię do niej dualną \mathcal{C}^{op} , która ma tę samą rodzinę obiektów co kategoria \mathcal{C} , a jej rodzina strzałek powstaje przez odwrócenie zwrotów wszystkich strzałek pierwotnej kategorii (składanie strzałek trzeba odpowiednio przeformułować, aby uwzględnić przeciwną kolejność ich składania).

Dodatek II: Definicja koproduktu

Definicja 16. *Koproduktem* obiektów A i B nazywamy obiekt $A + B$ wraz z parą strzałek ($\iota_1 : A \rightarrow A + B$, $\iota_2 : B \rightarrow A + B$ zwanych także włożeniami) takie, że dla dowolnej pary strzałek $f : A \rightarrow C$ i $g : B \rightarrow C$ istnieje dokładnie jedna strzałka $[f, g] : A + B \rightarrow C$ czyniąca komutatywnym diagram

$$\begin{array}{ccc}
 A & \xrightarrow{\iota_1} & A + B & \xleftarrow{\iota_2} & B \\
 & \searrow f & \downarrow [f, g] & \swarrow g & \\
 & & C & &
 \end{array}$$

Bibliografia

- Abramsky, S. i Coecke, B., 2008. Categorical quantum mechanics. arXiv: 0808.1023.
- Angot-Pellissier, R., 2015. The Relation Between Logic, Set Theory and Topos Theory as it Is Used by Alain Badiou. W: Koslow, A. i Buchsbaum, A. red. *The Road to Universal Logic, vol. II, Studies in Universal Logic*. Birkhäuser, Springer, Cham, ss. 181–200.

- Awodey, S., 1996. Structure in Mathematics and Logic: A Categorical Perspective. *Philosophia Mathematica*, 4(3), ss. 209–237.
- Awodey, S., 2004. An Answer to Hellman's Question: „Does Category Theory Provide a Framework for Mathematical Structuralism?” *Philosophia Mathematica*, 12(1), ss. 54–64.
- Awodey, S., 2010. *Category Theory, Oxford Logic Guides*. OUP Oxford.
- Bell, J.L., 1981. Category Theory and the Foundations of Mathematics. *British Journal for the Philosophy of Science*, 32(4), ss. 349–358.
- Bell, J.L., 1986. From Absolute to Local Mathematics. *Synthese*, 69(3), ss. 409–426.
- Bell, J.L., 2004. Whole and Part in Mathematics. *Axiomathes*, 14(4), ss. 285–294. Dostępne na: <https://doi.org/10.1023/B:AXIO.0000024887.61543.63>.
- Bell, J.L., 2008. *A Primer of Infinitesimal Analysis*. Cambridge University Press.
- Bondecka-Krzykowska, I. i Murawski, R., 2008. Teoria kategorii we współczesnej filozofii matematyki. W: Heller, M., Mączka, J., Polak, P. i Szczerbińska-Polak, M. red. *Prawa przyrody*. Ośrodek Badań Interdyscyplinarnych – Polska Akademia Umiejętności – Uniwersytet Jagielloński – Biblos, ss. 95–109.
- Dalen, D. van, 2002. Intuitionistic Logic. W: Gabbay, D. i Günthner, F. red. *Handbook of Philosophical Logic*. 2 wyd. T. 5. Dordrecht: Kluwer, ss. 1–114.
- Döring, A. i Isham, C., 2011. „What is a Thing?”: Topos Theory in the Foundations of Physics. W: Coecke, B. red. *New Structures for Physics*. T. 813, *Lecture Notes in Physics*, Berlin Springer Verlag, ss. 753–937. arXiv: 0803.0417 [quant-ph].
- Dummett, M., 2000. *Elements of Intuitionism, Oxford Logic Guides*. Clarendon Press.
- Eilenberg, S. i Mac Lane, S., 1942. Group extensions and homology. *Annals of Mathematics*, 43, ss. 757–831. Dostępne na: <https://doi.org/10.2307/1968966>.
- Eilenberg, S. i Mac Lane, S., 1945. General theory of natural equivalences. *Transactions of the American Mathematical Society*, 58, ss. 231–294.

- Goldblatt, R., 2006. *Topoi: The Categorical Analysis of Logic*, Dover Books on Mathematics. Dover Publications.
- Grothendieck, A., 1957. Sur quelques points d'algèbre homologique. *Tohoku Mathematical Journal*, 9(2), ss. 119–221. Dostępne na: <https://doi.org/10.2748/tmj/1178244839>.
- Heller, M., 2015. Category Theory and the Philosophy of Space. W: Murawski, R. red. *Filozofia matematyki i informatyki*. Copernicus Center Press, ss. 185–200.
- Heller, M., 2016a. Category Free Category Theory and Its Philosophical Implications. *Logic and Logical Philosophy* [Online], 25(4), ss. 447–459. Dostępne na: <https://doi.org/arXiv:1602.01759> [ostatni dostęp: marzec 2018].
- Heller, M., 2016b. Teoria kategorii, logika i filozofia. *Filozofia Nauki*, 94, ss. 5–15.
- Heller, M. i Król, J., 2017a. Beyond the Space-Time Boundary. arXiv: 1711.09027.
- Heller, M. i Król, J., 2017b. Gravity in the smallest. arXiv: 1706.03541.
- Heller, M. i Król, J., 2017c. Infinitesimal Structure of Singularities. *Universe*, 3, s. 16.
- Hellman, G., 2006. What is Categorical Structuralism? W: Benthem, J. van, Heinzman, G., Rebusi, M. i Visser, H. red. *The Age of Alternative Logics*. Springer, ss. 151–161.
- Heyting, A., 1971. *Intuitionism*. Amsterdam: North-Holland Pub. Co.
- Isham, C.J. i Butterfield, J., 1999. Some Possible Roles for Topos Theory in Quantum Theory and Quantum Gravity. arXiv: gr-qc/9910005.
- Kan, D.M., 1958. Adjoint Functors. *Transactions of the American Mathematical Society*, 87, ss. 294–329.
- Kock, A., 2006. *Synthetic Differential Geometry*, London Mathematical Society Lecture Note Series. Cambridge University Press.
- Król, Z., 2006. *Platonizm matematyczny i hermeneutyka*. Wydawn. IFiS PAN.

- Król, Z., 2011. Platonizm w matematyce a platonizm w naukach matematyczno-przyrodniczych. W: Ługowski, W. i Lisiejew, I. red. *Filozofia przyrody dziś. Philosophy of Nature Today*. Wydawn. IFiS PAN, ss. 108–114.
- Landry, E., 2018. *Categories for the Working Philosopher*. Oxford University Press.
- Landry, E. i Marquis, J.P., 2005. Categories in Context: Historical, Foundational, and Philosophical. *Philosophia Mathematica*, 13(1), ss. 1–43.
- Lawvere, F.W., 2005. An elementary theory of the category of sets (long version) with commentary. *Reprints in Theory and Applications of Categories* [Online], 11, ss. 1–35. Dostępne na: <<http://www.tac.mta.ca/tac/reprints/articles/11/tr11.pdf>> [ostatni dostęp: marzec 2018].
- Lawvere, F.W. i Rosebrugh, R., 2003. *Sets for Mathematics*. Cambridge University Press.
- Lawvere, F.W. i Schanuel, S.H., 1997. *Conceptual Mathematics: A First Introduction to Categories*. Cambridge University Press.
- Leinster, T., 2014. *Basic Category Theory, Cambridge Studies in Advanced Mathematics*. Cambridge University Press.
- Mac Lane, S., 1988. Concepts and Categories in Perspective. W: Duren, P.L., Askey, R. i Merzbach, U.C. red. *A Century of Mathematics in America*. T. 1, *A Century of Mathematics in America*. American Mathematical Society, ss. 323–365.
- Marquis, J.P., 2009. *From a Geometrical Point of View. A Study of the History and Philosophy of Category Theory*. Springer, Netherlands.
- Marquis, J.P., 2015. Category Theory. W: Zalta, E.N. red. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* [Online]. zima 2015. Metaphysics Research Lab, Stanford University. Dostępne na: <<https://plato.stanford.edu/archives/win2015/entries/category-theory/>>.
- McDonald, D., 2012. *Anti-Foundational Categorical Structuralism*. Praca doktorska. The School of Graduate i Postdoctoral Studies, The University of Western Ontario.
- McLarty, C., 1990. The Uses and Abuses of the History of Topos Theory. *British Journal for the Philosophy of Science*, 41(3), ss. 351–375.

- Moerdijk, I. i Reyes, G.E., 1991. *Models for Smooth Infinitesimal Analysis*. Springer-Verlag.
- Mormann, T., 2009. Updating Classical Mereology. W: Glymour, C., Westerstahl, D. i Wang, W. red. *Logic, Methodology and Philosophy of Science. Proceedings of the 13th International Congress*. King's College.
- Mormann, T., 2010. Structural Universals as Structural Parts: Toward a General Theory of Parthood and Composition. *Axiomathes*, 20(2-3), ss. 229–253.
- Peruzzi, A., 2006. The Meaning of Category Theory for 21st Century Philosophy. *Axiomathes*, 16(4), ss. 424–459.
- Rasiowa, H. i Sikorski, R., 1963. *The Mathematics of Metamathematics, Monografie Matematyczne*. Warszawa: Państwowe Wydawn. Naukowe.
- Semadeni, Z. i Wiweger, A., 1972. *Wstęp do teorii kategorii i funktorów, Biblioteka matematyczna*. PWN.
- Simmons, H., 2011. *An Introduction to Category Theory* [Online]. Cambridge University Press. Dostępne na: <<http://www.cs.man.ac.uk/~hsimmons/zCATS.pdf>> [ostatni dostęp: marzec 2018].
- Skowron, B., 2015. Proteuszowy charakter matematyki w ujęciu Sandersa Mac Lane'a. W: Murawski, R. red. *Filozofia matematyki i informatyki*. Copernicus Center Press, ss. 201–217.
- Smith, P., 2016. *Category Theory: A Gentle Introduction* [Online]. Skrypt, University of Cambridge. Dostępne na: <<http://www.logicmatters.net/resources/pdfs/GentleIntro.pdf>> [ostatni dostęp: marzec 2018].
- Takeuti, G., 1978. *Two Applications of Logic to Mathematics*. Princeton University Press.
- Troelstra, A.S. i Dalen, D. van, 1988. *Constructivism in Mathematics*. T. 1, 2, *Studies in Logic and the Foundations of Mathematics*. Elsevier Science.
- Zawadowski, M., 2012. *Elementy teorii kategorii* [Online]. Skrypt, Uniwersytet Warszawski. Dostępne na: <<http://www.mimuw.edu.pl/~zawado/WTK/TK.pdf>> [ostatni dostęp: marzec 2018].

Filozofia dramatu jako filozoficzna tradycja badawcza

Tadeusz Sierotowicz

Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych;
Istituto di Scienze Religiose di Bolzano;
IISS Gandhi di Merano

Philosophy of drama as a philosophical research tradition

Abstract

This paper presents an attempt to describe Józef Tischner's philosophy of drama from the point of view of Larry Laudan's philosophy of science. That is achieved with the help of the concept of Philosophical Research Traditions developed in the paper. A certain conceptual problem of Tischner's philosophy, and some future research topics are also presented.

Keywords

methodology of scientific research traditions, philosophical research traditions, philosophy of drama, philosophy of science, mental experiment, Józef Tischner.

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach pojawiły się monografie poświęcone obrazowi nauki w systemach klasyków filozofii współczesnej¹. Dzieła takich myślicieli jak Heidegger, Nietzsche czy Husserl zostały dogłębnie przestudiowane pod kątem pytań o naukę. Tak powstały studia na temat filozofii nauki u Heideggera, Nietzschego i Husserla².

Lee Hardy, dla przykładu, analizuje dzieła Husserla pytając o wkład twórcy fenomenologii do filozofii nauki. Autor rozważa kwestie realizmu i instrumentalizmu, prawdy i racjonalności, ontologii teorii fizycznych i obiektywności matematyki u Husserla. Jest to monografia napisana wyjątkowo jasno i chociaż koncentruje się na zagadnieniu nauki u Husserla, jest też znakomitym wprowadzeniem do jego fenomenologii (por. zwłaszcza Hardy, 2013, s. 1–74). Glazebrook interpretuje najważniejsze dzieła Heideggera tak, jakby był on po części także i filozofem nauki, albowiem „zadaniem filozofa nauki – pisze Glazebrook – jest, przynajmniej częściowo, odpowiedzieć na pytanie o to, co konstytuuje naukę” (Glazebrook, 2000, s. 1). W konsekwencji śledzi ona rozwój poglądów autora *Bycia i czasu* na naukę, technikę i samo myślenie. Babich z kolei stawia sobie za cel spojrzenie na „filozofię Nietzschego poprzez soczewkę jego interpretacji nauki” (Babich, 1994, s. 1). W konsekwencji interpretacja filozofii nauki przedstawiona w tej próbie „refleksji na temat filozofii Nietzschego staje się wyrazem filozofii sztuki (tego, co wytworzone, techniki, lecz także i kultury oraz kreatywności) i życia” (Babich, 1994, s. 3).

Interesujące wyniki uzyskane przez ww. autorów zachęciły mnie do podjęcia podobnej kwestii w odniesieniu do filozofii dramatu Jó-

¹ Autor dziękuje anonimowemu recenzentowi, którego uwagi wydatnie przyczyniły się do usunięcia wielu niedociągnięć pierwszej wersji niniejszego eseju.

² Por. odpowiednio (Glazebrook, 2000; Babich, 1994; Hardy, 2013).

zefa Tischnera. Naturalnie temat „Tischner i filozofia nauki”, w szerokim sensie tego terminu, nie jest wyrazem tezy o fundamentalnym charakterze myśli filozoficznej Tischnera w dziedzinie filozofii nauki. Wynika on raczej z tego, iż moje próby myślenia o nauce, o jej kolo-kacji wobec innych dziedzin poznania, z wielu powodów są obecnie zakorzenione, inspirowane i konfrontowane z pisarstwem filozoficznym Tischnera.

Pytanie o filozofię nauki u Tischnera rozwijane będzie w niniejszym artykule w innej perspektywie niż ta, stosowana w monografiach Glazebrook, Babich i Hardy’ego. Oczywiście zostanie także dotknięta kwestia tego, co Tischner mówi o nauce, ale moje podstawowe pytanie będzie następujące: jak zrekonstruować w języku filozofii nauki zasadnicze idee filozofii dramatu Józefa Tischnera? Pytanie to jest w istocie rzeczą pytaniem o racjonalność (tej) filozofii oraz o to, czy racjonalność ta ma coś wspólnego z racjonalnością nauki.

Wielość filozoficznych systemów oraz bogactwo propozycji z zakresu filozofii nauki nie pozwalają na całościowe ujęcie tak obszernego tematu na kilku stronach niniejszego eseju. Mam jednak nadzieję, iż proponowane tutaj analizy stanowiąc będą interesujący przyczynek do dyskusji dotyczącej racjonalności filozofii i racjonalności nauki, pomimo ograniczenia analiz do jednego tylko systemu (filozofia dramatu) i do jednej, określonej koncepcji z zakresu filozofii nauki. Naturalnie, i mocno to trzeba podkreślić, chodzi tutaj o podejście mające charakter hipotezy roboczej i jest ono podporządkowane zasadniczemu celowi eseju, którym jest opis filozofii dramatu Tischnera jako tradycji badawczej. Proponując tego rodzaju przedsięwzięcie nie można zapominać, iż zasadniczym celem koncepcji Laudana jest przedstawienie nauk głównie przyrodniczych jako działalności racjonalnej, zaś racjonalność ta ma się wyrażać w rozwiązywaniu problemów empirycznych i pojęciowych. Z kolei centralnym przedmio-

tem zainteresowań Józefa Tischnera w jego „filozofii dramatu” jest filozoficzne zrozumienie dramatu człowieka w jego spotkaniu z Innym. Mając na względzie tę zasadniczą różnicę przedmiotów zainteresowań Larry’ego Laudana i Józefa Tischnera, moje podejście może być określone jako rodzaj filozoficznego eksperymentu myślowego, który posługując się narzędziami pojęciowymi tradycji badawczych obiera za przedmiot analiz filozofię dramatu³. Celem tego eksperymentu nie jest rozwiązanie określonych problemów z zakresu filozofii dramatu, czy też z zakresu filozofii nauki, lecz raczej spojrzenie przez pryzmat filozofii nauki na strukturę filozofii dramatu, to zaś dla ujaśnienia jej podstawowych pojęć, problemów oraz trudności (por. np. sekcja 4 niniejszego eseju).

Jako się rzekło, do zabrania głosu zostanie zaproszony Larry Laudan. Jego koncepcja tradycji badawczych w wersji opisanej na stronach klasycznej monografii *Progress and Its Problems* (Laudan, 1978) zostanie przyjęta za najbardziej przekonujący model racjonalności naukowej. Nie będzie tutaj podejmowana analiza porównawcza tej koncepcji z innymi ujęciami postępu i racjonalności naukowej rozwiniętymi przez Poppera, Kuhna czy Lakatosa. Pominięta też zostanie długa fala polemik wywołanych przez tę koncepcję, m.in. jeśli chodzi o sposób ujęcia racjonalności, postępu i zagadnień aksjologicznych (por. np. McMullin, 1979; Grobler, 1993; Tambolo, 2009; Sady, 2013; Życiński, 2015). Tradycja badawcza będzie uważana za spójny aparat pojęciowy oferujący dostatecznie poprawne ujęcie ra-

³ Na temat eksperymentów myślowych w filozofii zob. eseje opublikowane w (Stuart i in., 2018).

cyjności nie tylko naukowej, lecz także i racjonalności szerzej pojętej w tym sensie, iż ujęcie Laudana może być zastosowane również w innych dziedzinach poznania⁴.

Truizmem jest stwierdzenie, iż żaden model racjonalności nauki nie daje dokładnego obrazu mechanizmów rozwoju nauki i racji, które w konkretnych sytuacjach skłaniają badaczy do dokonania takiego, a nie innego wyboru teorii. Nie wynika to jednak z niedoskonałości samych modeli metodologicznych, lecz raczej z nieprzewidywalności rozwoju nauki, a szerzej – z nieprzewidywalności dróg poznania (por. np. Heller, 2009; Polak, 2008). Jak przypomina Tambolo cytując Laudana, w pismach Kuhna, Lakatosa, Toulmina i Feyerabenda znaleźć można około dwieście pięćdziesiąt tez opisujących to, co ma miejsce, albo co powinno mieć miejsce, w sytuacjach, w których badacze porzucają jedną teorię, ażeby przyjąć inną (zob. Tambolo, 2009, s. 14).

Koncepcja Laudana proponuje model racjonalności unikający nadmiernej formalizacji i pozostający w bliskim kontakcie z historią nauki i filozofią nauki – model niemający ambicji normatywnych i rezygnujący z języka używającego pojęć takich jak np. prawda czy kumulatywny rozwój nauk. Stawia natomiast w centrum uwagi rozwiązywanie problemów. To ostatnie zaś zdaje się być najbardziej zasadniczą, choć naturalnie nie jedyną, charakterystyką człowieka jako istoty usiłującej poznać i zrozumieć siebie samego oraz otaczający go świat.

⁴ „Dostatecznie poprawne” albo „dostatecznie prawdziwe” w sensie, w jakim używa te pojęcia Catherine Elgin: „Although models, idealizations, and thought experiments are inaccurate – sometimes wildly inaccurate – they exemplify features they share with their targets and thereby afford epistemic access to aspects of their targets that are otherwise overshadowed or underemphasized. They are true enough. They advance understanding of the phenomena they bear on” (Elgin, 2017, s. 2).

Wspominana wyżej relacja filozofii nauki i historii nauki ma istotne znaczenie dla proponowanych tutaj refleksji. Teza o dwustronnej zależności historii i filozofii nauki została mocno wyartykułowana przez Lakatosa w jego znanym i często cytowanym powiedzeniu: „filozofia nauki bez historii nauki jest pusta, historia nauki bez filozofii nauki jest ślepa” (Lakatos, 1980, s. 102). I zapewne tak jest, lecz w interesującym mnie kontekście podkreślić należy, iż tak filozofia nauki, jak i historia nauki nie mogłyby naturalnie istnieć bez nauki. Jednakże tak nauka, jak i filozofia mogą istnieć, istniały i istnieć będą bez filozofii nauki i historii nauki.

Powyzsze stwierdzenie rozumiem w tym sensie, iż tak filozofia nauki, jak i historia nauki są refleksjami drugiego rzędu, komentarzami w sensie George’a Steinera (zob. np. Steiner, 1993; 1997). Autor *Rzeczywistych obecności* z przekonaniem głosi tezę, że komentarz i dzieło nie stoją na tym samym poziomie, i że ciągle aktualne jest podstawowe rozróżnienie pomiędzy dziełem, które jest pierwsze, a komentarzem, który przychodzi potem. Tylko dzieło ma moc otwierania przed nami nowych przestrzeni estetycznych, etycznych i poznawczych; tylko dzieło władne jest zmienić życie Czytelnika. Można powiedzieć, że Steiner uznaje, iż w dziele zawarty jest opis jakiejś części, jakiejś perspektywy świata, co do której realności i prawdy autor dzieła był przekonany.

Stąd pytanie – czy warto tracić czas na studiowanie komentarzy? Sądzę, że warto, ale tylko na tyle, na ile komentarz może być pomocny w lepszym zrozumieniu oryginalnego tekstu/dzieła. Tę właśnie drogę chcę wybrać. Wychodząc od komentarza na temat nauki wziętego z filozofii nauki (koncepcja tradycji badawczych Larry’ego Laudana) chciałbym zastanowić się nad filozofią dramatu.

Powyzsze stwierdzenie nie jest w moim pojęciu banalnym uogólnieniem i należy go rozumieć jak następuje. Otóż aparat koncepcyjny

wpracowany przez Larry'ego Laudana został rozwinięty w oparciu o przykłady wywodzące się zasadniczo z takich dziedzin nauki, jak fizyka, chemia, geologia czy biologia. Jednakże jak wykazują poszukiwania piszącego te słowa, może on być stosowany także w kosmologii, teologii, dydaktyce matematyki i fizyki oraz w zakresie badań literackich. Stąd metodologia Laudana oferuje wspólny dla tych dziedzin język pozwalający na postawienie pytania o ich dialog i/lub wzajemną relację.

Powracając zaś do tematu niniejszego eseju – kwestia „Tischner i filozofia nauki”, postawiona w sensie sprecyzowanym na początku, nie tylko pozwoli na nieco inne spojrzenie na filozofię Autora *Sporo o istnienie człowieka*, lecz jak się zdaje będzie też pierwszym zastosowaniem koncepcji tradycji badawczych w zakresie filozofii. Gwoli ścisłości zaznaczyć należy, iż podobną próbę podjął Giovanni Reale, ale w oparciu o paradygmaty Kuhna, i w odniesieniu do różnych interpretacji dzieł Platona (Reale, 1987). Nie będzie ona jednak dyskusowana w niniejszym eseju, jako nazbyt odległa od podejmowanych tutaj kwestii.

2. Naukowe tradycje badawcze

Model rozwoju nauki zaproponowany przez Laudana sytuuje się w nurcie filozofii nauki wytyczonym przez Karla Poppera, Thomasa Kuhna i Imre Lakatosa. W modelu Larry'ego Laudana, który za podstawowy element opisu rozwoju nauki przyjmuje tzw. tradycje badawcze (*ScRT*), nauka jest interpretowana jako aktywność intelektualna i praktyczna, sprowadzająca się w swej istocie do rozwiązywania problemów⁵.

⁵ Na temat wspomnianych wyżej filozofów nauki oraz ich koncepcji zob. np. (Heller, 2016; Sierotowicz, 1997; Sady, 2013).

Według tego filozofa nauki zachowanie racjonalne polega na wybieraniu tych teorii, które przyczyniają się do większego postępu naukowego⁶. Postęp naukowy można zaś określić jako wzrastająca efektywność teorii w rozwiązywaniu problemów w danej dziedzinie badań naukowych⁷. „Miara” tego rozwoju jest zaś następująca: „globalna efektywność danej teorii w rozwiązywaniu problemów, określona jest w odniesieniu do liczby i wagi problemów empirycznych, które teoria ta rozwiązuje. Należy przy tym również uwzględnić liczbę oraz wagę anomalii i problemów koncepcyjnych, które są powodowane przez daną teorię” (Laudan, 1978, s. 68).

Strategia stosowana w obrębie nauki sprowadza się zatem do rozwiązywania problemów. Jeśli chodzi o problem empiryczny, to jego rozwiązanie w ramach teorii *T* należącej do stosownej tradycji badawczej oznacza, iż teoria *T* jest istotnym elementem „schematu wnioskowania, którego konkluzją jest zdanie formułujące problem” (Laudan, 1978, s. 25). Strategia poszukiwania rozwiązań problemów jest określana przez Larry’ego Laudana mianem strategii *mini-max* i opiera się na dwóch założeniach: „(1). Rozwiązany problem, tak empiryczny, jak i koncepcyjny, jest podstawową «jednostką» rozwoju naukowego. (2). Celem nauki jest maksymalizacja znaczenia rozwiązanych problemów empirycznych i jednoczesna minimalizacja znaczenia anomalii i problemów koncepcyjnych nierozwiązanych” (Laudan, 1978, s. 66)⁸.

⁶ Racjonalność, do której odnosi się Laudan, nie ma nic wspólnego z pojęciami prawdy i fałszu. Chodzi tu o racjonalność interpretowaną jako słuszna/dobra racja skłaniająca do podjęcia takiego, a nie innego działania. W przypadku naukowych tradycji badawczych taką racją jest większa zdolność do rozwiązywania problemów (zob. Laudan, 1978, s. 119–133 i 189–192).

⁷ Na temat konieczności odwoływania się do kontekstów badań zob. (Laudan, 1978, s. 15).

⁸ N. Rescher w angielskiej wersji *Walki systemów* używa w podobnym kontekście nowego zwrotu: „a cognitive cost-benefit analysis” (Rescher, 1985, s. 265).

Jak widać z powyższego określenia, Larry Laudan rozróżnia dwa zasadnicze typy problemów: empiryczne i koncepcyjne. Problemy empiryczne są „problemami pierwszej wagi i są one pytaniami podstawowymi dotyczącymi obiektów, które stanowią dziedzinę zastosowań danej nauki” (Laudan, 1978, s. 15). Problemy empiryczne dzielą się na trzy kategorie: (1) problemy nierozwiązane przez żadną z teorii w danej dziedzinie; (2) problemy rozwiązane i (3) anomalie, tj. problemy nierozwiązane przez daną teorię, natomiast rozwiązane przez inne teorie z tej samej dziedziny badawczej.

Problem koncepcyjny to problem, który dotyczy teorii jako takiej i nie istnieje niezależnie od niej. Jeżeli zatem problemy empiryczne są problemami pierwszej wagi dotyczącymi określonej dziedziny badań, to problemy koncepcyjne rodzą się wewnątrz schematów koncepcyjnych czy tradycji badawczych, które są propozycjami rozwiązania tychże problemów empirycznych. Problemy koncepcyjne mogą być wewnętrzne (np. kiedy dotyczą niespójności logicznej danej teorii) lub zewnętrzne (kiedy są wynikiem konfliktu danej teorii bądź z inną teorią czy tradycją badawczą dobrze ugruntowaną, bądź z jakąś teorią metodologiczną, bądź też z ogólną wizją świata danej epoki).

Dokonawszy wszystkich tych rozróżnień, można wstępnie określić naukową tradycję badawczą jako:

zespół ogólnych założeń dotyczących obiektów i procesów zachodzących w danej dziedzinie badań oraz założeń dotyczących metod, które należy stosować celem rozwiązywania problemów oraz celem konstruowania nowych teorii w tej dziedzinie (Laudan, 1978, s. 81)⁹.

⁹ Stwierdzenie to przypomina uwagi Thomasa Kuhna na temat wpływu i roli paradygmatu w życiu naukowym: „it functions by telling the scientist about the entities that nature does and does not contain and about the ways in which those entities behave. That information provides a map whose details are elucidated by mature scientific research” (Kuhn, 1970, s. 109).

Innymi słowy, tradycje badawcze określają w sposób abstrakcyjny z czego świat jest zbudowany, jakie relacje łączą istniejące w nim obiekty, jakie procesy tam zachodzą i jak należy ten świat badać, nie dostarczając przy tym żadnych konkretnych odpowiedzi na pytania i problemy szczegółowe. Tradycje badawcze są źródłem wskazówek na temat tego, „jak jej teorie powinny być modyfikowane i przebudowywane, celem zwiększenia ich zdolności do rozwiązywania problemów” (Laudan, 1978, s. 92). W tym sensie tradycje badawcze są nie tylko rodzajem heurystycznego przewodnika jeśli chodzi o rozwój teorii, lecz także są ich uzasadnieniem (*heuristic and justificatory roles of scientific research traditions* – por. Laudan, 1978, s. 89–93). Tak więc tradycje badawcze spełniają w odniesieniu do teorii tak funkcję wyjaśniającą, jak też i heurystyczną dostarczając tym samym środków służących do rozwiązywania problemów empirycznych i koncepcyjnych. Dana tradycja badawcza „składa” się z różnych teorii (będących czasem w konflikcie między sobą), które czynią bardziej konkretną „ontologię” danej tradycji badawczej i realizują wskazania metodologiczne tejże tradycji badawczej, usiłując podać rozwiązania określonych problemów. Spośród różnych tradycji badawczych w tej samej dziedzinie badań większy sukces zyskuje ta spośród nich, która prowadzi do rozwiązania większej ilości problemów empirycznych i koncepcyjnych, oczywiście przy mniejszej ilości anomalii i problemów nierozwiązanych.

Powyzsza, wstepna rekonstrukcja definicji *ScRT*, wymaga jednak istotnego uzupehlenia. Otóz Larry Laudan celem zilustrowania swej koncepcji, podaje nastepujace przyklady *ScRT*: empiryzm i nominalizm w filozofii, woluntaryzm i intelektualizm kauzalny w teologii, darwinizm i teoria kwantów w nauce, mechanicyzm i witalizm w fi-

zjologii czy marksizm i kapitalizm w ekonomii. Larry Laudan, komentując te różne tradycje badawcze stwierdza, iż mają one kilka wspólnych cech:

(1) Każda tradycja badawcza rozwinęła wiele specyficznych teorii, które egzemplifikują i częściowo tworzą je. Niektóre z nich istnieją jednocześnie, inne zastąpiły ich poprzednie wersje.

(2) Każda tradycja badawcza charakteryzuje się określonymi *metafizycznymi* i *metodologicznymi* zaangażowaniami, które wzięte jako całość definiują daną tradycję oraz odróżniają ją od innych tradycji.

(3) Każda tradycja badawcza, w odróżnieniu od konkretnych teorii, przeszła wiele różnych, głębokich (czasem wzajemnie sprzecznych) transformacji i na ogół posiada historię, rozciągającą się w długim okresie czasu (podczas gdy teorie są często tworam krótkotrwałymi)¹⁰ (Laudan, 1978, s. 78–79).

Zważywszy tę precyzację Larry’ego Laudana, pełna definicja *ScRT* winna uwzględnić również owe metafizyczne i metodologiczne wybory, a może lepiej swoisty dekalog metafizyczny i metodologiczny, które określa daną *ScRT*.

Celem ułatwienia dalszych rozważań wprowadźmy następujący, schematyczny opis „maszyny analitycznej” (*the analytic machinery* – (Laudan, 1978, s. 121)), jaką są naukowe tradycje badawcze *ScRT*:

$$ScRT \rightarrow \langle \{O\}; \{R\}; \{M\}; \{p\} \mid \{T\}; \rangle,$$

gdzie poszczególne symbole oznaczają odpowiednio: obiekty podstawowe (*O*), relacje (*R*) oraz metodologię (*M*) przyjmowane w danej tradycji badawczej. Ponadto *{T}* określa zbiór teorii proponowanych

¹⁰ Na następnej stronie Laudan pisze: “a research tradition is thus a set of ontological and methodological «do’s» and «don’ts»” (Laudan, 1978, s. 80).

w ramach danej tradycji badawczej celem rozwiązania zbioru problemów pierwszego rzędu (problemy empiryczne – *empirical problems* w języku Laudana) $\{p\}$ i innych problemów koncepcyjnych występujących w danej dziedzinie refleksji.

Jak zostało wyżej zaznaczone, tradycja badawcza posiada elementy, które zmieniają się w czasie (nawet drastycznie i na różnych poziomach), i takie, które zmianom nie podlegają, albo zmieniają się nieznacznie tak, że tradycja badawcza zachowuje swą identyczność (ciągłość) w czasie (por. Laudan, 1978, s. 95–100). Omawiając ten aspekt swej koncepcji Laudan zauważa, iż dla przykładu Bernoulli, aktywny sto lat po śmierci Kartezjusza, pisze inaczej niż jego zmarły mistrz. Jednakże szczegółowa analiza historycznych zmian kartezjańskiej tradycji badawczej pokazuje intelektualną ciągłość pomiędzy stanowiskami Kartezjusza i Bernoulliego (Laudan, 1978, s. 99). Stąd Laudan, przywołując ideę *hard core* proponowaną przez Imre Lakatosa w ramach koncepcji programów badawczych twierdzi, iż „niektóre elementy tradycji badawczej są nietykalne (*sacrosanct*) i jako takie nie mogą być pominięte bez porzucenia samej tradycji badawczej”. Jednakże w odróżnieniu od autora *Dowodów i refutacji*, Laudan utrzymuje, „iż *zbiór elementów należących do tej niepomijalnej (unrejectable) klasy ulega zmianie w miarę upływu czasu*” (Laudan, 1978, s. 99 – kursywa Laudana). Niech zatem $I_{\{ORMp\}}$ oznacza tę niepomijalną klasę elementów. Wówczas:

$$ScRT \rightarrow \langle I_{\{ORMp\}} \mid \{O\}; \{R\}; \{M\}; \{p\} \mid \{T\}; \rangle.$$

Jako się rzekło, niemal wszystkie elementy określające *ScRT* (za wyjątkiem składowej *I*) mogą ewoluować z czasem, prowadząc do coraz to innych realizacji tej samej tradycji badawczej. W tych okolicznościach można mówić o zmianach wewnętrznych danej *ScRT*,

w której metody, teorie i cele poznawcze (tj. problemy do rozwiązania) podlegają ciągłym zmianom. Wypada podkreślić, iż składowa *I* tradycji badawczej jest czynnikiem unifikującym różne realizacje tej samej *ScRT*, tak w aspekcie diachronicznym (identyczność *ScRT* w czasie, pomimo zachodzących zmian wewnętrznych), jak i w aspekcie synchronicznym. Mówiąc o jedności w aspekcie synchronicznym mamy na myśli tę okoliczność, iż składowe *O*, *R*, *M* i $\{T\}$ danej *ScRT* są w istocie konkretną realizacją tej tradycji badawczej, realizacją służącą rozwiązaniu określonych problemów empirycznych czy koncepcyjnych w ramach tejże tradycji badawczej. Pozwala to uważać *ScRT* za rodzaj struktury pojęciowej skonstruowanej w określonym celu, a nie za przypadkowy zbiór idei, teorii czy metod.

Zmiany zachodzące w danej *ScRT* zmierzające do rozwiązania określonego problemu podstawowego (czy też koncepcyjnego), mogą być interpretowane – w innej nieco perspektywie – jako zmiany prowadzące do coraz to większej koherencji wewnątrz danej tradycji badawczej. Chodzi o to, iż proces wyjaśniania naukowego to ciągły wysiłek zmierzający do coraz to większej koherencji charakteryzującej teoretyczny system nauki¹¹.

Koncepcja *ScRT* jest tak sformułowana, iż może ona być zastosowana (po dokonaniu odpowiednich zmian) w różnych dziedzinach poznania ludzkiego. Możliwość ta nie jest jednak konsekwencją ogólności terminów, w których *ScRT* jest definiowana, lecz konsekwencją idei, według której tradycja badawcza jest aktywnością zmierzającą do rozwiązywania problemów.

¹¹ Gdy chodzi o pojęcie koherencji w nauce zob. np. krytyczne uwagi Paula Feyerabenda (Feyerabend, 1996, rozdz. 3).

3. Filozofia dramatu jako filozoficzna tradycja badawcza

Wspominałem wyżej, iż według Laudana koncepcja tradycji badawczych daje się stosować nie tylko w zakresie nauk matematyczno-doświadczalnych. Istotnie, według tego filozofa można sensownie mówić o tradycjach badawczych w zakresie filozofii, teologii, ekonomii (Laudan, 1978, s. 78). Gwoli ścisłości dodać należy, iż sam Laudan nie dokonał szczegółowej aplikacji własnej koncepcji poza obszarem zmatematyzowanych nauk doświadczalnych.

Jaka jest zasadnicza charakterystyka nauki jako kontekstu poznania? Nieprzypadkowo Laudan określił podstawowe problemy, którymi zajmuje się nauka, przymiotnikiem „empiryczne”. Nie roszcząc sobie pretensji do pełnej i wyczerpującej definicji naukowego kontekstu poznania chciałbym przypomnieć klasyczne sformułowanie Galileusza z jego listu do o. Benedetto Castellego. W sławnym wyimku z tego listu Galileusz utrzymuje, iż o słuszności konkluzji „o charakterze przyrodniczym możemy być zupełnie przekonani w oparciu o naczne doświadczenia lub niezbite dowody (*sensate esperienze e dimostrazioni necessarie*)” (Galileo, 2006, s. 35 oraz przypis 51).

Pragnąc zastosować koncepcję naukowych tradycji badawczych w dziedzinie filozofii, czyli ulegając pokusie opisanie filozoficznych tradycji badawczych (*PhRT*), należy wpieryw zastanowić się nad specyfiką filozofii jako odrębnej domeny badawczej. Przewodnikiem będzie monografia Nicholasa Reschera (Rescher, 1993) podejmująca kwestie epistemologicznych, a może lepiej – poznawczych aspektów

filozofii¹². Innymi słowy, wyniki poszukiwań Reschera będą mnie interesowały na tyle, na ile pozwalają na klarowny opis specyfiki filozofii jako odrębnej dziedziny poznania.

Być może najbardziej rzucającym się w oczy aspektem filozofii jest wielość stanowisk filozoficznych. Na targowisku, a może lepiej – na bitewnym polu filozoficznej debaty ścierają się filozofowie różnych maści i orientacji głosząc stanowiska nie tylko odległe od siebie, lecz także wzajemnie sprzeczne i bez najmniejszych szans na pogodzenie. Jednakże, utrzymuje Rescher, jest to normalny stan rzeczy. Jak zauważył John Kekes, cytowany przez Reschera, ażeby zrozumieć filozofa, należy wpieryw pytać o problemy, które chciał rozwiązać. Natura problemów filozoficznych jest jednak taka, że chcąc rozwiązać taki czy inny problem z tej dziedziny poznania, filozof musi dokonać wyboru wartości poznawczych, i nie tylko poznawczych, bowiem bez takiego wyboru aksjologicznego nie można dojść do rozwiązania stawianych w filozofii kwestii. Wynika to zasadniczo z niedookreśloności samych problemów oraz z niemożliwości odwołania się do „nanczynych doświadczeń lub niezbitych dowodów”, które mogłyby przykonać wszystkich nie tylko co do osiągniętego wyniku, lecz także i do zbioru wartości poznawczych leżących u podstaw danego postępowania poznawczego.

Wartości poznawcze, o które tutaj chodzi, są jakby wagą probierczą umożliwiającą ustalenie tego, co pierwsze, ważniejsze, pewniejsze, istotniejsze, bardziej rygorystyczne, konieczne i ośrodkowe. Walmory poznawcze są odzwierciedleniem preferencji każdego filozofa,

¹² Przedstawiona tutaj synteza stnowiska N. Reschera opiera się na monografii *The Strife of Systems*, ze wszech miar zasługującej na uwagę filozofów. Oto wykaz stron monografii, na których znaleźć można zasadnicze dla przedstawionej tutaj syntezy sformułowania Reschera – (Rescher, 1993, s. 25, 27, 44, 120–123, 132–134, 140–144, 174, 181, 186, 198, 231, 300 i 333). Książka Reschera jest rozwinięciem artykułu, który szkicuje podstawową ideę metafizologiczną autora (Rescher, 1978).

które to preferencje znajdują zastosowanie w rozwiązywaniu konkretnych problemów filozoficznych. Odzwierciedlają się też one w preferowaniu określonych schematów uzasadniania i rozumowania. Syntetyzując – wartości poznawcze wyrażają standardy ważności i uzasadniania stosowane w konkretnych sytuacjach problemowych dyskutowanych przez filozofa; są one jakby jego sposobem widzenia problemów filozoficznych „z punktu obserwacyjnego zajmowanego przez filozofa” (Rescher, 1993, s. 324)¹³.

Zwykle miłośnicy mądrości mają do czynienia w tego rodzaju sytuacjach z kiściami aporii, z których z konieczności muszą zerwać niektóre grona, ażeby z nich utoczyć odurzające wino doktryny. Każda tego rodzaju kiść to zbiór stwierdzeń, tez, z których niektóre są wzajemnie sprzeczne i niespójne, tak że nie mogą być one jednocześnie poprawne (*aporetic clusters of mutually incompatible thesis* – (Rescher, 1978, s. 220)). Jednakże każda kiść, każda teza wzięta oddzielnie może być zaakceptowana. Oczywiście filozofowie nie dokonują odrzucenia tez w sposób całkowicie automatyczny. Często odwołują się do nowych sformułowań istniejących tez, dokonywanych w oparciu o odpowiednie rozróżnienia. Oto uproszczony i schematyczny przykład kiści aporetycznej, na której opiera się problem wolnej woli:

- (1) Wszystkie zdarzenia mają przyczynę.
- (2) Jeśli jakiś wybór jest dokonany na podstawie wolnego wyboru, wówczas nie jest on zdeterminowany przyczynowo.
- (3) Wolna wola istnieje – ludzie mogą, dokonują i realizują wolne wybory.

¹³ “From where one stands” (Rescher, 1985, s. 265).

Tezy (1)-(2)-(3) nie mogą być oczywiście przyjęte jednocześnie. Można naturalnie odrzucić tezę (2) i wówczas tezy (1) oraz (3) stać się mogą podstawą dalszych rozważań. Istnieje jednak możliwość dokonania rozróżnienia w ramach tezy (2) na następujące dwie tezy:

- (2.1) Jeśli jakiś wybór jest dokonany na podstawie wolnego wyboru, wówczas nie jest on zdeterminowany przez przyczynę zewnętrzną.
- (2.2) Jeśli jakiś wybór jest dokonany na podstawie wolnego wyboru, wówczas nie jest on zdeterminowany przez przyczynę wewnętrzną.

W tej sytuacji niespójna kiść tez (1)-(2)-(3) została zastąpiona równie niespójną kiścią tez (1)-(2.1)-(2.2)-(3). Sytuacja staje się akceptowalna, jeśli odrzucić tezę (2.2).

Naturalnie wybory dokonywane przez filozofów, wszak nie wszyscy cenią te same wina, nie zawsze są podobne – więcej, zwykle są zasadniczo różne, stąd i rozwiązania tych samych problemów są zasadniczo różne¹⁴. Kwestię komplikuje dodatkowo fakt, iż także

¹⁴ Wiele momentów analizy dzieła literackiego proponowanej przez Romana Ingardena, mistrza Tischnera, zdaje się opisywać fenomen wyboru określonej opcji w odniesieniu do kiści aporetycznej. W szczególności Ingarden był zdania, że „dzieło literackie osiąga swój szczyt w objawieniu jakości metafizycznych” (Ingarden, 1988, s. 371). Przykładami jakości metafizycznych są „proste lub pochodne jakości, takie jak np. wzniosłość (czyjejs ofiary) lub podłość (czyjejs zdrady), tragiczność (czyjejs klęski) lub straszliwość (czyjegos losu), to, co wstrząsające, niepojęte lub tajemnicze, demoniczność (czyjegos czynu lub pewnej osoby), świętość (czyjegos życia) lub jej przeciwieństwo: grzeszność” (Ingarden, 1988, s. 368). Jakości te w ujęciu autora *Sporu o istnienie świata* są tym, „co nadaje życiu naszemu wartość «przeżycia», i tym, za czego tajemniczym, konkretnym objawieniem się w naszym życiu żyje w nas utajona tęsknota, kryjąca się poza wszystkimi naszymi działaniami i czynami” (Ingarden, 1988, s. 369). Doświadczenie, objawienie jakości metafizycznych pozwala na dostrzeżenie przez konkretnego człowieka tego, „co leży w źródle bytu i stanowi jedną z jego postaci”. Z drugiej zaś strony jakości metafizyczne tak przeżyte „rzucają jakby cień

i problem natury filozofii jest filozoficzny i jako taki zależy od dokonywanych wyborów. Krótko – kwestia czym jest filozofia jest częścią filozoficznej argumentacji.

Jednakże, jak podkreśla Rescher, jest to normalny stan rzeczy i w konsekwencji filozofia przedstawia się jako pluralizm, jako przegromna mnogość różnych orientacji. Nie można jednak na tej podstawie twierdzić, iż poszczególne problemy filozoficzne pozbawione są jednoznacznych rozwiązań. Przeciwnie – można podać dokładne, racjonalne i konkretne rozwiązanie problemów, tyle tylko że jest ono zależne od wartości poznawczych akceptowanych przez filozofa proponującego to rozwiązanie. Problem filozoficzny zatem ma rozwiązanie dla filozofa, który przyjął określoną orientację poznawczą opartą na uznawanych przez niego wartościach, czyli dla filozofa, który zajął takie a nie inne stanowisko aksjologiczne. Zważywszy jednak, iż filozofów jest wielu, a każdy z nich podziela/podzielać może inne wartości, jasna się staje z jednej strony nieuniknioność pluralizmu orientacji, z drugiej zaś możliwość konkretnego, choć niepowszechnie akceptowalnego rozwiązania takiego czy innego problemu filozoficznego.

Taka właśnie jest podstawowa charakterystyka filozofii jako dziedziny poznawczej. Jako całość nie dysponuje ona powszechnie akceptowanymi kryteriami uzasadnienia i akceptacji, jednakże każdy filozof wzięty z osobna rozwiązuje problemy w oparciu o wartości poznawcze, które akceptuje, starając się wyrazić w ramach racjonalnego, to jest spójnego, koherentnego, umotywowanego i udokumentowanego systemu pojęć proponowaną odpowiedź. Oznacza to, iż argu-

na późniejsze nasze życie, wywołują w nim nieraz radykalne przemiany” (Ingarden, 1988, s. 370). Tęsknota za tym objawieniem i za kontemplacją jakości metafizycznych jest „źródłem wielu naszych czynów. Ona też jest z jednej strony ostatecznym źródłem poznania filozoficznego i pędu do uzyskania poznania” (Ingarden, 1988, s. 371).

mentacja o charakterze filozoficznym w sposób rygorystyczny proponująca konkretne rozwiązanie jakiegoś problemu filozoficznego nie wyklucza możliwości sformułowania innej, całkowicie różnej odpowiedzi na to samo pytanie, równie rygorystycznie uzasadnionej, choć w odniesieniu do innych standardów. Dla pełnej jasności warto dodać, iż używając tutaj pojęć takich jak: koherencja, rygor czy spójność nie chcę sugerować, iż chodzi o pojęcia przywołujące na myśl klarowność i jednoznaczność definicji wyjętych z podręcznika logiki klasycznej, którym miałyby zostać przypisana wyłączność jeśli chodzi o stanowienie standardów racjonalności i uzasadniania. Wszak i te ostatnie są przedmiotem wyborów poznawczych poszczególnych filozofów i mogą być łączone z innymi kryteriami i elementami dyskursu. Krótko – jak powiedziała by może Tischner: każdy filozof, każdy człowiek, tworzy hierarchię, z której wnętrza wychodzi na spotkanie z innym filozofem, innym człowiekiem. Świat i czas każdego filozofa, każdego człowieka to „świat spraw ważnych i nieważnych, chwil doniosłych i błahych, czasów świętych i czasów powszednich” (Tischner, 1990, s. 19).

Przedstawione dotąd poglądy Reschera można podsumować utrzymując, iż stanowisko pojedynczego filozofa jest monistyczne i absolutne, zaś stanowisko wspólnoty filozofów jest pluralistyczne, co – dodałbym od siebie – przypomina nieco wielość wyznań religijnych. W filozofii normalny stan rzeczy to „permanentna wielość niezgodnych stanowisk” (Rescher, 1993, s. 333) wynikająca z różnych wyborów aksjologicznych. Dodać należy, iż jeśli dla jakiegoś problemu filozoficznego, być może w jego nowym sformułowaniu, uda się znaleźć nieproblematyczne i powszechnie akceptowane rozwiązanie, wówczas problem ten opuszcza dziedzinę filozofii. Być może kwestia duszy jest przykładem tego rodzaju sytuacji.

To, co zostało wyżej powiedziane na temat metafizologicznego stanowiska Reschera, pozwala zrozumieć powody, dla których określa on filozofię jako

aktywność zmierzającą do racjonalnej systematyzacji. „Dąż do maksymalizacji informacji dbając o jak najkorzystniejszy bilans pomiędzy rozwiązaniami problemów i unikaniem niespójności”. Racjonalność filozoficzna polega na optymalizacji rozwiązań problemów (Rescher, 1993, s. 198).

Takie postawienie sprawy umożliwia odpowiedź na pytanie, czy można mówić o postępie w filozofii. Odpowiedź jest pozytywna, należy jednak sprecyzować, iż chodzi tu o postęp „w ramach różnych stanowisk filozoficznych konkurujących ze sobą, a nie o postęp rozumiany jako usuwanie sprzeczności pomiędzy tymi stanowiskami” (Rescher, 1993, s. 244) tak, jakby celem postępu było dojście do sytuacji, w której istnieje jedna tylko doktryna filozoficzna akceptowana przez całą wspólnotę filozofów.

Łatwo wywnioskować z powyższych uwag, iż możliwe jest opisanie poszczególnych orientacji filozoficznych w sposób analogiczny do naukowych tradycji badawczych. Łatwo też się domyśleć, iż filozoficzne tradycje badawcze (*PhRT*), jeśli chodzi o ogólną strukturę, wykazują daleko idące podobieństwo do struktury *ScRT*. Stąd można zaproponować następujące przedstawienie *PhRT*:

$$PhRT \rightarrow \langle I_{\{ORMp\}} \mid \{O\}; \{R\}; \{M\}; \{p\} \mid \{T\}; \rangle.$$

Dokładniejszy opis poszczególnych elementów *PhRT* zostanie poniżej zaproponowany na przykładzie filozoficznej tradycji badawczej, jaką jest filozofia dramatu Józefa Tischnera¹⁵.

¹⁵ Zob. zwłaszcza (Tischner, 1990; 2001; 2017; Kot, 2016; Gadacz, 2009).

Zasadniczą kwestią i pytaniem filozofa z Łopusznej jest pytanie o dramat, które w jego ujęciu jest jednocześnie pytaniem o człowieka. Tischner nie określa wprost tego, czym jest dramat – termin ten nie zostaje nigdy przez niego zdefiniowany. Jednakże konstatacja swoistej równoważności pytania o dramat z pytaniem o człowieka sprawia, iż opis istnienia człowieka jest też opisem dramatu. Człowiek bowiem to istota dramatyczna, żyje w dramacie, bo inaczej żyć nie może. Czym jest zatem dramat *sive*, czym jest istnienie dramatyczne człowieka – zapytuje Tischner. I sformuławszy to podstawowe, pierwszorzędne dla jego *PhRT* pytanie filozoficzne odpowiada, iż pojęcie dramatu: „wskazuje na człowieka [...]. Być istotą dramatyczną, to znaczy: istnieć w określonym i w określony sposób otwierać się na innych i na świat – scenę” (Tischner, 1990, s. 13). Odpowiedź tę uzupełnia inną, znajdującą się na samym początku dzieła: „być istotą dramatyczną, znaczy: przeżywać dany czas, mając wokół siebie innych ludzi i ziemię jako scenę pod stopami” (Tischner, 1990, s. 11). Nie jest to jednak jedyna odpowiedź na podstawowe pytanie Tischnera – oto bowiem autor *Innego* uzupełnia powyższe odpowiedzi podkreślając, iż „być istotą dramatyczną, to wierzyć – prawdziwie czy nieprawdziwie – że zguba lub ocalenie jest w rękach człowieka” (Tischner, 1990, s. 13). O ile pierwsze określenie jest jakby encyklopedycznym „kiedy”, „gdzie” i „z kim” dramatycznego istnienia człowieka, o tyle drugie wskazuje na to, jaka jest stawka tego istnienia. W tym sensie można je zapewne uznać za uzupełniające się.

Pierwsza odpowiedź pozwala na uchwycenie zasadniczych elementów składowej $\{O\}$ *PhRT* Tischnera. Człowiek, jako istota dramatyczna, jest w relacji z Innym, sam zaś dramat rozgrywa się na scenie, którą jest świat, i w czasie, którym nie jest czas zegara, lecz czas upływający między pytaniem, stawianym mi przez Innego i moją

odповідzią (Tischner, 1990, s. 73–74)¹⁶. Człowiek, Inny i scena konstytuują zatem podstawowe elementy składowej $\{O\}$. Z kolei głównym elementem składowej $\{R\}$ jest spotkanie z Innym, które ma charakter dramatu i prowadzi do wyboru o charakterze agatologicznym. Te elementy: dramat, spotkanie i wybór, są ściśle ze sobą powiązane. Istotnie, horyzontem dramatu jest dobro i zło, zaś jego przestrzenią jest zhierarhizowana przestrzeń agatologiczna, której wymiarami są dobro, piękno i prawda. Wymiary te, wymiary zwycięstwa człowieka są dramatycznie rozpięte między nimi samymi, a wymiarami ich tragicznej negacji: zła, brzydoty i fałszu¹⁷. Te ostatnie są także drogami błędzenia człowieka.

Syntetyzując: w filozofii dramatu fenomenem pierwotnym jest dramat, dramat wydarzający się w spotkaniu z Innym. Dramat zatem to pojęcia pierwsze specyficzne dla składowej $I_{\{ORMp\}}$ *PhRT*, jaką jest filozofia dramatu Tischnera, bowiem spotkanie może być uznane za jedną z głównych składowych $I_{\{ORMp\}}$ *PhRT* określanej mianem filozofii dialogu w ramach orientacji fenomenologiczno-egzystencjalistycznej¹⁸. Ale to właśnie fundamentalne znaczenie dramatu w pytaniu o człowieka i sposób analizy tegoż dramatu sprawiają, że ujęcie Tischnera nie jest tylko jedną z teorii w ramach szerzej po-

¹⁶ Interesującą teorię na temat czasu ciała i czasu człowieka rozwija Tischner w (Tischner, 2001, s. 101–125).

¹⁷ “Spotykając drugiego (Innego), spotykam go w horyzoncie, który umożliwia spotkanie i zarazem jest jego dziełem. Spotykany Inny i ja wraz z nim znajdujemy się w przestrzeni, w której coś jest lepsze, a coś gorsze, dobre lub złe. Przestrzeń ta nie jest zwykłą przestrzenią geometrii Euklidesa, lecz przestrzenią hierarchiczną. Dobro zwie się po grecku *agaton*. *Logos* znaczy to, co rozumne, mądre. Powiemy więc: spotkanie jest otwarciem agatologicznego horyzontu doświadczenia międzyludzkiego. Horyzont agatologiczny, to taki horyzont, w którym wszystkimi przejawami innego i moimi włada swoisty *logos* – *logos* dobra i zła, tego co lepsze i co gorsze, wlotu i upadku, zwycięstwa i potępienia” (zob. Tischner, 1990, s. 53).

¹⁸ Dialog ściśle spleta się z dramatem niemal w całej *Filozofii dramatu*, a także w *Spocie o istnienie człowieka* i w *Innym* (zob. Kot, 2016, s. 90–101).

jętej tradycji filozoficznej, lecz samo staje się odrębną tradycją, naturalnie nie bez silnych związków z ww. orientacją (por. Laudan, 1978, ss. 95–100 oraz Gadacz, 2009). Niektóre elementy tej odrębności podjęcia Tischnera zostaną wkrótce podkreślone¹⁹.

Postawienie kwestii człowieka jako istoty dramatycznej rodzi wiele pytań ($\{p\}$). Oto niektóre z nich: czym jest czas? Kim jest Bóg? Kim jest Inny? Czym są piękno, prawda i dobro? Jak to się dzieje, że człowiek może pobłądzić w żywiole piękna, w żywiole dobra i w żywiole prawdy? Czym jest wolność? Kwestia zbawienia, zatracenia i łaski? Na te i inne pytania Tischner stara się odpowiedzieć odwołując się do analiz o charakterze fenomenologicznym i hermeneutycznym ($\{M\}$). Nie trzeba dodawać, iż samo myślenie o dramacie „jest dramatem, a więc samo może się zatracić lub ocalić” (Kot, 2016, s. 45)²⁰. Może zejść na manowce, może pobłądzić.

W tym miejscu rekonstrukcji filozofii dramatu jako *PhRT* chciałbym wskazać na inspirującą teorię Tischnera dotyczącą sposobu uprawiania filozofii (składowa $\{M\}$). Chodzi o myślenie z wnętrza metafory opisane w pięknym eseju z 1980 roku (zob. Tischner, 2011d). W filozofii dramatu myślenie to staje się centralne, albowiem filozofia ta „nie ucieka od metafor, wie bowiem, że metaforyzacja należy do natury myślenia. Stąd jej filozofowanie jest zdecydowanie «myśleniem

¹⁹ Pozostając w ramach rozwijanego tutaj eksperymentu myślowego idącego śladami analiz Laudana, możliwa byłaby analiza skuteczności tradycji filozofii dramatu w rozwiązywaniu istotnych problemów filozofii człowieka, jak np. problemu dobra i zła, problemu śmierci czy problemu wolności w konfrontacji z innymi tradycjami, np. Heideggerowską czy Levinasowską. Z braku miejsca dokładniejsze opracowanie tej kwestii trzeba pozostawić specjalnym badaniom.

²⁰ Na ten temat zob. interesujące studium D. Kota (2016). Cokolwiek mogłoby to znaczyć, Autor idąc w ślad za Tischnerowską wieloznacznością trafnie dobranego słowa, tak oto syntetyzuje istotę myślenia dramatycznego: „myślenie dramatyczne jest wydrżającym się Pomiędzy Swoim i Innym poetyzującym opowiadaniem o Najpoważniejszym” (Kot, 2016, s. 356).

z wnętrza metafory»²¹. Myślenie z wnętrza metafory to myślenie, które „widzi, że wszystko może być inne” (Tischner, 2011d, s. 516), w tym sensie, iż „radikalna metaforyzacja świata widzialnego”, dokonującego się w tym myśleniu, „oznacza odebranie światu rangi absolutnie istniejącego świata” (Tischner, 2011d, s. 524). Więcej – „skoro możliwa jest metafora filozoficzna”, a wszak trudno twierdzić, że nie jest, „to możliwy jest zupełnie inny świat, na którym żyjemy dziś” (Tischner, 2011d, s. 526). Zatem myślenie z wnętrza metafory, jeśli pozwolić sobie na daleko idące uproszczenie, wyraża wieloznaczność języka filozoficznego²². Tischner przeciwstawia tę wieloznaczność „zasadzie ścisłej jednoznaczności języka”, będącej wyrazem myślenia bez metafory, dostrzegając w tej zasadzie chorobę (Tischner, 2011d, s. 526)²³.

²¹ (Tischner, 1990, s. 249). Dotyczy to także myślenia o scenie – (por. Tischner, 2011b, s. 388–391).

²² Por. następujące sformułowanie R. Ingardena dotyczące wieloznaczności zdania: „rzeczą charakterystyczną dla zdań wieloznacznych jest to, iż dopuszczają wielość interpretacji, bez możliwości wykluczenia którejkolwiek z nich, czy też wybrania jednej z nich jako jedynej właściwej”. Wieloznaczność, o której tutaj mowa, „może mieć swą podstawę [...] w wieloznaczności poszczególnych słów w nim występujących lub też w nieprzejrzystości, a tym samym wieloznaczności konstrukcji zdania” (Ingarden, 1988, s. 210).

²³ Ingarden, porównując zdania orzekające występujące w dziele literackim ze zdaniami orzekającymi obecnymi w dziele naukowym zauważa, iż pomimo tej samej formy, a nawet czasem treści, zdania orzekające występujące w tych dziełach są istotnie różne. „Zdania orzekające w dziele naukowym są rzetelnymi sądami w sensie logicznym, takimi, w których coś się całkiem na serio twierdzi i które nie tylko roszczą sobie prawo do prawdziwości, lecz są prawdziwe lub fałszywe. Natomiast zdania orzekające w dziele literackim są wprawdzie czystymi zdaniami orzekającymi, lecz z drugiej strony nie można ich uważać za na serio wysuwane twierdzenia, za sądy” (Ingarden, 1988, s. 229). Z tego powodu Ingarden nazywa zdania orzekające obecne w dziele literackim *quasi*-sądami i przypisuje im „sugestywną moc, która pozwala przy lekturze zanurzyć się w sfingowanym świecie i żyć jakby w świecie w osobliwy sposób nie-rzeczywistym, a jednak nabierającym pozory rzeczywistości” (Ingarden, 1988, s. 242).

Wieloznaczność metafory, czyli alternatywa, którą metafora proponuje, ukazuje „kierunek możliwego rozwiązania problemu” (Tischner, 2011d, s. 516). Tym problemem jest w ujęciu Tischnera „ból radykalnej niepewności” – to z tego „ból bierze się nasze myślenie – myślenie, które pyta: jak jest naprawdę?” (Tischner, 2011d, s. 513 i 514). Sądzę, iż ten aspekt myślenia z wnętrza metafory powraca w *Filozofii dramatu* tam, gdzie Tischner pisze o horyzoncie agatologicznym i perspektywie aksjologicznej²⁴. W rozdziale poświęconym agatologii, autor *Innego* podkreśla: „podstawową funkcją tego, co agatologiczne, jest odślanianie i problematyzowanie [...]. To, co agatologiczne, daje do myślenia. To, co aksjologiczne, ukazuje kierunki działania” (Tischner, 1990, s. 58). Krótko: spotkanie z Innym jest źródłem doświadczenia aksjologicznego, bo pokazuje, że świat jest inny, niż powinien być – jest w nim cierpienie, ból, krzywda. Doświadczenie to tworzy preferencję, hierarchię, otwierając drogę do wartościowania: coś jest nad, coś jest pod, coś jest przed, coś jest potem (aspekt agatologiczny). To z kolei wskazuje kierunki działania, otwiera przestrzeń wolności, rozumu i sumienia (aspekt aksjologiczny).

Tischnera myślenie z wnętrza metafory znajduje w *Filozofii dramatu* naturalne, powiedziałbym, uzupełnienie w tym, co Dobrośław Kot celnie określa jako myślenie z wnętrza opowieści (Kot, 2016, s. 300). Już nawet pobieżna lektura tego dzieła filozofa z Łopusznej nie może nie wywołać wrażenia, iż fundamentalnym elementem struktury dyskursu jest ciągle sięganie po sytuacje opisane w literaturze pięknej, a także i w humanistycznie zorientowanej psychoterapii (jeszcze jeden element składowej {M}). Opisy spotkań w dziełach

Tego rodzaju doświadczenie nie jest możliwe w przypadku lektury dzieła o charakterze naukowym, w którym zdania orzekające mają charakter „rzetelnych sądów” (por. Ingarden, 1988, ss. 406–409).

²⁴ Na ten temat zob. też komentarz dotyczący doświadczenia agatologicznego i doświadczenia aksjologicznego w (Tischner, 2011c, s. 536–538).

Dostojewskiego, Szekspira, Tolstoja czy w esejach Kępińskiego nie są tylko i wyłącznie przykładami ilustrującymi dyskurs możliwy do rozwinięcia niezależnie od nich podług języka logiki. Literatura jest u Tischnera pozadyskursywnym, tj. niezależnym od normatywnego języka logiki, nurtem myślenia, który jest równie ważny jak ten logiczny²⁵. Istotnie, spotkanie z Innym to spotkanie z wyborem agatologicznym i aksjologicznym różnym od mojego wyboru²⁶. Wyboru tego nie można w żaden sposób, i z niczego, wydedukować posługując się prawami logiki. Jak dosadnie powiada Tischner, Inny ma własny „sposób trawienia świata”, który określa on jako „indywidualny skręt świadomości” (Tischner, 2017, s. 16). Nic zatem dziwnego, iż spotkanie z Innym wprowadza element nieciągłości, nieprzewidywalności, nowości, niespodzianki, konieczności zaakceptowania agatologicznych i aksjologicznych wyborów Innego, co też określa nieprzewycięzalną nieodwracalność czasowości spotkania z Innym (por. Tischner, 2017, s. 72). Wszystko to, naturalnie, o ile nie chce się narzucić Innemu logiki własnych wyborów. Te ostatnie bowiem są oczywiście logiczne i normatywne, ale tylko dla każdego z nas z osobna. Gdzie szukać opisów tego rodzaju sytuacji, jeśli nie na kartach literatury i poezji, które malują światy różne i wielorakie, modelując to, co nieciągłe, niesprowadzalne do logiki, a mimo to ważne nie mniej niż *modus tollendo tollens*? W tej perspektywie literatura to także przestrzeń alternatywy pokazująca, że moje doświadczenie wartości i świata oraz doświadczenie świata i wartości właściwe Innemu nie są takie same. Można zatem powiedzieć, iż literatura odgrywa co najmniej taką samą rolę w myśleniu filozoficznym jak metafora.

²⁵ Na temat tego, co pozadyskursywne zob. (Kot, 2016, s. 294–314) oraz (Ingarden, 1988, §49).

²⁶ „Inny to nie tylko ktoś, kto się różni od wszystkiego i od wszystkich, Inny to ktoś, kto w całej swej indywidualności i niepowtarzalności jest wartością otwartą na wartość” (Tischner, 2017, s. 47).

Podsumowując próbę opisu filozofii dramatu Józefa Tischnera jako *PhRT* chciałbym wskazać na dwa momenty. Otóż używając sformułowań Dobrosława Kota można zapewne powiedzieć, że myślenie filozoficzne, a myślenie dramatyczne w szczególności, wyrasta z sytuacji problemowej niepewności, niepokoju, że nie jest się jeszcze na swoim miejscu. I że trzeba wykonać ruch, przebyć drogę, ażeby problem rozwiązać, czyli odsłonić, wyjaśnić, pojąć, ogarnąć możliwości inne niż te aktualnie doświadczane (por. Kot, 2016, s. 110 i 120). Rozróżnienie pomiędzy horyzontem agatologicznym i perspektywą aksjologiczną jest u Tischnera wyjątkowo klarowne. Sądzę, że trudno nie dostrzec w nim rezonansu z metafilozoficzną wizją uprawiania filozofii Reschera (wybór wartości poznawczych) i z zasadniczą intuicją Laudana, będącą fundamentem koncepcji tradycji badawczych (rozwiązywanie problemów). W rezonansie tym widzę argument potwierdzający zasadność proponowanej tutaj koncepcji *PhRT*.

To po pierwsze – po wtóre zaś chciałbym wskazać jeszcze na kiść aporetyczną, z której, jak się zdaje, wytłoczyć można wino filozofii dramatu (por. Sierotowicz, 2015). Jest to kiść, z której zerwać można grono odpowiedzi na pytanie, jaka wiedza jest bardziej podstawowa, jeśli chodzi o człowieka:

- 1) Ta, wywodząca się ze sceny (człowiek sceny),
- 2) Ta, wywodząca się z dramatu (człowiek dramatu).

Tischner zdecydowanie wskazuje na drugą tezę i konsekwentnie podąża tą drogą, werbalizując tę sytuację aporetyczną w oparciu o język fenomenologii. Niech stosunek człowieka do sceny określa zwrot „intencjonalna obiektywizacja”, zaś otwarcie na innego w spotkaniu „otwarcie dialogiczne”. Naturalnie chodzi tutaj o istotnie różne otwarcia: „dzięki otwarciu intencjonalnemu staje przed nami świat przedmiotów, dzięki otwarciu dialogicznemu stajesz przy mnie Ty” (Tisch-

ner, 1990, s. 12 i 13). Tischner jednoznacznie konstatuje, iż „z tych dwóch otwarć – otwarcia intencjonalnego i dialogicznego – niewątpliwie bardziej podstawowe jest otwarcie dialogiczne” (Tischner, 1990, s. 18). Więcej – to właśnie obecność Innego sprawia, iż nasze odniesienie do sceny musi spełniać niesłychanie ważny warunek: „scena ma być wspólna”. Krótka – wpierw Inny, potem wspólna scena, a nie odwrotnie (por. Tischner, 1990, s. 18 i 2017, s. 9).

4. Laboratorium naukowe jako problem koncepcyjny *PhRT* Tischnera

Tischner pisze: „świat człowieka jest sceną dramatu. Człowiek przychodzi na świat, szuka sobie domu na świecie, wznosi świątynię Bogu, buduje drogi, ma warsztat swej pracy, tu znajduje cmentarze przodków, wśród których sam kiedyś spocznie” (Tischner, 1990, s. 179–180). Człowiek nie przemija na ziemi bez pozostawienia śladów swej bytności i są one naturalnie także, a może nade wszystko, świadectwami jego spotkań z innymi ludźmi. Jednakże stosunek człowieka do świata, do sceny jego dramatycznej egzystencji jest szczególny – Tischner opisuje go słowem gospodarowanie. Jest ono oparte na „rozeznaniu natury ziemi”, jest ono także „wyrazem wzajemności” (Tischner, 1990, s. 181 i 186).

Gospodarowanie sprawia, że człowiek znajduje sobie miejsce, wije sobie gniazdo tam, gdzie gospodarując dramatycznie istnieje we wzajemności. Według Tischnera tak rozumiany ludzki świat otoczenia zawiera cztery podstawowe miejsca: dom, warsztat, świątynię i cmentarz (Tischner, 1990, s. 187)²⁷.

²⁷ Syntetyczną prezentację tych miejsc, osadzoną w szerszym kontekście rozróżnienia na przestrzeń i miejsce, znaleźć można w (Glinkowski, 2005, s. 83–102). Tischnerow-

Powstaje jednak wątpliwość – czy są to wszystkie miejsca, które należałoby tutaj wymienić? Czy gospodarowanie, rozumiane jako rozeznawanie natury ziemi, nie domaga się jeszcze jednego miejsca – laboratorium naukowego? Wszak od co najmniej czterech stuleci owo rozeznawanie prowadzone jest także w oparciu o matematyczno-doświadczalny paradygmat nauk przyrodniczych i coraz więcej ludzi w tym rozeznawaniu uczestniczy. Więcej – wiąże ludzi uczestniczących w tym rozeznawaniu i coraz głębiej określa nasze myślenie o scenie dramatu i o samym dramacie²⁸. I jak inne miejsca, a dzisiaj może nawet bardziej niż inne miejsca, zniszczyć może ład świata człowieka. Sądzę, iż ażeby „zrozumieć, czym jest pokusa świata – czym przywiązanie człowieka do świata i jego zniekształcenie” (Tischner, 1990, s. 187) nie można pominąć tego piątego miejsca ludzkiego świata otoczenia. Miejsca, które dzisiaj, jak może żadne inne sprawia, iż ludzie czują scenę jako wspólną: „scena ma być nie tylko dla mnie, lecz również *dla* innych, musi być zbudowana z czegoś, co ma sens ogólny, co przez wszystkich musi być uznane jako *będące naprawdę*. Gdyby bowiem nie było sceny, nie byłoby *gdzie* miejsca spotkania” (Tischner, 1990, s. 17–18 – kursywa J. Tischnera).

To prawda, że Tischner przywołuje technikę i cytując Heideggera definiuje to pojęcie jako „sposób odkrywania” (Tischner, 1990, s. 186). Łatwo rozpoznać tu Heideggerowską tezę, że nauka współczesna jest podstawową formą myślenia technicznego (por. Glazebrook, 2000, s. 12). Stąd być może prymat techniki nad nauką w analizach Tischnera, stąd być może warsztat, gdzie technika jest u siebie w domu,

ska analiza tych miejsc to przykład elementów składowej $\{T\}$ *PhRT* jaką jest filozofia dramatu.

²⁸ Trudno tu cytować tytuły opracowań i monografii. Wystarczy wskazać na wielość książek popularnonaukowych, na liczne strony internetowe i debaty telewizyjne, na różne czasopisma i strony codziennych gazet poświęcone nauce, na wzrastającą obecność nauki w programach szkolnych, ażeby się o tym przekonać.

stąd brak laboratorium naukowego²⁹. Nawet jednak przyjąwszy, iż Heidegger i myśliciele podzielający jego stanowisko, mają słuszość, to i tak pominięcie laboratorium stanowi w moim pojęciu problem koncepcyjny w ramach *PhRT* Tischnera. Stawia bowiem poza nawiasem refleksji jakże istotne aspekty dramatycznej egzystencji współczesnego człowieka. A przecież nie brakuje tutaj inspiracji dla „myślenia z wnętrza powieści”. Wystarczy wspomnieć *Fausta* Goethego, *Fizyków* Dürenmatta, *Nowy wspomniały świat* Huxleya czy *Życie Galileusza* Brechta.

Konkludując: nauka współczesna, jak może żaden z innych kontekstów poznania, wysuwa na pierwszy plan okoliczność, iż scena jest wspólna dla każdego człowieka. Jest to jeden z najistotniejszych aspektów metody nauk przyrodniczych³⁰. Powyższe uwagi na temat nauki i wspólności sceny są w moim pojęciu wystarczającym argumentem na rzecz uwzględnienia laboratorium naukowego w wykazie miejsc świata ludzkiego otoczenia. Jednakże dokładniejsze opracowanie tej kwestii trzeba pozostawić specjalnym badaniom.

5. Zakończenie

Próba podjęcia kwestii „Tischner i filozofia nauki”, w sensie i w zakresie zasygnalizowanym na wstępie, zmierzała do odpowiedzi na pytanie: jak zrekonstruowałby, jak by odczytał, jak opowiedział zasad-

²⁹ Konstatacja tego „indywidualnego skrótu świadomości” Tischnera, jeśli chodzi o kwestię nauki/techniki, nie oznacza naturalnie pomniejszanie lub pomijania roli i znaczenia nauki. Przeciwnie – jeśli dopatrywać się w tym stanowisku Tischnera decydującego wpływu Heideggera, to np. esej tego ostatniego *Czas światooobrazu* dobitnie świadczy o tym, jak wielkie znaczenie kulturotwórcze jest tam przypisywane nauce (Heidegger, 1997).

³⁰ Na ten temat zob. np. (Sierotowicz, 2008, rozdz. 4).

nicze zręby filozofii dramatu Tischnera filozof nauki? Odpowiedzią jest próba rekonstrukcji filozofii dramatu jako *PhRT* zaproponowana w trzeciej sekcji. Owa rekonstrukcja pozwala też na udzielenie odpowiedzi na pytanie, czy i w jakim sensie można mówić o racjonalności filozofii dramatu i co ma ta racjonalność wspólnego z racjonalnością nauki. Odpowiedź na to pytanie może być następująca. Filozofia dramatu interpretowana jako *PhRT* wykazuje strukturę analogiczną do tej, którą dostrzega się w przypadku różnych *ScRT*. Stąd, *mutatis mutandis*, racjonalność filozofii dramatu to racjonalność filozofa, który postawił problem filozoficzny właściwy tej tradycji i w oparciu o jej specyficzne metody tworzy teorie rozwiązujące te problemy, przyczyniając się w tym sensie do rozwoju tejże *PhRT*.

Naturalnie Tischner nie był fizykiem, ani też filozofem nauki w technicznym znaczeniu tego słowa. Jednakże nauka, zważywszy jej znaczenie dla współczesności, nie mogła oczywiście nie znaleźć się w polu jego refleksji. Niektóre aspekty nauki udało mu się bardzo celnie uchwycić. Mam tu na myśli zwłaszcza podkreślenie faktu, iż scena ma być wspólna dla wszystkich uczestników dramatu, refleksje na temat wieloznaczności języka filozoficznego (metafora) w konfrontacji z jednoznacznością języka nauki oraz wspomnianą pod koniec trzeciej sekcji kiść aporetyczną wprowadzającą element wartościowania do refleksji dotyczącej człowieka sceny i człowieka dramatu (nie mógł przecież autor *Historii filozofii po góralsku* nie powiedzieć, co „worce, a co nie worce wiedzieć” (Tischner, 2008, s. 40–41)). W ogólności jednak jego myślenie o nauce jest myśleniem poprzez pryzmat techniki, co z kolei prowadzi do problemu koncepcyjnego opisanego w czwartej sekcji.

Rekonstrukcja filozofii dramatu Józefa Tischnera w oparciu o koncepcję tradycji badawczych stawia m.in. pytanie o dialog pomiędzy różnymi tradycjami badawczymi: naukowymi, teologicznymi

i filozoficznymi. Jeśli rozumieć te tradycje jako różne racjonalizmy, to wówczas zrozumiałe stają się następujące zdania Tischnera wyjęte z jego polemicznego eseju *Labirynty racjonalizmu*: „pluralizm racjonalizmów dopuszcza możliwość wielu typów racjonalizmów, z których każdy odnosi się do określonej dziedziny rzeczywistości, i konsekwentnie możliwość wielu nauk, odznaczających się własnym rodzajem racjonalizmu. Poszczególne typy racjonalności są «jakościowo» różne i dlatego nie dają się do siebie sprowadzić” (Tischner, 2011a, s. 479–480). Jeśli zatem nie daje się tych racjonalizmów sprowadzić do siebie, a – jak słusznie można domniemywać – nie istnieją racje, dla których jeden racjonalizm należałoby przedłożyć nad inne, to jak racjonalizmy te dialogują ze sobą? I czy istotnie dialogują (por. Tischner, 2000; 2011b)? Powrócę do tego pytania w osobnym eseju, w którym zostanie zaproponowany literacko-filozoficzny model dialogu różnych racjonalizmów inspirowany myślą Józefa Tischnera i poezją Fernanda Pessoa.

Bibliografia

- Babich, B.E., 1994. *Nietzsche's Philosophy of Science*. New York: State University of New York.
- Elgin, C.Z., 2017. *True Enough*. Cambridge (MA)–London: The MIT Press.
- Feyerabend, P., 1996. *Przeciw metodzie*. Wrocław: Siedmioróg.
- Gadacz, T., 2009. Józef Tischner. *Historia filozofii XX wieku. Nurty, tom 2*. Kraków: Wyd. ZNAK, ss. 620–638.
- Galileo, G., 2006. *Listy kopernikańskie*. Tarnów: Biblos.
- Glazebrook, T., 2000. *Heidegger's Philosophy of Science*. New York: Fordham University Press.
- Glinkowski, W.P., 2005. *Imię filozofii. Przyczynek do filozofii dialogu*. Łódź: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.

- Grobler, A., 1993. *Prawda i racjonalność naukowa*. Kraków: Inter Esse.
- Hardy, L., 2013. *Nature's Suit. Husserl's Phenomenological Philosophy of Physical Science*. Athens (Ohio): Ohio University Press.
- Heidegger, M., 1997. Czas światooobrazu. *Drogi lasu*. Warszawa: Fundacja ALETHEIA, ss. 67–95.
- Heller, M., 2009. Nieliniowy model ewolucji nauki. *Filozofia nauki*, Kraków: Petrus, ss. 84–92.
- Heller, M., 2016. *Filozofia nauki*. Kraków: Copernicus Center Press.
- Ingarden, R., 1988. *O dziele literackim*. Warszawa: PWN.
- Kot, D., 2016. *Myślenie dramatyczne*. Kraków: Copernicus Center Press.
- Kuhn, T., 1970. *The Structure of Scientific Revolution*. Chicago–London: The University of Chicago Press.
- Lakatos, I., 1980. History of Science and its Rational Reconstruction. W: Worrall, J. i Currie, G. red. *The Methodology of Scientific Research Programmes. Philosophical Papers*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Laudan, L., 1978. *Progress and its Problems: Towards a Theory of Scientific Growth*. Berkeley–Los Angeles–London: University of California Press.
- McMullin, E., 1979. Review: Laudan's «Progress and Its Problems». *Philosophy of Science*, 46(4), ss. 623–644.
- Polak, P., 2008. Nieprzewidywalność rozwoju nauki a badania naukometyczne. *Logos i Ethos*, 1(24), ss. 73–82.
- Reale, G., 1987. *Per una nuova interpretazione di Platone: rilettura della metafisica dei grandi dialoghi alla luce delle Dottrine non scritte*. Milano: Vita e pensiero.
- Rescher, N., 1978. Philosophical Disagreement: An Essay Towards Orientational Pluralism in Metaphilosophy. *The Review of Metaphysics*, 32(2), ss. 217–251.
- Rescher, N., 1985. *The Strife of Systems*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Rescher, N., 1993. *La lotta dei sistemi*. Genova: Marietti.
- Sady, W., 2013. *Spór o racjonalność naukową. Od Poincarégo do Laudana*. Toruń: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.
- Sierotowicz, T., 1997. *Nauka a wiara – przestrzeń dialogu*. Tarnów: Biblos.

- Sierotowicz, T., 2008. *Od metodycznej polemiki do polemiki metodologicznej. Impresje z lektury „Wagi probierczej” Galileusza wraz z antologią* [Online]. Tarnów: Biblos. Dostępne na: <<https://isr.academia.edu/TadeuszSierotowicz/Books>>.
- Sierotowicz, T., 2015. Uwagi o rozumieniu wszechmocy Boga u Galileusza. W stronę fenomenologii człowieka sceny. *Filo-Sofija* [Online], 30(2015), ss. 95–110. Dostępne na: <[filo - sofija . pl / index . php / czasopismo/issue/view/35](http://filo-sofija.pl/index.php/czasopismo/issue/view/35)>.
- Steiner, G., 1993. *W zamku Sinobrodego*. Gdańsk: Atekt.
- Steiner, G., 1997. *Rzeczywiste obecności*. Gdańsk: Wydawnictwo słowo/braz terytoria.
- Stuart, M.T. i in., 2018. *The Routledge Companion to Thought Experiments*. London–New York: Routledge.
- Tambolo, L., 2009. *Meta e Metodo. Il dibattito metametodologico a partire dall’opera di Larry Laudan*. Milano: FrancoAngeli Edizioni.
- Tischner, J., 1990. *Filozofia dramatu*. Paris: Edition du Dialogue.
- Tischner, J., 2000. Wokół spraw wiary i rozumu. *Zagadnienia Filozoficzne w Nauce*, (26), ss. 6–20.
- Tischner, J., 2001. *Spór o istnienie człowieka*. Kraków: ZNAK.
- Tischner, J., 2008. *Historia filozofii po góralsku*. Kraków: ZNAK.
- Tischner, J., 2011a. Labirynty racjonalizmu. *Myślenie według wartości*. Kraków: ZNAK, ss. 475–483.
- Tischner, J., 2011b. Myślenie religijne. *Myślenie według wartości*. Kraków: ZNAK, ss. 370–393.
- Tischner, J., 2011c. Myślenie według wartości. *Myślenie według wartości*. Kraków: ZNAK, ss. 527–545.
- Tischner, J., 2011d. Myślenie z wnętrza metafory. *Myślenie według wartości*. Kraków: ZNAK, ss. 510–526.
- Tischner, J., 2017. *Inny*. Kraków: ZNAK.
- Życiński, J., 2015. *Elementy filozofii nauki*. Kraków: Copernicus Center Press.

Z prac Komisji Filozofii Nauk PAU

**Proceedings of the PAU Commission
on the Philosophy of Science**

Joint detection of gravitational waves from binary black hole and binary neutron star mergers by LIGO and Virgo

Andrzej Królak

Institute of Mathematics of Polish Academy of Sciences

Mandar Patil

Ramkrishna Mission Vivekananda Educational and Research Institute

Abstract

Advanced Virgo detector joined advanced LIGO twin detectors on 1st August 2017 in the quest to look for the gravitational waves. The global network of three detectors was operational for 25 days until the LIGO shut down on 25th August 2017. Two gravitational wave events were registered during this period. One of them was the binary black hole merger dubbed as GW170814 and other one is binary neutron star merger referred to as GW170817. Electromagnetic counterpart associated with binary neutron star merger was promptly identified which marks the beginning of multi-messenger astronomy. This article describes these events emphasizing on the crucial role played by the Virgo and focusing on some methodological issues.

Keywords

gravitational waves, neutron stars, black holes.

Introduction

Gravitational waves were predicted by Einstein (1916), one year after he proposed General Relativity, a theory of gravity that superseded Newton's theory. In General Relativity gravity is not a force, but rather it is a manifestation of curvature of space and time. Massive objects warp spacetime around it and a smaller object follows geodesic motion in the curved spacetime. Gravitational waves are the tiny fluctuations in the curvature of spacetime generated by accelerating masses that travel at the speed of light. While Einstein observed that his theory admits wavelike solutions, the amplitude of the gravitational waves produced by objects on Earth was so small, he thought they would never be detected.

Gravitational waves were detected directly for the first time of September 14th 2015 by twin LIGO detectors (Abbott et al., 2016), which is the culmination of relentless effort of thousands of physicists extending over several decades on theoretical and experimental front. Nobel prize in Physics was awarded to Rainer Weiss, Barry Barish and Kip Thorne in the year 2017, barely one year after the announcement of the discovery, for their decisive and pioneering effort towards the LIGO project and the detection. As Kip Thorne says, the detection was made possible primarily because of two things. Firstly the discovery of compact massive objects such as black holes and neutron stars which produce gravitational waves of appreciable strength, when two of them are sufficiently close to one another and spiral in and smash together nearly at speed of light. Secondly due to the technological advancements and inventions such as that of laser which is quite crucial in the construction and working of LIGO detectors.

Gravitational waves appear naturally when we linearise the Einstein's equations around fixed background such as flat space-

time. They are generated by the sources which admit time-varying quadrupole moment. Gravitational waves are extremely weak essentially due to the smallness of the Newton's constant of gravitation G . Gravitational waves are transverse and admit two polarizations which are referred to as Plus and Cross polarizations, which distort the space-time in quadrupolar fashion. To detect the gravitational waves the detectors were built which are L-shaped Michelson interferometers with each arm extending over several kilometers. As the gravitational wave passes by, it increases the length of one arm of the interferometer relative to the other, which results into the shift in the interference pattern in the interferometer signaling the presence of the gravitational waves. Vibrations of the arms of the interferometers due to various sources of noise, despite the best effort to reduce them are larger than the displacement caused by the gravitational waves. Hence advanced statistical techniques were employed to excavate out the tiny signal buried in the noise. This includes the method called *matched filtering* where the expected form of the signal computed theoretically is correlated against the detector output.

The main source of gravitational waves for current ground based detectors is the merger of binary black holes and neutron stars. Black holes contain surface called an event horizon which is a one way membrane that absorbs all infalling matter and radiation and doesn't let anything out. Radius of one solar mass black hole is around 3 km. Neutron stars are the compact objects made up almost entirely of neutrons whose density is of the order of density of atomic nucleus. Their mass ranges typically between one to two solar masses and their size is around 10 km. Two black holes or neutron stars in the binary system, as they go around each other emit gravitational waves, stealing the orbital energy and thus their orbit shrinks. This phase is referred to as inspiral. To predict the gravitational waveform during the inspi-

ral phase the techniques of post-Newtonian expansion is used where Einstein's equations are expanded perturbatively in powers of orbital velocity of the neutron stars divided by speed of light which is the small parameter and are solved order by order. Black holes and neutron stars eventually merge to form a single remnant black hole. To model merger phase techniques of numerical relativity are used where fully non-linear Einstein's equations are solved on supercomputers to predict the fate of the merger as well as the gravitational waves emitted during this phase.

Virgo joins LIGO

There are three gravitational wave detectors which are operational currently. Two twin LIGO detectors are located in USA at the locations of Livingston in the state of Louisiana and at Hanford in the state of Washington. LIGO stands for Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory. Virgo detector is located in Europe in Italy near the town of Pisa. Size of the LIGO detector is 4 km in terms of the arm-length of the interferometer, whereas Virgo is 3km in size. All three detectors were conceived in 1990s, were built around 2000 and operated in their initial configuration for several years up to 2010. They were shutdown by the end of previous decade for upgradation with the aim of improving their sensitivity by the factor of 10. During initial run they did not observe any gravitational waves.

Advanced LIGO began its operation in September 2015. It detected gravitational waves from the merger of two binary black holes merely few days after it started the observational run O1. This landmark event is referred to as GW150914. Two more events were recorded by LIGO during O2 run in December 2015 and January

2017. After the upgrade and commissioning Virgo started the observational run on August 1st 2017. The LIGO-Virgo observatories made joint observation in August 2017 until 25th of August when the twin LIGO detectors were shut down.

Two events of joint detection of gravitational waves were registered by LIGO and Virgo during the joint run. The first event was registered on August 14th (Abbott et al., 2017b, p. 17) and second event was recorded on August 17th (Abbott et al., 2017b, p. 170817). The first gravitational wave signal was due to the merger of two black holes. This event is referred to as GW170814 and it was quite similar to the first detection. The second gravitational wave signal was produced by the merger of two neutron stars and is referred to as GW170817. The second event was quite remarkable since it was accompanied by an optical counterpart, a gamma ray burst or GRB which was recorded by Fermi and INTEGRAL satellites merely 1.7 second after the gravitational wave event. The source was promptly identified and is located in the galaxy NGC 4993. This followed a worldwide campaign of electromagnetic follow-up across entire spectrum by various ground based and space based facilities. This marks the beginning of the era of so called multi-messenger astronomy.

The involvement of Virgo in the quest of detection of gravitational waves is crucial. It allows us to detect the gravitational waves with greater confidence. It reduces the error in the estimation of parameters. Quite importantly it significantly improves the localization of source in the sky making it easier for the partners in the electromagnetic band to hunt down the source. Further it allows us to carry out the additional tests of general relativity which are not possible with two LIGO detectors.



Figure 1: The aerial view of Virgo gravitational wave detector located near Pisa in Italy. The armlength of Michelson interferometer is 3 km. [Image credit: Virgo]

In the near future global network of gravitational wave detectors will widen with the addition of underground cryogenic detector KARGA in Japan and LIGO-India detector to be built in India.

GW170814: Detection of binary black hole merger and role of Virgo

Advanced Virgo joined advanced LIGO in the quest of the detection of the gravitational waves on August 5th 2017. The first joint detection happened almost immediately on August 14th. The gravitational wave signal was produced by the inspiral and merger of two solar mass black holes which were quite similar to the ones involved in the first detection by LIGO in September 2015. The masses of the two black holes were 30 and 25 times the mass of the sun and energy worth 2.7

solar masses was radiated in the gravitational waves. The distance to the source was around 540 Mpc which corresponds to the redshift of $z=0.11$. This event is dubbed as GW170814. Overall this is the fourth detection of binary black hole merger, but it is the first one involving Virgo.

The event was identified by the low latency pipelines that search for gravitational wave transients using the matched filtering techniques employing data from the two LIGO detectors. The Virgo is not involved in this process since its sensitivity at this stage is not at par with LIGO detectors. The trigger was generated merely 30 seconds after the arrival of gravitational waves. The detailed analysis was carried out later carefully focussing on 6 days of data surrounding the event and significance of this event was calculated, which confirmed that it is indeed a genuine detection with the false alarm rate of one in 27,000 years. False alarm rate indicates the odds against the possibility that the event was generated by the noise in the detector conspiring to generate a fallacy of the presence of the signal.

The gravitational wave signal was seen in Virgo as well. In fact the role of Virgo in the detection is extremely crucial as it allows us to enhance our confidence in the detection significantly. The joint analysis of LIGO and Virgo data was carried out to compare two competing hypothesis in the Bayesian framework, namely the signal is present in all three detectors and the alternative hypothesis that the signal is present in two LIGO detectors and the data in Virgo is sheer noise. The two methods were employed for this purpose, one where the matched filtering technique is used to look for the binary black hole signal and the second method where time frequency methods are used to search for an unmodelled signal in the data with the frequency increasing in time.

The first model where the signal is assumed to be present in all the detectors is preferred over the model where signal is present in the two detectors by the factor of 1600. The signal reconstructed from the unmodelled search matches with the binary black hole signal very well. Further, while the false alarm rate for two LIGO detectors for unmodelled search is one in 300 years, it was quite remarkably reduced down to one in 5700 years with the involvement of Virgo.

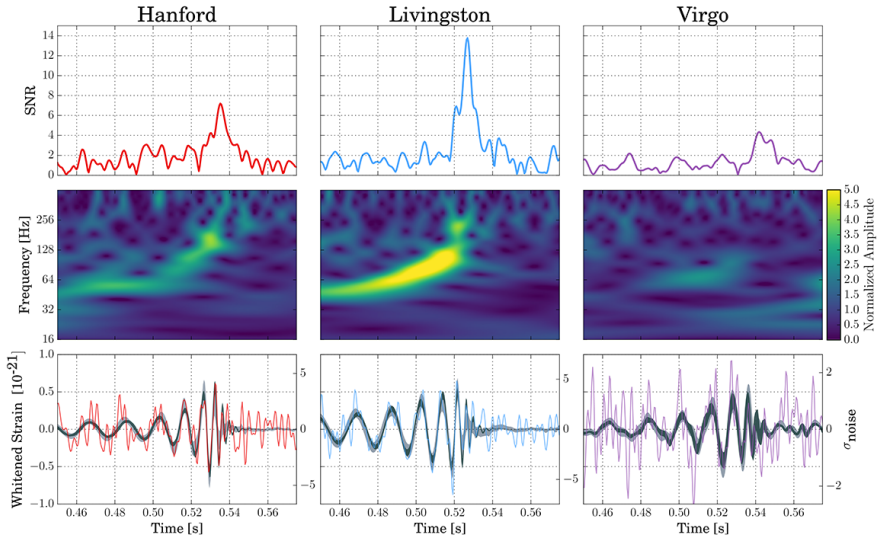


Figure 2: Top panel shows the SNR as a function of time in LIGO and Virgo detectors. The peak indicates the presence of gravitational wave signal. The middle panel shows the time-frequency plot where brightness of a given pixel indicates the strength of the signal at the given frequency at given time. Characteristics of inspiral signal where amplitude and frequency of signal increases with time, can be clearly spotted in the plots. The lower panel shows detector output superimposed with the best fit signal inferred from matched filtering and unmodelled search. [Image credit: LIGO]

Top panel in Fig. 2 shows the signal to noise ratio or SNR computed by correlating expected binary black hole signal with the detector output in a matched filtering search for gravitational wave signal as a function of time for various detectors. Peak present in all three detectors indicates the presence of the signal. The peak occurs in different detectors at different times because gravitational wave travels at finite speed and it arrives at different detectors with appropriate time delay depending on the direction of travel and spatial separation. The signal was seen at LIGO-Livingston initially, 8ms later at LIGO-Hanford and finally at Virgo with further delay of 6ms. The middle panel in Fig. 2 shows the time-frequency representation of the data. The frequency is plotted along y-axis and time is plotted on x-axis. The brightness of a particular pixel in the graph indicates the strength of the signal at that particular frequency at that particular instant of time. The plot indicates the presence of the inspiral signal wherein frequency as well as the amplitude of the signal increase with time as the orbit of the binary system decays with time. Bottom panel in Fig. 2 shows the detector output superimposed with the best-fit signal obtained using matched filtering search as well as the unmodelled search.

Localization of source in the sky is important for the purpose of looking for electromagnetic counterpart associated with gravitational wave event if any. In the event of binary black hole merger it is not expected to find any counterpart. However electromagnetic counterpart is expected in the event of binary neutron star merger. The sky localization is carried out using the information about the time delay of arrival between different detectors and response of detectors in different directions. Information of time delay of arrival between the two detectors allows to draw a circle in sky on which the source is located. Uncertainty in the time delay broadens the circle into annular region.

Now if we have a third detector, we can draw three such annular regions which intersect at two locations. This significantly reduces the region in the sky where source is localized. The information about the relative amplitudes of the signal can also be used to localize the source. The response of a given detector is different for the signal arriving from different directions. For instance detector would not be able to detect the signal which arrives in the plane of two arms along the direction bisecting them, as the two arms respond exactly in the same way rendering difference in the armlengths and hence the shift in the interference pattern zero. This is refers to as the blind spot. The response of the detector is best if the signal arrives from the direction perpendicular to the plane of the detector. Addition of the Virgo detector improves the sky localization by the factor of 10, reducing it to 80 sq degree as compared to 1150 sq degree with only two LIGO detectors for GW170814. The knowledge of luminosity distance from the gravitational wave measurement allows us to localize source in three dimensions, allowing us to identify galaxies from the catalogue of known galaxies and scan them individually to look for the counterpart. As expected no electromagnetic counterpart was found for this event of binary black hole merger.

Various conventional tests of General Relativity were carried out with GW170814 and no statistically significant deviation was found from the hypothesis that General Relativity is true. Due to addition of Virgo to the LIGO detectors additional tests of General Relativity could be carried out. Two LIGO detectors are oriented almost parallel to one another. Since the directional response of two detectors would be almost identical, it allows us to easily slide the detected waveform from one detector to other in time to account for the time delay of travel and directly compare the waveforms to confirm the presence of same signal in both the detectors. The orientation of Virgo detector is

however different from that of LIGO detectors. This allows us to test the presence of additional polarizations of gravitational waves. General relativity predicts that the gravitational waves are transverse and admit two polarizations, namely Plus and Cross. This implies that the spacetime is distorted in the direction perpendicular to the propagation of gravitational waves. While space is squeezed in one direction and it is simultaneously squashed in the orthogonal direction. General metric theories of gravity however admit additional polarization states. Apart from the usual plus and cross polarizations it admits additional transverse mode termed as breathing mode. They can also admit three longitudinal modes where spacetime is also distorted along the direction of propagation of gravitational waves. Detectors which are oriented differently would respond differently to various polarization modes. Thus by comparing the waveforms in two such detectors it is possible to infer the presence of additional polarization modes. The first test of polarization of gravitational waves was carried out with GW170814 data from LIGO and Virgo detectors. Bayesian analysis was performed to compare two models, one where only the two transverse polarizations predicted by General Relativity are present and other hypothesis were additional modes were present. Alternative polarization combinations were found to be significantly disfavoured. General Relativity has again passed yet another observational test with flying colours.

GW170817: Multi-messenger observation of binary neutron star merger

Merely three days after the detection of gravitational wave signal from the coalescence of binary black holes, on August 17th 2017 LIGO-

Virgo network witnessed yet another event, but of a different kind. This time gravitational signal detected was generated by the merger of two neutron stars rather than black holes. This was the loudest event observed so far with the signal to noise ratio of 32. This event is dubbed as GW170817. Interestingly merely 1.7 seconds after the merger NASA's Fermi satellite observed Short Gamma Ray Burst called GRG170817A, an electromagnetic counterpart to the binary neutron star merger. This initiated flurry of activity on the observational front. This is a first ever joint observation of gravitational and electromagnetic signal and marks the dawn of multi-messenger astronomy (Abbott et al., 2016).

We find plenty of neutron stars in our galaxy. Many of them occur in pairs, in the form of a binary system. Careful radio observations of binary neutron star systems such as Hulse-Taylor pulsars have provided the evidence for the decay of the orbit as the time passes by (Taylor and Weisberg, 1982). The rate of decay of orbit is in fact perfectly consistent with the estimate of loss of orbital energy due to the emission of gravitational waves. Observation of Hulse-Taylor binary system provided the indirect evidence of existence of gravitational waves. Hulse and Taylor were awarded Nobel prize for this landmark discovery in 1993. Pulsars in Hulse-Taylor binary systems are expected to spiral in and merge in around 300 million years producing event similar to that of GW170817. Such mergers are expected to occur throughout the universe and hence physicists were expecting and awaiting the gravitational wave signal from binary neutron star merger.

Fig. 3 shows time-frequency spectrograph for LIGO and Virgo detectors. As explained earlier the brightness of a pixel is proportional to the strength of the signal at that time instant at that frequency. The signature of inspiral is clearly visible in the spectrograph of LIGO

Livingston and Hanford. The signal lasted for around 100 seconds unlike binary black hole case where signal lasted for around a second or less for the confirmed detections. The reason being that the masses of neutron stars are around one order of magnitude smaller than the black holes. Thus the signal occurs at higher frequencies, where LIGO is more sensitive. The signal lasts in LIGO band for longer time and larger number of cycles are visible. When the signal appears in LIGO detectors neutron stars are around 100 km apart and orbit around each other around 12 times a second. As they spiral in due to the emission of gravitational waves both the frequency and amplitude of gravitational wave goes on increasing, which is clearly visible in the spectrograph.

Trace in the spectrograph appears as a thin line moving almost horizontally in the beginning, but later it rises upwards and eventually there is a bright vertical up-sweep when the stars get close together. The LIGO trigger was generated by the automated software based on the LIGO-Hanford data indicating the presence of gravitational wave signal. Although the signal is clearly visible in LIGO-Livingston data, the trigger was not generated due to the presence of glitch that was coincident with the signal. Glitch is a short loud burst of noise which appears in the detector every few hours. Glitch occurred and lasted for around one second during the final part of the inspiral signal. It was systematically removed while retaining the data for further analysis. Signal is absent in the Virgo detector, because the direction of arrival of signal coincided with the one of the blind spots of the detector, which in turn played an important role in localizing the source in the sky and observation of electromagnetic counterpart.

The strength and shape of the signal which appears in the detector is dependent on many parameters associated with the source such as component masses of two colliding objects, stiffness of the matter

they are made up of, luminosity distance and so on. Thus gravitational wave observations allow us to constrain those parameters. The masses of the two objects that merged were determined to be 1.17 and 1.6 solar masses. This is consistent with the masses of the neutron stars observed in our galaxy, while the masses of the black holes observed till date using both electromagnetic and gravitational wave observations are considerably larger. This is the reason it is strongly believed that the signal is produced by merger of two neutron stars. The luminosity distance to the source is merely 40 Mpc which tells that the merger occurred fairly close to us in the nearby universe.

Neutron stars are made up of cold super-dense matter at super-nuclear densities. Such conditions cannot be realized in the laboratories on Earth and further it is also difficult to carry out theoretical calculations by means of for instance lattice QCD techniques. Thus neutron stars provide us with laboratories to test physics under such extreme conditions. Behaviour of matter is characterized by so called equation of state which is the relationship between various thermodynamic quantities such as density and pressure. Many nuclear equations of state are proposed theoretically. Observations will allow us to nail down the correct equation of state. During the final stage of inspiral of binary neutron stars, when the two objects are sufficiently close, neutron stars get distorted due to the gravitational pull. Neutron star develops a quadrupole moment which is proportional to the gradient of gravitational field of other neutron star. The proportionality constant is referred to as tidal deformability which depends on the equation of state of the neutron star. The deformation of the neutron stars gets imprinted on the gravitational wave signal at the late stage. Therefore the gravitational wave signal would tell us about the tidal deformability and allow us to infer the equation of state of super-

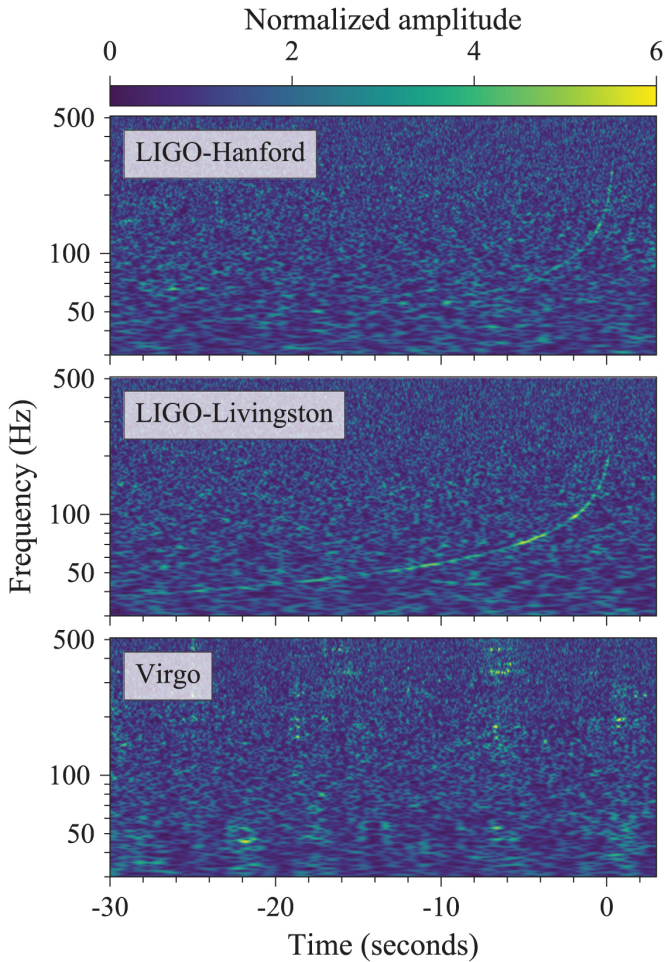


Figure 3: This figure shows the spectrogram, the time-frequency plot where strength of the signal is encoded in the brightness of the spot. The trace of the inspiral and merger, the curve which slowly moves upwards and shoots up vertically as it gains brightness, is clearly visible in LIGO-Hanford and LIGO-Livingston data, but is absent in the Virgo [Credit: LIGO/Virgo/Lovelace, Brown, Macleod, McIver, Nitz].

dense nuclear matter. GW170817 does put interesting constraints on the tidal deformability, but does not definitively tell us so as to what the nuclear equation of state is.

The result of the merger could either be black hole or stable massive neutron star. Numerical simulations of binary neutron star merger tell us that the hyper-massive neutron star is formed as a result of collision which quickly turns into a black hole. Either the stable neutron star or hyper-massive neutron star would emit gravitational waves at high frequencies, which could be around several thousand kHz. Since the LIGO and Virgo are not sensitive enough at higher frequencies only the inspiral part of the signal was visible. Gravitational waves due to merger and possibly due to the formation of hyper-massive or stable neutron star are not visible in the LIGO band. Thus gravitational wave signal does not provide definitive answer about the remnant. It could either be the most massive neutron star or the lightest black hole known till date.

A short duration Gamma Ray Burst or GRB was seen by two gamma ray observatories orbiting the earth namely Fermi and INTEGRAL merely 1.7 second after the gravitational wave event (see Fig. 2 of Abbott et al., 2017a). GRBs are one of the most energetic events in the Universe releasing energy within matter of seconds that could be comparable to the emission of energy by sun over its entire lifetime. GRBs are divided in two categories, short duration GRBs and long duration GRBs. Short duration GRBs last for less than two seconds and are expected to be produced by the merger of two neutron stars. Whereas long duration GRBs which last for time period which is significantly larger than two seconds, which could even be thousands of seconds, are produced by the core collapse of the massive rotating stars. Now there is an evidence that short duration GRBs are indeed associated with the collision of neutron stars. Fig. 1 of (Abbott et al.,

2017c) shows the sky localization of the gravitational wave source by LIGO-Virgo and localization of GRB by Fermi and INTEGRAL. Light green patch shows the localization by LIGO, whereas green patch shows localization with LIGO and Virgo. Virgo did not see the gravitational wave signal indicating that the source must be located in one of its blind spots. The source is localized in the spot of the size 28 sq degrees. Pale blue region shows the localization of the GRB by Fermi and INTEGRAL. Clearly there is an overlap between the two. Probability that the gravitational wave signal and short duration GRB that are otherwise unrelated, coincide in space and time is 1 in 20 million. This provides a confirmation that two are related and short duration GRB is an upshot of a binary neutron star merger that produced gravitational wave signal. Distance to the source was calculated to be around 40 Mpc based on the gravitational wave signal, indicating the GRB occurred in nearby universe, around hundred times closer than the typical GRB. It is however hundred to million times dimmer or sub-luminous. This came as a surprise. The possible reason for the dimness that it is viewed off-axis. GRBs are beamed and are not uniformly bright throughout the whole beam, but their brightness is much lower towards the edge of the beam. It may be viewed along the edge of the beam which accounts for its sub-luminous nature.

In the three dimensional volume mapped out in the universe based localization of source by LIGO-Virgo, Fermi and INTEGRAL and distance estimation using LIGO, one can find around 49 galaxies based on the galaxy catalogue of the local universe. These galaxies were scanned one by one and optical transient dubbed as SSS17a was located in the galaxy NGC 4993 by Swope telescope in Chile 10.9 hours after the merger. The optical counterpart is shown in Fig. 1 of (Abbott et al., 2017c) in the upper panel on right, which is clearly absent in the image taken 20 days before shown in the lower panel. A

worldwide campaign was initiated to follow up this event spanning the entire electromagnetic spectrum, in ultraviolet UV, optical, near infrared IR, X-rays and radio, using around 70 ground based and 7 space based telescopes facilities. The radiation in radio and X-ray showed up a bit late. The first X-ray image was taken by NASA's Chandra X-ray observatory 9 days later and first radio image was taken by Jansky Very Large Array 16 days after the merger. Meanwhile observations were made in UV, optical and IR, which also monitored carefully the spectral energy distribution, revealed the exceptional electromagnetic counterpart known as Kilonova, the expanding debris formed by the radioactive decay of the heavy elements synthesized in the neutron star collision.

Hydrogen and helium are synthesised in early universe during big bang nucleosynthesis. Heavy elements up to iron are efficiently synthesized in the cores of massive stars and supernovae by nuclear fusion. But since iron has maximum binding energy per nucleon and consequently it is the most stable nucleus, it is difficult to form elements beyond iron via nuclear fusion. However we know how to synthesise these elements in laboratory. Nuclei are bombarded with high energy nucleons. When they absorb a single neutron their mass number increases by one and when they undergo beta decay their atomic number increases by one. Thus multiple absorption of neutrons followed by beta decays would result in the formation of higher elements beyond iron. Collision of neutron stars provides a site for this process to occur in natural setting and thus are considered to be responsible for the prediction of heavy elements. The observation of electromagnetic spectrum of the optical counterpart indeed provides signature of production of heavy elements such as gold, platinum and uranium. The amount of heavy elements produced during the neutron star merger is

estimated to be around sixteen thousand times the mass of the earth, which given a reasonable assumption on rate of mergers could account for the solar heavy element abundance.

The joint gravitational and electromagnetic observation of binary neutron star merger allows us to put constraints on the Hubble constant which is a measure of rate of expansion of universe. Hubble in early part of 20th century discovered that linear relationship between the recession velocity of the nearby galaxies indicated by their redshifts and distance, which is interpreted as the expansion of the Universe. The proportionality constant is referred to as Hubble constant. There are two independent methods employed to measure the Hubble constant. One includes cosmic distance ladder wherein one uses nearby distance indicators to calibrate the astronomical objects which can be then used to measure distances further into the Universe. The other method uses cosmic microwave background radiation CMB, the diffuse light leftover from big bang that fills the space. Two methods yield values of Hubble constant that are not in mutual agreement but differ by around 8%. The binary neutron star merger serves as standard siren. The luminosity distance to the source is measured using the gravitational wave observation. Once the host galaxy is identified one can measure redshift associated with it and thus infer the Hubble constant. The error in the measurement occurs because the distance to the source as measured from gravitational wave signal is degenerate with the inclination angle of the orbital plane of the neutron stars. The value of Hubble constant inferred from GW170817 with relatively large errorbars is consistent both with the standard candle and CMB measurements.

The time delay between the arrival of gravitational wave signal and GRB is 1.7 seconds. This is presumably because it takes some of jet to launch after the merger of neutron stars. But even if the time lag

is taken at the face value, the fact that light and gravitational wave both traveled for 130 million years, fell through the gravitational potential of milky way together and arrived only 1.7 seconds apart allows us to put stringent bound on the relative speed of propagation, equivalence principle and on alternative theories of gravity which predict that gravitational waves travel at speed that differs from the speed of light, while both are identical in general relativity.

The exciting era of multi-messenger astronomy has just begun. Future looks bright with improved sensitivity if gravitational wave detectors, more detectors joining the global network and possibility of registering many such events.

Acknowledgment This work was supported by Grant No. UMO-2014/14/M/ST9/00707.

Bibliography

- Abbott, B.P. et al., 2016. Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. *Physical Review Letters* [Online], 116(6), 061102.1–061102.16. Available at: <<http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.116.061102>> [Accessed 29 March 2016].
- Abbott, B.P. et al., 2017a. Gravitational Waves and Gamma-Rays from a Binary Neutron Star Merger: GW170817 and GRB 170817A. *The Astrophysical Journal Letters* [Online], 848, p.L13. Available at: <<http://stacks.iop.org/2041-8205/848/i=2/a=L13>> [Accessed 21 February 2018].
- Abbott, B.P. et al., 2017b. GW170814: A Three-Detector Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Coalescence. *Physical Review Letters* [Online], 119(14), p.141101. Available at: <<https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.119.141101>> [Accessed 21 February 2018].

- Abbott, B.P. et al., 2017c. Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger. *The Astrophysical Journal Letters* [Online], 848, L12. Available at: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/2017ApJ...848L..12A>> [Accessed 21 February 2018].
- Einstein, A., 1916. Näherungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation. *Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften (Berlin)* [Online], pp.688–696. Available at: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/1916SPAW.....688E>> [Accessed 29 March 2016].
- Taylor, J.H. and Weisberg, J.M., 1982. A new test of general relativity – Gravitational radiation and the binary pulsar PSR 1913+16. *The Astrophysical Journal* [Online], 253, pp.908–920. Available at: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/1982ApJ...253..908T>> [Accessed 21 February 2018].

Struktura cyfrowej rewolucji naukowej

Sławomir Leciejewski

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,
Instytut Filozofii, Zakład Filozofii Techniki
i Rozwoju Cywilizacji

Structure of the digital scientific revolution

Abstract

Nowadays, computers are in common use, both in experimental and theoretical research. It is worth considering if the implementation of a new, universal research tool has significantly changed the science of the end of 20th century. The crucial question which I will try to answer is if computers have revolutionized the scientific research. In order to find the answer, I will describe modern digitally aided science, taking into consideration the research conducted in the greatest elementary physics laboratory. Subsequently, I will refer to the classic concept of scientific revolution proposed by Thomas S. Kuhn. Finally, I will answer the question related to digital revolution in science.

Keywords

philosophy of science, scientific revolution, computer aided scientific research.

1. Wprowadzenie

Rozwój sprzętu komputerowego, oprogramowania oraz urządzeń peryferyjnych umożliwił ich zastosowanie w niemalże wszystkich obszarach ludzkiej aktywności. Jednym z bardzo ważnych zastosowań komputerów jest wspomaganie prac badawczych w naukach empirycznych. Urządzenia te używane były w nauce od lat czterdziestych XX wieku, początkowo z przewagą zastosowań *stricte* obliczeniowych. Warto jednak zaznaczyć, że komputery nie są tylko i wyłącznie urządzeniami przyspieszającymi obliczenia; stosowane do różnorodnych obliczeń przyspieszały również pracę teoretyków, ułatwiając znajdowanie numerycznych wyników prowadzonych przez nich badań. Zmieniły one jednak nie tylko pracę teoretyków, ale także pracę eksperymentalną¹. W latach osiemdziesiątych XX wieku wspomaganie komputerowe badań eksperymentalnych stało się bowiem standardem podczas prac badawczych prowadzonych w większości znanych laboratoriów naukowych.

Współcześnie komputery w naukach empirycznych spełniają wiele różnych zadań, które – jak się wydaje – podzielić można na trzy główne grupy: analityczne (*on-line*), syntetyczne (*off-line*) i prezentacyjne (*on-line* i *off-line*). W pierwszej z nich komputer połączony jest bezpośrednio z przyrządem pomiarowym (składającym się z urządzenia pomiarowego, przetworników analogowo-cyfrowych oraz interfejsu) i służy głównie do gromadzenia i wstępnej analizy da-

¹ Zaawansowanie aparatu matematycznego oraz rosnąca złożoność aparatury badawczej doprowadziły na początku XX wieku do wykształcenia się w ramach fizyki dwóch jej dziedzin: teoretycznej i doświadczalnej. Można jednak wykazać, że praktyką badawczą tego typu nauk steruje jedna kultura o charakterze eksperymentalno-teoretycznym. Tak więc, aby uzasadnić, że nastąpiła rewolucyjna zmiana w nauce, należałoby przeanalizować łączne zmiany jakie zaszły zarówno w kulturze teoretycznej, jak i eksperymentalnej. Por. (Kraśniński, 2016).

nych empirycznych napływających z układu eksperymentalnego (stąd jego rola analityczna *on-line*). W drugiej grupie zastosowań komputer nie jest już bezpośrednio podłączony do zestawu eksperymentalnego, ale służy głównie do teoretycznego numerycznego opracowywania zgromadzonych wcześniej danych empirycznych (stąd jego rola syntetyczna *off-line*). Ważną klasą zastosowań komputerów jest także prezentacja przetwarzanych danych empirycznych (z grupy pierwszej) i otrzymanych wyników teoretycznych analiz numerycznych (z grupy drugiej). Różnego rodzaju wizualizacje komputerowe mogą być tworzone w trakcie eksperymentu (w trybie *on-line*) oraz po skończonym eksperymentcie, podczas teoretycznego opracowywania zgromadzonych danych empirycznych (*off-line*).

Widać zatem, że współcześnie komputery używane są powszechnie zarówno w badaniach eksperymentalnych, jak i teoretycznych (np. w ramach symulacji komputerowych oraz do opracowywania olbrzymich ilości cyfrowych danych empirycznych). Warto zatem zastanowić się, czy wprowadzenie tego nowego narzędzia badawczego, doprowadziło do radykalnej zmiany w nauce końca XX i początku XXI wieku. Tak więc głównym pytaniem, na które będę poszukiwał odpowiedzi jest, czy komputer zrewolucjonizował badania naukowe. Aby udzielić odpowiedzi na to pytanie opiszę współczesną naukę wspomaganą cyfrowo na przykładzie badań prowadzonych w największym laboratorium fizyki cząstek elementarnych². Następnie przypomnę klasyczną koncepcję rewolucji w nauce, którą zaproponował Thomas S. Kuhn. Na zakończenie postaram się udzielić odpowiedzi na pytanie o cyfrową rewolucję w nauce.

² Omawiając część eksperymentalną współczesnych badań naukowych korzystam z dotychczasowych ustaleń zawartych w monografii (Leciejewski, 2013).

2. Nauka wspomagana cyfrowo

W pierwszej połowie XX wieku w fizyce, astronomii i chemii można było korzystać w pełni z wysoce rozwiniętych formalnych metod matematycznych (równań różniczkowych i całkowych, metod wariacyjnych, analizy fourierowskiej itp.). Większość najważniejszych wyników teoretycznych w naukach ścisłych (np. teoria względności, mechanika kwantowa) otrzymano czysto analitycznymi metodami bez pomocy komputera. Jednakże w drugiej połowie XX wieku sytuacja zaczęła się zmieniać, gdyż rola komputerów w naukach empirycznych była coraz bardziej znacząca. To bowiem, co dla ludzi jest żmudną, monotonną i czasochłonną pracą, komputery najczęściej wykonują szybko i bezbłędnie. „W tej i nie tylko w tej dziedzinie nadal obowiązuje stara zasada głosząca, że to, co jest trudne dla człowieka, jest łatwe dla komputera – i odwrotnie. Systemy komputerowe, jak GELL-MANN, są w stanie analizować ogromne ilości informacji, wykonując skomplikowane obliczenia czy operacje na strukturach symbolicznych w ciągu sekund, podczas gdy ludzie potrzebowaliby miesięcy, a nawet lat na wykonanie tych samych zadań i prawdopodobnie po prostu by zrezygnowali” (Giza, 2006, s. 190).

Warto odnotować, że już w latach czterdziestych i pięćdziesiątych XX wieku naukowcy zajmujący się fizyką jądrową musieli zmagać się z dużą ilością żmudnych obliczeń. Były one potrzebne podczas projektowania bomby jądrowej i termojądrowej. Naukowcy ci wnikaliby bowiem do świata, którego nikt nie znał z bezpośredniego doświadczenia. Jedynym sposobem wglądu były symulacje komputerowe wykorzystujące dostępną wiedzę teoretyczną³. Szybko jednak okazało się,

³ Postęp w zakresie budowy komputerów oraz metod obliczeniowych dał naukowcom nowe narzędzie badawcze, jakim jest symulacja komputerowa. W ogólności jest to program komputerowy opracowany w celu modelowania zachowań rzeczywistego układu.

że stopień złożoności obliczeniowej w przypadku bomby wodorowej jest tak wielki, iż nie mógł sobie z nim poradzić nawet ENIAC (ang. *Electronic Numerical Integrator And Computer*). To właśnie brak odpowiednich mocy obliczeniowych spowodował, że próbny wybuch termojądrowy nastąpił dopiero w 1952 roku. Pierwszy realistyczny sposób konstrukcji bomby wodorowej zaproponował Stanisław Ulam, jeden z pionierów metod komputerowych symulacji matematycznych (por. Białyński-Birula i Białyńska-Birula, 2007, s. 17). To on zdołał na podstawie uproszczonych obliczeń wykazać, że początkowy projekt nie doprowadzi do eksplozji. Wyniki Ulama umożliwiły modyfikację koncepcji z 1951 roku. Do tego też czasu laboratorium w Los Alamos pozyskało nowy, potężniejszy komputer MANIAC (ang. *Mathematical Analyzer, Numerator, Integrator, and Computer*), który umożliwił potwierdzenie założeń Ulama i którego odpowiednia moc obliczeniowa pozwoliła na szybkie powstanie i przetestowanie bomby termojądrowej.

Współcześnie jednak komputera nie wykorzystuje się tylko i wyłącznie do przeprowadzania szybkich obliczeń arytmetycznych związanych z symulacjami komputerowymi. Bardzo często pełni on także inne role w naukach empirycznych – jest bowiem powszechnie wykorzystywany do akwizycji danych empirycznych z przyrządów pomiarowych oraz precyzyjnego sterowania przebiegiem eksperymen-

Symulacje komputerowe są złożonymi zadaniami numerycznymi, w ramach których istnieje jednoznaczny opis powiązania pomiędzy danymi wejściowymi (zmiennymi niezależnymi), a danymi wyjściowymi (wynikami). Pełen opis sposobu przekształcania danych wejściowych w wyniki nazywa się algorytmem numerycznym. Zadaniem metod obliczeniowych jest wykorzystanie właściwości określonego zadania numerycznego tak, aby opracowany algorytm był szybki i dokładny. Podstawowymi narzędziami konstrukcji algorytmów komputerowych jest iteracja i rekurencja.

Dzięki zastosowaniu komputerów w badaniach naukowych potrafimy uzyskiwać wyniki, które mogą być analitycznie nieobliczalne (np. procedury całkujące i różniczkujące, interpolacja i aproksymacja). Por. (Leciejewski, 2013, s. 77–85).

tów⁴. Komputer może także być urządzeniem gromadzącym dane empiryczne i porównującym te dane z modelami teoretycznymi zakodowanymi cyfrowo.

Najłatwiej rolę komputera, jako urządzenia umożliwiającego współczesne badania naukowe, prześledzić można na przykładzie największego laboratorium z zakresu fizyki cząstek elementarnych, jakim jest Europejska Organizacja Badań Jądrowych CERN (fr. *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*, obecnie – *Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire*). W dniu 4 lipca 2012 roku na seminarium w CERN w Genewie przedstawiono wyniki poszukiwań bozonu Higgsa w eksperymentach przeprowadzanych na akceleratorze LHC (ang. *Large Hadron Collider* – Wielki Zderzacz Hadronów). Zaprezentowane wyniki oparte były na danych zebranych w latach 2011–2012. W eksperymentach CMS (ang. *Compact Muon Solenoid*) i ATLAS (ang. *A Toroidal LHC Apparatus*) w analizie przypadków zderzeń proton–proton, w których pojawiają się dwa fotony lub cztery leptony, zaobserwowano znaczący sygnał, który zinterpretowano jako produkcję i rozpad cząstki o masie około 125 GeV (CMS) lub około 126 GeV (ATLAS) (por. Nowina-Konopka, 2012, s. 98–99). Wyznaczone własności tej cząstki wskazują, że jest to poszukiwany w wielu eksperymentach bozon Higgsa⁵.

Warto zapytać, czy tego typu przełomowe odkrycia empiryczne w fizyce cząstek elementarnych mogłyby mieć miejsce bez syste-

⁴ Taki układ eksperymentalny został szczegółowo opisany w (Leciejewski, 2013, s. 36–61).

⁵ Po sukcesie, jakim było odkrycie bozonu Higgsa, nastąpił okres przebudowy LHC mający na celu osiągnięcie pełnej świetności przy energii zderzeń 14 TeV. Po tych przeróbkach detektory zaczęły zbierać 10 razy więcej danych niż w stadium początkowym pracy LHC. W tym czasie w CERN zaczęto intensywniej eksplorować również inne ważne programy badawcze z zakresu fizyki dotyczące m.in.: kaonów, promieniowania kosmicznego, supersymetrii, ciemnej materii oraz antymaterii. Por. (Nowina-Konopka, 2014, s. 30–34).

mów komputerowego wspomaganie badań eksperymentalnych? Odpowiedź na to pytanie wydaje się oczywista: bez wspomaganie komputerowego nie można przeprowadzić większości współczesnych eksperymentów. Dzieje się tak, ponieważ w tego typu eksperymentach mamy do czynienia ze zbyt dużą ilością danych napływających jednocześnie ze zbyt wielu urządzeń pomiarowych. Najłatwiej prześledzić to na eksplorowanym już przykładzie LHC⁶.

W LHC około 150 milionów czujników dostarcza dane eksperymentalne z częstością 40 milionów razy na sekundę. Po wstępnym przefiltrowaniu cyfrowym (kasuje się przypadki standardowe, które są już znane) uzyskuje się około 100 interesujących zderzeń na sekundę. Szybkość przesyłania danych ze wszystkich detektorów wynosi około 700 MB/s (tj. około 15 000 000 GB na rok). Te ogromne ilości informacji cyfrowych są dostępne dla tysięcy naukowców na całym świecie i są przez nich analizowane. Zadaniem Sieci Komputerowej LHC (*LHC Computing Grid*) jest zbieranie i archiwizacja danych oraz dostarczanie infrastruktury oraz oprogramowania do ich analizy.

Warto dodać, że ilości danych empirycznych dostarczane z poszczególnych detektorów na sekundę są ogromne. Na przykład detektor ATLAS dostarcza 320 MB/s danych, CMS – 300 MB/s danych, LHCb – 50 MB/s danych, a ALICE 100 MB/s danych podczas zderzeń proton–proton i 1,25 GB/s danych podczas zderzeń ciężkich jonów. Tak wielkich ilości danych nie byłby w stanie odebrać i zgromadzić żaden inny system oprócz systemu komputerowego. Zatem bez wspomaganie komputerowego nie jest możliwe pobieranie danych empirycznych we współczesnych eksperymentach naukowych. Bez niego nie sposób także precyzyjnie sterować przebiegiem tego typu eksperymentów, co ponownie zilustruję na przykładzie LHC.

⁶ Ze szczegółami technicznymi dotyczącymi konstrukcji zderzacza LHC zapoznać się można np. w obszernym artykule (Kulka, 2009).

Cząstki krążą w akceleratorze wewnątrz rury próżniowej i są sterowane za pomocą urządzeń elektromagnetycznych: magnesy dipolowe utrzymują cząstki na ich orbitach, magnesy kwadrupolowe ogniskują wiązkę, a przyspieszające wnęki są rezonatorami elektromagnetycznymi, które przyspieszają cząstki i utrzymują stałą wartość energii, kompensując jej straty. System sterowania wiązką w LHC musi być na tyle precyzyjny i szybki, aby możliwe było uzyskanie nominalnej liczby około 10 000 okrążeń na sekundę i 600 milionów zderzeń na sekundę.

Protony krążą w LHC wokół pierścienia w ściśle określonych pęczkach. Protony te mogą być przyspieszane jedynie wówczas, gdy pole elektromagnetyczne ma odpowiednią orientację w czasie przechodzenia cząstek przez przyspieszającą wnękę, co zdarza się w ściśle określonych momentach (maksymalnie nawet 11 245 razy na sekundę). Tak precyzyjne sterowanie złożonym eksperymentem (m.in. włączanie wnęk rezonansowych 10 000 razy na sekundę) nie byłoby możliwe bez systemu komputerowego wspomaganie badań doświadczalnych. Bez niego nie byłoby także możliwe uzyskanie jakichkolwiek istotnych wyników badań eksperymentalnych, jakimi niewątpliwie są te, o których wspomniałem wyżej.

Pozyskanie tak ważnych wyników było możliwe dzięki temu, że w CERN istnieje odpowiednia aparatura badawcza (LHC), przeprowadza się tam bardzo skomplikowane eksperymenty fizyczne (opisane wyżej) oraz – co najważniejsze w kontekście problematyki podejmowanej w niniejszej sekcji – stosuje się komputerowe systemy akwizycji, archiwizacji oraz analizy napływających z detektorów danych. Takim rozproszonym systemem teoretycznej analizy danych pochodzących z eksperymentów jest WLCG (ang. *Worldwide Large Hadron Collider Computing Grid*). Do osiągnięcia ważnych wyników, np. odkrycia bozonu Higgsa, nie wystarczają bowiem lokalne zasoby

obliczeniowe centrum komputerowego CERN. Są one imponujące (10 000 węzłów, 65 000 procesorów, 62 PB pamięci dyskowej), jednak jak się okazuje stanowią tylko około 20% potrzebnej mocy obliczeniowej.

Zasoby centrum komputerowego CERN (tzw. Tier-0) służą jedynie do zapisu danych eksperymentalnych, podstawowej obróbki danych empirycznych (kasowania znanych przypadków standardowych) oraz ich dystrybucji do kolejnych poziomów rozległej sieci służącej do przechowywania i analizowania danych uzyskiwanych w LHC (tj. Tier-1 oraz Tier-2). Tier-1 to jedenaście centrów obliczeniowych w Europie i Stanach Zjednoczonych, które archiwizują dane z LHC, dokonują wstępnych obliczeń i analiz zgromadzonego materiału. Z kolei Tier-2 to około 140 mniejszych centrów obliczeniowych zlokalizowanych w 34 krajach na całym świecie, które zajmują się przeprowadzaniem symulacji komputerowych opartych na danych empirycznych zgromadzonych w Tier-0 i Tier-1 oraz wspomaganą cyfrowo teoretyczną analizą danych przeprowadzaną przez ponad 8000 fizyków. Dzięki takiej infrastrukturze naukowcy z całego świata zajmujący się badaniem fizyki cząstek elementarnych mają możliwość dostępu, niemalże w czasie rzeczywistym, do danych uzyskiwanych w LHC oraz do ich analizy.

Uzyskanie wyników dotyczących odkrycia bozonu Higgsa wymagało użycia kilkunastu różnych programów komputerowych służących do przeprowadzania analiz danych empirycznych, całej mocy obliczeniowej Tier-0, siedmiu centrów obliczeniowych Tier-1 i pięćdziesięciu centrów Tier 2. Przeanalizowano w sumie około 30 PB danych empirycznych, używając do tego mocy obliczeniowej 300 000 procesorów oraz zużywając 170 PB przestrzeni dyskowej. Dane te uzyskało i analizowało ponad 2800 naukowców ze 178 ośrodków naukowych.

Warto jeszcze raz podkreślić, że 30 PB to tak olbrzymie ilości informacji, że bez użycia mocy obliczeniowej w przybliżeniu równej 300 000 komputerów nie sposób byłoby ich analizować. Można zatem stwierdzić, że LHC pracujący w CERN jest wielkim i złożonym układem eksperymentalnym, który nie mógłby funkcjonować bez wspomagania komputerowego. Bez użycia komputerów niemożliwe byłoby dojście do doniosłych poznawczo wyników uzyskanych w CERN w latach 2011–2012.

Tak więc bez wspomagania komputerowego wielu doniosłych, współczesnych eksperymentów naukowych nie można byłoby przeprowadzić i to z dwóch powodów. Mamy do czynienia ze zbyt dużą ilością danych empirycznych napływających jednocześnie ze zbyt wielu urządzeń pomiarowych, a ponadto przeprowadzenie współczesnych badań eksperymentalnych związane jest z koniecznością użycia bardzo precyzyjnych systemów sterowania skomplikowanymi urządzeniami wykonawczymi. Tak więc, chcąc współcześnie prowadzić poznawczo ważne badania eksperymentalne, nieodzowny jest komputer jako bardzo istotna część układu eksperymentalnego. Jego zadaniem jest precyzyjne sterowanie przebiegiem eksperymentu oraz szybkie pobieranie danych empirycznych z wielu urządzeń pomiarowych.

Z przytoczonych informacji dotyczących ilości przetwarzanych danych empirycznych w eksperymencie prowadzonym z użyciem LHC widać także, że nie tylko sam eksperyment, ale także analizy teoretyczne polegające m.in. na porównywaniu danych empirycznych z wyprowadzonymi z modeli teoretycznych prognozami, byłyby niemożliwe bez wspomagania komputerowego. Gdyby bowiem jeden fizyk chciał przeanalizować 30 PB znaczących danych empirycznych, to samo ich czytanie zajęłoby mu około 510 mld lat przy założeniu, że będzie czytał 100 stron znormalizowanego maszynopisu A4 dziennie.

Do tego należałoby doliczyć kolejne setki miliardów lat potrzebnych na analizę danych oraz ich interpretację w świetle obowiązujących koncepcji teoretycznych.

Widać zatem, że współczesnych badań naukowych (eksperymentalnych i teoretycznych bazujących np. na skomplikowanych symulacjach komputerowych przetwarzających olbrzymie ilości danych empirycznych) nie dałoby się prowadzić bez udziału cyfrowych technik akwizycyjnych, sterujących oraz obliczeniowych, których elementem kluczowym są bardzo szybkie i wydajne komputery zorganizowane w architektury sieciowe.

Czy zatem możemy mówić o cyfrowej rewolucji w nauce? Na to pytanie postaram się odpowiedzieć w ostatniej części artykułu po wcześniejszym przypomnieniu klasycznej już koncepcji rewolucji w nauce.

3. Rewolucje w nauce

Autorem najbardziej znanego, klasycznego już dzisiaj modelu rewolucji naukowej, przedstawionego w 1962 roku w książce *Struktura rewolucji naukowych*, jest Thomas S. Kuhn. Jego poglądy są tak dobrze znane, że nie będę ich szczegółowo referował⁷. Przytoczę jedynie te wątki z jego dorobku, które posłużą do udzielenia odpowiedzi na pytanie, czy pod koniec XX wieku miała miejsce cyfrowa rewolucja naukowa.

Według Kuhna w okresie tzw. nauki normalnej konstituowana jest ona przez jakiś paradygmat, którym są „powszechnie uznawane

⁷ Omawiając poglądy Kuhna, wykorzystam opracowanie (Jodkowski, 1990), gdyż wydobywa ono podstawowe składniki koncepcji Kuhna istotne dla poruszanej przeze mnie problematyki.

osiągnięcia naukowe, które w pewnym czasie dostarczają społeczności uczonych modelowych problemów i rozwiązań” (Kuhn, 2009, s. 10). W opinii Kazimierza Jodkowskiego przez Kuhnowski paradygmat można rozumieć „tradycję badawczą, linię myślenia, która niesie szereg wskazówek grupie uczonych, w jaki sposób mają podchodzić do zjawisk, jak je analizować, jakiego rodzaju efektów oczekiwać, jakie typy eksperymentów wykonywać i jakiego zbioru metod używać. Paradygmat dostarcza sposobu widzenia problemów i sugeruje, jakie rodzaje techniki są właściwe oraz jakie rodzaje rozwiązań są akceptowane” (Jodkowski, 1990, s. 140).

Współcześnie zwraca się uwagę na dwa podstawowe znaczenia terminu „paradygmat”. Pierwsze z nich to tak zwana macierz dyscypliny naukowej. Jest to zbiór przekonań, wartości i technik podzielanych przez członków danej wspólnoty naukowej. Kuhn wymienił cztery typowe składniki macierzy dyscypliny naukowej: symboliczne generalizacje (prawa naukowe wyrażone najczęściej w postaci matematycznej), przekonania metafizyczne (dotyczące istnienia atomów, pola sił, wiara w ciepło jako substancję czy – jako energię ruchu itp.), wartości teoretyczne (dokładność, zakres przewidywań, kwantytatywność, prostota, wewnętrzna spójność, wiarygodność, płodność, społeczna użyteczność itp.) i modelowe rozwiązania (wzorce rozwiązywania łamigłówek). Wzorce te uczynił Kuhn swoim drugim rodzajem paradygmatu (por. Jodkowski, 1990, s. 143–147).

Tak więc, paradygmat w sensie szerszym jest zbiorem przekonań, wartości i technik naukowych utrzymywanych przez wspólnotę naukową. W znaczeniu węższym zawiera się w poprzednim i jest to wzorec rozwiązywania problemów. Na podstawie zbioru rozwiązań konkretnych przykładowych problemów uczony, w ramach nauki normalnej, rozwiązuje nowo napotymane problemy.

Kuhn uważał także, że teorie po sobie następujące, oddzielone od siebie rewolucją naukową, są niewspółmierne, tj. w pewnym sensie różne, odmienne, nieporównywalne (por. Jodkowski, 1990, s. 309–313). Jodkowski wyróżnia cztery poziomy niewspółmierności u Kuhna. Są to: zmienność obserwacyjna, zmienność językowa, zmienność metodologiczna i zmienność ontologiczna (por. Jodkowski, 1990, s. 328–379). Uczeni stojący na gruncie odmiennych paradygmatów mogą inaczej postrzegać świat. Jeśli ich obserwacje są odmienne, to akceptowane przez nich teorie są niewspółmierne. Kuhn sporo miejsca poświęca zmienności językowej, tj. problemowi zmiany znaczeń terminów naukowych przy przejściu od jednej teorii do drugiej. Niewspółmierność, tj. brak wspólnej miary, oznacza w tym przypadku brak wspólnego języka. Zmiana paradygmatu prowadzi także do nowych poglądów na temat badanego przedmiotu, do formułowania nowych praw, hipotez, do odkrywania nowych faktów. Co więcej, przy zmianie paradygmatu pewne ważne dotąd problemy naukowe mogą stać się drugorzędne i odwrotnie, niektóre marginalne pytania stają się kwestiami zasadniczymi. Ponadto niektóre problemy przestają być problemami naukowymi, a niektóre zagadnienia spoza nauki stają się naukowymi (np. odpowiednio, problem mechanicznego modelu podłoża fal elektromagnetycznych, tj. eteru, oraz problem pochodzenia grawitacji u Newtona i Einsteina). Wraz ze zmianą paradygmatu zmieniają się nie tylko problemy, ale także standardy ocen naukowych. To, co w ramach jednego paradygmatu jest wartościowe, dla innego może być bezwartościowe lub przynajmniej obojętne.

Jednym ze składników paradygmatu w sensie szerszym (tzw. macierzy dyscypliny naukowej) są modele ontologiczne mówiące o strukturze świata. Można wyróżnić dwa rodzaje zmienności ontologicznej. Pierwszy z nich polega na tym, że nowa teoria odmiennie

strukturalizuje ten sam świat. Drugi rodzaj zmienności ontologicznej występuje wtedy, gdy nowa teoria postuluje istnienie nowych rodzajów przedmiotów, zjawisk, zdarzeń itd. Są one nowe w tym sensie, że nie tylko nie istniały, ale i nie mogły istnieć zgodnie z ontologią dawnej teorii. Może być także na odwrót, tzn. gdy nowa teoria zaprzecza możliwości istnienia przedmiotów postulowanych przez teorię dotychczasową (np. rezygnacja z pojęcia eteru w fizyce relatywistycznej) (por. Jodkowski, 1990, s. 371–379).

Warto także podkreślić, że nauka według Kuhna ma charakter wspólnotowy⁸, a to oznacza, że żadne indywidualne odkrycie nie ma szans przekształcenia się w odkrycie naukowe, jeśli nie zostanie jako takie zaakceptowane przez wspólnotę naukową. Ponadto w trakcie rozwoju nauki zmienia się także zespół problemów uznawanych za naukowe. Po rewolucji naukowej niektóre problemy mogą zostać odrzucone jako pseudoproblemy; może także zmieniać się ich waga dla rozważań naukowych. Konsekwencją tego jest fakt zmiany kryteriów ocen, a przynajmniej kryteriów naukowości. Przed i po rewolucji różne mogą być także metody i standardy rozwiązywania problemów (por. Jodkowski, 1990, s. 551–555).

Zmiany normalne w nauce, według Kuhna, polegają na kumulatywnym przyroście wiedzy, dodaniu nowej do już istniejącej. Zmiany natury rewolucyjnej dotyczą odkryć, których nie można opisać za pomocą pojęć używanych przed dokonaniem tych odkryć. Nie można wzbogacić nauki o to rewolucyjne odkrycie i nie można tego odkrycia dokonać bez zmiany sposobu myślenia i opisywania pewnego zakresu zjawisk przyrodniczych (por. Jodkowski, 1990, s. 166). „W więk-

⁸ Warto przypomnieć, że z taką właśnie sytuacją mamy do czynienia podczas gromadzenia danych w ramach złożonych eksperymentów oraz obróbki danych dzięki wykorzystaniu cyfrowych infrastruktur sieciowych (np. WLCG). Innymi słowy, to właśnie cyfrowa komunikacja internetowa umożliwia taką wspólnotową pracę bardzo dużych grup naukowców.

szości przypadków rewolucja poprzedzona jest przez kryzys – powszechną świadomość w ramach grupy uczonych, że uprawianie nauki normalnej napotyka na coraz więcej trudności, anomalii. Kryzys taki jednak nie zawsze jest konieczny. Czasami rewolucję wywołuje zastosowanie nowego instrumentu badawczego, jak mikroskop elektronowy, czy teoretycznego, jak prawa Maxwella, które zostały rozwinięte w innej dziedzinie, wewnątrz innego paradygmatu” (Jodkowski, 1990, s. 174).

Kuhn zauważył ważny fakt, że doskonalenie sprzętu pomiarowego i badawczego wywiera wpływ na teorie naukowe, jednakże nie docenił należycie znaczenia rozwoju aparatury badawczej. Sam zaznacza w *Strukturze rewolucji naukowych*, że poza przygodnymi wzmiankami nie omawia roli, jaką w rozwoju nauki odgrywa postęp techniczny (por. Kuhn, 2009, s. 13). Przypuszcza jednak, „że dokładne rozpatrzenie tych kwestii (...) w istotnym wymiarze pogłębiłoby analizę i rozumienie postępu naukowego” (Kuhn, 2009, s. 13–14).

4. Podsumowanie

Jeśli paradygmat Kuhna rozumieć w węższym sensie, jako wzorzec rozwiązywania konkretnych problemów akceptowany przez wspólnotę naukową, to bazującej na nim koncepcji rewolucyjnej zmiany, jako przeformułowania takiego wzorca, użyć można do udzielenia odpowiedzi na pytanie, czy komputer zrewolucjonizował badania naukowe. Uzyskana odpowiedź z pewnością nie będzie jednoznaczna,

gdyż rozważania Kuhna są zasadniczo teoretycystyczne⁹. Nie analizuje on bowiem należycie pracy eksperymentalnej i związanych z nią problemów. Jeśli jednak weźmie się pod uwagę instrumentalne kryteria postępu w nauce, np. zdolność do stawiania i rozwiązywania łamigłówek, to nietrudno zauważyć, że potencjał w tym zakresie badań naukowych wspomaganych komputerowo jest znacznie większy niż badań prowadzonych bez takiego wspomaganie. Nowy paradygmat zwykle wyjaśnia ich więcej i dokładniej niż stary, z czym mamy niewątpliwie do czynienia w przypadku badań naukowych wspomaganych komputerowo.

Tak więc zastosowanie komputera w naukach empirycznych byłoby rewolucyjne wówczas, gdyby większość naukowych problemów rozwiązywana była za pomocą systemów komputerowych. Z takim właśnie zjawiskiem mamy do czynienia od lat osiemdziesiątych XX wieku, gdy powszechnie zaczęto stosować w naukach empirycznych systemy komputerowego wspomaganie badań eksperymentalnych. Współcześnie zaś większość tego typu badań prowadzona jest przy użyciu komputerów. Ponadto komputery są narzędziami badawczymi umożliwiającymi współczesne badania eksperymentalne (por. Leciejewski, 2013, s. 107–115). Zatem, nawet gdy rewolucję rozumieć jako zmianę wzorca rozwiązywania problemów naukowych i uwzględnić instrumentalne kryteria postępu, to niewątpliwie mamy do czynienia ze znacznym postępem w przypadku badań naukowych wspomaganych komputerowo, a przejście od analogowych do cyfrowych badań empirycznych można uznać za zmianę rewolucyjną, całkowicie bowiem zmienił się sposób rozwiązywania konkretnych problemów badawczych.

⁹ „Teoretycyzm jest stanowiskiem, którego zwolennicy uważają, iż zmatematyzowane nauki empiryczne są zbiorem teorii, a teorie naukowe są dobrze zdefiniowanymi przedmiotami” (Zeidler, 1994, s. 89).

Warto przypomnieć, że współcześnie to nie eksperymetatorzy, ale komputery precyzyjnie sterują przebiegiem eksperymentów, zbieraniem danych empirycznych i ich gromadzeniem. Proces obróbki danych empirycznych odbywa się także za pomocą konkretnych programów komputerowych, zaś proste prawa fenomenologiczne mogą być formułowane bez użycia podmiotu eksperymentującego. Tak więc współcześnie mamy do czynienia z komputerowym wzorcem rozwiązywania problemów naukowych. Bez wprowadzenia komputerów do układu eksperymentalnego, wielu problemów nie można by rozwiązać, a nawet postawić (np. problemu wartości energii bozonu Higgsa).

Ponadto dzięki komputerowemu wspomagananiu badań doświadczalnych, eksperymetatorzy są w stanie dostrzec znacznie więcej nowych rodzajów przedmiotów, zjawisk i zdarzeń. Bez wspomaganiania komputerowego eksperymenty z zakresu współczesnej fizyki cząstek elementarnych nie mogłyby być przeprowadzane (co w skrócie opisałem na przykładzie LHC). Nie można byłoby dostrzec szybkozmiennych procesów związanych z rozpadem cząstek elementarnych i identyfikacją nowego bytu – bozonu Higgsa. Dzięki komputerowemu wspomagananiu rozszerza się świat (więcej można zbadać z użyciem komputerów), w którym naukowcy prowadzą swoje badania, co pociąga za sobą zmiany natury ontologicznej. Świat, w którym eksperymentuje się ze wspomaganieniem cyfrowym, jest niewspółmierny ontologicznie ze światem, w którym prowadzono eksperymenty bez wspomaganiania komputerowego. Inne są także metody pracy naukowej w ramach eksperymentów analogowych i cyfrowych. W pracy eksperymentalnej wspomaganianej komputerowo uwzględniać trzeba konsekwencje metodologiczne wprowadzenia elementów cyfrowych w układzie eksperymentalnym (por. Leciejewski, 2013, s. 63–75). Inny jest także status eksperymentatora w tego typu badaniach (por. Leciejewski, 2013, s. 76–93). Analiza metodologiczna eksperymen-

tów wspomaganych komputerowo jednoznacznie sugeruje ich odmiennosc od eksperymentów klasycznych (por. Leciejewski, 2013, s. 62–93). Mamy zatem do czynienia także ze zmiennością (niewspółmiernością) metodologiczną, gdy przechodzimy od analogowych do cyfrowych badań eksperymentalnych.

Można także zauważyć pewne cechy zmienności (niewspółmierności) obserwacyjnej. Uczni używający w swojej pracy badawczej komputerów myślą o świecie jako informacji, którą za pomocą komputera można z tego świata wydobyć (por. Leciejewski, 2013, s. 115–121). Wcześniej, gdy nie było systemów komputerowego wspomagania badań naukowych, świat nie był tylko „informacją do przetworzenia” (Bolter, 1990, s. 43), nie „składał” się z bitów, ale raczej z atomów itp. Po cyfryzacji badań naukowych inna jest nie tylko postulowana ontologia (z większą ilością badanych obiektów), ale także inaczej postrzega się świat (bity zamiast atomów), co wskazuje na zmienność (niewspółmierność) obserwacyjną. Może to sugerować także inne sposoby artykulacji świata (np. zera i jedyńki w cyfrowych bazach danych empirycznych zamiast formuł analitycznych). Cyfrowy sposób pracy badawczej wymaga także cyfrowego zapisu poleceń i wyników. Ze względu jednak na liczne problemy dotyczące przetwarzania analogowo-cyfrowego oraz cyfrowo-analogowego, jednoznaczny przekład z analogowej na cyfrową (i odwrotnie) reprezentację świata nie jest możliwy (por. Leciejewski, 2013, s. 44–48, 60–61). Mogłoby to sugerować także niewspółmierność na poziomie językowym podczas przejścia z analogowego na cyfrowy sposób badania świata.

Próbując odpowiedzieć na pytanie, czy komputer zrewolucjonizował badania naukowe w kontekście propozycji Kuhna, warto przyrzeć się także problemowi anomalii. W tym przypadku nie mamy do czynienia z rewolucją poprzedzoną przez wyraźny kryzys, ale raczej

z rewolucją wywołaną przez zastosowanie nowego instrumentu badawczego (por. Kuhn, 2009, s. 13–14). Tym nowym instrumentem badawczym jest komputer i możliwości użycia go do sterowania przebiegiem eksperymentów oraz jako urządzenia służącego do akwizycji i cyfrowego (teoretycznego) przetwarzania napływających danych eksperymentalnych. Komputer jednak nie został wykorzystany do przebudowy jakiejś teorii, ale radykalnie zmienił sposób pracy naukowej. W tym kontekście można zatem sugerować zmianę paradygmatu w badaniach eksperymentalnych bez paradygmatycznej zmiany w teorii (np. podstawą nowatorskich, skomputeryzowanych eksperymentów w CERN jest historyczny już standardowy model cząstek elementarnych). Jest to wniosek dość specyficzny w kontekście kryteriów rewolucji zaproponowanych przez Kuhna. Co więcej, autor ten, jak już zauważyłem, nie omawia roli, jaką w rozwoju nauki odgrywa postęp techniczny (por. Kuhn, 2009, s. 13), a jest to, jak się wydaje, współcześnie bardzo ważny element determinujący rozwój nauki. Jej cyfryzacja doprowadziła bowiem do zmian rewolucyjnych, których nie da się jednoznacznie oraz precyzyjnie opisać w aparacie pojęciowym autora *Struktury rewolucji naukowych*.

Jak wynika z powyższych analiz można stwierdzić, że na przełomie XX i XXI wieku mieliśmy do czynienia z radykalną zmianą pracy naukowej (zarówno tej o charakterze teoretycznym, jak i eksperymentalnym). Komputery bowiem umożliwiły prowadzenie skomplikowanych eksperymentów naukowych oraz złożonych cyfrowych symulacji. Można zatem mówić o cyfrowej rewolucji naukowej, której szczegółowe analizy cały czas czekają na swojego autora (książka o tytule *Struktura cyfrowej rewolucji naukowej* cały czas czeka na opracowanie).

Bibliografia

- Białyński-Birula, I. i Białyńska-Birula, I., 2007. *Modelowanie rzeczywistości. Jak w komputerze przegląda się świat*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.
- Bolter, J.D., 1990. *Człowiek Turinga. Kultura Zachodu w wieku komputera*. Warszawa: PIW.
- Giza, P., 2006. *Filozoficzne i metodologiczne aspekty komputerowych systemów odkryć naukowych*. Lublin: Wydawnictwo UMCS.
- Jodkowski, K., 1990. *Wspólnoty uczonych, paradygmaty i rewolucje naukowe*. Lublin: Wydawnictwo UMCS.
- Krasiński, A., 2016. *O dwóch kulturach nauk przyrodniczych: teoretycznej i eksperymentalnej. Studium z filozofii i metodologii przyrodoznawstwa*. Poznań: Wydawnictwo Naukowe Wydziału Nauk Społecznych UAM.
- Kuhn, T.S., 2009. *Struktura rewolucji naukowych*. Warszawa: Aletheia.
- Kulka, J., 2009. Techniczne aspekty zderzacza LHC. *Postępy Fizyki*, 60(3), ss. 109–118.
- Leciejewski, S., 2013. *Cyfrowa rewolucja w badaniach eksperymentalnych. Studium metodologiczno-filozoficzne*. Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM.
- Nowina-Konopka, M., 2012. Bozon Higgosa zarejestrowany w eksperymentach ATLAS i CMS. *Postępy Fizyki*, 63(3), ss. 98–99.
- Nowina-Konopka, M., 2014. CERN – poszukiwania antymaterii. *Postępy Fizyki*, 64(1-6), ss. 30–34.
- Zeidler, P., 1994. Nowy eksperymentalizm a teoretycyzm. Spór o przedmiot i sposób uprawiania filozofii nauki. W: Sobczyńska, D. i Zeidler, P. red. *Nowy eksperymentalizm – teoretycyzm – reprezentacja*. Poznań: Wydawnictwo Naukowe IF UAM, ss. 87–108.

Biopsychologiczne podstawy poznania geometrycznego*

Mateusz Hohol

Sekcja Kognitywistyki, Instytut Filozofii i Socjologii PAN;
Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych

Biopsychological foundations of geometric cognition

Abstract

In this review-paper, I focus on biopsychological foundations of geometric cognition. Starting from the Kant's views on mathematics, I attempt to show that contemporary cognitive scientists, alike the famous philosopher, recognize mutual relationships of visuospatial processing and geometric cognition. What I defend is a claim that Tinbergen's explanatory questions are the most fruitful tool for explaining our "hardwired," and thus shared with other animals, Euclidean intuitions, which manifest themselves in spatial navigation and shape recognition. I claim, however, that these "hardwired intuitions" cannot capture full-blooded Euclidean geometry, which demands practice with cultural artifacts in various time-scales.

* Niniejszy artykuł powstał w ramach grantu „Mechanizmy poznania geometrycznego” (2015/19/B/HS1/03310) przyznanego mi przez Narodowe Centrum Nauki. Dziękuję za wszystkie cenne uwagi, jakie otrzymałem od uczestników posiedzenia Komisji Filozofii Nauk PAU (Kraków, 18.01.2016), gdzie przedstawiłem wstępną wersję artykułu.

Keywords

cognitive science of mathematics, cognitive maps, cultural artifacts, core cognitive systems, geometric cognition, scientific explanation.

1. Wprowadzenie

Zgodnie z tezą Immanuela Kanta, przestrzeń i czas są wewnętrznymi kategoriami ludzkiego umysłu, które są – w pewnym uproszczeniu – „nakładane” na wrażenia zmysłowe. W takim ujęciu czas i przestrzeń organizują poznanie, nie tylko potoczne, ale również poznanie matematyczne. Kategoria przestrzeni, zdaniem Kanta, stanowi podstawę dla geometrii, zaś kategoria czasu dla arytmetyki:

Otóż przestrzeń i czas są tymi danymi naocznymi (*Anschauungen*), które czysta matematyka kładzie u podstaw wszystkich swych poznań i sądów, występujących zarazem jako apodyktyczne i konieczne. Matematyka bowiem musi wszystkie swe pojęcia przedstawić najpierw w naoczności [...]. Geometria kładzie u [swych] podstaw czystą naoczność przestrzeni. Arytmetyka nawet swoje pojęcia liczb wytwarza przez kolejne dołączanie jednostek w czasie (Kant, 1993, s. 34).

Ideę Kanta przejęli i rozwinęli filozoficzni konstruktywiści i intuicjoniści matematyczni (zob. Brouwer, 1975; Dadaczyński, 1999; Urbańczyk, 2014). Co więcej, w ostatnich latach stała się ona inspiracją dla jednego z wiodących programów badawczych w ramach kognitywistyki matematyki, który polega na poszukiwaniu związków, a niekiedy nawet wspólnych mechanizmów, poznawczego przetwarzania czasu i przestrzeni oraz ludzkich zdolności matematycznych (Dehaene i Brannon, 2010). W niniejszym artykule skoncentruję się na

rdzennym, czy też rudymenarnym, poznaniu geometrycznym, wskazując jego podstawy biopsychologiczne oraz ich rolę w przyswajaniu dojrzałej geometrii euklidesowej. Moim celem jest nie tylko identyfikacja, ale również wyjaśnienie naszych naturalnych kompetencji geometrycznych oraz zarysowanie „punktów”, w których modyfikowane są one przez artefakty kulturowe.

Plan niniejszego artykułu przeglądowego jest następujący: w kolejnej sekcji zaprezentuję dwa przypadki rdzennego poznania geometrycznego oraz Tinbergenowską strategię eksplanacyjną. Dalsze części poświęcone będą omówieniu poznawczych badań nad geometrią, a wreszcie aplikacji strategii Tinbergenowskiej do wyjaśnienia rdzennego poznania geometrycznego: omówię systemy umysłowe związane z tym typem poznania, jego ontogenezę, wartość przystosowawczą (ewolucyjną) oraz filogenezę. Pokażę przy tym, że reprezentacje generowane przez wspomniane systemy, które – zgodnie z sugestią Dehaene’a i Brannon (2010) postrzegać można jako kantowskie „prekwizyty” – są konieczne, ale niewystarczające do wejścia człowieka (zarówno w skali ewolucyjnej, jak i ontogenetycznej) w świat matematycznej geometrii euklidesowej.

2. Naturalna czułość na geometrię: studia przypadków

Badając zdolność dorosłych szczurów do reorientacji, Cheng (1986) zastosował następujący paradygmat eksperymentalny: w każdej próbie gryzoń najpierw zapoznawał się z prostokątnym wybiegiem, gdzie w jednym z rogów ukryta była nagroda (pożywienie). Następnie zwierzę było dezorientowane (celem manipulacji było zaburzenie jego wiedzy egocentrycznej). Badaczka interesowało, czy szczur bę-

dzie w stanie odzyskać orientację na podstawie wiedzy allocentrycznej, a w konsekwencji znaleźć nagrodę. Cheng zastosował dwa warunki eksperymentalne: w pierwszym z nich w wybiegu umieszczono wskazówki percepcyjne (różne kolory ścian, zaciemnienie areny, zapach); w drugim warunku wskazówki takie były nieobecne – gryzonie miały do dyspozycji jedynie geometrię wybiegu. Cheng założył, że jeśli szczury potrafią orientować się ze względu na geometrię, nie będą poszukiwać (po dezorientacji) nagrody chaotycznie we wszystkich rogach, ale tylko w poprawnym miejscu albo w – identycznym geometrycznie – rogu po przekątnej. Okazało się, że niezależnie, czy w wybiegu obecne były niegeometryczne wskazówki percepcyjne, czy nie, niewytrenowane zwierzęta istotnie popełniały błędy rotacyjne: nawet gdy wskazówka była wyrazista, nie potrafiły zawęzić poszukiwań do poprawnego rogu (poszukiwały również w przeciwnym), ale nie kierowały swoich poszukiwań na dwa pozostałe rogi. Wykorzystanie wskazówek innych niż geometria do reorientacji w prostokątnym wybiegu wymagało od gryzoni długotrwałego treningu. Wyniki Chenga wskazują, że geometria środowiska stanowi podstawową informację wykorzystywaną przez gryzonie w orientacji przestrzennej. Możliwe jest to dzięki naturalnej czułości na własności geometryczne: odległość (proksymalny-dystalny) oraz kierunek (lewo-prawo).

Wyniki Chenga (1986) zostały zreplikowane (Margules i Gallistel, 1988), a analogiczny paradygmat wykorzystano również w badaniach z udziałem innych zwierząt, w tym także ludzi (zob. przegląd badań w Thinus-Blanc, Chabanne i in., 2010). W jednym z nich Hermer i Spelke (1994; 1996) przebadaly 18–24 miesięczne dzieci oraz dorosłych studentów. Również w tym wypadku zastosowano dwa warunki: w jednym z nich osoby badane mogły korzystać z dodatkowych wskazówek percepcyjnych (ściana pomalowana na niebiesko, zabawkowa ciężarówka, pluszowy miś), w drugim zaś mogły polegać je-

dynie na geometrii prostokątnego pomieszczenia. W tym ostatnim warunku zachowanie osób dorosłych i dzieci było analogiczne do zachowania niewytrenowanych dorosłych szczurów w eksperymencie Chenga: ludzie niezależnie od wieku popełniali błędy rotacyjne, ale nie szukali ukrytego obiektu w dwóch pozostałych rogach. W pierwszym warunku natomiast zaobserwowano, że osoby dorosłe, w przeciwieństwie do dzieci, z łatwością wykorzystywały dodatkową wskazówkę percepcyjną, aby zawęzić poszukiwania jedynie do poprawnego rogu. Dorosłe osoby potrafiły więc wykonywać spontanicznie działanie, które możliwe było dla szczurów tylko po długotrwałym treningu w prostokątnym wybiegu.

Wykorzystanie geometrii środowiska w orientacji przestrzennej nie jest jedynym przejawem naturalnego poznania geometrycznego, obserwowanym u ludzi i u innych zwierząt. W psychologii od dawna badana jest – zarówno ludzka, jak i zwierzęca – zdolność do rozróżniania i rozpoznawania dwuwymiarowych kształtów i niewielkich trójwymiarowych obiektów (Gibson, 1969). Choć specjaliści zajmujący się percepcją wzrokową do niedawna twierdzili, że gryzoni przetwarzają tego typu obiekty wykorzystując cechy niskopoziomowe – szczury wykorzystują do rozróżniania figur geometrycznych raczej lokalną luminancję niż całościowy kształt (Minini i Jeffery, 2006) – wyniki z końca pierwszej dekady XX wieku przeczą temu pogładowi. Jak pokazali Zoccolan i wsp. (2009), szczury potrafią bowiem rozpoznawać tożsamość obiektów wzrokowych pomimo zmiany ich rozmiaru oraz obrotu. Wynik ten wskazuje na zaangażowanie wysokopoziomowych mechanizmów poznawczych, umożliwiających całościowe przetwarzanie kształtu obiektów.

W przypadku ludzi zagadnienie to przebadane zostało dokładnie przez Izard i Spelke (2009) w studium z udziałem 4–10 letnich dzieci oraz osób dorosłych. W każdej próbie zadaniem osób badanych było

wybranie jednej z sześciu prezentowanych L-kształtnych figur, która nie pasuje do pozostałych: pięć figur dzieliło tę samą własność geometryczną, zaś szósta różniła się pod względem długości, kąta lub kierunku. Okazało się, że nawet najmłodsze dzieci, podobnie jak osoby dorosłe, sprawnie przetwarzają kąty i długość, jednak – w przeciwieństwie do dorosłych (zob. Cooper i Shepard, 1973) – nie potrafią rozróżnić figury od jej lustrzanego odbicia, co wskazuje na trudność w wykrywaniu kierunku. Wprawdzie wykonanie prób (zarówno pod względem poprawności odpowiedzi, jak i czasu reakcji) wymagających tej ostatniej zdolności poprawia się z wiekiem, jednak wykorzystanie – zupełnie niedostępnej dla dzieci – geometrycznej własności kierunku sprawia, co widać w czasach reakcji oraz poprawności wykonania, trudność nawet osobom dorosłym. Wyniki Izard i Spelke (2009) sugerują więc, że naturalna czułość na geometrię niewielkich form wzrokowych ogranicza się do własności kątowych i długości. Co więcej, w świetle wyników badań przeprowadzonych przez Dehaene’a i wsp. (2006) z wykorzystaniem tego paradygmatu i z udziałem członków amazońskiego plemienia Mundurucu (dzieci oraz osób dorosłych), powyższe wnioski zdają się mieć charakter ponadkulturowy, co wzmacnia tezę o naturalnym, ale zarazem ograniczonym charakterze rudymenarnego poznania geometrycznego. Omówione w tej sekcji wyniki stanowią *explanandum*, czyli zjawisko domagające się wyjaśnienia.

3. Wyjaśnianie w naukach o umyśle i zachowaniu

Większość dyskusji filozoficznych skupionych wokół problematyki wyjaśniania naukowego rozpoczyna się od zreferowania strategii Hempla-Oppenheim (Hempel i Oppenheim, 1948). W takim uję-

ciu wyjaśnienie polega na przeprowadzenia rozumowania, w którym mające treść empiryczną przesłanki stanowią *explanans*, wniosek to *explanandum*, a pośród przesłanek znajduje się przynajmniej jedno prawo przyrody (Grobler, 2006). Stąd też ujęcie to często nazywa się dedukcyjno-nomologicznym. Zgodnie z obiegowym poglądem, o ile strategia Hempela-Oppenheima dobrze sprawdza się w fizyce (czy ogólniej w dyscyplinach, które formułują prawa), o tyle jej zastosowanie w biologii, psychologii, neuronauce czy kognitywistyce jest w najlepszym wypadku dość ograniczone (Hohol, 2017).

W ostatnich dekadach dominującym poglądem na wyjaśnianie w tych dyscyplinach nauki jest mechanicyzm (czasem dla odróżnienia od idei nowożytnych mówi się od neomechanicyzmu). Choć czołowi zwolennicy tego stanowiska (Bechtel, 2008; Craver i Darden, 2013; Glennan, 2002; Kaplan, 2011; Miłkowski, 2013) różnią się w szczegółach, wszyscy zgadzają się co do tego, że wyjaśnienia mechanistyczne jest formą wyjaśniania przyczynowego, w którym dyspozycja układu złożonego z wielu części (mechanizmu) opisywana jest jako „rezultat oddziaływania między częściami mechanizmu, jego organizacji i zachodzących w nim procesów” (Miłkowski, 2014, s. 153). Wspomnieć należy również o znanej idei Mayra (1961), zgodnie z którą wyjaśnienia w naukach biologicznych odwołują się do czynników bezpośrednich (przyczynowych) oraz ultymatywnych (ewolucyjnych). Idea ta nie jest sprzeczna z (neo)mechanicyzmem – przynajmniej część czynników bezpośrednich wyjaśniana może być bowiem w kategoriach mechanistycznych (Miłkowski, 2016).

W oparciu o podejście Mayra dokonać można dalszych dystynkcji. Prawdopodobnie najbardziej znanego podziału dokonał Tinbergen (1963). Jego zdaniem wyjaśnienie zachowania wymaga odpowiedzi na cztery pytania, dotyczące różnych jego aspektów: (1) „jak to działa?” (pytanie o czynniki przyczynowe), (2) „jak to się rozwija?”

(pytanie o ontogenezę, czy też o rozwój osobniczy), (3) „jak zwiększa to przystosowanie?” (pytanie o wartość adaptacyjną), (4) „jak to wyewoluowało?” (pytanie o filogenezę). O ile pytania (1) oraz (2) odpowiadają Mayrowskim czynnikom bezpośrednim, o tyle pytania (3) i (4) czynnikom ultymatywnym. Przed próbą udzielenia odpowiedzi na te pytania w kontekście omówionych w poprzedniej sekcji studiów przypadków, wspomnieć należy o dwóch kwestiach. Po pierwsze, poszczególne aspekty wyjaśniania wyróżnione przez Tinbergena nie są oparte na ostrych dystynkcjach – możliwe jest więc wskazywanie powiązań między nimi Bateson i Laland, 2013. Po drugie zaś, możliwie pełna odpowiedź na poszczególne pytania wymaga wykorzystania danych z zakresu wielu dziedzin wiedzy: od psychologii i neuronauki poznawczej (pytanie 1), przez psychologię rozwojową (pytanie 2), komparatystykę międzygatunkową (pytanie 3), aż po robotykę kognitywną i behawioralną (pytanie 4). W kolejnej sekcji zajmę się pytaniem pierwszym: przyjrzę się próbom identyfikacji czynników przyczynowych, stojącego za rdzennym poznaniem geometrycznym.

4. Moduł geometryczny i mapy poznawcze

Jeśli chodzi o reorientację gryzoni w przestrzeni na podstawie geometrii otoczenia, sam Cheng (1986), a następnie Gallistel (1990) wyjaśnili tę zdolność postulując – zgodnie z ówczesnym trendem kognitywistyki – istnienie modułu geometrycznego w sensie Fodora (1983). Według Chenga i Gallistela moduł ten charakteryzuje się wąskim zakresem przetwarzania, kodując jedynie obserwowalne własności geometryczne środowiska, które mogą zostać wykorzystane do określania lokalizacji cech oraz obiektów. Nie przetwarza on natomiast informacji z modalności innych niż wzrokowa (np. intensywności za-

pachu), a także nierелеwantnych geometrycznie informacji wzrokowych, takich jak tekstura, luminancja czy współczynnik odbicia powierzchni.

Jak wiadomo, Fodor (1983) opisał ludzki umysł jako system złożony z procesów centralnych (czyli niemodularnych wysokopoziomowych struktur odpowiedzialnych za konceptualizację, rozumowanie czy podejmowanie decyzji) oraz modularnych systemów wejść, zwanych powszechnie modułami. Te ostatnie są działającymi, np. na wczesnych stadiach przetwarzania percepcyjnego strukturami, charakteryzującymi się wyspecjalizowaniem dziedziny, ograniczeniami w zakresie przetwarzanych informacji, automatycznością i dużą szybkością działania, płytkością obliczeniową, ustalonymi wzorcami ontogenetycznymi, lokalizacją mózgową oraz – powiązаныmi z tą ostatnią – charakterystycznymi skutkami uszkodzenia. O ile mi wiadomo, nikt nie przeanalizował dotychczas, czy postulowany przez Chenga i Gallistela moduł geometryczny charakteryzuje się wszystkimi cechami podawanymi przez Fodora. Wiadomo jednak, że ów postulowany system jest zbieżny przynajmniej z częścią charakterystyki modularnych struktur poznawczych (jak już widzieliśmy, jego obszar działania jest ograniczony, a działanie modułu ma charakter automatyczny).

Gallistel (1990) opisał działanie modułu geometrycznego w kategoriach obliczeniowych w odniesieniu do ograniczonej ilości parametrów przetwarzanych w czasie rzeczywistym oraz przechowywanych w pamięci. Stąd, jego zdaniem, „mózg zwierzęcia oblicza parametry kształtu, [...] dopasowując je do parametrów odpowiednich regionów mapy [poznawczej – przyp. M.H.]” (s. 178). Istnienie geometrycznych map poznawczych (czy też ramy metrycznej według terminologii Chenga) wyjaśniać ma zdolność wytrenowanych szczurów oraz dorosłych ludzi do wykorzystywania dodatkowych (niege-

ometrycznych) wskazówek percepcyjnych w celu reorientacji w przestrzeni. Odpowiedzialny za tę zdolność moduł geometryczny nie koduje bezpośrednio – o czym już wspomniałem – tych wskazówek, ale określa ich położenie na geometrycznej mapie poznawczej. Jak konkluduje Cheng (1986), „szczur nie używa cech [niegeometrycznych] wskazówek percepcyjnych – M.H.] niezależnie od określonej geometrycznie lokalizacji” (s. 173).

Samo pojęcie map poznawczych, czyli abstrakcyjnych niejęzykowych umysłowych reprezentacji przestrzeni, wprowadzone zostało już w pierwszej połowie XX wieku przez Tolmana (1932; 1948). Badając zachowania szczurów w labiryncie zauważył on, że cechują się one elastycznością poznawczą, której nie sposób wyjaśnić w oparciu o obowiązujący w ówczesnym behawioryzmie czysto asocjacyjny model uczenia się. Ze względu na brak odpowiednich metod badawczych, Tolmanowski postulat istnienia map poznawczych był wówczas jedynie śmiałą hipotezą. Sytuacja uległa zmianie pod koniec lat sześćdziesiątych XX wieku, gdy O’Keefe i jego współpracownicy rozpoczęli badania nad hipokampem (szczególnie nad strukturą CA1) przy użyciu nowatorskich, oczywiście jak na tamte czasy, technik neurofizjologicznych. Zlokalizowali oni pojedyncze neurony, nazywane komórkami miejsca, które aktywowały się jedynie wówczas, gdy szczur znajdował się w określonym punkcie wybiegu. Co więcej, stwierdzili oni, że komórki miejsca rozumieć należy jako neuronalne komponenty Tolmanowskich map poznawczych (O’Keefe i Dostrovsky, 1971; O’Keefe i Nadel, 1978).

Kolejne komponenty tego mechanizmu zlokalizowane w hipokampie i w sąsiadujących strukturach mózgowych, oraz operacje w jakie są one zaangażowane, odkrywane były w kolejnych dekadach, a intensywne badania nad tym zagadnieniem trwają do dziś. W szczególności na początku dwudziestego wieku May-Britt Moser, Edvard

Moser wraz ze wsp. odkryli w korze śródwęchowej komórki, które aktywowały się, gdy szczur znajdował się nie w jednej, jak w przypadku hipokampalnych komórek miejsca, ale w różnych lokalizacjach wybiegu (Fyhn i in., 2014). Kolejne badania pokazały, że aktywacje neuronów śródwęchowych układają się w wierzchołki sześciokąta i reprezentują punkty niewidzialnej siatki kartograficznej środowiska (Hafting i in., 2005). Stąd też badacze nazwali tę klasę neuronów komórkami siatki (ang. *grid cells*). O ile komórki miejsca zdolne są do reprezentowania aktualnej lokalizacji zwierzęcia, o tyle komórki siatki uważa się za kodujące również odległość i kierunek. Dziś wiadomo, że mechanizm map przestrzennych obejmuje także komórki graniczne, komórki kierunku oraz komórki prędkości (zob. niedawną pracę Mosera, Moser i McNaughtona (2017) dla przeglądu badań w ujęciu historycznym oraz mechanistyczną analizę filozoficzną przeprowadzoną przez Billa Bechtela (2016)).

Wracając do samej modularności poznania w sensie Fodora oraz modułu geometrycznego w ujęciu Chenga i Gallstela wypada powiedzieć, że nie przetrwały one próby czasu. Przykładowo, Prinz (2006) zauważa – a jego uwaga zdaje się być ważna także dla poznania geometrycznego – że trudno jest wskazać jakikolwiek system poznawczy, który spełniałby Fodorowskie kryteria. Co więcej, kryteria te nie zawsze są całkowicie rozłączne, a poszczególne z nich, np. płytkość obliczeniowa, rozumiane mogą być na różne sposoby (Beaulac, 2014). Nic więc dziwnego, że z oryginalnej idei Fodora, oraz jej krytyki, wyrosły konkurencyjne teorie modularności oraz takie, w których pomimo utrzymania części charakterystyki modularności, samo pojęcie „modułu” zostało zastąpione innymi, mniej obciążonymi, terminami.

Jeśli zaś chodzi o moduł geometryczny wskazuje się choćby na to, że mający być jego mózgowym „siedliskiem” hipokamp nie jest strukturą służącą jedynie do orientacji przestrzennej ze względu na

geometrię przestrzeni, ale zaangażowaną również w przetwarzanie niegeometrycznych wskazówek percepcyjnych (Sutton i Newcombe, 2014). Dodać wypada, że u kręgowców orientacja w przestrzeni realizowana jest nie tylko w oparciu o wskazówki wzrokowe, ale kluczową rolę dla tej zdolności odgrywa integracja multisensoryczna (Hohol, Baran i in., 2017). Co więcej, sam Cheng (wraz ze współpracownikami) z biegiem lat i przyrostem świadectw empirycznych zmieniał swój punkt widzenia (Cheng, Huttenlocher i Newcombe, 2013). Zasugerował on, że rozumienie modułu powinno zostać osłabione (Cheng i Newcombe, 2005), a nawet, że efekty wyjaśnianie dotychczas przez wysokopoziomowy moduł, wyjaśnić można przy pomocy niskopoziomowych modeli łączenia obrazów, znanych z badań na owadach (Cheng, 2008) (do kwestii tej również wrócę w kolejnej sekcji). I jeszcze ostatni problem: moduł geometryczny dostarcza potencjalnego wyjaśnienia reorientacji przestrzennej, która stanowi jednak, jak widzieliśmy w sekcji drugiej, tylko jeden z przejawów naturalnej czułości na geometrię. Nie mówi natomiast nic o czułości na geometrię małych obiektów wizualnych.

5. Rdzenne systemy poznania geometrycznego

Choć zaproponowana przez Chenga idea modułu geometrycznego w sensie Fodora nie przetrwała próby czasu, nie należy zaniedbywać jej roli heurystycznej oraz inspiracji, jaką dostarczyła ona badaczom biopsychologicznych podstaw poznania geometrycznego. O ile w przypadku badań nad poznaniem numerycznym istnieje kilka konkurencyjnych podejść (Dehaene, 2011; Hohol, Cipora i in., 2017; Lakoff i Núñez, 2000), w przypadku geometrii jedyną propozycją, która pretenduje do miana programu badawczego, jest zapropo-

wana i rozwijana przez Spelke i wsp. koncepcja rdzennych systemów (ang. *core system*) poznania geometrycznego (Carey i Spelke, 1996; Dillon, Huang i Spelke, 2013; Spelke, Lee i Izard, 2010). Choć propozycja ta wyrosła z tradycji modułu geometrycznego – w jednym z kluczowych badań omawianych w sekcji drugiej Hermer i Spelke (1996) używają wprost pojęcia modułu – na przestrzeni lat uzyskała własną tożsamość, dystansując się od koncepcji Fodora. Spelke i Kinzler (2007) charakteryzują systemy rdzenne – nie tylko geometryczne – następująco:

Systemy te służą do reprezentowania nieożywionych obiektów i ich mechanicznych interakcji, sprawczych podmiotów [ang. *agents* – przyp. M.H.] i działań nakierowanych na cel, zbiorów i liczbowych relacji uporządkowania, dodawania i odejmowania, a także lokalizacji przestrzennych i ich własności geometrycznych. Każdy z systemów wyposażony jest w system zasad, który służy indywidualizacji obiektów ze swojej dziedziny i wspomaga wnioskowanie na temat zachowania się przedmiotów. Co więcej, każdy system charakteryzuje się zbiorem ograniczeń, które umożliwiają badaczom jego identyfikację pomiędzy zadaniami, grupami wiekowymi, gatunkami oraz kulturami (s. 89).

Choć charakterystyka ta przywodzi na myśl Fodorowskie moduły, systemy rdzenne, jak pisze Horst (2016), „nie są prostymi systemami wczesnego przetwarzania wejść percepcyjnych, ale sposobami konceptualizacji i myślenia o świecie” (s. 54). W tym sensie przypominają one raczej Fodorowskie procesy centralne, a nie moduły. W odróżnieniu od procesów centralnych systemy rdzenne cechują się jednak specjalizacją dziedziny. Wspomnieć trzeba, że istnieją wprawdzie post-Fodorowskie ujęcia modularności, mam tu na myśli przede wszystkim „globalną modularność umysłu” (ang. *Massive Mental*

Modularity), przyjmowaną przez część psychologów ewolucyjnych (Samuels, 1998), które godzą ze sobą obydwie te cechy. Idea systemów rdzennych wydaje się jednak samodzielna, choćby dlatego, że zakłada istnienie niewielkiej liczby takich systemów, podczas gdy, jak zauważa Horst (2016), psychologowie ewolucyjni liczbę modułów szacują w setkach.

Zdaniem Spelke, Lee i Izard (2010) poznanie geometryczne „opiera się co najmniej na dwóch starych ewolucyjnie, wczesnych rozwojowo i uniwersalnych kulturowo systemach poznawczych, które wychwytyują informacje o kształcie otaczającego nas świata” (s. 865). Są nimi system geometrii przestrzennej, który wspiera orientację w środowisku oraz system geometrii obiektowej, który umożliwia przetwarzanie małych form wzrokowych oraz ruchomych obiektów. Prócz charakterystyki dziedziny działania, każdy z tych systemów rozpatrywać można pod kątem mózgowej implementacji (choć teoria opiera się głównie na wynikach eksperymentów behawioralnych, ma również podbudowę neuronaukową), przetwarzanych własności euklidesowych oraz ograniczeń.

Pierwszy z systemów – system geometrii przestrzennej – umożliwia abstrakcyjne reprezentowanie przestrzeni niezależnie od nierelevantnych geometrycznie informacji. Koduje on dwie z trzech podstawowych własności Euklidesowych: odległość oraz kierunek. Do jego neuronalnej bazy należą wspomniane przy okazji omawiania modułu geometrycznego: hipokamp i kora śródwęchowa (Moser, Moser i McNaughton, 2017; O’Keefe i Nadel, 1978), ale również struktury, takie jak: potyliczny obszar miejsca (Dilks i in., 2013) i kora retrosplenia (Maguire, 2001). Dzięki systemowi geometrii przestrzennej zwierzę jest w stanie ustalić swoją pozycję w przestrzeni oraz odnieść ją do lokalizacji innych obiektów. System ten nie wykazuje natomiast czułości na trzecią istotną własność geometryczną,

jaką jest kąt. Stąd też rozpoznawanie dwuwymiarowych form wzrokowych leży poza jego zasięgiem. Oznacza to, że choć system ten stanowi źródło intuicji geometrycznych, nie jest wystarczającą bazą całej dojrzałej geometrii euklidesowej. Odwołanie się do rdzennego systemu orientacji przestrzennej nie jest również wystarczające by wyjaśnić elastyczne łączenie informacji geometrycznych i niegeometrycznych wskazówek przestrzennych przez badane przez Spelke i Hermer (1994; 1996) osoby dorosłe (odniosę się do tej kwestii przy okazji pytania o ontogenezę poznania geometrycznego).

System geometrii obiektowej przetwarza natomiast dwuwymiarowe kształty oraz trójwymiarowe ruchome objekty lub manipulowalne przedmioty. Przetwarzanie to ma również abstrakcyjny charakter, ponieważ jest niezależne od orientacji (obrotu) oraz materiału, z którego zbudowane są objekty. Bazę mózgową systemu stanowią kora boczna potyliczna, bruzda potyliczno-skroniowa oraz zakręt wrzecionowaty (Grill-Spector, Kourtzi i Kanwisher, 2001; Kourtzi i Kanwisher, 2001). System ten przetwarza dwie z trzech podstawowych własności geometrycznych: długość i kąt. Jest natomiast nieczuły na kierunek, dlatego też nie jest on podstawowym systemem orientacji przestrzennej. Jeśli zaś chodzi o ograniczenia w swojej dziedzinie działania, ze względu na nieczułość na kierunek system geometrii obiektowej nie odróżnia figur (obiektów) od ich lustrzanych odbić. Zdaniem Spelke i wsp. (2010) system ten jest biopsychologiczną podstawą geometrii, ale odwołanie do niego nie jest wystarczające do wyjaśnienia ludzkich praktyk geometrycznych (matematycznych) w całej rozciągłości.

6. Ontogeneza poznania geometrycznego

Omówione wyżej niezależne od siebie rdzenne systemy geometryczne cechują się stałym i ponadkulturowym wzorcem wczesnej ontogenezy: ich niezależne działanie zaobserwować można już u ludzkich niemowląt (Dehaene-Lambertz i Spelke, 2015; Wang, Hermer i Spelke, 1999), niezależnie od szerokości geograficznej (Dehaene, Izard i in., 2006). Mówiąc prościej, ale zarazem tracąc na precyzji, systemy te postrzegać można jako wrodzone (Samuels, 2004). Choć owe systemy funkcjonują także w trakcie dorosłego życia jednostki, a generowane przez nie reprezentacje umysłowe (w tym pojęcia) tworzą fundamentalną i stabilną wiedzę o świecie, przedstawione w poprzedniej sekcji ograniczenia mogą zostać przewyżczone w trakcie ludzkiej ontogenezy. Jak piszą Spelke i wsp. (2010): „Dzieci wykraczają poza te ograniczenia i konstruują nowy, bardziej kompletny i ogólny, system reprezentacji geometrycznych, łącząc produktywnie reprezentacje dostarczane przez te systemy” (s. 865).

W kontekście pytania o ontogenezę szczególnie istotne są dwie kwestie: jakiego rodzaju środki umożliwiają konstrukcję nowego systemu reprezentacji geometrycznych – czułego zarówno na długość, kierunek, jak i kąt – oraz na jakim etapie rozwoju, czy też w jakim wieku, do tego dochodzi. Jeśli chodzi o pierwszą kwestię, badacze podkreślają kluczową rolę wykorzystywania przez dzieci artefaktów kulturowych. Zdaniem Spelke i wsp. (2010) ów krok w rozwoju poznawczym dzieci dokonuje się w następujący sposób:

Po pierwsze, dzięki doświadczeniu z obrazkami, skalowanymi modelami i mapami dzieci mogą postrzegać wielkoskalowe układy przestrzenne nie tylko jako środowiska, w których można się orientować, ale również jako układy wizualne, cechujące się charakterystycznymi kształtami, wyznaczanymi

przez kąty [...]. Po drugie, poprzez doświadczenie w fizycznych, jak i mentalnych rotacjach [obiektów lub figur – przyp. M.H.], dzieci oraz osoby dorosłe mogą nabywać zdolność traktowania małych obiektów i form nie tylko jako układów wizualnych o charakterystycznych kształtach, ale układów, które mogą być eksplorowane z różnych perspektyw za pomocą systemów orientacyjnych, umożliwiających stabilne reprezentowanie kierunków (s. 878–879).

Dzieci uczą się rozumieć symboliczną funkcję artefaktów kulturowych w ciągu pierwszych czterech lat życia. Zdolne są więc one do wzbogacenia reprezentacji wielkoskalowych układów przestrzennych o własności kątowe jeszcze przed rozpoczęciem formalnej edukacji matematycznej (Spelke, Gilmore i McCarthy, 2011). Badane przez Hermer i Spelke (1994) dzieci w wieku 18–24 miesięcy były natomiast zbyt mało dojrzałe, by połączyć informacje na temat geometrii prostokątnego pokoju oraz niegeometryczne wskazówki percepcyjne, ponieważ polegały na reprezentacjach generowanych *niezależnie* przez obydwa systemy rdzenne. Stąd popełniały one – podobnie jak niewytrenowane szczury – błędy rotacyjne. Ze względu na brak produktywnego łączenia dwóch typów reprezentacji w badaniu Izard i Spelke (2009), dzieci nie potrafiły natomiast wykryć figury, która różni się od pozostałych lustrzanym odbiciem (polegały jedynie na systemie geometrii obiektowej, który pozostaje nieczuły na kierunek).

Landau i Lakusta (2009) wskazują ponadto, że przejście ontogenetyczne między reprezentacjami generowanymi przez systemy rdzenne, a kompletniejszym i ogólniejszym geometrycznym systemem pojęciowym, wspomagane jest przez doświadczenie językowe, w szczególności posługiwanie się frazami charakteryzującymi relacje przestrzenne (zob. także Amalric i in., 2017). W kontekście po-

znania geometrycznego doświadczenie językowe zdaje się posiadać przynajmniej jeszcze jedną ważną funkcję. Choć jak widzieliśmy reprezentacje generowane przez systemy rdzenne cechują się pewnym stopniem abstrakcyjności, kodowanie i późniejsze przetwarzanie nabywanych w trakcie szkolnej nauki pojęć matematycznych, cechujących się najwyższym stopniem abstrakcyjności i ogólności („trójkąt równoboczny”, „kąt ostry”, „wielokąt foremny”) odbywa się najprawdopodobniej w sposób amodalny (Dove, 2014). Zgodne jest to z podejściem, które wskazuje, że ze względu na swoje własności reprezentacyjno-obliczeniowe język stanowi środek rozszerzający naturalne, z reguły „konkretne”, zdolności poznawcze (Clark, 2006; zob. Hohol, 2018 dla aplikacji tej hipotezy do ontogenezy poznania geometrycznego).

7. Wartość adaptacyjna i filogeneza rdzennego poznania geometrycznego

Jak wskazałem już w sekcji piątej, rdzenne systemy geometrii i przestrzennej i obiektowej są stare ewolucyjnie (filogenetycznie), o czym świadczą choćby analogiczne wzorce zachowań (tj. błędy rotacyjne oraz zdolność do rozróżniania kształtów) obserwowane u gryzoni i ludzkich niemowląt. Zgodnie ze strategią proponowaną przez Tinbergena (1963) powinno się rozpatrywać osobno dwie kwestie ewolucyjne: przebieg filogenezy oraz wartość adaptacyjną, jaką niesie ze sobą dane zachowanie (i powiązany z nim program umysłowy).

Odpowiedź na pytanie o filogenezę wymaga czegoś więcej aniżeli opowiedzenia historii na temat korzyści, jakie systemy te *mogły* w dalekiej przeszłości dawać naszym zwierzęcym przodkom (za takie podejście krytykowana jest zresztą często psychologia ewolu-

cyjna; por. (Hohol i Wołoszyn, 2016)). Trzeba się odnieść natomiast do ponadczasowych, a więc i współczesnych, problemów adaptacyjnych, jakie rozwiązują te systemy (Miłkowski, 2016). Odpowiedź na pytanie o filogenezę wymaga zaś uwzględnienia wyników badań z zakresu komparatystki międzygatunkowej (Vallortigara, 2012). Ewolucyjną analizę obydwu systemów rdzennych przeprowadzić można w podobny sposób, ale ze względów ekonomicznych odnieść się poniżej jedynie do systemu geometrii przestrzennej.

Choć w warunkach eksperymentalnych orientacja ze względu na geometrię środowiska prowadzi do popełniania błędów rotacyjnych, w warunkach naturalnych zdaje się być ona strategią stabilniejszą niż kierowanie się punktami orientacyjnymi. Wyobraźmy sobie (pomijając trafność biologiczną) zwierzę, które powracając z miejsca polowania kieruje się do gniazda ze względu na wyraźny percepcyjnie obiekt, np. drzewo. Strategia taka może być skuteczna, dopóki drzewo to nie ulegnie zniszczeniu, np. ze względu na uderzenie pioruna. Co więcej, istotne dla trafienia z powrotem do gniazda drzewo może nie różnić się wystarczająco od innych drzew. Taka strategia może prowadzić więc do dezorientacji. Nawet jeśli wskazówka percepcyjna w typowych warunkach atmosferycznych jest wyrazista, zmiana tych warunków (np. opad śniegu) może zatrzeć wyrazistość i uniemożliwić odróżnienie jej od innych obiektów obecnych w środowisku. Całościowy układ przestrzenny środowiska jest natomiast mniej podatny na zmiany w czasie, a jego wyrazistość nie zmniejsza się drastycznie wraz ze zmianą warunków atmosferycznych. Spekulować można zatem, że dobór naturalny faworyzował kierowanie się geometrią środowiska w porównaniu do orientacji ze względu na znajdujące się w środowisku obiekty (Spelke, Lee i Izard, 2010). Adaptacyjną wartość tej strategii potwierdzają wyniki badań z zakresu robotyki behawioralnej i kognitywnej, w których wykorzystuje się wyidealizowane, ale re-

alistyczne biologicznie, roboty, których zadaniem jest orientowanie się w środowisku (Gee i in., 2008; Milford i Wyeth, 2008; Sheynikhovich i in., 2009; Thrun, Burgard i Fox, 2005). Wyniki tych badań wskazują, że orientacja ze względu na geometrię przestrzenną jest nie tylko mniej zawodna, ale również bardziej ekonomiczna obliczeniowo w porównaniu z orientacją ze względu na obiekty.

Jeśli zaś chodzi o filogenezę czułości na geometrię środowiska i wykorzystanie jej w nawigacji, przeprowadzono dotychczas badania z udziałem różnych gatunków gryzoni, takich jak chomiki (Poucet i in., 1986), myszokoczki (Thinus-Blanc i Ingle, 1985) czy myszy (Ammassari-Teule i in., 1995), które wskazują na istnienie dyspozycji behawioralnych podobnych do odkrytych przez Chenga (1986) u szczurów. Zdolność do orientacji ze względu na geometrię środowiska zaobserwowano także u innych, i zamieszkujących inne nisze, gatunków zwierząt, m.in.: kurczaków (Tomassi, Vallortigara i Zanforlin, 1997), gołębi (Kelly i Spetch, 2001), ryb ksenotoków (Sovrano, Bisazza i Vallortigara, 2002) i innych ryb akwariowych (Vargas i in., 2004), a także naczelnych różnych od człowieka, w szczególności pawianów (Gouteux, Vauclair i Thinus-Blanc, 1999) i rezusów (Gouteux, Thinus-Blanc i Vauclair, 2001). Choć gatunki te różnią się pod względem elastyczności w łączeniu wskazówek geometrycznych i niegeometrycznych w orientacji, wszystkie z nich przejawiają czułość na geometrię środowiska. Wnioskować można zatem, że licząca co najmniej dziesiątki milionów lat czułość na geometrię wspólna jest wszystkim kręgowcom.

Większe kontrowersje budzi natomiast rdzenne poznanie geometryczne bezkręgowców, a w szczególności owadów. Jak już wspomniałem przy okazji trudności związanych z ideą modułu geometrycznego, w dziedzinie badań nad zachowaniami owadów „standardowo” przyjmuje się, że ich nawigacja przestrzenna nie wykorzystuje

zintegrowanych reprezentacji, takich jak mapy, ale opiera się na prostych mechanizmach, np. łączenia obrazów piksel-po-piksela (Cartwright i Collett, 1983; Wehner i Räber, 1979; Wystrach i in., 2011). W ostatnich latach w literaturze wskazuje się jednak, że miniaturowe układy nerwowe owadów zdolne są do wykorzystania znacznie bardziej zaawansowanych poznawczo strategii orientacyjnych, obejmujących integrację multisensoryczną (Hohol, Baran i in., 2017), a nawet – w przypadku pszczoł i trzmieli – operowanie na mapach poznawczych (Lee i Vallortigara, 2015; Menzel i in., 2005). Na obecną chwilę kwestia ta zdaje się być jednak nierozstrzygnięta (Cruse i Wehner, 2011; Webb, 2012).

8. Podsumowanie

Truizmem jest stwierdzenie, że choć zwierzęta, a przynajmniej kręgowce, wyposażone są w rdzenne systemy poznania geometrycznego, tylko człowiek napisał i jest w stanie pojąć *Elementy*. Chociaż ludzie przychodzą na świat z systemami poznawczymi, których przejawy obserwować można u innych naczelnych, szczerów, ryb i ptaków, i które dostarczają im rudymetrycznych intuicji geometrycznych, teza, że wszystkie zdolności poznawcze umożliwiające posługiwanie się matematyczną geometrią euklidesową są wrodzone, jest w świetle wyników omawianych badań fałszywa.

Przyswajanie w trakcie szkolnej edukacji pojęć geometrycznych oraz wykorzystywanie ich w rozumowaniach wymaga uprzednich doświadczeń z artefaktami kulturowymi – w szczególności z mapami, skalowanymi modelami oraz językiem, charakteryzującym relacje przestrzenne. Artefakty te umożliwiają przewyżczenie reprezentacyjnych ograniczeń rdzennych systemów geometrycznych, pro-

wadząc do konstrukcji nowego systemu zdolnego do elastycznej reprezentacji odległości, kierunków oraz kątów. Oznacza to, że w ontogenetycznej skali czasu Kantowskie „prerekwizyty” są konieczne, ale niewystarczające, do wejścia dzieci w świat geometrii euklidesowej. Wydają się one niewystarczające również i w skali filogenetycznej: choć systemy rdzenne reprezentują informacje w sposób abstrakcyjny, dopiero unikalnie ludzka kompetencja językowa umożliwia przeprowadzanie rozumowań z wykorzystaniem pojęć abstrakcyjnych.

Bibliografia

- Amalric, M., Wang, L., Pica, P., Figueira, S., Sigman, M. i Dehaene, S., 2017. The language of geometry: Fast comprehension of geometrical primitives and rules in human adults and preschoolers. *PLoS Computational Biology*, 13(1), e1005273–31.
- Ammassari-Teule, M., Tozzi, A., Rossi-Arnaud, C., Save, E. i Thinus-Blanc, C., 1995. Reactions to spatial and nonspatial change in two inbred strains of mice: Further evidence supporting the hippocampal dysfunction hypothesis in the DBA/2 strain. *Psychobiology*, 23(4), ss. 284–289.
- Bateson, P. i Laland, K.N., 2013. Tinbergen’s four questions: an appreciation and an update. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(12), ss. 712–718.
- Beaulac, G., 2014. Back to the Fodor-modules: The modularity of mind revisited. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 36, ss. 1904–1910.
- Bechtel, W., 2008. *Mental mechanisms: Philosophical perspectives on cognitive neuroscience*. New York: Routledge.
- Bechtel, W., 2016. Investigating neural representations: the tale of place cells. *Synthese*, 193(5), ss. 1287–1321.
- Brouwer, L.E.J., 1975. *Philosophy and foundations of mathematics: L.E.J. Brouwer collected works*. New York: North-Holland Publishing Company.

- Carey, S. i Spelke, E.S., 1996. Science and core knowledge. *Philosophy of Science*, 63(4), ss. 515–533.
- Cartwright, B.A. i Collett, T.S., 1983. Landmark learning in bees. *Journal of Comparative Physiology A: Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 151(4), ss. 521–543.
- Cheng, K., 1986. A purely geometric module in the rat's spatial representation. *Cognition*, 23(2), ss. 149–178.
- Cheng, K., 2008. Whither geometry? Troubles of the geometric module. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(9), ss. 355–361.
- Cheng, K., Huttenlocher, J. i Newcombe, N.S., 2013. 25 years of research on the use of geometry in spatial reorientation: a current theoretical perspective. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(6), ss. 1033–1054.
- Cheng, K. i Newcombe, N.S., 2005. Is there a geometric module for spatial orientation? Squaring theory and evidence. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(1), ss. 1–23.
- Clark, A., 2006. Language, embodiment, and the cognitive niche. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(8), ss. 370–374.
- Cooper, L.A. i Shepard, R.N., 1973. Chronometric studies of the rotation of mental images. W: Chase, W.G. red. *Visual Information Processing: Proceedings*. New York: Academic Press, ss. 75–176.
- Craver, C.F. i Darden, L., 2013. *In search of mechanisms*. Chicago: University of Chicago Press.
- Cruse, H. i Wehner, R., 2011. No need for a cognitive map: decentralized memory for insect navigation. *PLoS Computational Biology*, 7(3), e1002009.
- Dadaczyński, J., 1999. Filozofia matematyki Immanuela Kanta i jej dziedzictwo. *Zagadnienia Filozoficzne w Nauce*, 24, ss. 26–42.
- Dehaene-Lambertz, G. i Spelke, E.S., 2015. The infancy of the human brain. *Neuron*, 88(1), ss. 93–109.
- Dehaene, S., 2011. *The number sense*. Revised. Oxford: Oxford University Press.
- Dehaene, S. i Brannon, E.M., 2010. Space, time, and number: a Kantian research program. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(12), ss. 517–519.

- Dehaene, S., Izard, V., Pica, P. i Spelke, E.S., 2006. Core knowledge of geometry in an Amazonian indigene group. *Science*, 311(5579), ss. 381–384.
- Dilks, D.D., Julian, J.B., Paunov, A.M. i Kanwisher, N., 2013. The occipital place area is causally and selectively involved in scene perception. *The Journal of Neuroscience*, 33(4), ss. 1331–1336.
- Dillon, M.R., Huang, Y. i Spelke, E.S., 2013. Core foundations of abstract geometry. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(35), ss. 14191–14195.
- Dove, G., 2014. Thinking in words: Language as an embodied medium of thought. *Topics in Cognitive Science*, 6(3), ss. 371–389.
- Fodor, J.A., 1983. *The modularity of mind*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Fyhn, M., Molden, S., Witter, M.P., Moser, E.I. i Moser, M.-B., 2014. Spatial representation in the entorhinal cortex. *Science*, 305, ss. 1258–1264.
- Gallistel, C.R., 1990. *The organization of learning*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gee, A.P., Chekhlov, D., Calway, A. i Mayol-Cuevas, W., 2008. Discovering higher level structure in visual SLAM. *IEEE Transactions on Robotics*, 24(5), ss. 980–990.
- Gibson, E.J., 1969. *Principles of perceptual learning and development*. New York: Appleton Century Crofts.
- Glennan, S., 2002. Rethinking mechanistic explanation. *Philosophy of Science*, 69(S3), S342–S353.
- Gouteux, S., Thinus-Blanc, C. i Vauclair, J., 2001. Rhesus monkeys use geometric and nongeometric information during a reorientation task. *Journal of Experimental Psychology. General*, 130(3), ss. 505–519.
- Gouteux, S., Vauclair, J. i Thinus-Blanc, C., 1999. Reaction to spatial novelty and exploratory strategies in baboons. *Animal Learning & Behavior*, 27(3), ss. 323–332.
- Grill-Spector, K., Kourtzi, Z. i Kanwisher, N., 2001. The lateral occipital complex and its role in object recognition. *Vision Research*, 41(10-11), ss. 1409–1422.
- Grobler, A., 2006. *Metodologia nauk*. Kraków: Aureus-Znak.

- Hafting, T., Fyhn, M., Molden, S., Moser, M.-B. i Moser, E.I., 2005. Microstructure of a spatial map in the entorhinal cortex. *Nature*, 436(7052), ss. 801–806.
- Hempel, C.G. i Oppenheim, P., 1948. Studies in the logic of explanation. *Philosophy of Science*, 15(2), ss. 135–175.
- Hermer, L. i Spelke, E.S., 1994. A geometric process for spatial orientation in young children. *Nature*, 370(3), ss. 57–59.
- Hermer, L. i Spelke, E.S., 1996. Modularity and development: the case of spatial reorientation. *Cognition*, 61(3), ss. 195–232.
- Hohol, M., 2017. *Wyjaśnić umysł: Struktura teorii neurokognitywnych*. 2 wyd. Kraków: Copernicus Center Press.
- Hohol, M., 2018. Od przestrzeni do abstrakcyjnych pojęć: W stronę teorii poznania geometrycznego. W: Murawski, R. i Woleński, J. red. *Problemy filozofii matematyki i informatyki*. Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM, ss. 29–143.
- Hohol, M., Baran, B., Krzyżowski, M. i Francikowski, J., 2017. Does spatial navigation have a blind-spot? Visiocentrism is not enough to explain the navigational behavior comprehensively. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 11(154).
- Hohol, M., Cipora, K., Willmes, K. i Nuerk, H.-C., 2017. Bringing back the balance: domain-general processes are also important in numerical cognition. *Frontiers in Psychology*, 8(499), ss. 17–5.
- Hohol, M. i Wołoszyn, K., 2016. Ewolucja umysłu. W: Heller, M. i Źyckiński, J. red. *Dylematy ewolucji*. Kraków: Copernicus Center Press, ss. 293–310.
- Horst, S., 2016. *Cognitive pluralism*. Cambridge: MIT Press.
- Izard, V. i Spelke, E.S., 2009. Development of sensitivity to geometry in visual forms. *Human Evolution*, 23(3), ss. 213–248.
- Kant, I., 1993. *Prelogomena do wszelkiej przyszłej metafizyki, która będzie mogła wystąpić jako nauka*. Warszawa: PWN.
- Kaplan, D.M., 2011. Explanation and description in computational neuroscience. *Synthese*, 183(3), ss. 339–373.

- Kelly, D.M. i Spetch, M.L., 2001. Pigeons encode relative geometry. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 27(4), ss. 417–422.
- Kinzler, K.D. i Spelke, E.S., 2007. Core systems in human cognition. *Progress in Brain Research*, 164, ss. 257–264.
- Kourtzi, Z. i Kanwisher, N., 2001. Representation of perceived object shape by the human Lateral Occipital Complex. *Science*, 293(2001), ss. 1506–1509.
- Lakoff, G. i Núñez, R.E., 2000. *Where mathematics comes from: How the Embodied Mind Brings Mathematics Into Being*. New York: Basic Books.
- Landau, B. i Lakusta, L., 2009. *Spatial representation across species: geometry, language, and maps*. Johns Hopkins University, Baltimore, MD, (sprawozdanie techniczne).
- Lee, S.A. i Vallortigara, G., 2015. Bumblebees spontaneously map location of conspecific using geometry and features. *Learning and Motivation*, 50, ss. 32–38.
- Maguire, E.A., 2001. The retrosplenial contribution to human navigation: A review of lesion and neuroimaging findings. *Scandinavian Journal of Psychology*, 42(3), ss. 225–238.
- Margules, J. i Gallistel, C., 1988. Heading in the rat: Determination by environmental shape. *Animal Learning & Behavior*, 16(4), ss. 404–410.
- Mayr, E., 1961. Cause and effect in biology. *Science*, 134(3489), ss. 1501–1506.
- Menzel, R., Greggers, U., Smith, A., Berger, S., Brandt, R., Brunke, S., Bunderock, G., Hulse, S., Plumpe, T., Schaupp, F., Schuttler, E., Stach, S., Stindt, J., Stollhoff, N. i Watzl, S., 2005. Honey bees navigate according to a map-like spatial memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(8), ss. 3040–3045.
- Milford, M.J. i Wyeth, G.F., 2008. Mapping a suburb with a single camera using a biologically inspired SLAM system. *IEEE Transactions on Robotics*, 24(5), ss. 1038–1053.
- Milkowski, M., 2013. *Explaining the computational mind*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Miłkowski, M., 2014. Wyjaśnianie w kognitywistyce. *Przegląd Filozoficzny – Nowa Seria*, 2(86), ss. 151–166.
- Miłkowski, M., 2016. Function and causal relevance of content. *New Ideas in Psychology*, 40(Part A), ss. 94–102.
- Minini, L. i Jeffery, K.J., 2006. Do rats use shape to solve “shape discriminations”? *Learning & Memory*, 13(3), ss. 287–297.
- Moser, E.L., Moser, M.-B. i McNaughton, B.L., 2017. Spatial representation in the hippocampal formation: a history. *Nature*, 20(11), ss. 1448–1464.
- O’Keefe, J. i Dostrovsky, J., 1971. The hippocampus as a spatial map: Preliminary evidence from unit activity in the freely-moving rat. *Brain Research*, 34(1), ss. 171–175.
- O’Keefe, J. i Nadel, L., 1978. *The hippocampus as a cognitive map*. Oxford: Oxford University Press.
- Poucet, B., Chapuis, N., Durup, M. i Thinus-Blanc, C., 1986. A study of exploratory behavior as an index of spatial knowledge in hamsters. *Animal Learning & Behavior*, 14(1), ss. 93–100.
- Prinz, J.J., 2006. Is the mind really modular? W: Standton, R.J. red. *Contemporary debates in cognitive science*. Malden: Wiley-Blackwell.
- Samuels, R., 1998. Evolutionary psychology and the massive modularity hypothesis. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 49, ss. 575–602.
- Samuels, R., 2004. Innateness in cognitive science. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(3), ss. 136–141.
- Sheynikhovich, D., Chavarriaga, R., Strösslin, T., Arleo, A. i Gerstner, W., 2009. Is there a geometric module for spatial orientation? Insights from a rodent navigation model. *Psychological Review*, 116(3), ss. 540–566.
- Sovrano, V.A., Bisazza, A. i Vallortigara, G., 2002. Modularity and spatial reorientation in a simple mind: encoding of geometric and nongeometric properties of a spatial environment by fish. *Cognition*, 85(2), B51–B59.
- Spelke, E.S., Gilmore, C.K. i McCarthy, S., 2011. Kindergarten children’s sensitivity to geometry in maps. *Developmental Science*, 14(4), ss. 809–821.
- Spelke, E.S., Lee, S.A. i Izard, V., 2010. Beyond core knowledge: Natural geometry. *Cognitive Science*, 34(5), ss. 863–884.

- Sutton, J.E. i Newcombe, N.S., 2014. The hippocampus is not a geometric module: processing environment geometry during reorientation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, s. 244.
- Thinus-Blanc, C., Chabanne, V., Tomassi, L., Peruch, P. i Vauclair, J., 2010. The encoding of geometry in various vertebrate species. W: Dolins, F.L. i Mitchell, R.W. red. *Spatial cognition, spatial perception*. Cambridge: Cambridge University Press, ss. 99–116.
- Thinus-Blanc, C. i Ingle, D., 1985. Spatial behavior in gerbils (*Meriones unguiculatus*). *Journal of Comparative Psychology*, 99(3), ss. 311–315.
- Thrun, S., Burgard, W. i Fox, D., 2005. *Probabilistic robotics*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Tinbergen, N., 1963. On aims and methods of ethology. *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 20(3), ss. 410–433.
- Tolman, E.C., 1932. *Purposive behavior in animals and man*. Berkeley, CA: University of California Press.
- Tolman, E.C., 1948. Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55(4), ss. 189–208.
- Tomassi, L., Vallortigara, G. i Zanforlin, M., 1997. Young chickens learn to localize the centre of a spatial environment. *Journal of Comparative Physiology A: Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 180(5), ss. 567–572.
- Urbańczyk, P., 2014. Geneza intuicjonistycznego rachunku zdań i Twierdzenie Gliwienki. *Zagadnienia Filozoficzne w Nauce*, 56, ss. 33–56.
- Vallortigara, G., 2012. Core knowledge of object, number, and geometry: A comparative and neural approach. *Cognitive Neuropsychology*, 29(1–2), ss. 213–236.
- Vargas, J.P., López, J.C., Salas, C. i Thinus-Blanc, C., 2004. Encoding of geometric and featural spatial information by Goldfish (*Carassius auratus*). *Journal of Comparative Psychology*, 118(2), ss. 206–216.
- Wang, R.F., Hermer, L. i Spelke, E.S., 1999. Mechanisms of reorientation and object localization by children: A comparison with rats. *Behavioral Neuroscience*, 113(3), ss. 475–485.

- Webb, B., 2012. Cognition in insects. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 367(1603), ss. 2715–2722.
- Wehner, R. i R aber, F., 1979. Visual spatial memory in desert ants, *Cataglyphis bicolor* (Hymenoptera: Formicidae). *Experientia*, 35(12), ss. 1569–1571.
- Wystrach, A., Cheng, K., Sosa, S. i Beugnon, G., 2011. Geometry, features, and panoramic views: Ants in rectangular arenas. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 37(4), ss. 420–435.
- Zoccolan, D., Oertel, N., DiCarlo, J.J. i Cox, D.D., 2009. A rodent model for the study of invariant visual object recognition. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(21), ss. 8748–8875.

Teologia katolicka w konfrontacji z neuronaukami: przyczynek do dialogu

Damian Wąsek

Uniwersytet Papieski Jana Pawła II w Krakowie, Wydział Teologiczny

Catholic theology in confrontation with neurosciences: a starting point for dialogue

Abstract

I ask the following question: “How should theology develop in order to avoid conflicts with neurosciences?” I believe that the answer to this question is a turn towards the monistic structure of human nature. It seems that insisting on the concept of a human being as composed of two realities – the body and the soul – makes it difficult, if not impossible, to enter into a constructive dialogue with neuroscientists who point to a clear connection between consciousness and biological processes.

Keywords

neurotheology, science-theology, soul, hermeneutics, brain, free will.

Znajduję przynajmniej dwa powody dla podjęcia zagadnień rozdających się na styku neuronauk i teologii. Pierwszy z nich ma charakter apologetyczny i jest związany z pojawiającymi się na gruncie tak zwanego nowego ateizmu zapowiedziami, że konflikt między tymi dwiema dyscyplinami naukowymi doprowadzi do ostatecznego

zdyskredytowania postawy religijnej, pozwalając na utworzenie społeczeństwa ateistycznego. Głównym orędownikiem takiego podejścia jest Sam Harris, który wypowiedział się na ten temat przede wszystkim w rozprawie doktorskiej zatytułowanej *The Moral Landscape: How Science Can Determine Human Values* (opublikowana jako: Harris, 2010). W rezultacie uzyskał w 2009 roku stopień doktora w zakresie neurobiologii, nadany przez Uniwersytet Kalifornijski (por. Gutowski, 2012, s. 15). Analizując różne możliwości wyjaśnień fenomenu wiary, za naturalnymi podstawami ludzkiej religijności opowiedział się również Daniel Dennett w rozprawie *Odczarowanie. Religia jako zjawisko naturalne* (Dennett, 2008). Podobne wątki obecne są u pozostałych „jeźdźców apokalipsy”, Richarda Dawkinsa (2007) i Christophera Hitchensa (2007). Dialog teologii z neurobiologią uważam za konieczny, by budować rozsądne i rzeczowe kontrargumenty w takiej debacie.

Drugi powód związany jest z wiarygodnością chrześcijaństwa. Patrząc z perspektywy historycznej, można dostrzec, że bardzo często teologia zbyt mocno trzymała się pewnych sformułowań i rozwiązań związanych z kontekstem danej epoki, nie uwzględniając zmieniających się obrazów świata. W konsekwencji, jak pisał Karl Rahner, Kościół pod pretekstem troski o czystość i integralność wiary zbyt wolno postępował naprzód i czekał za długo, niejednokrotnie mówiąc „nie” tam, gdzie już dawno powinien był powiedzieć „tak” (por. Rahner, 1965, s. 31). Takim wyzwaniem, które powinno doprowadzić do zreinterpretowania wielu wymiarów doktryny są odkrycia na polu neuronauk. Nowe podejście do problemu wolnej woli i świadomości dotyka szczególnie teologii moralnej, ale powinno zostać uwzględnione wszędzie tam, gdzie poprzednie założenia antropologiczne nie wytrzymują próby czasu. Nie można bowiem zgadzać się na sprzeczności między dobrze udokumentowanymi danymi empi-

rycznymi a twierdzeniami teologicznymi. Teolog nie musi się zgadzać ze wszystkimi interpretacjami wyników badań nad mózgiem, ale dobrze potwierdzone dane muszą być przez niego uwzględniane (por. Wąsek, 2013, s. 112). Jeśli będzie je ignorował, narazi chrześcijaństwo na redukcję do baśni czy mitologii.

Celem mojego tekstu jest prezentacja i ocena niektórych modeli teologicznych oraz ich interpretacja w kluczu umożliwiającym dialog z wybranymi aspektami neuronauk. Poszukam odpowiedzi na pytanie: W jakim kierunku zmieniać teologię, by unikać konfliktów pomiędzy wspomnianymi dyscyplinami?

W poszukiwaniach odpowiedzi posłużę się koncepcjami Gisberta Greshakego, Claude'a Tresmontanta, Mircei Eliadego, Maurice'a Blondela i Karla Rahnera. Zręby mojej argumentacji przedstawiłem już w tekście *Natura wolności i konsekwencje jej posiadania. Teologia katolicka w konfrontacji z neurobiologią* (Wąsek, 2015, s. 47–60). W tym artykule znacznie rozbudowuję jedną z zaprezentowanych tam hipotez, podam szerszy kontekst neurobiologiczny, sformułuję nowe oceny i poszukam głębszych uzasadnień.

Posłużę się metodą hermeneutyczną. Postawię problem, jaki według mnie może się rodzić na gruncie teologii w konfrontacji z neurobiologią oraz wskażę na teologiczną interpretację mogącą pomóc w jego rozwiązaniu.

Kongregacja Nauki Wiary wydała w 1979 roku dokument *List do biskupów o niektórych zagadnieniach dotyczących eschatologii* „*Recentiores Episcoporum*”, w którym scharakteryzowała komponenty bytu ludzkiego. Czytamy tam:

Kościół przyjmuje istnienie i życie, po śmierci, elementu duchowego, obdarzonego świadomością i wolą w taki sposób, że „ja ludzkie” istnieje nadal, chociaż w tym czasie brakuje dopełnienia jego ciała. Na oznaczenie tego elementu Kościół

posługuje się pojęciem „duszy”, którego używa Pismo Święte i Tradycja. Chociaż pojęcie to ma w Biblii różne znaczenia, Kościół stwierdza jednak, że nie ma poważnej racji, by je odrzucić, a co więcej, uważa, że jest bezwzględnie konieczny jakiś aparat pojęciowy dla podtrzymywania wiary chrześcijan (Kongregacja Nauki Wiary, 2010).

Z analizy powyższego fragmentu wynika, że jednym z elementów ludzkiego bytu jest nieśmiertelna dusza, z którą należy łączyć świadomość i wolę. Pojęcie to wywodzić się ma z Pisma Świętego i Tradycji i jest konieczne do podtrzymywania wiary chrześcijańskiej. Z cytowanego listu można wydobyć kilka uwag szczegółowych, a z punktu widzenia poruszanego w tekście problemu zwraca uwagę wskazanie, że tak rozumiana dusza jest niezależna od ciała, ponieważ istnieje nadal nawet wtedy, gdy ciało już nie istnieje. Autorzy zaznaczyli też, że z biblijnego punktu widzenia można wypełnić pojęcie „duszy” innymi, niż wspomniane, cechami „ludzkiego ja”, ale nie zmienia to przekonania o bezwzględnej konieczności istnienia takiego aparatu pojęciowego.

Analizując wiele tekstów z historii teologii, możemy zauważyć dominację dualistycznej wizji człowieka: to byt złożony z ciała, które umiera, i nieśmiertelnej duszy. Nie może być jednak inaczej, ponieważ – jak pisał Edward Schillebeeckx – nigdy nie przemawia do nas *nuda vox Dei*. Wszystkie sformułowania, zarówno te biblijne, dogmatyczne, jak i komentarze do nich są obarczone kontekstem, „ubrane w szatę” językową i kulturową czasów, w których zostały zdefiniowane (por. Schillebeeckx, 1968, s. 978–981). Starożytni filozofowie pozostawili nam przekonanie o dwóch częściach składowych bytu ludzkiego¹, a jego wpływ na późniejszą myśl Giovanni Reale określił

¹ Analizę wybranych tekstów klasycznych na temat ciała i duszy przeprowadził Reale (2009, loc. 163–534).

następującymi słowami: „[...] dialog *Fedon* Platona i traktat *O duszy* Arystotelesa pozostały punktami odniesienia dla filozofii aż do czasów nowożytnych, a ich historyczne oddziaływanie ma wprost nieocenione znaczenie” (Reale, 2009, loc. 534). Jestem przekonany, że możemy poszerzyć zasięg tych uwag i odnieść wnioski włoskiego historyka filozofii również do chrześcijaństwa, ponieważ od epoki nowotestamentalnej do XX wieku, kształtując wyznanie wiary i interpretując Biblię, teologowie opierali się głównie na antropologii przekazanej przez klasyków. Taki model teologiczny wydaje się być nie do ocalenia w dialogu z neuronaukami, ponieważ te drugie coraz odważniej wskazują na konieczność łączenia wolności, świadomości, zdolności kochania czy innych funkcji uważanych dotychczas za „duchowe” (por. Łydka i Juros, 1998, s. 644), z funkcjonowaniem ludzkiego mózgu. Rodzi się więc pytanie o możliwość wiarygodnego prezentowania prawd wiary w świecie nauk empirycznych, które kwestionują podstawowe założenie teologiczne dotyczące natury człowieczeństwa. Można by pozbyć się dylematów, usuwając pojęcie „duszy” z doktryny chrześcijańskiej, ale taki zabieg jest niewykonalny. Nie chodzi bowiem jedynie o to, że wtedy straciłby na znaczeniu cytowany powyżej fragment z listu Kongregacji Nauki Wiary, gdzie padło sformułowanie o konieczności utrzymania pojęcia „dusza” dla podtrzymywania wiary chrześcijańskiej, ale o rozległe obszary eschatologii, teologii duchowości i praktycznie każdą dyscyplinę teologiczną, której zręby zbudowane zostały z uwzględnieniem cielesnego i duchowego pierwiastka w człowieku.

Możliwe jest rozwiązanie rodzącej się w tym wymiarze trudności przez przededefiniowanie pojęcia duszy w taki sposób, by wyjąć z niego wolność, rozumność i zdolność kochania, a w ich miejsce wstawić jakieś cechy, których naturalnego wyjaśnienia obecnie nie posiadamy. Próby takiej podjął się Edoardo Boncinelli. Analizując dane płynące

z neuronauk, podzielili się dwoma spostrzeżeniami. Po pierwsze wskazał, że choć mamy trudność ze zrozumieniem i opisem najbardziej złożonych i subtelných aspektów mózgu ludzkiego, wiemy, że nie ma dwóch identycznych mózgów. Drugi wniosek jest ściśle związany z poprzednim i dotyczy procesu klonowania – według autora wciąż wykluczona jest możliwość sklonowania mózgu, więc istnienie takich dwóch identycznych organów nawet na polu medycznym jest niemożliwe (por. Boncinelli, 2009, loc. 702). Niezależnie od tych trudności, musimy być świadomi nowych odkryć w badaniu umysłu, co prowadzi do konieczności zmian w myśleniu o duszy:

Jeśli słowo „umysł”, w jego właściwym znaczeniu, zarezerwujemy dla określenia zdolności myślenia, rozważania, osądzania, rozwiązywania problemów, to jasne jest, że poza nim znajdzie się wiele sfer: sfera doznań, sfera uczuć, emocji, sfera skłonności, ze wszystkimi ich sprzecznościami. Teoretycznie rozumna część w człowieku nie powinna zawierać sprzeczności. Czy jest jednak wśród nas ktoś, kto nie byłby pełen sprzeczności? Czy istnieje takie społeczeństwo, w którym nie występowałyby sprzeczności? Powiedziałbym więc, że obok umysłu myślącego, rozumującego, istnieje – jak wszyscy wiemy – jeszcze coś innego. Nie jest nawet powiedziane, że to coś mieści się jedynie w mózgu; może się ono również mieścić w pozostałej części systemu nerwowego albo też w gruczołach. Jest to ów całokształt życia uczuciowego, emocjonalnego, który nas wspiera i w sumie pozwala nam żyć. [...] jeśli definiuję „umysł” tak, jak to uczyniłem – jako całokształt zdolności myślenia, rozważania i osądzania – to dusza jest czymś więcej, chociaż go w sobie zawiera. Nie chodzi tu o zdolności, które się wzajemnie wykluczają, gdyż dzisiaj zostało wyjaśnione, że aspekty kognitywne, poznawcze, występują również w najbardziej emocjonalnych poruszeniach,

a aspekty emocjonalne również w najbardziej świadomych wysiłkach człowieka, by postępować racjonalnie (Boncinelli, 2009, loc. 719, 727).

Z analizy powyższego stanowiska wynika, że dusza miałaby być jakąś rzeczywistością, jednocześnie zawierającą i przekraczającą możliwości umysłu. Z jednej strony obejmowałaby ona wszystkie funkcje mózgu, integrowała je, a z drugiej pozwalała na coś więcej, niż możliwości biologiczne. Rodzi się pytanie: Jakie konkretnie dodatkowe zdolności związane są z istnieniem pierwiastka duchowego? Autor nie udzielił precyzyjnej odpowiedzi na to pytanie.

Boncinelli podzielił się jeszcze dwoma innymi możliwościami definiowania duszy. Jedna z nich związana jest z pojęciem świadomości, za którym widzi on przynajmniej trzy różne znaczenia. Pierwsze to zdolność przedstawienia sobie obrazu sytuacji, w jakiej ktoś się znajduje i obranie adekwatnej strategii działania – to pewien rodzaj samoświadomości dostępny w różnym stopniu również zwierzętom. Drugi typ to świadomość wyrażalna i współdzielna. Tym różni się ona od pierwszej, że daje możliwość komunikowania własnych odczuć i prowadzenia dysputy na ich temat. Ta możliwa jest tylko w relacjach międzyludzkich. Trzeci typ ma charakter osobisty i niepowtarzalny, a nazywany jest świadomością zjawiskową. Polega na możliwości doświadczania indywidualnych odczuć w przeżywaniu i ocenianiu pewnych sytuacji i zjawisk. Włoski genetyk stwierdził, że obecnie bardzo trudno podejmować badania naukowe nad tym typem i prawdopodobnie nie będzie to możliwe również w przyszłości. Ową osobistą „świadomość zjawiskową” utożsamia on z duszą. O trzeciej możliwej definicji duszy zaledwie wspomina, określając ją jako relację pomiędzy tym, co indywidualne i co wspólne (por. Boncinelli, 2009, loc. 735, 745, 752, 757, 762n). Czytamy:

Moja historia jest oczywiście historią chorób, pragnień i sytości, ale przede wszystkim jest historią kontaktów z innymi. To, czym człowiek się szczyci, co go zdecydowanie odróżnia od świata zwierzęcego, w znacznej części wynika z faktu, że potrafił stworzyć zbiorowość, społeczeństwo, które posiada kulturę i przeszło kulturową ewolucję. Trzecim możliwym znaczeniem terminu dusza, które tym razem przekracza nie tylko ciało, ale wręcz jednostkę w jej całokształcie, jest właśnie owa organizacja i ewolucja zbiorowości (Boncinelli, 2009, loc. 772).

Próbując ocenić wysiłki Boncinellego, rodzi się pewna obawa. Można bowiem czasowo zaakceptować proponowany przez niego zabieg wymiany desygnatów pojęcia „dusza”, ale nie sposób uniknąć wrażenia, że procedura taka byłaby jedynie „zapychaniem dziur” w naszej wiedzy o funkcjonowaniu umysłu. Jeśli bowiem w przyszłości odkrylibyśmy lub ostatecznie potwierdzili już odkryte funkcje mózgu odpowiadające „duchowym” predyspozycjom opisanym przez włoskiego badacza, to stanęlibyśmy przed podobnym dylematem, z jakim mamy do czynienia dziś: Usunąć pojęcie duszy czy próbować je redefiniować?

Do pewnego stopnia można jednak obronić powyższą propozycję. Wychodząc od pierwszego znaczenia pojęcia „duszy”, która w pewien sposób integruje się z umysłem, spróbujmy poszukać koncepcji teologicznej, która pozwoli na pozostanie religijnie ortodoksyjnym teologiem i jednocześnie wiarygodnym partnerem dla neuronaukowców. W tym kontekście proponuję monistyczną wizję człowieka, pochodzącą od Gisberta Greshake, a sformułowaną na marginesie teorii zmartwychwstania w śmierci. Niemiecki myśliciel opublikował w 2008 r. traktat *Życie silniejsze niż śmierć. O nadziei chrześcijańskiej*, w którym podał syntezę poprzednich poszukiwań reinterpretacji formuły z *Credo*: „wierzę w ciała zmartwychwstanie”. Myśląc

o perspektywie eschatologicznej, odrzucił powszechnie przyjmowaną narrację, że po śmierci ciało człowieka składane jest do grobu, a dusza wędruje do nieba, gdzie oczekuje na ostateczne zmartwychwstanie, które miałyby polegać na otwieraniu grobów i wybudzaniu ciał. Zmartwychwstanie ciała umiejscowił w momencie śmierci i tak opisał swój pomysł:

Chrześcijanin ma nadzieję, że w śmierci dokonuje się zmartwychwstanie. Zmartwychwstanie nie w tym sensie, że ciało widzialne zostaje przemienione; umarłe ciało składa się przecież do ziemi. Ciało zmartwychwstanie nie oznacza zmartwychwstania ciała w sensie tkanki obrastającej szkielet człowieka albo ciała w sensie zwłok; zmartwychwstanie oznacza raczej, że w śmierci cały człowiek ze swym konkretnym światem i historią otrzymuje od Boga nową przyszłość (Greshake, 2010, s. 85).

Greshake nie opisał więc ciała za pomocą cech kojarzonych z biologią, ale w jego charakterystyce użył klucza relacyjnego. Dla niego jest ono sumą doświadczeń wynikających z funkcjonowania człowieka w konkretnej rzeczywistości historycznej i materialnej. Patrząc na problem zbawienia z punktu widzenia ontologii, za nieuprawnione uznał dzielenie bytu ludzkiego na sferę cielesną i duchową, a używanie takich określeń połączył z formami aktywności człowieka traktowanego jako jedność. W konsekwencji, trzeba by raczej mówić, że człowiek jest ciałem, a nie, że ma ciało. Najprościej można więc powiedzieć, że ciało jest sumą wszystkich światowych relacji człowieka, że jest to określenie dla jego wysiłków, by kształtować świat i dać się kształtować światu. Nie znaczy to, że znika pojęcie duszy, ale że należy ją definiować analogicznie do powyższego. Idąc za Tomaszem z Akwinu, Greshake nazywał duszą, dostrzeganą w ludzkiej naturze,

możliwości otwierania się na Boga, budowania bezpośredniej relacji z Nim, spełniania się w takim kontakcie (por. Greshake, 2010, s. 88–90).

Niemiecki teolog nie był w swej wizji odosobniony. Nawiązując do semickiej koncepcji człowieka, w podobnym stylu wypowiedział się Claude Tresmontant. W *Eseju o myśli hebrajskiej* pisał:

Człowiek jest duszą żyjącą. [...] Hebrajski, nie znając dykotomii dusza-ciało, nie robi z duszy tej odcieleśnionej rzeczywistości, jaką jest ona dla nas właśnie dlatego, że przeciwstawiamy ją „ciału” (*corps*). W hebrajskim dusza to człowiek. Nie należy więc mówić, że człowiek ma duszę, ale że jest duszą. W podobny sposób z punktu widzenia biblijnego człowiek jest ciałem. [...] Równie prawdziwie można powiedzieć: jesteśmy ciałami, jak i: jesteśmy duszami. Tak więc hebrajski na określenie żywego człowieka posługuje się w sposób nieodróżnicowany terminami: „dusza”, *nefes*, albo „ciało” (*chair*), *basar*, które dotyczą jednej i tej samej rzeczywistości, człowieka żyjącego na tym świecie (Tresmontant, 1996, s. 116n).

Podkreślany przez francuskiego filozofa i teologa brak dualizmu ciało-dusza, należy łączyć z korzyściami na poziomie metafizycznym, epistemologicznym, psychologicznym, a nawet biologicznym. Idąc za filozofią Arystotelesa i myślą teologiczną Tomasza z Akwinu, dostrzegaliśmy on w „ciele” nie substancję, ale punkt spojrzenia na konkretną rzeczywistość – człowieka widzianego pod pewnym kątem. Zarówno ciało jak i dusza nie należą więc do pola rozważań biologicznych czy fizycznych, a metafizycznych (por. Tresmontant, 1996, s. 107–110).

Podsumowując ten etap rozważań, trzeba by stwierdzić, że byłoby bardzo trudno prowadzić owocny dialog teologii z neuronaukami, jeśli pierwsza z tych dyscyplin podkreślałaby dualizm w antropologii. Określając mianem „duszy” pewne cechy człowieka i upierając się,

że nie są one związane z funkcjonowaniem mózgu, a więc z biologią, teologia narażałaby się na konflikt z coraz lepiej udokumentowanymi empirią osiągnięciami filozofii umysłu. Przykładowo, norweska lekarka specjalizująca się w neurologii, Kaja Nordenger w książce *Mózg rządzi. Twój niezastąpiony narząd* (2018) uzasadnia tezę, że dusza i osobowość to terminy synonimiczne i należy ich szukać szczególnie w czołowych płatach mózgowych. Co więcej, przy urazach mózgu może następować modyfikacja osobowości (a więc „duszy”), czego dowodzi przypadek amerykańskiego kierownika budowy kolei Phineasa Gage’a, który po uszkodzeniu płatów czołowych zupełnie się zmienił, i z pracowitego, odpowiedzialnego człowieka stał się osobą porywczą, wulgarną, niezdolną do podejmowania trafnych decyzji (por. Nordenger, 2018, s. 32–51). Jeśli w teologii chrześcijańskiej chcielibyśmy unikać sporów z neuronaukami i jednocześnie ratować transcendentny pierwiastek duchowy, można by budować argumentację teistyczną w oparciu o monistyczną strukturę bytu ludzkiego. Przychylając się do koncepcji proponowanych przez Greshakego czy Tresmontanta, należałoby łączyć ciało i duszę z sensem podejmowanych przez człowieka aktywności, w obu przypadkach nie kwestionując ich biologicznych podstaw.

Wsparciem mogłyby być modele promujące tezę o religijności wpisanej w naturę ludzką. Przykładem takiego podejścia może być Mircea Eliade. W jego książce *Sacrum i profanum* czytamy:

[...] doskonale świecka egzystencja nie istnieje. Niezależnie od tego, do jakiego stopnia człowiek zdesakralizował świat, niezależnie od tego, jak stanowcza była jego decyzja zmierzająca do prowadzenia życia świeckiego, i tak nigdy się mu nie uda całkowicie odrzucić zachowania religijnego (Eliade, 1999, s. 17).

Eliade łączył przekonanie o braku możliwości świeckiego życia z koniecznością zbudowania wokół siebie zróżnicowanej przestrzeni, akcentowania pewnych punktów odniesienia, które nazwał punktami *sacrum*. Gdyby istniała przestrzeń homogeniczna, można by mówić o postawie areligijnej, ale uważna obserwacja życia pozwala mu na wniosek, że gdy mamy do czynienia z osobami zdeklarowanymi religijnie i uważającymi się za ateistów, to postawę tych drugich trzeba określić jako „kryptoreligijne zachowanie ludzi świeckich”, a nie niewierzących (por. Eliade, 1999, s. 15–18).

Podobny wniosek można wyciągnąć z analizy twórczości Maurice’a Blondela, choć jego argumentacja szła po linii pojawiającej się dysproporcji między impulsem woli, a tym co może ona osiągnąć. Pisał:

Podzielony pomiędzy tym, co czynię nie chcąc, a tym, co chcę nie czyniąc, jestem zawsze jako pozbawiony samego siebie. Jak więc wejść i wnieść w działanie to, co się w nim już bez wątpienia znajduje, ale czego ja nie znam i jest poza moim zasięgiem? Jak ustanowić równość pomiędzy podmiotem i samym sobą? Ażeby zaakceptować siebie w pełni, trzeba bym chciał bardziej tego, czego nie umiałem jeszcze spotkać (Blondel, 1950, s. 338).

Spełnienie człowieka nie jest więc możliwe, jeśli nie zwróci się on w stronę Boga – definitywnego spełnienia pragnienia. Tadeusz Dzidek, komentując ten model, napisał: „Każdy jest wezwany do dokonania wyboru, nie da się go uniknąć: albo pójść za nieograniczonym impulsem, który otwiera na to, co nieskończone, albo zamknąć się w obrębie porządku skończonego i w ten sposób naruszyć impuls własnego działania. Ten wybór jest ostatecznie progiem nadprzyrodzoności” (Dzidek, 2001, s. 47n).

Wprost o połączonych z religijnością uwarunkowaniach dla ludzkiego szczęścia pisał niemiecki teolog Karl Rahner w tekście *Doświadczenie katolickiego teologa*. Czytamy tam:

Można w ramach teologii katolickiej spekulować, czy też „czysta natura” nie mogłaby pod daleką zwierzchnią władzą Boga być sama w sobie szczęśliwa i doskonała. Ale naprawdę jest tak, właśnie przez nieodpartość łaski, że albo się dusimy w naszej skończoności, albo trafiamy tam, gdzie jest Bóg sam, jaki jest (Rahner, 1965, s. 75).

Prezentując powyższe stanowiska nie chodziło mi o budowanie podstaw pod mówienie o religijności na bazie teorii empirycznych – wybrani przeze mnie myśliciele wpisują się raczej w nurt filozoficznych rozważań niż konsekwencji badań nad umysłem. Uważam jednak, że warto było przytoczyć ich obserwacje, by pokazać teologię, która nie stawia zapory tłumaczeniom aktu wiary w odniesieniu do natury ludzkiej. Znaleźć tu można wiele możliwości wspólnych projektów z neuroteologami (por. Alston, 2007, s. 13–18).

* * *

We wstępie do mojego tekstu postawiłem sobie pytanie: W jakim kierunku zmieniać teologię, by unikać jej konfliktów z neuronaukami?

W odpowiedzi opowiedziałem się za monistyczną strukturą bytu ludzkiego. Wydaje się bowiem, że upieranie się przy koncepcji człowieka złożonego z dwóch niezależnych rzeczywistości – ciała i duszy, uniemożliwia, albo przynajmniej znacznie utrudnia, dialog z neuro naukowcami wskazującymi na ściśle powiązanie świadomości z procesami biologicznymi.

Jako teolog, nie podejmowałem się krytycznej oceny rzetelności rozwiązań z zakresu neurobiologii, ale zaufałem przytaczanym auto-

rytetom. Ograniczyłem się do poszukiwań rozwiązań z własnej dyscypliny naukowej, które mogłyby pozwolić na owocne spotkanie interdyscyplinarne.

Bibliografia

- Alston, B.C., 2007. *What is Neurotheology?* Charleston: BookSurge Publishing.
- Blondel, M., 1950. *L'Action. Essai d'une critique de la vie et d'une science de la pratique*. Paris: PUF.
- Boncinelli, E., 2009. Czy nauki neurologiczne przekreśliły duszę? W: *Czy dusza istnieje? Między nauką a wiarą*. Kielce: Wydawnictwo Jedność.
- Dawkins, R., 2007. *Bóg urojony*. Warszawa: Wydawnictwo CiS.
- Dennett, D.C., 2008. *Odczarowanie. Religia jako zjawisko naturalne*. Warszawa: Państwowy Instytut Wydawniczy.
- Dzidek, T., 2001. *Granice rozumu w teologicznym poznaniu Boga*. Kraków: Wydawnictwo M.
- Eliade, M., 1999. *Sacrum i profanum. O istocie religijności*. Warszawa: Wydawnictwo KR.
- Greshake, G., 2010. *Życie silniejsze niż śmierć. O nadziei chrześcijańskiej*. Poznań: Wydawnictwo W drodze.
- Gutowski, P., 2012. Czym jest „nowy ateizm”? W: Słomka, M. red. *Nauki przyrodnicze a nowy ateizm*. Lublin: Wydawnictwo KUL, ss. 7–45.
- Harris, S., 2010. *The Moral Landscape: How Science Can Determine Human Values*. New York: Free Press.
- Hitchens, C., 2007. *Bóg nie jest wielki. Jak religia wszystko zatruwa*. Katowice: Wydawnictwo Sonia Draga.
- Kongregacja Nauki Wiary, 2010. List do biskupów o niektórych zagadnieniach dotyczących eschatologii „Recentiores Episcoporum”. W: Królikowski, J. i Zimowski, Z. red. *W trosce o pełnię wiary. Dokumenty Kongregacji Nauki Wiary 1966-1994*. Tarnów: Wydawnictwo Biblos, ss. 153–157.

- Łydka, W. i Juros, H., 1998. Wolność. W: Zuberbier, A. red. *Słownik teologiczny*. Katowice: Księgarnia św. Jacka, s. 644.
- Nordenger, K., 2018. *Mózg rządzi. Twój niezastąpiony narząd*. Warszawa: Wydawnictwo Margines.
- Rahner, K., 1965. *O możliwości wiary dzisiaj*. Kraków: Wydawnictwo Znak.
- Reale, G., 2009. Pojęcie duszy. Jeden z największych wytworów myśli greckiej. W: *Czy dusza istnieje? Między nauką a wiarą*. Kielce: Wydawnictwo Jedność.
- Schillebeeckx, E., 1968. O katolickie zastosowanie hermeneutyki. Tożsamość wiary w toku jej reinterpretacji. *Znak*, 169/170, ss. 978–1010.
- Tresmontant, C., 1996. *Esej o myśli hebrajskiej*. Kraków: Wydawnictwo Znak.
- Wąsek, D., 2013. Teologia a inne dyscypliny naukowe. W: Kochaniewicz, B. red. *O naturze teologii*. Poznań: Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Wydział Teologiczny, ss. 107–116.
- Wąsek, D., 2015. Natura wolności i konsekwencje jej posiadania. Teologia katolicka w konfrontacji z neurobiologią. W: Słowiński, R. red. *Dusza – umysł – wolna wola*. Poznań: PAN. Oddział w Poznaniu.

Recenzje

Book reviews

Filozofia kosmologii – program otwarty

K. Chamcham, J. Silk, J.D. Barrow, S. Saunders (red.), *The Philosophy of Cosmology*, Cambridge University Press, Cambridge 2017, ss. XII + 514.

Współczesna kosmologia znajduje się w dość dziwnej sytuacji. Z jednej strony, dysponuje tak bogatą bazą obserwacyjną jak nigdy dotychczas, dzięki czemu zyskała niekwestionowaną pozycję w rodzinie nauk empirycznych, a nawet zajęła wśród nich jedno z bardziej prestiżowych miejsc (ponieważ dostarcza innym naukom sceny lub tła, bez którego trudno by im było się obejść). Z drugiej jednak strony, jest uwikłana w gąszcz rozmaitych hipotez i konstrukcji, które mają ambicję dostarczenia brakujących, i na ogół podstawowych, wyjaśnień, ale wykraczając daleko poza dostępne dane empiryczne, robią wszystko, co mogą, by przedstawić się jako prawomocne rozszerzenie dotychczasowych metod. W tej sytuacji zapotrzebowanie na zdrową filozofię kosmologii jest ogromne. Dlatego omawiany tom, wydany przez Cambridge University Press i zatytułowany wprost *The Philosophy of Cosmology*, spo-

tkał się z tak dużym zainteresowaniem. Trudno wszakże oczekiwać, aby jeden tom, choćby zaplanowany tak ambitnie jak ten, był w stanie spełnić wszystkie oczekiwania. Sytuacja jest zbyt skomplikowana, by się ją dało uporządkować metodologicznymi wytycznymi; tym bardziej, że co do podstawowych reguł metodologicznych również nie ma zgody. Raczej należy pokładać nadzieję w naturalnych, choć długofalowych, mechanizmach nauki, które dotychczas skutecznie wyprowadzały ją z kryzysów. Co oczywiście wcale nie znaczy, że starań w kierunku wprowadzenia metodologicznego porządku nie należy podejmować. Dlatego ten tom otwierałem z dużym zainteresowaniem. I rzeczywiście, lektura okazała się pasjonująca, choć może nie całkiem z tych powodów, na jakie liczyłem.

Tom rozpoczyna obszerny rozdział pióra George'a Ellisa. Właśnie tego należało się po nim spodziewać. Autor ten wiele już pisał na temat metodologicznych problemów kosmologii, zawsze z dużym krytycyzmem i obiektywnością spojrzenia. Jego analizy tym różnią się od wielu innych metodologicznych opracowań, że jako jeden z najwybitniejszych współczesnych znawców kosmologii, sam czynnie ją uprawia-

jący, wie o czym pisze. Rozdział, otwierający ten tom, jest niejako podsumowaniem, a także w niektórych punktach rozwinięciem, jego dotychczasowych prac z tej dziedziny. Od razu na wstępie Ellis wprowadza pożyteczne rozróżnienie: kosmologia (Ellis nazywa ją także kosmologią fizyczną) to nauka empiryczna o wszechświecie, stosująca w zasadzie te same metody, które obowiązują w fizyce, oraz *cosmologia* (Ellis używa terminu łacińskiego, nie tłumacząc go na angielski), której zadaniem jest roztrząsanie podstawowych zagadnień dotyczących kosmosu, a więc jego istnienia, genezy, życia we wszechświecie itp., ale ma to czynić w ścisłym kontakcie z kosmologią fizyczną, z konieczności jednak nawiązując również kontakt z tradycyjnymi problemami filozoficznymi, zwłaszcza ontologicznymi i epistemologicznymi.

Gdyby ta propozycja terminologiczna przyjęła się w dyskusjach wokół kosmologii (kilku autorów w tym tomie odwołuje się do rozróżnienia Ellisa), byłby to krok w dobrym kierunku. Ponieważ w mówionym języku polskim „kosmologia” i „cosmologia” brzmią bardzo podobnie (łaciński akcent jest tylko inny), proponuję tłumaczyć je, odpowiednio, jako „kosmologia” lub „kosmolo-

gia fizyczna” i „kosmologia filozoficzna”.

Czy kosmologia filozoficzna jest jeszcze kosmologią? Oczywiście, nikt nigdy nikomu nie zakazywał poruszać tematów filozoficznych związanych z kosmologią, czy też rozwijać spekulacje bez możliwości ich empirycznego kontrolowania, rzecz jednak polega na tym, że wielu współczesnych autorów, którzy to robią, głosi, iż nadal uprawiają kosmologię (po prostu kosmologię, bez żadnych przymiotników). Ażeby takie twierdzenie dało się utrzymać, musi ono zostać uzupełnione o tezę głoszącą, że uświęcona tradycja metoda nauk empirycznych ulega ewolucji i właśnie obecnie, głównie za sprawą kosmologii, przekracza linię, która dotychczas była uważana za bezwzględną granicę. Trzeba przyznać, że niektórzy autorzy wykazują niemałą biegłość w wynajdywaniu argumentów na poparcie tej tezy. W gruncie rzeczy sprowadzają się one do jednego: metoda fizyki, która zapewniła tej nauce niebotyczne sukcesy, polega na subtelny sprężeniu zmatematyzowanej teorii i eksperymentu; jest także prawdą, że przynajmniej od początku dwudziestego wieku strona teoretyczna znacznie się rozbudowywała (czemu towarzyszyła coraz większa zależność eks-

perymentu od teorii); można więc sobie wyobrazić sytuację, w której rola eksperymentu zostanie zdominowana przez teorię do tego stopnia, że eksperyment przestanie być głównym kryterium oddzielającym naukę od nie-nauki.

W drugim rozdziale omawianej książki problem ten powraca w całej swej okazałości. Bernard Carr w pełen erudycji sposób roztacza panoramę koncepcji, które spowodowały całą tę dyskusję. Podkreśla on, że chociaż kosmologia została uznana za część *mainstream physics*, jednak zasadniczo różni się od innych działów fizyki. Nie można wszak eksperymentować z wszechświatem (lecz jedynie go obserwować), a spekulacje dotyczące bardzo wczesnych lub bardzo późnych etapów jego ewolucji zależą od teorii i hipotez fizycznych, które nigdy nie zostaną poddane empirycznym testom. Carr odsyła tego rodzaju spekulacje „graniczące z filozofią” do „metakosmologii”, podkreśla jednak, że nie da się wytyczyć ostrej granicy między kosmologią a metakosmologią.

Wydaje się, że idea Ellisa kosmologii filozoficznej (*cosmologia*) nie pokrywa się dokładnie z propozycją metakosmologii Carra. O ile Ellis wyraźnie dopuszcza analizy należące do wielkich tematów filozoficznych,

o tyle Carr raczej ogranicza metakosmologię do spekulacji o charakterze zbliżonym do fizyki, które jednak nie mają bezpośredniej kontroli empirycznej. Oczywiście, terminologia jest kwestią umowy, ale propozycja Carra nie przestrzega tradycyjnego w filozofii znaczenia przedrostka „meta”, chociaż zarówno w propozycji Ellisa, jak i Carra jest miejsce na problemy autentycznie „meta” w stosunku do kosmologii. Trudno zresztą sobie wyobrazić, żeby ich nie było, gdy roztrząsa się metodologiczny status kosmologii.

Czy zatem można mówić o ewolucji metody fizyki? Zaryzykowałbym twierdzenie, że jeżeli coś takiego zachodzi, to jedynie na obrzeżach fizyki, tam gdzie styka się ona z pytaniami, na które nie ma (jeszcze) odpowiedzi. Natomiast nic nie wskazuje na to, żeby w innych obszarach badawczych zachodziła jakakolwiek konieczność zmiany dotychczasowych metod.

Autentycznie filozoficzny problem podjął Roderich Tumulka w czwartym rozdziale. Chodzi o pytanie Leibniza: dlaczego istnieje raczej coś niż nic? Autor, bardzo ambitnie a równocześnie bardzo skromnie, zaznacza, iż – w jego przekonaniu – dotychczas nic użytecznego

na temat tego pytania nie napisano, a niewielki przyczynek, jaki on sam oferuje, wyjaśnia wprawdzie, dlaczego wszystko istnieje, ale wyjaśnienie to jest fałszywe. Propozycja Tumulki, wbrew jego deklaracji, nie jest jednak nowa. Nie wnikając w szczegóły jego rozumowania, okazuje się, że istnienie obiektów fizycznych (świata materialnego) redukuje on do istnienia obiektów matematycznych. A dlaczego one istnieją? „...to łatwo wyjaśnić: Matematyczne obiekty zaczynają istnieć, jak tylko zostaną pomyślane” (s. 81). Albo to samo inaczej: „Nie ma żadnej tajemnicy w tym, dlaczego one [obiekty matematyczne] są prawdziwe. Ich prawdziwość leży w naturze matematyki i wyjaśnia się przez ich wartość” (s. 77). Tumulka nie powiedział jednak istotnie więcej niż inni przed nim na ten temat, ponieważ przypisywanie „absolutnego istnienia” obiektom matematycznym i wyjaśnianie istnienia świata fizycznego przez odwołanie się do matematyki jest poglądem znanym w historii filozofii (nieobcym samemu Leibnizowi). Ślady oryginalności ma jedynie sposób, w jaki Tumulka wyprowadza istnienie obiektów materialnych z obiektów matematycznych.

Dlaczego jednak Tumulka uważa, że jego wyjaśnienie jest

fałszywe? Ponieważ – jak twierdzi – żadna matematyczna struktura nie jest w stanie wyjaśnić *qualiów*, czyli odczuwań związanych ze zmysłowymi doświadczeniami (doznaniem koloru). Zakwestionowałbym pewność, z jaką Tumulka wygłasza to stwierdzenie. Historia uczy, że należy być bardzo ostrożnym w nakładaniu ograniczeń na wyjaśnienia matematyczne.

Można natomiast przytoczyć inny – moim zdaniem poważny – zarzut przeciwko wyjaśnieniu Tumulki. Zacytujmy klasyczny już tekst: „Podobnie jak nieskończenie wiele innych matematycznych stwierdzeń [*mathematical affairs*], fakt, że dwa plus dwa równa się cztery, z pewnością można by nazwać czymś realnym, ale czy to znaczy, iż to musiało zaistnieć?” (*The Mystery of Existence. Why is There Anything at All?*, red.: J. Leslie, R.L. Kuhn, Wiley-Blackwell, Chichester 2013, s. 2). Pytanie Leibniza odnosi się więc także do obiektów matematycznych, w każdym razie gdy w filozofii matematyki stoi się na stanowisku platonizującym, a w rozumowaniu typu Tumulki stanowiska tego nie można po prostu pominąć milczeniem.

Pod względem metafizycznej odwagi rozdział pióra Don N.

Page'a przypomina spekulacje Rodericha Tumulki. Don Page stawia tezę (*a conjectured principle*), że nasz „aktualnie istniejący świat jest światem najlepszym z możliwych” (s. 324). Oczywiście, teza nie jest oryginalna, ale oryginalne jest jej uzasadnienie. Ten świat jest najlepszy, który maksymalizuje ilość dobra, a dobrem jest to, co przynosi istocie myślącej szczęście, radość, zadowolenie, satysfakcję... Radość taką przynosi poznanie matematycznej struktury wszechświata. W ten sposób rozumiane dobro jest maksymalne, ponieważ Bóg w maksymalnym stopniu doznaje szczęścia, kontemplując swoje dzieło. Argumentując na rzecz tego poglądu, Page odwołuje się do rozumowania w stylu bayesańskim (na temat tego stylu por. niżej), utrzymując, iż „jest najbardziej prawdopodobnym (*most plausible*), że Bóg istnieje i stworzył nasz wszechświat” (s. 326).

Rozdziały Tumulki i Page'a swoim charakterem znacznie odbiegają od pozostałych rozdziałów książki. Zostały one napisane przez matematyka i fizyka; nie ma śladu, żeby wywołały jakąkolwiek relację ze strony filozofów reprezentowanych w tomie.

Książka jest gruba (liczy ponad 500 stron), omówienie wszyst-

kich rozdziałów rozsadziłoby rozmiary tej recenzji (i tak dość obszernej). Wśród autorów są reprezentowani kosmologowie, fizycy, astronomowie, którzy czynnie uprawiają kosmologię (będziemy ich łącznie nazywać fizykami) oraz filozofowie, którzy w swoich dociekaniach szczególnie interesują się kosmologią lub nawet uczynili z niej główny przedmiot swoich badań. Nie trzeba dodawać, że rozdziały pisane przez filozofów i pisane przez fizyków różnią się zarówno swoim stylem, jak i sposobem traktowania materiału, choć często dotyczą tej samej problematyki. Rozdziały pisane przez fizyków przypominają standardowe prace badawcze z fizyki lub pokrewnych dziedzin, a ich „filozoficzność” polega albo na bardziej poglądowym charakterze, albo na wyborze bardziej spekulatywnej problematyki. Natomiast na rozdziałach pisanych przez filozofów wyraźnie ciąży przynależność ich autorów do określonej filozoficznej tradycji; z reguły jest to anglosaska filozofia analityczna. Nie będą więc oni tropić w kosmologii wielkich tematów tradycyjnej filozofii, lecz raczej poddawać drobiazgowej analizie problemy nękające samą kosmologię.

Typowo przeglądowymi są rozdziały pióra Joela R. Primacka i Josepha Silka, dotyczące powstawania

struktur we wszechświecie. Do przeglądowych można również zaliczyć rozdział napisany przez Chrisa Smeenka (filozof), w którym dokonuje on obszernego przeglądu różnych modeli inflacji pod kątem ich spójności z obserwacjami.

Do „własnych spekulacji” zaliczyłbym rozdział Johna Barrowa. Porusza on problem „ogólności” w kosmologii (np. co to znaczy ogólne rozwiązanie równań Einsteina?). Problem ten wiąże się z zagadnieniem ekstrapolacji (ważny problem dla filozofii kosmologii, właściwie, poza Barrowem, niedotknięty w książce). Barrow potraktował to zagadnienie w sposób wysoce zmatematyzowany, co czyni ten rozdział niedostępnym dla mniej przygotowanych czytelników. Ta ostatnia uwaga dotyczy także wielu rozdziałów pisanych przez fizyków; mają oni silną tendencję uciekania się do, niekiedy zaawansowanych, analiz matematycznych.

Do tej samej kategorii należy zaliczyć rozdziały napisane przez Carla Rovelliego i Toma Banksa. Pierwszy z nich przedstawia własną koncepcję strzałki czasu; drugi rozwija przez siebie ideę holograficznej czasoprzestrzeni ze szczególnym uwzględnieniem holograficznego modelu inflacji. Pod dość egzo-

tycznie brzmiącą nazwą holograficznej czasoprzestrzeni kryje się próba uogólnienia teorii superstrun, która miałyby rozwiązywać pewne trudności tej ostatniej.

Problematykę czasu w kosmologii poruszają także Svend E. Rugh i Henrik Zinkernagel, ale z całkiem innej perspektywy. Propagują oni tezę, że pojęcie czasu ma sens fizyczny jedynie wtedy, gdy jest związane z fizycznymi procesami, które mogłyby odgrywać rolę zegara (ściślej: nie samego zegara, lecz tego, co stanowi jego istotę [*core*]). Stwarza to oczywiście problem dla bardzo młodego wszechświata, w którym takich procesów nie ma.

Ciekawy wątek metodologiczny poruszają James Hartle i Thomas Hertog. Rozróżniają oni dwa rodzaje opisu fizycznego układu (także wszechświata): opis w trzeciej osobie – gdy interesuje nas, jak układ się zachowuje i jak przebiega jego historia (niekiedy mówi się o opisie „z perspektywy Boga”) oraz opis w pierwszej osobie – gdy interesują nas wyniki obserwacji, które potem wykorzystujemy do konstrukcji i testowania modeli i teorii naukowych (obserwatorem może też być zespół uczonych dokonujących obserwacji). Autorzy zajmują się związkiem między tymi opisami. W fi-

zyce klasycznej mamy do czynienia typowo z opisem w trzeciej osobie, ale w fizyce kwantowej, a także w kosmologii kwantowej, opis w pierwszej osobie staje się nie do pominięcia. Z grubsza rzecz biorąc, w kosmologii kwantowej obserwatorem jest dzisiejszy uczony, który rekonstruuje, jak mogłyby przebiegać procesy, odpowiadające pomiarom, we wczesnym wszechświecie. Dla przestrogi trzeba tylko dodać, że samo pojęcie obserwatora jest już pewną konstrukcją teoretyczną. Długie i dość techniczne analizy prowadzą autorów do interesującego wniosku: to, co jest bardziej prawdopodobne do zaobserwowania, wcale nie musi istnieć z większym prawdopodobieństwem. Znacznie rzecz upraszczając, prawdopodobieństwo zaobserwowania czegoś bardzo zależy od opisu w pierwszej osobie, podczas gdy prawdopodobieństwo zaistnienia plasuje się w opisie trzecioosobowym. Wniosek ten może być ważny w spekulacjach dotyczących antropicznej selekcji, różnych wersji inflacji i problemu wielu światów.

Wyraźny wątek metodologiczny pojawia się w rozdziale, którego autorem jest Jean-Philippe Uzan. Porusza on temat efektywnych teorii i ich roli w kosmologii. Teorie efektywne nie roszczą sobie pretensji, by

być teoriami fundamentalnymi. Często wręcz ignorują teorie odnoszące się do głębszego poziomu, zadowolając się tym zestawem praw i modeli, które wystarczą, by badać dany poziom („nie trzeba znać teorii strun, by uprawiać fizykę jądrową”). Badając emergencję struktur we wszechświecie, mamy do czynienia z efektywnymi teoriami z różnych poziomów. Uzan umiejętnie pokazuje wzajemne oddziaływanie tych teorii między sobą. Ilustrację tego procesu stanowi model zaproponowany przez Uzana, ukazujący, jak z oddziaływania dwóch struktur matematycznych, metryki Riemanna i pola skalarnego, wyłania się trzecia – sygnatura Lorentza. Wiadomo, jak ważną (fundamentalną) rolę odgrywają w fizyce i kosmologii podstawowe stałe fizyczne. Uzan stawia pytanie: czy ich stałość nie jest też wynikiem tego, że u jej podstaw leży jakaś teoria efektywna. Uzan kończy swoje analizy omówieniem obserwacyjnych ograniczeń na stałość podstawowych stałych fizycznych.

Filozofów kosmologii najbardziej interesuje nie to, co jest już w kosmologii dobrze ustalone, lecz to, co znajduje się na jej granicach poznawczych. Dlatego nic dziwnego, że tematem, który najczęściej w tej książce powraca, jest pytanie: jak wy-

ciągać wnioski, wychodząc poza dostępne dane (*inference beyond data*)? Pojawia się ono w tytule rozdziału Martina Sachéna; temu pytaniu jest też poświęcony rozdział Luke'a A. Barnesa oraz rozdział, którego autorami są Cian Dorr i Frank Arntzenius. Poszukując odpowiedzi na to pytanie, wszyscy ci autorzy powołują się na tzw. bayesjańskie podejście do rachunku prawdopodobieństwa. Według Barnesa, w podejściu tym traktuje się „prawdopodobieństwo jako uogólnioną logikę” (s. 449). O ile logiczne prawo implikacji głosi: „jeżeli A, to B”, o tyle bayesjański odpowiednik rozważa słabsze wynikanie: „jeżeli A, to prawdopodobnie B”. Idea stosowania tego schematu (lub jego uogólnień) do wnioskowań kosmologicznych „wychodzących poza dane” polega na poszukiwaniu najlepszego wyjaśnienia dostępnych danych (*inference to the best explanation*) nie w oparciu o zwykłą logikę, lecz w oparciu o (uogólnioną) probabilistykę bayesjańską. To podejście jest obecnie szeroko dyskutowane w wielu pracach. Niektórzy autorzy wiążą z nim ideę ewolucji samej metody empirycznej, która, według nich, ma dryfować w kierunku coraz większej tolerancji.

Ten dosyć obszerny, ale jednak tylko wybiórczy, przegląd zawarto-

ści omawianego tomu musi nam wystarczyć. Bardziej wyczerpująca analiza zamieniłaby recenzję w kolejne studium z filozofii kosmologii. Dodajmy jeszcze tylko kilka uwag ogólnych.

Jak dowiadujemy się z przedmowy, tom ten powstał jako wynik serii warsztatów i jednej konferencji (sponsorowanych przez Fundację Templetona). Po szeregu tego rodzaju spotkań można by się spodziewać, że książka będzie ukazywać większe oddziaływanie między autorami. Jednakże znajdują się w niej jedynie nieliczne tego ślady. Zamieszczone zostało tylko jedno sprawozdanie z dyskusji, po rozdziale Davida Wallaca, i to z redakcyjną wpadką, dyskusja dotyczy bowiem, przynajmniej w części, także rozdziału Davida Z. Alberta i dość dziwnie wygląda, że została ona zamieszczona przed jego rozdziałem.

Książka niewątpliwie dostarcza ciekawej, a nawet pasjonującej lektury. Cieszy profesjonalizm autorów, chociaż wysoki poziom narzucony przez nich może sprawiać trudności mniej przygotowanym czytelnikom (książka na pewno nie należy do popularnonaukowych). Moje oczekiwanie, że po lekturze tej książki zarysuje mi się obraz bardziej metodologicznie uporządkowanej kosmolo-

gii, było przedwczesne. Istnieje zbyt duża rozbieżność zdań (widoczna także w tym tomie) między krytykami wychodzenia poza ustalone metody a entuzjastami tego kierunku, by można było oczekiwać, że w przewidywalnej przyszłości jakiś konsensus zostanie ustalony. Oprócz zasygnalizowanego we wstępie zaufania do naturalnych mechanizmów nauki, które dotychczas wyprowadzały ją z kryzysów, pozostaje jeszcze jedna możliwość – że zostanie wreszcie odkryta (stworzona) kwantowa teo-

ria grawitacji i rozwiąże te problemy, których rozwiązań poszukujemy w egzotycznych (tzn. wykraczających poza standardową kontrolę obserwacyjną) koncepcjach. Ale czy wówczas nie otworzą się nowe, jeszcze bardziej subtelne i trudne, problemy?

Krótko mówiąc, filozofia kosmologii to program otwarty.

Tarnów, 23 lutego 2018 roku.

Michał Heller

Bernard Bolzano: pierwsze (historycznie) matematyczne ujęcie pojęcia *kontinuum*

Lukas Benedikt Kraus, *Der Begriff des Kontinuums bei Bernard Bolzano*, Beiträge zur Bolzano-Forschung, vol. 25, Academia Verlag, Sankt Augustin 2014, ss. 112

W punkcie wyjścia swej książki Lukas Kraus stwierdza, że pojęcie kontinuum nie tylko zajmuje centralne miejsce w Bolzanowskiej matematyce i filozofii, ale jest również zasadniczym pojęciem nowoczesnej matematyki. Jednakże istnieją bardzo rozbieżne opinie na temat tego, czy Bolzano we wszystkich fazach swojej działalności posługiwał się jednolitą definicją kontinuum. Pochodnym problemem jest to, jak z dzisiejszego punktu widzenia interpretować Bolzanowskie określenia kontinuum.

Celem Krausa jest podanie jednolitej interpretacji istotnych Bolzanowskich określeń kontinuum, a później porównanie jej z nowoczesnym – matematycznym – określeniem kontinuum. Dysponując tymi wynikami chce odnieść się do dotychczasowych

interpretacji Bolzanowskiego pojęcia kontinuum.

Dla zrealizowania swych celów Kraus klarownie dzieli tekst na sześć rozdziałów. W pierwszym przedstawia cztery Bolzanowskie określenia pojęcia kontinuum. W drugim analizuje teksty praskiego matematyka i wskazuje, że są one ze sobą spójne, co pozwala mu wyinterpretować Bolzanowską definicję kontinuum. Trzeci rozdział zawiera próbę porównania tej definicji z nowoczesną (Cantor, Hausdorff) matematyczną koncepcją kontinuum. Czwarty rozdział wskazuje, że Bolzano nie traktował kontinuum jedynie jako abstrakcyjnego, matematycznego pojęcia, ale również jako pojęcie zaangażowane metafizycznie w jego filozofię przyrody. Kolejny rozdział zawiera przegląd dotychczasowych interpretacji Bolzanowskich określeń kontinuum i wskazuje na ich wady lub braki. Wreszcie szósty rozdział jest zebraniem cząstkowych wyników poszczególnych rozdziałów. Całość opatrzona jest aneksem, w którym formalnie przedstawione są wyniki trzeciego rozdziału, wykaz symboli logicznych i matematycznych, bibliografię oraz indeks osób.

Lukas Kraus w klarowny sposób pokazuje, że z czterech zasadni-

czych fragmentów tekstów Bolzana dotyczących kontinuum daje się wyprowadzić jednolita definicja tego pojęcia: „Kontinuum jest całością złożoną z (przestrzennych, czasowych lub materialnych) punktów, w której dla każdego jej punktu istnieje określona odległość, tak że w tej i każdej mniejszej odległości istnieje punkt należący do tej całości”.

Z tekstów Bolzana wynika też jego definicja punktu izolowanego: „Punktem izolowanym jest punkt całości złożonej z (przestrzennych, czasowych lub materialnych) punktów, dla którego, dla dowolnie wybranej małej odległości istnieje mniejsza odległość, w której nie znajduje się żaden inny punkt tej całości”.

Z owych definicji wynika, że „Kontinuum jest całością złożoną z (przestrzennych, czasowych lub materialnych) punktów, która nie zawiera żadnych punktów izolowanych”.

Autor dokonuje następującej translacji powyższych definicji na język współczesnej matematyki: „Podzbiór A przestrzeni metrycznej nazywa się Bolzanowskim kontinuum, kiedy dla każdego punktu p z A istnieje liczba rzeczywista $\epsilon > 0$, taka że dla wszystkich $\eta \in (0, \epsilon]$ istnieje przynajmniej jeden punkt q z A , który znajduje się od p dokładnie

w odległości η ”. „Punkt p podzbioru A przestrzeni metrycznej nazywa się punktem izolowanym (w znaczeniu Bolzanowskim) zbioru A , kiedy dla każdej liczby rzeczywistej $\epsilon > 0$ istnieje liczba rzeczywista $\eta \in (0, \epsilon)$, taka że żaden punkt z A nie znajduje się w odległości η od p ”.

Autor porównuje następnie Bolzanowską z Cantorowską (i nawiązującej do tej ostatniej Hausdorffowską) definicją kontinuum, dokonując przedtem translacji składowych definicji Cantora na język współczesnej matematyki. „Podzbiór A przestrzeni metrycznej nazywa się doskonały, kiedy jest on identyczny ze zbiorem wszystkich punktów skupienia A (czyli jest wszędzie-gęsty i domknięty)”. „Podzbiór A przestrzeni metrycznej nazywa się zwarty, kiedy dla dowolnych dwóch punktów $a, b \in A$ i dla dowolnej liczby rzeczywistej $\epsilon > 0$ istnieje skończenie wiele punktów $a = p_1, p_2, \dots, p_n = b$, gdzie $p_i \in A$, takich, że wszystkie odległości pomiędzy p_i i p_{i+1} są mniejsze od ϵ ”.

Następnie autor przypomina Cantorowską definicję kontinuum – są to, przy przyjęciu odpowiedniej translacji, te podzbiory przestrzeni metrycznej, które są doskonałe i zwarte.

Rzecz jasna autor zauważa zasadnicze różnice pomiędzy definicjami kontinuum Bolzana i Cantora. Kontinuum Bolzana nie musi być zbiorem doskonałym, ponieważ definicję Bolzana spełnia np. obustronnie otwarty przedział liczb rzeczywistych $(0, 1)$, niezawierający punktów skupienia tego zbioru 0 i 1 . Poza tym kontinuum Bolzana nie musi być zbiorem zwartym, jako przykład służy zbiór punktów dwóch prostych równoległych.

Z tego porównania Lukas Kraus wyprowadza następujące wnioski:

1. Bolzanowskie pojęcie kontinuum jest szersze, niż Cantorowskie i Hausdorffowskie pojęcie kontinuum;
2. Bolzanowskie kontinua nie muszą być ani zwarte ani doskonałe;
3. Bolzanowskie kontinua są zbiorami wszędzie-gęstymi i dzielą tę cechę z kontinuumi Cantorowskimi (Hausdorffowskimi);
4. Bolzanowskie pojęcie kontinuum jest węższe niż pojęcie zbioru wszędzie-gęstego;
5. Kontinua Bolzanowskie są zbiorami nieprzeliczalnymi.

Kraus wskazuje na krytykę Cantora Bolzanowskiego określenia kontinuum zawartego w *Paradoxien des Unendlichen*. Matematyk z Halle pokazuje w niej, że kontinua

Bolzanowskie nie muszą zawierać wszystkich swoich punktów skupienia i mogą być złożone z wielu oddzielonych od siebie, w znaczeniu niezwartych, zbiorów, co, zdaniem twórcy teorii mnogości, nie odpowiada powszechnym intuicjom związanym z pojęciem kontinuum. Jednak Lukas Kraus pokazuje, że krytyka Cantora, przynajmniej w jednym punkcie jest niesłuszna. Odwołuje się do elementów filozofii przyrody (*Naturphilosophie*) Bolzana.

Praski myśliciel twierdził, że obiekty materialne zbudowane są z punktowych atomów dwojakiego rodzaju. Jedne mają charakter materii, inne są atomami eterycznymi. Wszystkich atomów w takim obiekcie jest nieskończenie wiele, dzisiaj powiedziano by, że ich liczba wynosi kontinuum, jednak jest bardzo wątpliwe przypisywanie Bolzanowi świadomości istnienia różnych mocy pozaskończonych. Atomy eteryczne przedmiotu materialnego tworzą Bolzanowskie kontinuum. Atomy materialne to niektóre punkty skupienia przedmiotu materialnego rozumianego jako zbiór punktów. Owe atomy materialne – i tylko one – są źródłami sił, które organizują wokół punktów materialnych atomy eteryczne. Ponieważ zorganizowane wokół danego punktu materialnego

zbiory punktów eterycznych posiadają miarę różną od 0, to punktów materialnych w obiektach materialnych może być tylko skończenie wiele.

Trzeba przypomnieć jeszcze, że Kraus pokazał, iż Bolzanowskie kontinua to nie są zbiory obiektów abstrakcyjnych, ale całości punktów czasowych, przestrzennych lub tworzących przedmioty materialne. Lukas Kraus wskazał, że koncepcja kontinuum Bolzana była zbudowana na potrzeby charakterystyki zbioru punktów eterycznych w obiekcie materialnym, który to zbiór, w jego filozofii przyrody, nie zawierał wszystkich swoich punktów skupienia. Koncepcja kontinuum Bolzana nie była błędna (nieodpowiadająca powszechnym intuicjom związanym z kontinuum), ale dostosowana do potrzeb formułowanych przez niego też filozoficznych. Kraus przyznaje jednocześnie bardzo rzetelnie, że nie można rozstrzygnąć, czy dopuszczony przez Bolzana brak wartości kontinuuów był zamierzony, czy też nie.

Omawiając dalej kwestię dziejów interpretacji Bolzanowskiego pojęcia kontinuum, Kraus zauważa, że wszystkie one były zależne od przedstawionej wyżej krytyki Cantora i nikt nie zwrócił uwagi na za-

leżność koncepcji kontinuum matematyka z Pragi od jego filozofii przyrody. Co więcej, jak stwierdza Kraus, zdarzały się interpretacje, które nawiązywały przede wszystkim do krytycznego komentarza Cantora, a mniej do tekstów Bolzana, albo też opierały się na wadliwym ich odczytaniu.

Praca Lukasa Krausa jest bardzo rzetelna. Opiera się na tekstach źródłowych. Kraus dokonuje bardzo wnikliwej analizy czterech podstawowych opisów kontinuum pozostawionych przez Bolzana i wykazuje, że można z nich wydobyć jednolitą definicję owego pojęcia. Autor przedstawia przekonującą translację definicji Bolzana na współczesny język matematyki. Pozwala mu to dokonać porównania koncepcji Bolzana z – przede wszystkim – koncepcją Cantora. Kraus wykazuje, że odmienność definicji Bolzana wynika z jego swoistej filozofii przyrody, w której angażuje on pojęcie kontinuum. Poza tym Kraus, niejako na marginesie, przypomina, że to Bolzanowska koncepcja stoi na początku linii rozwojowej, która została zwieńczona współczesnym topologicznym określeniem kontinuum – bardzo ważnego pojęcia dzisiejszej matematyki.

Myśl książki jest przedstawiona bardzo klarownie, wszystkie po-

trzebne pojęcia są wcześniej zdefiniowane. W aneksie wszystkie definicje przedstawione są w języku formalnym. Klarowny przekaz, oparcie tekstu na źródłach i zaprezentowane wnioski wprowadzają porządek w powikłane dzieje rozumienia Bolzanowskiej koncepcji kontinuum. Praca Krausa stanowi istotny element we współczesnych badaniach dorobku Bolzana.

Warto jeszcze przypomnieć, że książka ukazała się w serii *Beiträge zur Bolzano-Forschung*, w której za-

prezentowano szereg wartościowych analiz matematyki, logiki i filozofii Bolzana. Należy spodziewać się kolejnych prac. Ogromna część wielkiego spadku piśmienniczego Bolzana przetrwała tylko w rękopisach. Dopiero ostatnie dziesięciolecie przynoszą książkowe wydania rękopisów. Dlatego wiele tekstów Bolzana wymaga jeszcze analiz, które wzbogacą wiedzę dotyczącą niezwykle wszechstronnego dorobku myśliciela z Pragi.

Jerzy Dadaczyński

Myślenie na długi dystans

Oblicza filozofii w nauce, P. Polak,
J. Mączka, W.P. Grygiel (red.),
Copernicus Center Press, Kraków
2017, ss. 386.

„«Filozofia w nauce» wyrosła z praktyki” – dokładnie tymi słowami ks. Michał Heller rozpoczął artykuł *Jak możliwa jest „filozofia w nauce”*, opublikowany w 1986 roku na łamach „*Studia Philosophiae Christianae*” (Heller, 1986). Równo trzydzieści lat później grono osób związanych z Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych podjęło się organizacji jubileuszowej, XX Konferencji Metodologicznej, zatytułowanej – a jakże by inaczej – „Filozofia w nauce”. Nazwa konferencji była oczywiście nieprzypadkowa. Organizatorzy chcieli bowiem uczcić 80. rocznicę urodzin ks. Hellera – autora tytułowej koncepcji „filozofii w nauce”, jednego z inicjatorów krakowskich Konferencji Metodologicznych i twórcę Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych.

We wspomnianym artykule ks. Heller pisał, że filozoficzne zagadnienie w nauce „wymagają badań inter-

dyscyplinarnych i w związku z tym tylko jeden apel byłby na miejscu, a mianowicie apel o odpowiedzialną współpracę filozofów-metodologów z przedstawicielami nauk szczegółowych” (Heller, 1986, s. 18). Naprzeciw temu wezwaniu od wielu lat wychodzi środowisko polskich filozofów i uczonych, związanych przede wszystkim z Uniwersytetem Papieskim Jana Pawła II oraz Uniwersytetem Jagiellońskim. Dzięki ich wysiłkowi XX Konferencja Metodologiczna, współorganizowana także przez Polską Akademię Umiejętności, zgromadziła w dniach 30–31 maja 2016 roku w Krakowie liczne grono przedstawicieli różnych dziedzin nauki¹. Prawie wszystkie wygłoszone wówczas referaty zostały spisane przez prelegentów i opublikowane w zbiorowej pracy *Oblicza filozofii w nauce*, wydanej przez Copernicus Center Press.

Tytuł książki, a zwłaszcza zawartość merytoryczna mogą świadczyć o tym, że idea „filozofii w nauce” – zapoczątkowana zaledwie kilka dekad temu – nabrała dojrzałości i ma licznych kontynuatorów. Redaktorzy recenzowanej pozycji (Paweł Polak, Janusz Mączka, Wojciech P. Grygiel) to zresztą uczniowie ks. Hellera, któ-

¹ Wśród prelegentów znaleźli się – oprócz filozofów – m.in. matematycy, fizycy i chemicy.

rzy z powodzeniem rozwijają myśl zainicjowaną przez laureata Nagrody Templetona. W przygotowanej publikacji postanowili przyrzeć się idei „filozofii w nauce” z dwóch perspektyw. Część I zatytułowana została „Filozofia w nauce z historycznego punktu widzenia”, natomiast część II – „Filozofia w nauce wobec współczesnych wyzwań”. Taki układ treści wpisuje się w tradycję krakowskiej filozofii przyrody, która oprócz podejmowania badań nad konkretnymi problemami filozoficznymi we współczesnych naukach przyrodniczych i formalnych, dużą wagę przywiązuje także do historii nauki (zob. np. Polak, 2017, s. 108–111).

Korzenie przyrodoznawstwa tkwią w starożytności. Nic więc dziwnego, że właściwą część książki otwiera artykuł *U źródeł pytania o matematyczność świata. Pitagorejczycy, Platon i Arystoteles*, autorstwa Bogdana Dembińskiego z Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach. Do problematyki historycznej – choć bliższej naszym czasom – wprost nawiązują także inne artykuły: *Kłopotliwy aksjomat wyboru* (Roman Duda, Uniwersytet Wrocławski), *Filozoficzne i teologiczne tło Cantora teorii mnogości* (Roman Murawski, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu), *Rola Ste-*

fana Z. Pawlickiego (1839–1916) w kształtowaniu się krakowskiego ośrodka filozofii przyrody (Paweł Polak, Uniwersytet Papieski Jana Pawła II w Krakowie), *Między filozofią w nauce a filozofią przyrody. Piękno systemu w konkretności: zakaz Pauliego a filozofia Czesława Białobrzęskiego* (Łukasz Mściślawski, Politechnika Wrocławska), *Scientific philosophy in the Lvov-Warsaw School. Pragmatic rationalism as its mainstream trend* (Witold Marciszewski).

Rozpiętość tematyczna i czasowa problematyki poruszanej w części I jest duża. Mogłoby się wydawać, że znalezienie idei wspólnych, łączących tak różne zagadnienia, okaże się trudnym wyzwaniem. Nic bardziej mylnego. „Filozofia w nauce” wyłoniła się z bogatej tradycji filozoficznych i naukowych, a poprzedzające ją idee przejawiały się również w środowisku lokalnym, co niewątpliwie warto przy różnych okazjach podkreślać. Badanie rodzimych tradycji filozoficznych – w wielu wypadkach wciąż słabo znanych – wydaje się w związku z tym szczególnie interesujące. Może ono bowiem rzucić światło na genezę i rozwój koncepcji „filozofii w nauce” w kontekście polskiej myśli filozoficznej oraz naukowej, kształtowanej na przestrzeni XIX i XX wieku. Ar-

tykuły zebrane w części I książki pokazują, jak płodne i inspirujące mogą to być badania, choć wypada nadmienić, że na gruncie historii polskiej filozofii przyrody pozostaje wciąż jeszcze wiele do zrobienia, co niektórzy Autorzy wyraźnie sugerują (zob. np. Polak, 2017, s. 125, a także Mściślawski, 2017, s. 152). Niezależnie od tego pewne ustalenia, jak choćby teza o powiązaniach filozofii ks. Hellera z dziedzictwem szkoły lwowsko-warszawskiej (Marciszewski, 2017, s. 155–199) zapewne wzbogacą dotychczasowe prace historyczne o nową perspektywę.

„Filozofia w nauce” to również, a może przede wszystkim, badanie różnych problemów pojawiających się we współczesnych naukach. O tym, jak zróżnicowane bywają to zagadnienia, świadczą artykuły zawarte w części II książki: *Komplikacja logiczna w matematyce i gdzie indziej* (Stanisław Krajewski, Uniwersytet Warszawski), *Czy zobaczymy kształt Wszechświata? Refleksje matematyka* (Zdzisław Pogoda, Uniwersytet Jagielloński), *Kłopoty z jedynością Wszechświata* (Leszek M. Sokołowski, Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Jagiellońskiego), *Jak filozofia jest obecna w chemii?* (Paweł Zeidler, Uniwersy-

tet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu), *Czy experimentum wciąż jest crucis?* (Michał Eckstein, Uniwersytet Jagielloński), *Pułapki języka* (Elżbieta Kałuszyńska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie), *Obrona naturalizmu* (Jan Woleński, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie), *Teizm nie jest hipotezą wyjaśniającą* (Mieszko Tałasiewicz, Uniwersytet Warszawski), *W obliczu tajemnicy: teologiczna myśl ks. Michała Hellera* (Wojciech P. Grygiel, Uniwersytet Papieski Jana Pawła II w Krakowie).

Autorzy części II książki poruszyli w swoich artykułach szereg zagadnień, m.in. z zakresu metodologii nauk, filozofii matematyki, filozofii języka, kosmologii, relacji nauka-religia. Wszystkie te obszary stanowią od kilku dekad przedmiot zainteresowań filozofów rozwijających myśl ks. Hellera. Tytułowe „oblicza filozofii w nauce” zostały w tej części ukazane przede wszystkim w kontekście problemowym. Autorzy usiłowali wykazać, że „filozofia w nauce” to wciąż aktualna i nowoczesna propozycja metafizologiczna, dzięki której można skutecznie mierzyć się z problemami, jakich dostarcza rozwój wiedzy naukowej.

Zarówno w części historycznej, jak i problemowej, poruszonych

zostało wiele tematów charakterystycznych dla tradycji badawczej ks. M. Hellera i jego współpracowników: kwestia uwarunkowań ontologicznych i epistemologicznych nauki, problem matematyczności przyrody, specyfika języka naukowego, problem kosmologicznych modeli Wszechświata czy zagadnienie teologii nauki jako interdyscyplinarnej działalności ukazującej możliwe powiązania między wiarą a poznaniem naukowym. Nie zabrakło także miejsca na tematy nowatorskie, dotychczas nie rozwijane zbyt intensywnie, jak np. wpływ filozofii na rozwój aparatu pojęciowego w nowożytnej chemii (Zeidler, 2017, s. 255–267). Znamienne, że tak różne zagadnienia podjęli uczeni z ośrodków naukowych z całego kraju, co świadczy o tym, że idea „filozofii w nauce” wyrosła już daleko poza kontekst środowiska krakowskiego i trafiała na podatny grunt również w innych częściach Polski.

Nie stało się tak zapewne bez przyczyny. Propozycja uprawiania filozofii w duchu interdyscyplinarnym

nie jest pustą deklaracją sympatyków myśli ks. Hellera. Gdyby pokusić się o krótkie podsumowanie omawianej książki, to można by powiedzieć, że jest ona przykładem zastosowania w praktyce metafizycznych idei krakowskiego kosmologa. W efekcie czytelnik ma okazję obcować z takim sposobem filozofowania, który – niezależnie od problematyki poruszanej w danym artykule – cechuje otwartość², antydogmatyzm, ostrożność w formułowaniu wniosków oraz poszanowanie dla dorobku przeszłych pokoleń filozofów i naukowców³. Jednocześnie jest to filozofia, która ochocho wykorzystuje współczesne narzędzia logiczne i metodologiczne, stroniąc przy tym od ujmowania rzeczywistości przyrodniczej przez – jak mógłby powiedzieć ks. Józef Tischner – „okna systemu”. Stanowi to o jej szczególnej wartości na tle innych propozycji filozoficznych, rozwijanych zwłaszcza na gruncie chrześcijaństwa.

Podczas lektury książki trudno nie zwrócić uwagi na charaktery-

² Na kartach książki nie zabrakło również artykułów, które dla niektórych sympatyków krakowskiego filozofa mogą wydać się kontrowersyjne (zob. np. Woleński, 2017, s. 311–319).

³ Uwaga ta jest o tyle istotna, że także niektórzy Autorzy w części II książki czerpią intensywnie z dziejów nauki i filozofii (zob. np. Krajewski, 2017, s. 211; Zeidler, 2017, s. 265–266).

styczne rozłożenie akcentów, tzn. „filozofia w nauce” w praktyce staje się najczęściej filozofią w fizyce, a dopiero w dalszej kolejności podejmuje się zagadnienia filozoficzne we współczesnej chemii, biologii czy informatyce. Odczuwa się również brak szerszych odniesień do pytań i problemów, jakie stwarza rozwój technologiczny. Z drugiej strony pewne klasyczne zagadnienia, jak np. problem relacji między religią a nauką, ujmuje się w kontekście nowszych koncepcji. W niektórych artykułach (zob. np. Grygiel, 2017, s. 337–369) w twórczy sposób podjęto teologiczne idee ks. Hellera, co można traktować jako dalszy etap prac nad teologią nauki, która ostatnimi czasy zaczęła być rozwijana na szerszą skalę (zob. np. Macek, 2010; Heller, 2015, s. 13–22; Polak, 2015, s. 25–56).

Jak już wspomniano, „filozofia w nauce” wyrosła z praktyki i – o czym świadczy omawiana pozycja – nadal bujnie rozwija się w oparciu o interdyscyplinarną współpracę między filozofami a naukowcami. Przy okazji *Oblicza filozofii w nauce* pokazują, jak ważne jest, aby dialog ten prowadzić w możliwie szerokim gronie specjalistów, którzy zara-

zem potrafią w sposób kompetentny podejmować uniwersalne pytania filozofii, wychodząc poza ramy wąskich specjalizacji. Nie da się jednak ukryć, że największe zasługi w propagowaniu tej idei miał ks. M. Heller. Co zainspirowało laureata Nagrody Templetona do rozwijania takiego sposobu uprawiania filozofii? To z pewnością temat na odrębne opracowanie, jednak trudno w tym miejscu nie wspomnieć, że „klimat” krakowskiego środowiska filozoficznego mógł odegrać tutaj niebagatelną rolę.

A skoro już o Krakowie mowa – ks. J. Tischner wspomniał przed laty, jak doszło do tego, że na mapie uniwersyteckiej w Polsce pojawił się Wydział Filozoficzny Papieskiej Akademii Teologicznej w Krakowie. Swoje refleksje podejmował w nawiązaniu do tematu „Rola Karola Wojtyły – Jana Pawła II w kształtowaniu się krakowskiego środowiska filozoficznego”. Warto przypomnieć słowa autora *Filozofii dramatu*, ponieważ ks. M. Heller również był jednym z filarów Papieskiej Akademii Teologicznej⁴, powołanej do istnienia właśnie dzięki staraniom K. Wojtyły: „Skąd wziął się Wydział Filozofii PAT? Wziął się z myślenia

⁴ Obecnie Uniwersytet Papieski Jana Pawła II w Krakowie.

na długi dystans, z potrzeby utrwale-
nia przez określoną instytucję prze-
strzeni wolności i zaufania do lu-
dzi, których wiara szuka rozumie-
nia, a rozumienie szuka wiary. Zaufa-
nie i przestrzeń wolności – to dwa
Wojtyłowskie fundamenty Wydziału.
Wydział z nich żyje. I jeśli kiedy-
kolwiek obumrze, to będzie to tylko
z winy tych, którzy utraciwszy za-
ufanie do ludzi myślących, przestra-
szą się również wolności” (Tischner,
1993, s. 290).

Można powiedzieć, że program
„filozofii w nauce” ks. M. Hellera jest
właśnie doskonałym przykładem re-
alizacji „myślenia na długi dystans”,
które wzbogaciło i – czego sobie
oraz Państwu życzę – nadal będzie
wzbogacało polską filozofię oraz Wy-
dział Filozoficzny Uniwersytetu Pa-
pieskiego Jana Pawła II.

Na zakończenie dodam, że
książka została wydana w dużym for-
macie B5, a do artykułów dołączono
streszczenia w języku polskim i w ję-
zyku angielskim⁵. Warto przy tym
wspomnieć, że niektóre wykłady to-
warzyszące części rozdziałów oma-
wianej pozycji zostały również udo-
stępnione w wersji filmowej na por-
talu YouTube, na kanale Copernicus
Center for Interdisciplinary Studies,

pod adresem: <https://www.youtube.com/CopernicusCenter>.

Kamil Trombik

Bibliografia

- Grygiel, W., 2017. W obliczu ta-
jemnicy: teologiczna myśl ks.
Michała Hellera. W: Polak, P.,
Mączka, J. i Grygiel, W.P. red.
Oblicza filozofii w nauce. Kra-
ków: Copernicus Center Press,
ss. 337–369.
- Heller, M., 1986. Jak możliwa jest
„filozofia w nauce”? *Studia Phi-
losophiae Christianae*, 22, ss. 7–
19.
- Heller, M., 2015. Wstęp do teologii
nauki. W: Mączka, J. i Urbań-
czyk, P. red. *Teologia nauki*.
Kraków: Copernicus Center
Press, ss. 13–22.
- Krajewski, S., 2017. Komplikacja lo-
giczna w matematyce i gdzie in-
dziej. W: Polak, P., Mączka, J.
i Grygiel, W.P. red. *Oblicza filo-
zofii w nauce*. Kraków: Coperni-
cus Center Press, ss. 203–214.
- Macek, W.M., 2010. *Teologia na-
uki według księdza Michała Hel-
lera*. Warszawa: Wydawnictwo
UKSW.
- Marciszewski, W., 2017. Scientific
philosophy in the Lvov-Warsaw

⁵ Wyjątkiem jest artykuł J. Woleńskiego, do którego nie dołączono abstraktów.

- School. Pragmatic rationalism as its mainstream trend. W: Polak, P., Mączka, J. i Grygiel, W.P. red. *Oblicza filozofii w nauce*. Kraków: Copernicus Center Press, ss. 155–199.
- Mściślawski, Ł., 2017. Między filozofią w nauce a filozofią przyrody. Piękno systemu w konkretności: zakaz Pauliego a filozofia Czesława Białobrzęskiego. W: Polak, P., Mączka, J. i Grygiel, W.P. red. *Oblicza filozofii w nauce*. Kraków: Copernicus Center Press, ss. 133–153.
- Polak, P., 2015. Teologia nauki w perspektywie metodologicznej. W: Mączka, J. i Urbańczyk, P. red. *Teologia nauki*. Kraków: Copernicus Center Press, ss. 25–56.
- Polak, P., 2017. Rola Stefana Z. Pawlickiego (1839–1916) w kształtowaniu się krakowskiego ośrodka filozofii przyrody. W: Polak, P., Mączka, J. i Grygiel, W.P. red. *Oblicza filozofii w nauce*. Kraków: Copernicus Center Press, ss. 85–132.
- Tischner, J., 1993. Rola Karola Wojtyły – Jana Pawła II w kształtowaniu się krakowskiego ośrodka filozoficznego [głos w dyskusji]. *Logos i Ethos*, 4(1), ss. 289–301.
- Woleński, J., 2017. Obrona naturalizmu. W: Polak, P., Mączka, J. i Grygiel, W.P. red. *Oblicza filozofii w nauce*. Kraków: Copernicus Center Press, ss. 301–319.
- Zeidler, P., 2017. Jak filozofia jest obecna w chemii? W: Polak, P., Mączka, J. i Grygiel, W.P. red. *Oblicza filozofii w nauce*. Kraków: Copernicus Center Press, ss. 255–267.

The Daniel Dennett's New Mind: Darwin, Turing but no Bach

Daniel C. Dennett, *From Bacteria to Bach and Back. The evolution of mind*, Penguin Random House, UK 2017, pp. 467.

Daniel Dennett has been writing about concepts of the mind, freewill, and consciousness for most of his career. In his new book *From Bacteria to Bach and Back*, Dennett sets himself the goal of finally providing definitive explanations for these problems. He states on page 4:¹ “I have found a path that takes us all the way to a satisfactory—and satisfying—account of how the ‘magic’ of our minds is accomplished without any magic.” The challenge here is obvious, because for most of us, the mind is a great unknown, so let us review how well Dennett fulfills his promise.

Another word of introduction is needed, however. Dennett is an avowed materialist—some even call him an ultra-Darwinist. In other words, he belongs to a rather mili-

tant faction among philosophers. For such individuals, facts either support or undermine an argument—there are no grey areas, and nothing is unexplainable or unclear. The same applies to people as well—they are either for or against. For the people in the second category, their arguments are simply wrong, fairylike, and unworthy of mentioning. On reading the book, one can see who Dennett regards as in or out. Unsurprisingly, Dennett sees his fellow travelers as including Richard Dawkins, Sam Harris, the late Christopher Hitchens, and Lawrence Krauss. Among his enemies there are John Searle, Thomas Nagel, Steven Jay Gould, and Noam Chomsky, to list but a few. This observation is not just a tangential one. You will find reviews of Dennett’s work that declare his writings to be paragons of absolute clarity, yet you can also find reviews of that same work that are not so enthusiastic. You may well wonder where this divergence of opinions stems from.

The book is titled *From Bacteria to Bach and Back* with the subtitle *The evolution of mind*. It comprises some 450-plus pages of dense writing with ample technical jargon, neologisms, and other terms

¹ Page numbering refers to the version published by Penguin Random House, UK. 2017.

that seem familiar but which here are somewhat different. Dennett refers to these semantic changes, which are characteristic of his philosophy, as “reversions” of meaning. We need to watch out for these “reversed” concepts, because they are critical to the larger argument made in the book.

Dennett delivers the whole story of the mind to us in three parts. In the introduction, we are primed for what Dennett calls the “inversion of concepts.” In brief, he claims that everything we think we know about the mind and evolution is not what we believe it to be. It is rather what he thinks it is, and he is clearly going to tell us just that. In his own world, it is about “turning our world upside down, following Darwin and Turing; then evolving evolution into intelligent design; and finally turning our minds inside out” (p.6).

Dennett postulates that the complexity of the natural world is the result of evolution, a purposeless process (as evolution is). We naturally do not have a problem with this. He then states that all the “brilliance and comprehension in the world arises ultimately out of uncomprehending competences compounded over time into ever more competent—and hence comprehending—systems” (p.57). Dennett here

introduces Alan Turing’s concept of a calculating machine. For Dennett, the Turing machine is absolute proof that complex problems can be solved through mindless processes. In Dennett’s words, “Turing’s [...] novel idea [is] that [...] we may build comprehension out of a cascade of competencies [...] without having to comprehend [...]” (p.58). Translated into simpler English, Dennett’s Darwin and Turing arguments imply the following: Mindless evolution “created” complex biological systems, and this is Darwin’s contribution. The mind, reason, and intelligence (as we see it) have also been created (or emerged) in the same way, just as complex biological structures did. Through evolution mechanisms, mindless simple operations transformed into “comprehension” or in other words, the mind with all its complexities. This is what the Turing model is supposed to demonstrate, according to Dennett. Turing computations, which are very elementary at the basic level, can, through an appropriate process, become immensely complex. To complete the picture, we need to add memes into the mix (This happens in Part II of the book). Memes are units of cultural transmission, and the cultural revolution that is behind

the proliferation of memes is also Darwinian in nature. Thus, we have the mind. This is the concluding argument that is presented in the third part of the book.

As it turns out, however, this does not end the problem or answer the original question, at least if you really think about it. Dennett's arguments explain away complex notions of the mind and reason through Darwinian evolution and the rise in complex computing with Turing-like processes, yet these do not fit well together without some semantic massaging. Let us see why, at least for some selected examples.

If Turing machines explain the origin of the mind (as Dennett claims), one would expect the mind to be like a Turing machine. Now, if the mind were a Turing Machine, then what it would do is computing (Turing computing to be more specific), just as Turing machines compute. Mental operations would therefore be Turing-like computations, because the mind itself would be a computer, a Turing machine. According to Dennett, however, while Turing machines explain the origin and function of the mind, the computations that the mind performs are not Turing computations, and the mind is not a Turing machine. So, you may ask,

what it is that this mental Turing machine does? I leave it to the reader to attempt to discover Dennett's interpretation of what manner of computations the mind performs.

As some may already realize, bringing Turing into the discussion goes against John Searle's Chinese Room argument. In this, Searle claims that out of mindless operations, you get mindless systems—there are no semantics, no comprehension, and in particular, no mind. Dennett, meanwhile, claims that mindless operations create comprehension, semantics, understanding, and intelligence—everything is just a matter of scale. This proposition may hold up well initially, but for this logic to be sustainable, we need to tweak the meaning of some key terms. It seems that Dennett's idea of comprehension does not match that of Searle. Dennett's notion of comprehension is equated with competence, while Searle sees it as semantics and understanding. Thus, we have a Turing-based mind that does not compute and comprehension that is not actually comprehension but rather competence. This is what the mind is, together with consciousness, according to Dennett.

A few other minor peculiarities among Dennett's arguments are

worth noting. In his analogies or comparisons he quite often uses connections like “sorta” and “kind of,” not taking pains to explain what these terms should mean or why the things he compares are comparable. What makes them similar? Do they just look alike, or is there some deeper similarity? For example, he says things like “neurons are sorta robots” (p.162) and “the developing organism sorta understands” (p.154). The reader is left unsure, and Dennett does not help here, how this “sorta” logic works.

Dennett also quite liberally uses analogies that may seem odd. Here is an example: “[...] the simplest moving parts within neurons [...] are like [...] broomsticks in the Sorcerer’s Apprentice [...]” (p.162). One may therefore wonder why, and in what way, neurons are “like” magically animated broomsticks? Here is another example: “words play a role in cultural evolution similar to the role of DNA in genetic evolution” (p.202). Again in what way are these similar?

Of course, the selected analogies may not be essential to a full understanding of the book. Some may wonder, however, whether this firework display of logic with its “sorta arguments” and bewildering comparisons and analogies amounts

to an “explanation of the mind,” or is it just the poetic vision of a brilliant raconteur? As you may recall from Bertrand Russell’s comment on Hegel, bad logic breeds bad philosophy. You are left to judge on this.

The impression that emerges from the book is that everything is a product of mindless evolution, including reasoning and the mind. The mind is therefore an illusion, just as colors and free will are. As he expresses on page 368, “The scientists and philosophers who declare free will a fiction or illusion are right; it is part of the user-illusion of the manifested image. That puts it in the same category with colors, opportunities, dollars, promises and love.” Everything is the product of the combined activity of billions of mindless neurons, which has evolved to give us the mind, reason, and language. (This is apparently proven through Darwin, Turing, and memes!). This is fine, but the problem is not with his conclusion, which may well be right, but rather with an argument that does not seem to hold up under scrutiny. As an imaginative description of the mind’s inner workings, Dennett’s books is certainly interesting, yet it seems his arguments are missing in some areas.

Here are a few more observations about Dennett's style of exposition: The book is not written in a clear and accessible language style. What is more, this lack of clarity has little to do with its "academic jargon" or the logical complexity of the argument. It is simply a problem with the writer's pen. The author's main point is often lost, leaving the reader puzzling about how it all fits together. The book reads like the record of a lecture or a transcript of some freewheeling conversation rather than a carefully written, tightly argued philosophical discussion. By the way, several of Dennett's lectures are available on YouTube, and they offer a much clearer picture of his ideas, so they may be worth watching before plunging into his book.²

Of course, the question is how to "read" Dennett? Is it really worth the time? Many may be better served by listening to his lectures instead.

My personal view is that despite whatever deficiencies there are in the text; Dennett's book is worth reading. There are some preconditions, however: i) one is aware that he is a militant; ii) that he often uses "sleight of hand" arguments; and iii) that in his workshop, words melt down and shift in meaning, so nothing is what it seems to be. Consciousness for you is not what it is for Dennett. For his version, his argument may well work, but this may not be true for consciousness as many others conceive it to be. Dennett is also not always clear how he defines the terms he uses, so it is not always obvious how to interpret his arguments when they are stitched together with logical connections like "sorta" and "kind of." Thus, in the end, you receive a "sorta" argument and arrive at a "sorta kind of" conclusion, but an interesting reading.

Roman Krzanowski

² Daniel Dennett, *From Bacteria to Bach and Back: The Evolution of Minds*, Talks at Google – <https://www.youtube.com/watch?v=IZefk4gzQt4>, [Accessed 3 March 2018]. *Daniel Dennett on the Evolution of the Mind, Consciousness and AI* – <https://www.youtube.com/watch?v=o86W0DgrmRc>, [Accessed 3 March 2018].