



**Zagadnienia
Filozoficzne
w Nauce**



**Philosophical
Problems
in Science**

Zagadnienia Filozoficzne w Nauce

**Philosophical Problems
in Science**

© Copernicus Center Press, 2017

Kolegium redakcyjne:

Redaktor Naczelny: dr hab. Paweł Jan Polak
Zastępca Redaktora Naczelnego: dr. hab. Janusz Mączka
Redaktor Honorowy: prof. dr hab. Michał Heller
Sekretarz redakcji: Piotr Urbańczyk

Projekt okładki: Mariusz Banachowicz

Adiustacja i korekta: Artur Figarski

Redakcja techniczna: Artur Figarski

Projekt typograficzny: Mirosław Krzyszkowski

Skład: MELES-DESIGN

ISSN 0867-8286 (wyd. papierowe)

ISSN 2451-0602 (wyd. online)

Nakład: 500 egz.

Redakcja:

Zagadnienia Filozoficzne w Nauce
Wydział Filozoficzny UPJPII
ul. Kanoniczna 9
31-002 Kraków
e-mail: zagadnienia@upjp2.edu.pl
www.zfn.edu.pl



**Copernicus
Center**
PRESS

Wydawca:

Copernicus Center Press Sp. z o.o.
Pl. Szczepański 8, 31-011 Kraków
tel. (+48) 12 448 14 12
e-mail: marketing@ccpress.pl
www.ccpress.pl

Druk: OSDW Azymut

Zagadnienia Filozoficzne w Nauce

Philosophical Problems in Science

LXIII ■ 2017

ARTYKUŁY

- | | | |
|------------------|--|----|
| Charles McCarty | All the mathematics in the world: logical validity and classical set theory | 5 |
| Jerzy Mycka | Uniwersalność systemów funkcyjnych a całkowitość dziedzin funkcji – granice konfliktu i wzajemnego wpływu | 31 |
| Roman Krzanowski | Minimal Information Structural Realism | 59 |
| Paweł Polak | Current perspectives on the development of the philosophy of informatics (with a special regard to some Polish philosophers) | 77 |

Z PRAC KOMISJI FILOZOFII NAUK PAU

- | | | |
|------------|---|-----|
| Jerzy Król | Czy wiemy dlaczego czasoprzestrzeń na dużych skalach jest gładka i 4-wymiarowa? | 101 |
|------------|---|-----|

Bogdan Wszolek	Przezroczystość Wszechświata i międzygwiazdowe pasma rozmyte jako wyzwania dla rozwoju wiedzy przyrodniczej	113
Józef Bremer	Rogera Sperry'ego teoria świadomości	133

Z LEKTURY KLASYKÓW

Robert Janusz	Stulecie kosmologicznych prac Einsteina i de Sittera	167
Albert Einstein	Rozważania kosmologiczne na temat ogólnej teorii względności	183
Willem de Sitter	O względności bezwładności. Uwagi dotyczące ostatniej hipotezy Einsteina (Przedstawione na spotkaniu 31 III 1917)	205

RECENZJE

Kamil Trombik	Czy można nie być naturalistą?	223
Anna Sarosiek	Jeszcze raz o ucieleśnionej sztucznej inteligencji	231
Sylwia Psica	Świat pod lupą fenomenologa	241
Roman Krzanowski	Przestrzeń, filozofia i Wszechświat	249
Maria Poniewierska	Dwa języki, jeden świat	253

All the mathematics in the world: logical validity and classical set theory

In memory of Georg Kreisel (1923–2015)

Charles McCarty
Indiana University

Abstract

A recognizable topological model construction shows that any consistent principles of classical set theory, including the validity of the law of the excluded third, together with a standard class theory, do not suffice to demonstrate the general validity of the law of the excluded third. This result calls into question the classical mathematician's ability to offer solid justifications for the logical principles he or she favors.

Keywords

justification of deduction; set validity; class validity; general validity; intuitionism; topological models

1. Introduction

In his (1972, 152–153), Kreisel underscored the distinction between set validity and class validity, and pointed out that, under metatheoretic conditions not unusual, the two notions may pull apart extensionally. As will be proved in a moment, it is no paradox to assert that all the classical set-theoretic mathematics in the world, with it the set validity of the unrestricted law of the excluded third [**TND**], plus a class theory with Full Comprehension, if consistent, do not suffice to demonstrate that even the propositional version of the excluded third principle is class valid.

Definition 1 (*[propositional] law of the excluded third* [**TND**])

The (*propositional*) *law of the excluded third* is the formula

$$p \vee \neg p,$$

for p any propositional variable.

Take any domain of sets the classical mathematician chooses and no matter what (consistent) mathematics he or she discovers for that domain, it will be impossible, putting to work all relevant theorems and techniques, to show that **TND** is valid universally over the domain, even in the presence of a standard class theory. More specifically,

one can adopt the classical mathematics, if consistent, taken to hold true over any structure S for sets – including **TND** for S -and

yet be unable to deduce, from that mathematics plus Full Comprehension for classes, that **TND** governs all the classes over S .

Therefore, the presumptive ruling assumptions of classical mathematics cannot convince a latter-day intuitionist that, at work in mathematics, there are precisely two truth-values, **True** and **False**, an assertion tantamount to the validity of the excluded third.

The proof of this fact enlists the aid of a topological model construction in the venerable tradition of Tarski and Scott, for which construction no originality is here claimed. Nor is there any shattering novelty in the theorem proved thereby. However, there is a moral to be extracted from that theorem and from the constructions looming large in its proof, a moral concerning justifications of deduction. The moral in question is twofold. First, it is mistaken to suppose that individual logical principles have some vague manner of epistemic primitivity that prohibits their general validity being proven without begging the question. This is widely believed, at least among philosophers, despite the plain fact that the validity, of either the general, the class, or the set variety is defined in terms of strictly mathematical statements that *prima facie* cry out for proof or disproof. This notion is a close relative to the false idea that there is “nothing to logic,” that there is something (deeply?) basic or obvious or (weasel word) ‘potentially obvious’ (Quine, 1970, p. 82) about the propositional and first-order logical truths, that there is nothing substantial from which the validity of individual truths of logic can

be (or even need be) proven, as if the class of solutions to a numerical problem equivalent to the halting problem always has ‘obvious’ criteria for membership.

The second moral is that the unbiased question of the validity of even propositional logical schemes can be a significant one mathematically. Cognoscenti already know that, when formulated with a little care, the axioms of Zermelo-Fraenkel [**ZF**] set theory do not suffice to prove the set validity of the law of the excluded third, if that validity is not assumed from the outset. However, once the Axiom of Choice, even for varieties of finite sets, is added to **ZF**, a proof of **TND**’s set validity – a proof perfectly adequate from every epistemological standpoint – becomes immediate; it incorporates a charming little argument due to Radu Diaconescu (Diaconescu, 1975), later rediscovered by Goodman and Myhill (Goodman and Myhill, 1978) and (Beeson, 1985, p. 163). Indeed, attempts by classically-minded mathematicians to deduce the validity of excluded third not set-theoretically but generally will fall short – as this essay demonstrates – but the shortfall, I maintain, is neither plain nor superficial. To deduce a validity statement in a non-circular fashion can be a serious mathematical undertaking, and shortfalls in or limits upon such deductions can present substantial mathematical problems, with interesting solutions (McCarty, 2018).

This take on logical validity, a true one, looms large among the insights of the traditional intuitionists L.E.J. Brouwer and his one-time student Arend Heyting. In the latter’s masterwork (Heyting, 1956), we find

Logic is not the ground on which I stand. How could it be? It would in turn need a foundation. ... This is the case for every logical theorem: it is but a mathematical theorem of extreme generality; that is to say, logic is a part of mathematics, and can by no means serve as a foundation for it (Heyting, 1956, p. 6).

2. Metatheoretic definitions

Notions constituent to the concept of validity are defined as follows.

Definitions 2

1. (*replacing condition*) A *replacing condition* is a formula $\phi(x, X, a)$ in the language of second-order set theory featuring perhaps first-order variables, first-order parameters a , as well perhaps as second-order variables and parameters.
2. (*interpretation*) An *interpretation* of a propositional formula is the result of replacing uniformly each of its variables throughout by some replacing condition.
3. (*universal closure*) A *universal closure* of an interpretation $\Phi(x, X, a)$ is the statement that results by prefixing the interpretation with universal quantifiers, restricted to a particular domain or unrestricted, e.g.,

$$\forall x \forall X. \Phi(x, X, a)$$

so that all free variables in it are bound and the resulting expression closed.

4. (*generally valid*) A formula of propositional logic is *generally valid* just in case every universal closure of every interpretation of it is true.

Both set validity and class validity, defined as below, are natural restrictions on the notion of general validity. If a formula is generally valid, then it is both set and class valid.

Definitions 3

Let S be any model of first-order set theory, with, perhaps attached to it, a collection of classes over S as well.

1. (*replacing set condition*) A *replacing set condition* is a replacing condition that is first-order, all its variables range over set members of S , all its parameters name sets in S , and set membership is its sole primitive predicate.
2. (*set interpretation*) A *set interpretation* (over S) of a propositional formula is an interpretation of it in which all replacing conditions are set conditions.
3. (*set valid*) A propositional formula is *set valid* whenever, given any model S , every universal closure – quantifiers restricted to set members of S – of every set interpretation of the formula over S obtains.
4. (*replacing class condition*) A *replacing class condition* is a replacing condition that is first-order or second-order,

all its first-order variables range over S , all its first-order parameters name sets in S , its second-order variables range over classes over S , its second-order parameters names classes over S , while set and class membership are its sole primitive predicates.

5. (*class interpretation*) A *class interpretation* (over S) of a propositional formula is an interpretation of it in which all replacing conditions are class conditions.
6. (*class valid*) A propositional formula is *class valid* whenever, given any model S , every universal closure, its second-order variables restricted to classes over S , of every class interpretation over S obtains.

Proposition 1 Every set replacing condition is a replacing class condition. ■

Proposition 2 Every set interpretation is a class interpretation. ■

Proposition 3 Every generally valid formula is class valid. Every class valid formula is set valid. ■

For the sake of the present essay, we adopt classical set-theoretic mathematics – including the general validity of the law of the excluded third – as ambient metatheory. As stated, the final goal is to demonstrate that, even under these generous assumptions, classical set and a recognizable class theory are insufficient to afford conclusive mathematical evidence for the class validity – *a fortiori* general validity – of its own presumptive logical principles. Needless to say, no proprietary intuitionis-

tic theorem, such as the Uniformity Principle (Troelstra and van Dalen, 1988, p. 234) or Brouwer’s Continuity Theorem (Troelstra and van Dalen, 1988, p. 307) is here presupposed. These two, among others, each implies at once the invalidity of **TND**.

3. A topological model

For decades, it has been common to fancy that all the facts of classical mathematics are encodable as a collection \mathcal{C} of sentences in the language of standard first-order **ZF** set theory, deemed to hold good over the intuitive universe \mathbf{V} of cumulative sets. We adopt this large assumption – that all of classical mathematics can rightly be rendered in the pared-down language of **ZF** set theory, ready to be captured deductively from extensions of the **ZF** axioms – strictly for the sake of the current exercise. We do not believe it; other people believe it. (One could avoid it by adopting in its stead the much weaker proviso that all classical theorems are representable as a consistent collection of formulae in some single, many-sorted, first-order language.) On that assumption, a classical mathematician’s version of “all the mathematics in the world” includes any statements expressible in first-order set-theoretic terms, among them the standard first-order axioms for **ZF** plus large cardinal hypotheses, if desired. Hence, we are sure that “all the mathematics in the world” of \mathcal{C} provides the simple and obvious means for proving that classical formal first-order logic is sound over the relevant universe

of sets, and the less simple or obvious means for proving model completeness, i.e., that every classically consistent set of first-order formulae has a Tarskian model.

We also assume throughout that paraconsistent mathematicians will never have their way, and that \mathcal{C} is consistent in classical first-order logic. By model completeness, therefore, there is a model \mathcal{M} of \mathcal{C} with domain $|\mathcal{M}|$. Henceforth, lower case letters a, b , and the like from the start of the Roman alphabet are parameters for elements of $|\mathcal{M}|$. With the aid of a few more definitions, \mathcal{M} can be enlarged to a universe that includes not only (internal) sets but also classes over $|\mathcal{M}|$, and provides a model of the set theory from \mathcal{M} plus a full, impredicative, second-order class theory. Set and class validity of propositional formulae are then definable with respect to \mathcal{M} .

Definition 4 (*Sierpinski topology and space*) Treated classically, the topology τ that yields *Sierpinski space* on the discrete set $\{0,1\}$ has as its open sets these three:

$$\emptyset, \{1\}, \text{ and } \{0,1\}$$

From here on out, ‘ \perp ’ stands for \emptyset and ‘ \top ’ for $\{0,1\}$. Capital Roman letters from the end of the alphabet such as U, V, W range over open sets of τ . As is familiar, τ is closed under the familiar Heyting operations:

1. finite intersection \cap ,
2. arbitrary union \cup ,

3. Heyting implication $V \Rightarrow W$, that is $\bigcup\{U \varepsilon \tau : (U \cap V) \subseteq W\}$, for $V, W \varepsilon \tau$,
4. Heyting complementation $\sim U$, which maps $U \varepsilon \tau$ into the τ -interior of the relative complement of U in $\{0,1\}$, and
5. Heyting intersection \bigwedge , which takes any collection $\bigcup_i U_i$ of τ -open sets into the τ -interior of $\bigcap_i U_i$.

Definitions 5

1. (*[topological-valued] class*) A (topological-valued) *class* over \mathcal{M} is a function A total over $|\mathcal{M}|$ yielding outputs in τ . The collection of all these (topological-valued) classes over \mathcal{M} is denoted ‘ $|\mathbf{C}(\mathcal{M})|$.’
2. (*[topological-valued] set*) For a in $|\mathcal{M}|$, the (topological-valued) *set* \hat{a} over \mathcal{M} is the class over \mathcal{M} such that, for any b in $|\mathcal{M}|$, $\hat{a}(b) = \top$ if $\mathcal{M} \models b \varepsilon a$, and $= \perp$, otherwise.

Let capital Roman letters from the beginning of the alphabet range over topological-valued classes.

The model \mathcal{M} is assumed to be a model of set theory, hence $|\mathcal{M}|$ is a set itself. The collection $|\mathbf{C}(\mathcal{M})|$ of all topological-valued classes over \mathcal{M} consists of all and only the functions from $|\mathcal{M}|$ into the three-membered set τ . Therefore, it is also a set. Hence, when we speak of ‘classes’ internal to $\mathbf{C}(\mathcal{M})$ or of ‘topological-valued classes,’ we are not referring to classes absolutely, but only relative to \mathcal{M} . Some of these internal classes, e.g., the denotation of the Russell class abstract, are internally proper – they

are not internal sets. In fact, every topological-valued set over \mathcal{M} is also a topological-valued class:

Proposition 4 Every topological-valued set over \mathcal{M} is also a topological-valued class in $|\mathbf{C}(\mathcal{M})|$.

Proof: By definition. ■

Henceforth, when working with $|\mathcal{M}|$ and its extension $|\mathbf{C}(\mathcal{M})|$, we speak simply of sets and classes, respectively, from $|\mathbf{C}(\mathcal{M})|$, less the qualifiers ‘topological-valued’ or ‘internal.’

Definitions 6 Let \mathcal{L} be a standard second-order language for **ZF** with variables over sets and classes in which

1. first-order variables range over sets from $|\mathbf{C}(\mathcal{M})|$, while
2. second-order variables range over classes from $|\mathbf{C}(\mathcal{M})|$,
and
3. the atomic formulae are of two varieties: $x \varepsilon y$ and $y \varepsilon X$.

Let $\mathcal{L}(\mathcal{M})$ be \mathcal{L} with parameters for sets and classes from $|\mathbf{C}(\mathcal{M})|$.

Definition 7 (*the topological model $\mathbf{C}(\mathcal{M})$*) *The topological model $\mathbf{C}(\mathcal{M})$ is the function $\lambda\phi. \llbracket \phi \rrbracket$ mapping (closed) sentences of $\mathcal{L}(\mathcal{M})$ into τ satisfying the familiar recursive clauses introduced in (Tarski, 1938) and elaborated in (Scott, 1968).*

for a and b in $|\mathcal{M}|$, $\llbracket \hat{a} \varepsilon \hat{b} \rrbracket = \hat{b}(a)$,

for a in $|\mathcal{M}|$ and A a class, $\llbracket \hat{a} \varepsilon A \rrbracket = A(a)$,

$$\llbracket (\phi \wedge \psi) \rrbracket = \llbracket \phi \rrbracket \cap \llbracket \psi \rrbracket,$$

$$\llbracket (\phi \vee \psi) \rrbracket = \llbracket \phi \rrbracket \cup \llbracket \psi \rrbracket,$$

$$\llbracket (\phi \rightarrow \psi) \rrbracket = \llbracket \phi \rrbracket \Rightarrow \llbracket \psi \rrbracket,$$

$$\llbracket \neg \phi \rrbracket = \sim \llbracket \phi \rrbracket,$$

$$\llbracket \exists x. \phi(x) \rrbracket = \bigcup_{a \in |\mathcal{M}|} \llbracket \phi(\hat{a}) \rrbracket,$$

$$\llbracket \forall x. \phi(x) \rrbracket = \bigwedge_{a \in |\mathcal{M}|} \llbracket \phi(\hat{a}) \rrbracket,$$

$$\llbracket \exists X. \phi(X) \rrbracket = \bigcup_{A \in \mathbf{C}(\mathcal{M})} \llbracket \phi(A) \rrbracket, \text{ and}$$

$$\llbracket \forall X. \phi(X) \rrbracket = \bigwedge_{A \in \mathbf{C}(\mathcal{M})} \llbracket \phi(A) \rrbracket.$$

4. Satisfaction, soundness, and class theory

Definitions 8

1. (*satisfaction*) The topological model $\mathbf{C}(\mathcal{M})$ *satisfies* a parameterized sentence ϕ of $\mathcal{L}(\mathcal{M})$, in symbols $\mathbf{C}(\mathcal{M}) \models \phi$, whenever $\llbracket \phi \rrbracket = \top$.
2. (*formal derivability*) ‘ \vdash ’ stands for formal derivability over \mathcal{L} or $\mathcal{L}(\mathcal{M})$ specified by the rules of Heyting’s formal intuitionistic first-order logic, as in (Troelstra and van Dalen 1988, p. 35ff).

Proposition 5 (*soundness*) If $\phi \vdash \psi$ and $\mathbf{C}(\mathcal{M}) \models \phi$, then $\mathbf{C}(\mathcal{M}) \models \psi$.

Proof: (sketch) With Gentzen’s natural deduction formulation of intuitionistic first-order logic, the proof is straightforward by induction on derivations. ■

Detailed proofs of such foundational results as soundness for Boolean-valued and topological models are available from (Rasiowa and Sikorski, 1963; Bell, 1977; and Grayson, 1979).

Definition 9 (*abstract class theory*) *Abstract class theory* is axiomatized in \mathcal{L} or $\mathcal{L}(\mathcal{M})$ by the general principle of impredicative comprehension **Com**: for any formula $\phi(y)$ of $\mathcal{L}(\mathcal{M})$ with free variables other than X ,

$$\exists X. \forall y (y \varepsilon X \leftrightarrow \phi(y)).$$

By adopting **Com**, so formulated, we mean to allow comprehension as well for class-relations of arbitrary arities.

Proposition 6 $\mathbf{C}(\mathcal{M}) \models \mathbf{Com}$.

Proof: Since $|\mathbf{C}(\mathcal{M})|$ is defined to include all functions from $|\mathcal{M}|$ into τ , it will include the function A mapping each and every $a \varepsilon |\mathcal{M}|$ into $\llbracket \phi(\hat{a}) \rrbracket$. Therefore,

$$\mathbf{C}(\mathcal{M}) \models \forall y (y \varepsilon A \leftrightarrow \phi(y)). \blacksquare$$

Because $|\mathbf{C}(\mathcal{M})|$ satisfies **Com**, the classes of $|\mathbf{C}(\mathcal{M})|$ form a Heyting algebra under \cap , \cup , and relative complementation of classes. The principle **Com**, which is impredicative, is more reminiscent of Kelley-Morse set theory (Monk, 1969) than of Gödel-Bernays. Cf. (Fraenkel and Bar-Hillel, 1958, p. 112).

5. Two technical lemmas

The first technical lemma simply eases our way; similar lemmas hold for Boolean-valued models. *Vide* (Bell, 1977).

Lemma 1 For any sentences ϕ and ψ of $\mathcal{L}(M)$,

$$\llbracket (\phi \rightarrow \psi) \rrbracket = \top$$

if and only if

$$\llbracket \phi \rrbracket \subseteq \llbracket \psi \rrbracket.$$

Proof: Let x be an arbitrary element of the carrier $\{0,1\}$ underlying Sierpinski space. First, assume that

$$\llbracket (\phi \rightarrow \psi) \rrbracket = \top$$

and that $x \varepsilon \llbracket \phi \rrbracket$. By the definition of $\llbracket (\phi \rightarrow \psi) \rrbracket$,

$$x \varepsilon \bigcup \{U \varepsilon \tau : (U \cap \llbracket \phi \rrbracket) \subseteq \llbracket \psi \rrbracket\}.$$

Hence, there is a $U \varepsilon \tau$ such that $x \varepsilon U$ and

$$U \cap \llbracket \phi \rrbracket \subseteq \llbracket \psi \rrbracket.$$

By assumption, $x \varepsilon \llbracket \phi \rrbracket$. Therefore, $x \varepsilon \llbracket \psi \rrbracket$. Since x was arbitrary, it holds generally that

$$\llbracket \phi \rrbracket \subseteq \llbracket \psi \rrbracket.$$

Conversely, assume that $\llbracket \phi \rrbracket \subseteq \llbracket \psi \rrbracket$. It follows that, for any $U \varepsilon \tau$,

$$U \cap \llbracket \phi \rrbracket \subseteq \llbracket \psi \rrbracket.$$

Therefore, by definition of the \Rightarrow operation,

$$(\llbracket \phi \rrbracket \Rightarrow \llbracket \psi \rrbracket) = \llbracket (\phi \rightarrow \psi) \rrbracket = \top. \blacksquare$$

Now in view is the principal lemma governing the semantic relation between the original model \mathcal{M} of first-order set theory – satisfying “all the mathematics in the world” – and the topological model $\mathbf{C}(\mathcal{M})$ for set theory with classes under full comprehension **Com**. Such a relation is reminiscent of the fact that, over Scott’s topological model for analysis, elementary arithmetic is absolute (Scott, 1968).

Lemma 2 For each strictly first-order sentence $\phi(\hat{a})$ of $\mathcal{L}(\mathcal{M})$ with all parameters \hat{a} referring to sets of $|\mathbf{C}(\mathcal{M})|$,

$$\llbracket \phi(\hat{a}) \rrbracket = \begin{cases} \top & \text{if } \mathcal{M} \models \phi(\hat{a}) \\ \perp & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Proof: (By induction on $\phi(\hat{a})$ using classical metamathematics)

- (i) For ϕ atomic, by definition.
- (ii) If $\mathcal{M} \models (\phi \wedge \psi)$, then $\mathcal{M} \models \phi$ and $\mathcal{M} \models \psi$. By the inductive hypothesis,

$$\llbracket \phi \rrbracket = \top = \llbracket \psi \rrbracket.$$

Therefore,

$$\llbracket \phi \wedge \psi \rrbracket = \top.$$

On the other hand, assume that $\mathcal{M} \not\models (\phi \wedge \psi)$. *Without loss of generality*, we can assume that $\mathcal{M} \models \phi$. Then, $\mathcal{M} \not\models \psi$ and, by induction, $\llbracket \psi \rrbracket = \perp$ as well as

$$\llbracket (\phi \wedge \psi) \rrbracket = \perp.$$

(iii) If $\mathcal{M} \models (\phi \vee \psi)$, then $\mathcal{M} \models \phi$ or $\mathcal{M} \models \psi$. By the inductive hypothesis, if $\mathcal{M} \models \phi$, then

$$\llbracket \phi \rrbracket = \llbracket (\phi \vee \psi) \rrbracket = \top.$$

Likewise for the subcase $\mathcal{M} \models \psi$.

On the other hand, if $\mathcal{M} \not\models (\phi \vee \psi)$, then both $\mathcal{M} \not\models \phi$ and $\mathcal{M} \not\models \psi$. By induction,

$$\llbracket \phi \rrbracket = \perp = \llbracket \psi \rrbracket,$$

and $\llbracket (\phi \vee \psi) \rrbracket = \perp$.

(iv) Assume that $\mathcal{M} \models (\phi \rightarrow \psi)$. If $\llbracket \phi \rrbracket = \top$, then the inductive hypothesis gives $\mathcal{M} \models \psi$. In that case, $\mathcal{M} \models \psi$ and $\llbracket \psi \rrbracket = \top$. Hence, $\llbracket (\phi \rightarrow \psi) \rrbracket = \top$.

On the other hand, if $\llbracket \phi \rrbracket = \perp$, then

$$\llbracket \phi \rrbracket \subseteq \llbracket \psi \rrbracket$$

and, by **Lemma 1**,

$$\llbracket (\phi \rightarrow \psi) \rrbracket = \top.$$

Classical reasoning then yields the result.

For the converse, assume that $\mathcal{M} \not\models (\phi \rightarrow \psi)$. So, $\mathcal{M} \models \phi$ while $\mathcal{M} \not\models \psi$. By induction, we know that $\llbracket \phi \rrbracket = \top$ and $\llbracket \psi \rrbracket = \perp$. Therefore, $\llbracket (\phi \rightarrow \psi) \rrbracket = \perp$, appealing once more to **Lemma 1**.

(v) From $\mathcal{M} \models \neg\phi$ it follows that $\mathcal{M} \not\models \phi$ and, hence, that $\llbracket \phi \rrbracket = \perp$ and

$$\llbracket \neg\phi \rrbracket = \top.$$

From $\mathcal{M} \not\models \neg\phi$ it follows classically that $\mathcal{M} \models \phi$. Therefore, $\llbracket \phi \rrbracket = \top$ and, by definition of $\lambda\phi.\llbracket \phi \rrbracket$ and the inductive hypothesis,

$$\llbracket \neg\phi \rrbracket = \perp.$$

(v) $\mathcal{M} \models \exists x.\phi(x)$ just in case, for some $a \in |\mathcal{M}|$, $\mathcal{M} \models \phi(a)$. It follows from the inductive hypothesis that there is an $\hat{a} \in |\mathbf{C}(\mathcal{M})|$ such that

$$\llbracket \phi(\hat{a}) \rrbracket = \top.$$

Therefore,

$$\bigcup_{a \in |M|} \llbracket \phi(\hat{a}) \rrbracket = \top,$$

and

$$\llbracket \exists x. \phi(x) \rrbracket = \top.$$

In addition, $M \not\models \exists x. \phi(x)$ just in case, for all $a \in |M|$, $M \not\models \phi(a)$. It follows that, for all $a \in |M|$,

$$\llbracket \phi(\hat{a}) \rrbracket = \perp.$$

Therefore, $\llbracket \exists x. \phi(x) \rrbracket = \perp$.

(vii) Lastly, $M \models \forall x. \phi(x)$ just in case, for all $a \in |M|$, $M \models \phi(a)$. Hence,

$$\forall a \in |M| \llbracket \phi(\hat{a}) \rrbracket = \top.$$

So, $\bigcap_{a \in |M|} \llbracket \phi(\hat{a}) \rrbracket = \top$. Therefore, by definition of $\lambda\phi.\llbracket \phi \rrbracket$,

$$\llbracket \forall x. \phi(x) \rrbracket = \top.$$

On the other hand, if $M \not\models \forall x. \phi(x)$, then (classically speaking) there is an $a \in |M|$ such that $M \not\models \phi(a)$. It follows by the inductive hypothesis that,

$$\exists a \in |M| \text{ such that } \llbracket \phi(\hat{a}) \rrbracket = \perp.$$

Therefore,

$$\bigcap_{a \in |M|} \llbracket \phi(\hat{a}) \rrbracket = \perp,$$

and

$$\llbracket \forall x \phi(x) \rrbracket = \perp. \blacksquare$$

6. Two principal theorems

Theorem 1 The entire mathematics of \mathcal{C} encoded in the language of set theory and holding in \mathcal{M} obtains as well in $\mathbf{C}(\mathcal{M})$.

Proof: Immediate from **Lemma 2**. ■

Whatever claims belong in \mathcal{C} – the axioms of familiar **ZF** set theory most likely, together with the Axiom of Choice or Determinacy (Mycielski and Steinhaus, 1962) or whatever other set-theoretic principles are desired and consistent with them – will hold for the sets in $\mathbf{C}(\mathcal{M})$. As assumed previously, the mathematics internal to \mathcal{M} contains demonstrative means sufficient to prove the soundness of classical propositional logic, alternatively, to prove the validity of **TND** in a more direct fashion. Therefore, we see that

Corollary 1 $\mathbf{C}(\mathcal{M}) \models \mathbf{TND}$ is set-valid. In other words, “all the (classical) mathematics in the world” is consistent with and certifies that **TND** is set-valid. ■

It remains only to note that the classical first-order and (intuitionistic) second-order, class-theoretic mathematics internal

to $\mathbf{C}(\mathcal{M})$ do not suffice to prove the class validity, and hence the general validity, of the law of the excluded third.

Theorem 2 $\mathbf{C}(\mathcal{M}) \not\models \forall X. \forall x(x \varepsilon X \vee \neg x \varepsilon X)$.

Proof: Let A be the class in $|\mathbf{C}(\mathcal{M})|$ such that, for any $a \varepsilon |\mathcal{M}|$, $A(a) = \{1\}$. It is clear that

$$\llbracket \forall x(x \varepsilon A \vee \neg x \varepsilon A) \rrbracket = \{1\}.$$

Indeed, for any class B in $|\mathbf{C}(\mathcal{M})|$,

$$\{1\} \subseteq \llbracket \forall x(x \varepsilon B \vee \neg x \varepsilon B) \rrbracket,$$

since for any such B and any \hat{a} ,

$$\{1\} \subseteq \llbracket (\hat{a} \varepsilon B \vee \neg \hat{a} \varepsilon B) \rrbracket.$$

So,

$$\llbracket \forall X \forall x(x \varepsilon X \vee \neg x \varepsilon X) \rrbracket = \{1\}.$$

Therefore,

$$\mathbf{C}(\mathcal{M}) \not\models \forall X. \forall x(x \varepsilon X \vee \neg x \varepsilon X). \blacksquare$$

Corollary 2 $\mathbf{C}(\mathcal{M}) \not\models \text{TND}$ is generally valid. \blacksquare

Corollary 3 “All the mathematics in the world” cannot prove that **TND** is generally valid.

Proof: Classical set-theoretic mathematics (the collection of first-order statements in \mathcal{C}), which includes the set validity of **TND**, as well as a full impredicative class theory satisfying **Comp** are consistent with the failure of the general validity of **TND**. ■

Full separation for sets by classes, as in Kelley-Morse theory (Monk, 1969),

$$\forall X \forall y \exists z \forall x (x \varepsilon z \leftrightarrow (x \varepsilon X \wedge x \varepsilon y)),$$

does not hold within $\mathbf{C}(\mathcal{M})$. Of course, because truth in $\mathbf{C}(\mathcal{M})$ agrees with that in \mathcal{M} for all first-order conditions, separation holds for all predicative or first-order abstractors in $\mathcal{L}(\mathcal{M})$. Such restricted versions of separation or Bernays’s Axiom of Subclasses (Fraenkel and Bar-Hillel, 1958, p. 114) will already be familiar to researchers in constructive set and type theory. Cf. (Aczel, 1978). Similar remarks apply to the Replacement Scheme or Bernays’s Axiom of Substitution (Fraenkel and Bar-Hillel, 1958, p. 114).

7. Going one better

Let σ be the topology determined by the \leq -upward closed sets of natural numbers under their canonical ordering \leq . Define from structure \mathcal{M} the model $\mathbf{C}(\mathcal{M})$ as above, but with σ in place of

the Sierpinski space topology τ . Proofs of the preceding propositions, lemmas, and theorems all go through, so that $\mathbf{C}(\mathcal{M})$ satisfies the classical mathematics presupposed at the outset, together with the set validity of **TND**, all holding in \mathcal{M} . This time, the law of the excluded third not only fails of general validity on classes in $\mathbf{C}(\mathcal{M})$, but the negation of the class validity statement obtains.

Theorem 3 $\mathbf{C}(\mathcal{M}) \models \neg \forall X \forall x (x \varepsilon X \vee \neg x \varepsilon X)$.

Proof: Let \mathbb{N} be the set of natural numbers. Check that, with σ replacing τ in the construction of $\mathbf{C}(\mathcal{M})$,

$$\llbracket \forall X \forall x (x \varepsilon X \vee \neg x \varepsilon X) \rrbracket = \perp.$$

To see this, note that, for the upward-closed, open set $n \uparrow = \{m \varepsilon \mathbb{N} : n \leq m\}$, and class A such that, for all $a \varepsilon |\mathcal{M}|$, $A(a) = n \uparrow$,

$$\llbracket (\hat{a} \varepsilon A \vee \neg \hat{a} \varepsilon A) \rrbracket = n \uparrow. \blacksquare$$

Corollary 4 “All the mathematics in the world” plus an impredicative intuitionistic class theory is consistent with $\neg \forall X \forall x (x \varepsilon X \vee \neg x \varepsilon X)$, hence, with the statement that the general validity of **TND** is false outright. \blacksquare

A die-hard classical mathematician cannot escape the force of these arguments by stomping his or her foot and insisting that classical mathematics must be encoded in language of a second-order (Shapiro, 1991), rather than first-order, set theory, that is,

in a theory of sets and classes such as Kelly-Morse or Gödel-Bernays. It is now clear that even the second-order classical mathematician cannot prove the law of the excluded third to be generally valid, since it remains consistent with all the second-order mathematics in the world, if it is consistent, to assume that the law of the excluded third fails over hyperclasses, in other words, a further collection of third-order classes that are themselves collections with members that are the original, possibly ‘Henkinized’ (Henkin, 1950) classes and sets.

Acknowledgements

This paper is dedicated to the late Georg Kreisel, whom I thank wholeheartedly for his fascinating correspondence, as well as the stimulus and advice contained in his many articles, notes, and reviews. I am grateful to the referee for his or her suggestions; they prompted real improvements.

Bibliography

- Aczel, P., 1978. *The type-theoretic interpretation of constructive set theory*. In: A. MacIntyre *et al.* (eds.), *Logic Colloquium 77*. Amsterdam: North-Holland, pp. 55–66.
- Beeson, M., 1985. *Foundations of constructive mathematics. Metamathematical studies*. *Ergebnisse der Mathematik unter ihrer Grenzgebiete*. 3. Folge. Band 6. Berlin: Springer-Verlag. XX-III+466.

- Bell, J.L., 1977. *Boolean-valued models and independence proofs in set theory*. Oxford Logic Guides. Oxford, UK: Clarendon Press. xviii+126.
- Diaconescu, R., 1975. Axiom of choice and complementation. *Proceedings of the American Mathematical Society*, 51, pp. 176–178.
- Fraenkel, A., Bar-Hillel, Y., 1958. *Foundations of set theory. Studies in logic and the foundations of mathematics*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company. X+415.
- Goodman, N.D., Myhill, J., 1978. Choice implies excluded middle. *Zeitschrift für Mathematische Logik und Grundlagen der Mathematik*, 24, p. 461.
- Grayson, R.J., 1979. Heyting-valued models for intuitionistic set theory. In: M. Fourman *et al.* (eds.), *Applications of sheaves*. Springer Lecture Notes in Mathematics. Volume 753, pp. 402–414.
- Henkin, L., 1950. Completeness in the theory of types. *The Journal of Symbolic Logic*, 15(2), June, pp. 81–91.
- Heyting, A., 1956. *Intuitionism. An introduction*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company. IX+137.
- Kreisel, G., 1972. Informal rigour and completeness proofs. In: I. Lakatos (ed.), *Problems in the philosophy of mathematics*. Proceedings of the International Colloquium in the Philosophy of Science, London, 1965, Volume 1. Amsterdam: North-Holland Publishing Company. pp. 138–171.
- Monk, J.D., 1969. *Introduction to set theory*. New York, NY: McGraw-Hill Book Company. ix+193.
- McCarty, C., 2018. What is logical truth? *Proceedings of the XIV Conference “Dr. Antonio Monteiro.”* Universidad Nacional del Sur: Bahía Blanca.
- Mycielski, J., Steinhaus, H., 1962. A mathematical axiom contradicting the axiom of choice. *Bulletin de l’Académie Polonaise des Sciences. Série des Sciences Mathématiques, Astronomiques et Physiques*, 10, pp. 1–3.
- Quine, W.V., 1970. *Philosophy of logic. Foundations of philosophy series*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc. XIV+109.
- Rasiowa, H., Sikorski, R., 1963. *The mathematics of metamathematics*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe. 519 pp.

- Scott, D., 1968. Extending the topological interpretation to intuitionistic analysis, I. *Compositio Mathematica*, 20, pp. 194–210.
- Shapiro, S., 1991. *Foundations without foundationalism: A case for second-order logic*. Oxford Logic Guides. Volume 17. Oxford, UK: Oxford University Press. XX+277.
- Tarski, A., 1938. Der Aussagenkalkül und die Topologie. *Fundamenta Mathematicae*, 31, pp. 103–134.
- Troelstra, A., van Dalen, D., 1988. *Constructivism in mathematics*. Volume I. Studies in Logic and the Foundations of Mathematics. Volume 121. Amsterdam: North-Holland. XX+342+XIV.

Uniwersalność systemów funkcyjnych a całkowitość dziedzin funkcji – granice konfliktu i wzajemnego wpływu

Jerzy Mycka

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Instytut Matematyki

Universality of functional systems and totality of their elements – the limits of conflict and mutual influence

Abstract

The article presents several examples of different mathematical structures and interprets their properties related to the existence of universal functions. In this context, relations between the problem of totality of elements and possible forms of universal functions are analyzed. Furthermore, some global and local aspects of the mentioned functional systems are distinguished and compared. In addition, the paper attempts to link universality and totality with the dynamic and static properties of mathematical objects and to consider the problem of limitations in the construction of structures combining harmoniously the availability of information at the local and global level.

Keywords

universality; total functions; computability

1. Wprowadzenie

Przy badaniu struktur matematycznych w naturalny sposób można wyróżnić dwa podejścia:

- analiza własności struktury pojmowanej jako całość,
- wyznaczanie własności poszczególnych elementów struktury.

Zajmując się tymi dwoma zagadnieniami nie sposób nie postawić pytań o ich wzajemne związki. Czy pełna znajomość pojedynczych elementów struktury ułatwia analizę całej struktury? Czy z informacji o strukturze wynikają jakieś interesujące fakty o poszczególnych elementach? W tych pytaniach możemy dostrzec ideę poszukiwania związku pomiędzy globalnym a lokalnym poziomem analizy struktur matematycznych.

Tak ogólne sformułowanie problemu nie pozwoliłoby na rozwinięcie bardziej szczegółowych badań. Dlatego skoncentrujemy się przede wszystkim na strukturach, których elementami są funkcje. Za narzędzie prezentujące wiedzę o globalnym poziomie struktury przyjmiemy funkcję uniwersalną – to znaczy funkcję pozwalającą na konstrukcję wszystkich elementów struktury.

Definicja 1 *Niech X będzie pewnym zbiorem funkcji o dziedzinie A i przeciwdziedzinie B . Mówimy, że $F_X: I \times A \rightarrow B$ jest funkcją uniwersalną dla X wtedy i tylko wtedy, gdy*

1. dla każdej funkcji $f \in X$ istnieje indeks $i \in I$ taki, że dla każdego argumentu $a \in A$ zachodzi

$$F_X(i, a) = f(a);$$

2. każda funkcja uzyskana przez ustalenie pierwszego argumentu F_X należy do X , inaczej mówiąc: dla każdego ustalonego $i \in I$ funkcja $g(a) = F_X(i, a)$ spełnia warunek $g \in X$.

W powyższych wyrażeniach znak równości = traktujemy w sposób rozszerzony: albo obie strony są zdefiniowane i równe sobie, albo obie strony są równocześnie niezdefiniowane.

Samo pojęcie funkcji uniwersalnej nie pozwala na głębsze analizy. Można postulować jej istnienie dla różnych zbiorów funkcyjnych bez uzyskania jakiegokolwiek nietrywialnej charakterystyki tych zbiorów. Jednakże, gdy wobec funkcji uniwersalnej postawimy pewne dodatkowe wymagania (dotyczące jej typu i własności), jej istnienie (lub nieistnienie) może się okazać interesującym faktem. Zwykle przy konstrukcji funkcji uniwersalnej F_X dla X staramy się nakładać te dodatkowe warunki na F_X w taki sposób, aby ta funkcja spełniała pewne warunki dopasowania do X (np. w przypadku struktury funkcji obliczalnych zwykle wymaga się także obliczalności funkcji uniwersalnej). Dlatego właśnie nie tyle same funkcje uniwersalne, ale ich specyficzne warianty o stosownie dobranych cechach będą stanowiły punkt odniesienia w tej pracy.

Przy okazji warto zauważyć, że funkcja F_x przy ustaleniu pierwszego argumentu określa funkcje $z f: A \rightarrow B$, stąd można alternatywnie pojmować F_x jako funkcję $F_x: I \rightarrow B^A$. Należy jednak pamiętać, że w tym drugim ujęciu określenie warunków dopasowania funkcji uniwersalnej do opisywanej struktury może wymagać szczególnego rodzaju sformułowań.

Z kolei znajomość własności poszczególnych obiektów struktury w przypadku funkcji można w naturalny sposób utożsamić z możliwością obliczania wartości tej funkcji dla dowolnego argumentu. W ten sposób pełna wiedza o funkcji oznaczałaby zdolność do znalezienia wyniku dla każdego dopuszczalnego argumentu, to oznacza, że dziedzina funkcji powinna być całkowita – czyli dziedzina nie powinna być pomniejszona o jakiegokolwiek elementy.

Definicja 2 *Niech X będzie pewnym zbiorem funkcji, których dziedziny zawierają się w zbiorze A . Mówimy, że funkcja $f \in X$ jest funkcją całkowitą (funkcją z dziedziną całkowitą) wtedy i tylko wtedy, gdy dziedzina f jest identyczna ze zbiorem A .*

W przypadku jednoargumentowych funkcji obliczalnych (rozumianych jako funkcje częściowo rekurencyjne zdefiniowanych jak w (Odifreddi, 1992)) przyjmujemy, że funkcja jest całkowita, gdy jest zdefiniowana dla każdego argumentu $x \in \mathbb{N}$.

Przy tego rodzaju uściśleniach problem własności globalnych i lokalnych można uszczegółwić do kwestii: jaki zwią-

zek zachodzi pomiędzy istnieniem funkcji uniwersalnej a warunkiem całkowitości funkcji, będących elementami rozważanej struktury. Tak sformułowane zagadnienia przeanalizujemy na kilku wybranych przykładach.

2. Przeliczalność a zbiór funkcji $\mathbb{N}^{\mathbb{N}}$

Przywołajmy klasyczne wyniki dotyczące zbioru funkcji naturalnych, które pozostają w związku z zasygnalizowanym zagadnieniem. Przypomnijmy najpierw, że zbiór A nazywamy przeliczalnym wtedy i tylko wtedy, gdy jest pusty lub istnieje surjekcja f ze zbioru liczb naturalnych \mathbb{N} na zbiór A (czyli funkcja f spełnia warunki: $f(\mathbb{N}) = A$). Wypada rozpocząć od twierdzenia dotyczącego zbioru funkcji całkowitych o argumentach i wartościach w zbiorze \mathbb{N} .

Twierdzenie 3 *Zbiór funkcji $\mathbb{N}^{\mathbb{N}} = \{f \mid f: \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}\}$ nie jest przeliczalny.*

Wynik jest łatwy do uzasadnienia na podstawie następującej obserwacji: jeżeli $\mathbb{N}^{\mathbb{N}}$ jest przeliczalny, to istnieje funkcja uniwersalna $F: \mathbb{N} \times \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$. Jednak wykorzystując funkcję F możemy zdefiniować nową funkcję¹ całkowitą o dziedzinie bę-

¹ W tym przypadku $F(n, x)$ oznacza funkcję o indeksie n z argumentami x w dziedzinie \mathbb{N} i wartościami w zbiorze \mathbb{N} .

dającej zbiorem \mathbb{N} : $g(n) = F(n, n) + 1$. Ta funkcja g jest różna dla argumentu n od każdej funkcji ze zbioru $\mathbb{N}^{\mathbb{N}}$. To oznacza, że otrzymaliśmy sprzeczność (bo przecież $\mathbb{N}^{\mathbb{N}}$ zawiera wszystkie funkcje całkowite z \mathbb{N} w \mathbb{N}) i w takim razie założenie o przeliczalności $\mathbb{N}^{\mathbb{N}}$ musi być odrzucone.

Może popatrzeć na ten wynik w inny sposób. Mianowicie możemy zinterpretować Twierdzenie 3 jako stwierdzenie dotyczące funkcji uniwersalnej.

Twierdzenie 4 *W zbiorze funkcji całkowitych o dziedzinie w \mathbb{N} nie istnieje funkcja uniwersalna dla zbioru $\mathbb{N}^{\mathbb{N}}$.*

Warto zauważyć, że dobór funkcji uniwersalnej (jej całkowitość oraz dziedzina będąca zbiorem liczb naturalnych) jest dopasowany do charakterystyki elementów zbioru $X = \mathbb{N}^{\mathbb{N}}$. W ten sposób otrzymaliśmy interpretację, która sugeruje, że pełna informacja o elementach $X = \mathbb{N}^{\mathbb{N}}$ (całkowitość $f \in \mathbb{N}^{\mathbb{N}}$) wyklucza konstrukcję funkcji uniwersalnej odpowiadającej swoim typem elementom rozważanego zbioru.

Pozostaje zapytać, co się stanie, gdy zrezygnujemy z wymagania całkowitości funkcji w rozważanym zbiorze. Niech $\mathbb{N}^{\leq \mathbb{N}}$ oznacza zbiór funkcji częściowych (niekoniecznie zdefiniowanych na całym zbiorze \mathbb{N}): $\mathbb{N}^{\leq \mathbb{N}} = \{f|f: \mathbb{N} \hookrightarrow \mathbb{N}\}^2$. W tym przypadku pojawia się jednak kwestia możliwości konstrukcji, które

² W przypadku zapisu $f: A \rightarrow B$ przyjmujemy, że dziedzina f jest równa A , zaś w przypadku notacji $f: A \hookrightarrow B$ dziedzina f jest podzbiorem (właściwym lub niewłaściwym) zbioru A .

rozdzielają pomiędzy liczbami należącymi i nienależącymi do dziedzin rozważanych funkcji. Ponieważ efektywność tego rozróżnienia jest wątpliwa, naturalnym wydaje się zwrócenie ku logice intuicjonistycznej, która nie gwarantuje prawa wyłączonego środka. Możemy wprowadzić teraz zmodyfikowaną definicję mocy zbioru związaną z aparatem logiki intuicjonistycznej.

Definicja 5 *Zbiór A jest intuicjonistycznie przeliczalny wtedy i tylko wtedy, gdy jest pusty lub istnieje intuicjonistycznie zdefiniowana surjekcja $F: \mathbb{N} \rightarrow A$ taka, że $F(\mathbb{N}) = A$.*

Ponieważ wśród podzbiorów \mathbb{N} mogą istnieć podzbiory intuicjonistycznie nieprzeliczone, dlatego uściślijmy wprowadzoną powyżej definicję zbioru funkcji częściowych przez określenie nowego zbioru $\mathbb{N}^{\leq \mathbb{N}^*} = \{f \mid f: \mathbb{N} \hookrightarrow \mathbb{N}\}$, gdzie funkcja f ma intuicjonistycznie przeliczalną dziedzinę.

Jak się okazuje można wykazać następujący fakt (cf. Bell, 2014, s. 5).

Twierdzenie 6 *Intuicjonistyczna przeliczalność zbioru $\mathbb{N}^{\leq \mathbb{N}^*}$ jest niesprzeczna z teorią zbiorów opartą na logice intuicjonistycznej.*

To oznacza, że przy wprowadzaniu surjekcji $\varphi: \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}^{\leq \mathbb{N}^*}$ w obrębie intuicjonistycznej teorii zbiorów nie powstaje sprzeczność. W ten sposób otrzymaliśmy obserwację, że w zbiorze $\mathbb{N}^{\leq \mathbb{N}^*}$ można wprowadzić funkcję uniwersalną $F_{<}(n, x) = \varphi(n)(x)$, odpowiadającą typem elementom opisywanego zbioru (przy zało-

zeniu intuicjonistycznie rozumianej efektywności). To pokazuje, że można dopatrzeć się pewnego związku pomiędzy matematycznie uzyskiwaną wiedzą o globalnych i lokalnych pewnych strukturach. W analizowanym przypadku $\mathbb{N}^{\mathbb{N}}$ całkowitość elementów eliminowała możliwość utworzenia funkcji uniwersalnej, zaś relaksacja warunków nałożonych na elementy zbioru (wprowadzenie częściowości) pozwalała zbudować funkcję uniwersalną.

Otrzymujemy w ten sposób pierwszy sygnał o możliwym konflikcie pomiędzy matematycznymi możliwościami analizy globalnych i lokalnych własności pewnych struktur – uściślenie wiedzy o lokalnych elementach (funkcjach) struktury może prowadzić do osłabiania potencjalnych konstrukcji globalnych (funkcji uniwersalnych).

3. Funkcje ciągłe a funkcje uniwersalne

Uzyskane powyżej wyniki dotyczą zbiorów przeliczalnych. Powstaje więc pytanie, czy fenomen niemożności tworzenia pewnych funkcji uniwersalnych dotyczy tylko struktur, których nośniki mają stosunkowo niską moc. W celu przeanalizowania tego problemu zwrócimy się do funkcji określonych na zbiorze liczb rzeczywistych. Przyjmując standardową definicję ciągłości funkcji f wyrażoną warunkiem $\forall x_0 \in \mathbb{R}(f(x_0) = \lim_{x \rightarrow x_0} f(x))$, możemy uzyskać twierdzenie, który określi nam moc zbioru funkcji ciągłych.

Twierdzenie 7 (Hrbacek and Jech, 1999) *Funkcji ciągłych na \mathbb{R} jest c (gdzie c jest mocą zbioru liczb rzeczywistych).*

Ten wynik pozwala nam na podjęcie próby konstrukcji funkcji uniwersalnej, w której zbiór indeksów będzie zbiorem liczb rzeczywistych, zaś zbiorem indeksowanym będą funkcje ciągłe tworzące zbiór $\mathcal{C}^0(\mathbb{R})$. Jednakże konstrukcja takiej funkcji musi uwzględnić ograniczenia podane przez następujące twierdzenia analizy matematycznej (cf. Kharazishvili, 2005).

Twierdzenie 8 *Jeżeli funkcja f jest bijekcją pomiędzy \mathbb{R} i \mathbb{R}^2 to funkcja f nie jest funkcją ciągłą.*

Co więcej mamy także następujący fakt.

Twierdzenie 9 *Niech f będzie funkcją z \mathbb{R}^2 w \mathbb{R} . Jeżeli f jest funkcją ciągłą (względem obu zmiennych) to f nie jest iniekcją.*

Równoważne sformułowanie powyższego wyniku można podać używając kontrapozycji: jeżeli f jest iniekcją to nie jest funkcją ciągłą. Oczywiście w przypadku ciągłych suriekcji jest inaczej: istnieje wiele funkcji ciągłych z \mathbb{R}^2 na \mathbb{R} (elementarnymi przykładami są dodawanie i mnożenie).

Odnieśmy te twierdzenia do naszego problemu konstrukcji funkcji uniwersalnej $F_{\mathcal{C}^0(\mathbb{R})}: \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ dla zbioru funkcji ciągłych $\mathcal{C}^0(\mathbb{R})$. W tym przypadku naturalnym warunkiem gwarantującym dopasowanie funkcji uniwersalnej do opisywanego

zbioru byłaby ciągłość $F_{C^0(\mathbb{R})}$. Oprócz tego wydawałoby się naturalne, aby opis struktury dokonywany za pomocą funkcji uniwersalnej był jednoznaczny: to znaczy, aby każda funkcja ciągła posiadała dokładnie jeden indeks. Jednak – powyżej wskazany – brak ciągłych bijekcji pomiędzy \mathbb{R} i \mathbb{R}^2 (warunkowany brakiem ciągłych iniekcji) prowadzi do następującego wniosku.

Twierdzenie 10 *Nie ma ciągłej funkcji uniwersalnej – o jednoznacznym opisie elementów – dla nieprzeliczalnego zbioru funkcji ciągłych $C^0(\mathbb{R})$.*

Spróbujmy umiejscowić ten wynik w kontekście naszych rozważań o wzajemnych oddziaływaniach własności lokalnych i globalnych struktur matematycznych. Aby uzyskać odpowiedni rodzaj funkcji uniwersalnej dla funkcji ciągłych musimy odrzucić jakąś własność, która czyniłaby konstrukcję możliwie naturalną. Pierwszym wariantem jest rezygnacja z ciągłości funkcji uniwersalnej – w tym przypadku znika dopasowanie tej funkcji do elementów opisywanego zbioru. W drugim przypadku należy zrezygnować z jednoznacznego opisu elementów $C^0(\mathbb{R})$. Jednak wówczas pełna informacja o pojedynczej funkcji nie jest przekazywana przez pojedynczy indeks, lecz dopiero poprzez zbiór wszystkich indeksów rozważanej funkcji. Tak więc pojedynczy indeks funkcji uniwersalnej niesie tylko częściową informację o wskazywanym elemencie. To oznacza, że próba przeniesienia na poziom globalny wszystkich składowych cech elementów struktury zawodzi i pozostajemy z tylko częściowo określoną

informacją przekazywaną przez funkcję uniwersalną. Co więcej, otwarte pozostaje pytanie o status zbiorów indeksów odpowiadających jednej funkcji, do której to kwestii powrócimy w kontekście funkcji obliczalnych.

4. Uniwersalność w przypadku funkcji obliczalnych

Ponieważ nasze rozważania związane są z ograniczeniami w dostępie do informacji o globalnych i lokalnych aspektach struktur matematycznych, to naturalne jest zwrócenie szczególnej uwagi na funkcje obliczalne. Teoria obliczalności zajmuje się reprezentacją obiektów i procesów generowanych w wyniku aktywności algorytmicznej. Jej związki z teorią dowodów oraz logiką matematyczną sytuują jej pole jako bezpośrednio związane z problemem zawartości informacyjnej danych oraz przepływu informacji (por. Chaitin, 2004). Dlatego szczególnie interesujące byłoby odniesienie problemu funkcji uniwersalnej do tych właśnie funkcji, którym można przypisać własności algorytmiczne.

Zdefiniowanie funkcji obliczalnych można przeprowadzić na bardzo wiele – wzajemnie równoważnych – sposobów. Wśród nich najbardziej znanymi metodami formalizowania pojęcia obliczalności są konstrukcje zaproponowane w obrębie następujących teorii (cf. Odifreddi, 1992):

- funkcji częściowo rekurencyjnych;
- maszyn Turinga;
- λ -rachunku (rachunku Churcha).

Skoncentrujemy tu naszą uwagę na funkcjach o argumentach będących liczbami naturalnymi i wynikach także znajdujących się w zbiorze \mathbb{N} . Rozpocznemy od kilku sposobów definiowania funkcji o argumentach i wynikach naturalnych, które zachowują efektywność obliczenia wyniku funkcji. Dla zadanej funkcji $g: \mathbb{N}^m \rightarrow \mathbb{N}$ oraz ciągu funkcji $h_1, \dots, h_m: \mathbb{N}^n \rightarrow \mathbb{N}$ funkcję $f: \mathbb{N}^n \rightarrow \mathbb{N}$ będziemy nazywali *złożeniem* g oraz h_1, \dots, h_m i oznaczali $c^m(g, h_1, \dots, h_m)$ wtedy i tylko wtedy, gdy dla każdego $x_1, \dots, x_n \in \mathbb{N}$ zachodzi: $f(x_1, \dots, x_n) = g(h_1(x_1, \dots, x_n), \dots, h_m(x_1, \dots, x_n))$.

Operacjami pozwalającymi na bardziej złożone definicje, w których ważną rolę gra element powtórzenia, są rekursja oraz minimalizacja. W pierwszym przypadku dla zadanych funkcji $g: \mathbb{N}^n \rightarrow \mathbb{N}$ oraz $h: \mathbb{N}^{n+2} \rightarrow \mathbb{N}$ zdefiniujemy nową funkcję $f: \mathbb{N}^{n+1} \rightarrow \mathbb{N}$, którą będziemy nazywali wynikiem *rekursji prostej* na g oraz h i oznaczali $r(g, h)$ wtedy i tylko wtedy, gdy dla każdego $x_1, \dots, x_n \in \mathbb{N}$ zachodzi:

$$\begin{aligned} f(x_1, \dots, x_n, 0) &= g(x_1, \dots, x_n); \\ f(x_1, \dots, x_n, y+1) &= h(x_1, \dots, x_n, y, f(x_1, \dots, x_n, y)). \end{aligned}$$

Z kolei dla zadanej funkcji $g: \mathbb{N}^{n+1} \rightarrow \mathbb{N}$ nową funkcję $f: \mathbb{N}^n \rightarrow \mathbb{N}$ będziemy nazywali wynikiem *minimalizacji nieograniczonej* na g i oznaczali $\mu(g)$ wtedy i tylko wtedy, gdy dla każdego $x_1, \dots, x_n \in \mathbb{N}$ zachodzi:

$$f(x_1, \dots, x_n) = y \Leftrightarrow g(x_1, \dots, x_n, y) = 0$$

oraz $(\forall z < y)$ funkcja $g(x_1, \dots, x_n, z)$ jest zdefiniowana i różna od 0.

Przyjmując następujące oznaczenia: $Z(x) = 0$ dla funkcji stale równej zeru; $S(x) = x + 1$ dla następnika oraz I_n^k dla funkcji rzutowania: $I_n^k(x_1, \dots, x_n) = x_k$ możemy podać precyzyjną definicję funkcji częściowo rekurencyjnej.

Najpierw określimy zbiór funkcji częściowo rekurencyjnych jako zbiór \mathcal{PREC} , do którego należą wymienione funkcje $\{Z, S, I_n^k : 1 \leq k \leq n \in \mathbb{N}\}$ oraz który jest zamknięty ze względu na opisane powyżej operacje $\{\mu, r, c^m : m \in \mathbb{N}, m \geq 1\}$ – to znaczy wyniki operacji złożenia, rekursji prostej oraz minimalizacji należą do \mathcal{PREC} zawsze, gdy wykorzystane w nich argumenty pochodziły z \mathcal{PREC} .

Definicja 11 Funkcję $f: \mathbb{N}^k \rightarrow \mathbb{N}$ będziemy nazywali funkcją częściowo rekurencyjną wtedy i tylko wtedy, gdy f należy do zbioru \mathcal{PREC} .

Ponieważ ten sposób sformalizowania obliczalności jest równoważny wielu innym metodom, dlatego – zgodnie z coraz częściej przyjmowaną konwencją – funkcje częściowo rekurencyjne będziemy po prostu nazywali funkcjami obliczalnymi. Zbiór funkcji obliczalnych ma moc przeliczalną, co łatwo zauważyć, gdy z każdą definicją funkcji obliczalnej związemy zbudowany ze skończonej liczby symboli opis algorytmu wyliczającego tę funkcję. To prowadzi do pytania o możliwość konstrukcji funkcji uniwersalnej $F_{\mathcal{PREC}}$ o dziedzinie w \mathbb{N} dla zbioru

PREC. Warto zauważyć, że dodatkowe wymagania, jakie będziemy chcieli nałożyć na indeksy funkcji, mogą mieć wpływ na uszczegółowienie definicji funkcji uniwersalnej.

W szczególności problemem może być realizacja operacji na funkcjach poprzez obliczenia na indeksach. Najbardziej podstawową operacją na funkcjach jest ich złożenie i dlatego oczekiwalibyśmy, że znając indeksy funkcji będących argumentami złożenia będziemy mogli w sposób obliczalny wyliczyć indeks funkcji będącej wynikiem tego złożenia. Jednak zwykły kształt funkcji uniwersalnej nie gwarantuje indeksowania zapewniającego spełnienie warunku obliczalności operacji na indeksach.

Dlatego czasem używane jest wzmocnienie definicji funkcji uniwersalnej, które poprzez dodatkowy warunek zapewnia szczególne własności indeksowania.

Definicja 12 (Shen and Vereshchagin, 2002) *Niech F_{PREC} będzie funkcją uniwersalną dla $PREC$ spełniającą warunki Definicji 1. Wówczas F_{PREC} będziemy nazywali mocną (Gödlowską) funkcją uniwersalną, gdy będzie ona spełniała następujący warunek: dla każdej dwuargumentowej funkcji obliczalnej g istnieje funkcja obliczalna h taka, że*

$$(\forall n, x)g(n, x) = F_{PREC}(h(n), x).$$

Przy tak zadanej funkcji uniwersalnej indeksowanie umożliwia wyliczanie indeksu wyniku złożenia funkcji w sposób obliczalny.

Bez względu na to, którą wersję (słabą czy mocną) definicji funkcji uniwersalnej weźmiemy pod uwagę, prawdziwy pozostaje poniższy wynik.

Twierdzenie 13 *Nie istnieje całkowita obliczalna funkcja uniwersalna dla zbioru całkowitych funkcji obliczalnych.*

Dowód wykorzystuje zamkniętość zbioru całkowitych funkcji obliczalnych ze względu na złożenie oraz fakt, że funkcje następnika oraz rzutowania są całkowitymi funkcjami obliczalnymi. W ten sposób w bardzo klarownej postaci znów otrzymujemy sytuację podobną do wcześniej rozważanych: precyzyjny opis elementów struktury funkcji obliczalnych uniemożliwia pełny opis całej struktury.

Można uzyskać funkcję uniwersalną dla całkowitych funkcji obliczalnych jeżeli zrezygnujemy z wymagania jej obliczalności. W tym przypadku brak obliczalności przynosi dwa problemy: po pierwsze – funkcja uniwersalna różni się swoim charakterem od indeksowanych elementów (nie występują dopasowanie globalnej charakterystyki do elementów struktury); po drugie – nieobliczalność ogranicza możliwość uzyskiwania informacji o analizowanej strukturze (nieobliczalność wprowadza niekonstruktywność funkcji utrudniając wykorzystanie jej do efektywnych obliczeń).

Rozwiązanie problemu przynosi rezygnacja z całkowitości funkcji. W tym przypadku (znowu dla obu wariantów definicji funkcji uniwersalnej) uzyskujemy możliwość konstrukcji indeksowania o obliczalnym charakterze.

Twierdzenie 14 *Istnieje obliczalna funkcja częściowa będąca funkcją uniwersalną dla zbioru częściowych funkcji obliczalnych $PREC$.*

W przypadku gdy zakładamy, że funkcja uniwersalna używa unikalnych indeksów dla opisywanego zbioru funkcji, tworzy to kolejną komplikację – musimy odrzucić mocny wariant definicji funkcji uniwersalnej.

Twierdzenie 15 *Nie istnieje obliczalna funkcja częściowa, która jest bijekcją na zbiór $PREC$ oraz która pozwala na obliczalne wyznaczanie indeksów wyniku złożenia funkcji o znanych indeksach.*

Wydaje się, że omówiony materiał ponownie daje odczuć pewnego rodzaju ‘opór’ matematycznej struktury przed pełnym odsłonięciem jej zawartości informacyjnej. Przy mocnych założeniach pozwalających zawsze znajdować wyniki funkcji, nie możemy skonstruować funkcji uniwersalnej. Jeżeli znajdujemy funkcję uniwersalną, to kosztem pełności charakterystyki funkcji będących elementami struktury – część z nich nie pozwala na obliczenia dla niektórych argumentów (przy czym nie istnieją obliczalne testy, które odróżniają funkcje całkowite od częściowych, czy argumenty należące do dziedziny od leżących poza nią). Co więcej, wymaganie jednoznaczności identyfikacji funkcji niszczy możliwość obliczalnej analizy podstawowej operacji złożenia.

Ta sytuacja pokazuje, że w obrębie zbioru funkcji obliczalnych trudno jest utworzyć strukturę, którą można by nazwać samowystarczającą: jeżeli chcemy przyjąć takie dobre cechy dla systemu funkcyjnego jakimi są obliczalność i całkowitość, to nie można równocześnie utrzymać tych wymagań na poziomie lokalnym i globalnym. To prowadzi albo do częściowej utraty możliwości analizy struktury, albo wznoszenia opisu globalnego do konstrukcji innego typu (nieobliczalnych funkcji uniwersalnych). Tego rodzaju konstrukcje w teorii obliczalności wiążą się z nieskończonymi hierarchiami funkcji i relacji oraz stopniami nierozstrzygalności (por. Rogers, 1987), które ilustrują coraz to większą utratę efektywnych własności rozważanych struktur.

5. Predykat prawdy Tarskiego

Przenieśmy nasze rozważania do dziedziny logiki matematycznej, a dokładniej na grunt logiki predykatów I rzędu. W pewnym sensie poszukiwanie uniwersalnego predykatu prawdy, czyli predykatu, który dla argumentów odpowiadających wszystkim możliwym zdaniom logicznym określa ich wartość logiczną, jest także poszukiwaniem funkcji uniwersalnej.

Uściślijmy najpierw notację. Dla każdej formuły logicznej, w której nie występują zmienne niezwiązane kwantyfikatorem (zdań logicznych), możemy określić pewien efektywny sposób ich kodowania (przypisywania im numerów). Kod formuły ψ będziemy oznaczali przez $[\psi]$ – sam sposób kodo-

wania nie jest szczególnie istotny, zwykle określa się go indukcyjnie: dla f będącego głównym funktorem określamy $[\psi] = p_0^{SN(f)+1} p_1^{[\phi^1]} \dots p_n^{[\phi^n]}$, gdzie $[\phi_i]$, $1 \leq i \leq n$ są kodami podformuł ϕ_i , przy czym dla elementów alfabetu (funktorów, zmiennych lub stałych) przyjmujemy $[e] = SN(e)$; SN przypisuje elementom alfabetu unikalne liczby naturalne, zaś p_i są kolejnymi liczbami pierwszymi.

Definicja 16 *Predykatem prawdy dla zbioru zdań Ψ będziemy nazywali jednoargumentowy predykat T taki, że dla każdego zdania $\psi \in \Psi$ zachodzi:*

$$\psi \Leftrightarrow T([\psi]).$$

Znane twierdzenie Tarskiego (por. Bolander, 2002) daje nam typowy dla funkcji uniwersalnych wynik negatywny.

Twierdzenie 17 *Predykat prawdy nie istnieje dla zbioru wszystkich zdań logiki predykatów pierwszego rzędu.*

Dowód przebiega także w sposób często pojawiający się przy negatywnych wynikach dotyczących funkcji uniwersalnych: sprowadzenie do niedorzeczności założenia o istnieniu predykatu T poprzez zastosowanie argumentu przekątniowego. Odrzucenie globalnego zasięgu T naturalną drogą prowadzi do rozważenia podzbiorów zdań, dla których T istnieje. Szeroką klasą takich przypadków jest zbiór zdań, które nie zawierają T w obrębie negacji; w szczególności zdania pozytywne (bez ne-

gacji) także tworzą klasę ze swoim predykatem prawdy. Jednak oprócz ograniczenia dziedziny funkcji uniwersalnej (predykatu prawdy) możemy pomyśleć o wprowadzeniu słabszego typu wartościowań logicznych, dając efekt odpowiadający niezdefiniowaniu (częściowości) funkcji.

Idąc w tym kierunku rozważmy logikę Kleenego K_3 , czyli logikę o zbiorze trzech wartości logicznych $\{0, 1/2, 1\}$ z następującymi regułami przypisywania wartości logicznych formułom (x/c oznacza podstawienie za zmienną x stałej c):

$$\begin{aligned} |\psi_1 \vee \psi_2| &= \max\{|\psi_1|, |\psi_2|\}, \\ |\psi_1 \wedge \psi_2| &= \min\{|\psi_1|, |\psi_2|\}, \\ |\psi_1 \rightarrow \psi_2| &= \max\{1 - |\psi_1|, |\psi_2|\}, \\ |\neg\psi_1| &= 1 - |\psi_1|, \\ |\forall x\psi_1(x)| &= \min_c\{|\psi_1(x/c)|\}, \\ |\exists x\psi_1(x)| &= \max_c\{|\psi_1(x/c)|\}. \end{aligned}$$

Dla formuł elementarnych (niezłożonych) wartość logiczna jest określona poprzez interpretację predykatu w jego dziedzinie.

Teraz możemy rozważyć predykat prawdy dla tak opisanej logiki, czyli podając konstrukcję swoistej funkcji uniwersalnej dla wszystkich możliwych zdań logiki Kleenego. W tym przypadku otrzymujemy pozytywny wynik.

Twierdzenie 18 *Istnieje taki predykat T , że dla każdego zdania ψ zachodzi*

$$T([\psi]) = |\psi|.$$

Logika K_3 została stworzona jako logika nieokreśloności. Wprowadzenie wartości $1/2$ jako wartości logicznej miało umożliwić stwierdzenie ‘nieokreśloności’ lub ‘niezdefiniowania’. Jak widać, dopuszczenie tej możliwości pozwoliło na skonstruowanie funkcji uniwersalnej do wyznaczania wartości logicznych zdań. Wyrzucenie nieokreśloności z pola rozważań automatycznie eliminuje predykat prawdy. To co jest warte uwagi to fakt, że wspomniana logika nie jest narzędziem czysto teoretycznym – model, w którym wartość logiczna może pozostać nieokreślona, jest wykorzystywany w wielu aplikacjach informatycznych (w szczególności w systemach bazodanowych). To akcentuje praktyczną stronę rozważań o związkach nieokreśloności z uniwersalnością.

6. Lokalny i globalny poziom opisu struktur funkcyjnych

Spróbujmy zinterpretować powyżej przedstawione przykłady. W każdym z nich rozważaliśmy strukturę, której elementy mogły przyjmować pewne wartości – w większości przypadków były to po prostu funkcje. Oprócz tego próbowaliśmy konstruować pewien opis uniwersalny całej struktury – funkcję, która w pewien sposób indeksowała elementy i pozwalała na ich wartościowanie oraz wykorzystywanie ich w obliczeniach. Przy takim postrzeganiu naszych przykładów w naturalny sposób wyróżnić można dwa poziomy:

- lokalny – na tym poziomie występują poszczególne elementy, posiadają pewne własności, które je charakteryzują oraz mogą być wykorzystane do uzyskiwania informacji o pojedynczych składowych struktury;
- globalny – w tym przypadku fundamentalny jest pewien mechanizm (zwykle zadany przez funkcję), który pozwala na zidentyfikowanie i wyliczenie wszystkich składowych struktury, własności tego mechanizmu opisują strukturę jako całość.

Budowa struktury, która będzie spełniać oczekiwania co do swoich możliwości poznawczych, wymaga zagwarantowania pewnych warunków na obu poziomach. Wydaje się oczywiste, że struktura powinna umożliwiać ewaluację swoich elementów (najlepiej dla wszystkich potencjalnych argumentów) oraz iż struktura powinna dawać gwarancję ustalenia, jakie elementy do niej należą. To prowadzi do następujących wniosków:

- podstawowe wymagania na poziomie lokalnym to całkowitość składowych funkcji;
- podstawowe oczekiwania na poziomie globalnym to istnienie (odpowiednio określonej) funkcji uniwersalnej.

W obu przypadkach stawiane wymagania wiążą się z maksymalizacją zasobu informacji, którą możemy wydobyć z takich systemów – pełna informacja o elementach struktury wymaga

całkowitości jej dziedziny; pełna informacja o całej strukturze potrzebuje istnienia funkcji prezentującej wszystkie elementy struktury.

Wydaje się jednak, że zupełność analizowanego systemu wymaga jeszcze czegoś ponad wspomniane podstawowe własności. Aby struktura była w pełni zrozumiała, nie powinna się odwoływać do występujących poza nią elementów (co prowadzioby do regresu do nieskończoności – aby zrozumieć strukturę S_1 musimy użyć składowych struktury S_2 , aby nic nie pozostało niepowiedziane należy teraz wyjaśnić strukturę S_2 , co jednak wymaga struktury S_3 i tak dalej). To oznacza, że frazę ‘w pełni zrozumiała’ należy interpretować poprzez dodatkowe wymaganie – ‘zrozumiała w swoim obrębie’. Dla systemów funkcyjnych znaczy to, że funkcja uniwersalna dla struktury powinna mieć ten sam charakter co elementy struktury.

Rozważmy ten problem wracając do klasy funkcji obliczalnych. Zaczynając od zbioru funkcji obliczalnych i całkowitych nie jesteśmy w stanie zbudować całkowitej i obliczalnej funkcji uniwersalnej. Poszerzenie zbioru funkcji do funkcji częściowych (choć nadal obliczalnych w dziedzinie) pozwala na uzyskanie analogicznej funkcji uniwersalnej. W tym momencie możemy się zastanawiać nad selekcją tych indeksów, które dla tej nowej funkcji uniwersalnej reprezentują funkcje całkowite. Jednakże to wymaga odniesienia się do funkcji, których grafy³

³ Graf funkcji to zbiór wszystkich możliwych par złożonych z argumentu i wyniku funkcji dla tego argumentu.

posiadają zupełnie inny charakter niż w przypadku funkcji obliczalnych. Porównanie sposobu konstrukcji różnych grafów (czyli relacji) prowadzi do budowy hierarchii arytmetycznej, w której funkcje obliczalne (ich grafy) znajdują się na poziomie zwanym Σ_1^0 , zaś indeksy funkcji całkowitych tworzą zbiór poziomu Π_2^0 . Rezygnując z badania całkowitości możemy zwrócić się ku jednoznaczności indeksów, czyli ku możliwości sprawdzenia, kiedy indeksy e_1, e_2 opisują te same funkcje: to znaczy $F_{PREC}(e_1, \dots)$ jest identyczne z $F_{PREC}(e_2, \dots)$. Tego rodzaju pogrupowanie indeksów ponownie wymaga odwołania się do relacji wyższego rzędu w hierarchii arytmetycznej (ponownie relacje klasy Π_2^0). Kolejne uściślenia wymagań stawianych funkcjom mogą prowadzić je dalej wzwyż nieskończonej hierarchii arytmetycznej.

Jak widać brak zamknięcia opisu pewnej struktury wewnątrz tej struktury może prowadzić do obserwacji, że wiedza o analizowanej strukturze pozostaje otwarta i wymaga wprowadzania nowych pojęć wyższych poziomów – w ten sposób tworzą się hierarchie pojęć, które nie dają nam zamkniętego i samowyczerpującego się opisu zjawiska.

Być może nasze przykłady pokazują nieuniknioną zaistnienie w konstrukcji struktur matematycznych (a przynajmniej niektórych z nich) pewnego wentyla bezpieczeństwa – mianowicie pozostawienia pewnej nieokreśloności, która daje szansę na późniejsze określenia wartości elementu. W ten sposób unika się struktur w pełni statycznych, które nie dają możliwości na żaden wewnętrzny rozwój struktury.

Te nieprecyzyjne sformułowania wnoszą nowy wątek: problem rozróżniania składowych struktur matematycznych, które mają cechy dynamiczne lub statyczne. Bardzo intuicyjnie możemy zasygnalizować charakter takiego rozróżnienia:

- obiekt statyczny – element, którego własności mogą być w dowolnym porządku efektywnie testowane i dla którego istnieje możliwość badania przynależności składowych w skończonym czasie;
- obiekt dynamiczny – element, którego własności mogą być konsekwentnie wyliczane, a składowe generowane w kolejnych krokach pewnego procesu (być może nieskończonego).

Odwołując się do klasycznego paradygmatu platonizmu matematycznego można by zasugerować, że statyczne obiekty matematyki odpowiadają rzeczywistości platońskich przedmiotów matematyki – w pełni istniejących (w platońskim świecie) oraz całkowicie określonych co do swoich cech. Obiekty dynamiczne odpowiadałyby tej części matematyki, która opiera się na rzeczywistości posiadającej pewną swobodę istnienia i doboru własności jej przedmiotów – teorii, które przynajmniej w części są wytworem fantazji i wyobraźni matematyków. Rozróżnienie tych dwóch typów struktur matematycznych mogłoby inspirować ku zaproponowaniu sugestii, iż nie cała matematyka podlega jednemu paradygmatowi filozoficznemu – być może jej różne części posiadają inny status.

Wracając do aspektów statyczności i dynamiki w obrębie systemów funkcyjnych widzimy, że dla struktur pojętych w pełni statycznie pojawiają się wewnętrzne trudności. Przy wszystkich elementach określonych w sposób stabilny i pozwalający na pełne ewaluowanie wartości elementów, globalne podejście pozwala na konstrukcje nowych bytów matematycznych, które można – wykorzystując pełną informację o systemie – wprowadzić w stan sprzeczności ze szczegółami dotychczas rozważanej struktury. To pokazuje, że statyczność może grozić konfliktem pomiędzy sztywnym określeniem wszystkich parametrów struktury a potencjalnymi konsekwencjami modyfikacji odwołujących się do jej globalnych własności.

Patrząc z punktu widzenia struktur dynamicznych, w polu widzenia pojawia się aspekt nieokreśloności. Korzystając z przykładu funkcji obliczalnych, jako ilustrację tego typu struktur można wskazać zbiory rekurencyjnie przeliczalne. Ich sposób zdefiniowania (zakres funkcji całkowicie obliczalnych) gwarantuje generowanie kolejnych elementów w procesie określonym przez pewną funkcję – co jasno prezentuje je jako struktury dynamiczne. Warto zauważyć, że w tym przypadku zachodzi klasyczne twierdzenie.

Twierdzenie 19 *Klasa zbiorów rekurencyjnie przeliczalnych posiada zbiór uniwersalny, który jest zbiorem rekurencyjnie przeliczalnym.*

W pewnym sensie ta sytuacja pokazuje, że pozostawienie nieokreśloności (zbiór rekurencyjnie przeliczalny określa częściową dziedzinę pewnej funkcji obliczalnej) pozwala na pewną elastyczność systemu, która daje szansę na konstrukcje globalne niepozostające – ze względu na swobodę nieokreśloności – w sprzeczności z dotychczasowymi własnościami struktury. To sugeruje rozważenie pytania: na ile niezdefiniowanie funkcji można traktować nie jako defekt funkcji, ale na pozostawienie możliwości pewnych niezdeteminowanych wyborów przypisania wyniku?

Przechodząc do finalnych uwag pozostaje zauważyć, że rozważenie pytań o związki pomiędzy uniwersalnością a całkowitością w obrębie systemów funkcyjnych byłoby ułatwione poprzez przebadanie dalszych aspektów zagadnienia. Przede wszystkim warto byłoby rozszerzyć przykłady przez analizę innych działów matematyki (na przykład topologia i funkcje Baire'a). Ponadto warto byłoby się przyjrzyć potencjalnym konfliktom pomiędzy globalnymi a lokalnymi (czy dynamicznymi a statycznymi) własnościami systemów w innych naukach. Wydaje się, że interesującym tropem byłoby zwrócenie się do teorii kategorii w celu sformalizowania pojęcia dopasowania funkcji uniwersalnej do opisywanej przez nią struktury⁴.

Szczególnie interesujące wydaje się tutaj odniesienie do fizyki. Klasycznym przykładem konfliktu określającego gra-

⁴ Autor chciałby w tym miejscu wyrazić wdzięczność za tę sugestię oraz inne cenne uwagi anonimowemu Recenzentowi tego artykułu.

nice w procesie uściślenia zdobywanych informacji jest zasada nieoznaczoności (cf. Hall, 2013). Powyższe rozważania pokazują, że pewne wyniki matematyczne można interpretować jako opis podobnej trudności w zdobywaniu informacji o strukturach matematycznych. To prowadzi do pytania, czy można postrzegać nieoznaczoność w fizyce jako pochodną konfliktu różnych aspektów opisu matematycznego zjawiska fizycznego. Tak więc być może to nie poziom fizyczny fenomenu, ale matematyka stwarzała by (a co najmniej przyczyniała by się do zaistnienia) niemożności otrzymania pełnej informacji poprzez metody badawcze. Istnieje też alternatywne wyjaśnienie, które w dynamicznych i statycznych aspektach opisu matematycznego dopatrywałyby się odbicia pewnych cech świata fizycznego (na przykład: dynamika – pęd, statyka – położenie przestrzenne) i stąd wspomniane konflikty w teoriach matematycznych byłyby konsekwencją jakiegoś powiązania teorii z rzeczywistością fizyczną.

Podsumowując można powiedzieć, że problem konstrukcji funkcji uniwersalnej dla zbiorów daje się postrzegać jako próba odwzorowania własności globalnych struktury, której elementy tworzą zasób informacji o lokalnych aspektach (elementach) całego zbioru. Patrząc poprzez ten pryzmat, w matematycznych wynikach dotyczących funkcji uniwersalnych można dostrzec zarys analizy problemu tworzenia samowjaśniających się struktur, w których własności lokalne i globalne pozostają stosownie zharmonizowane. Powyżej zaprezentowane twierdzenia zdają się sugerować, że w naturze – przynaj-

mniej niektórych – struktur matematycznych może znajdować się czynnik uniemożliwiający budowę systemów równocześnie dających dostęp do wszystkich szczegółowych własności jak i w pełni określonych oraz obejmujących całość rozważanego zbioru elementów.

Bibliografia

- Bell, J.L., 2014. *Intuitionistic set theory*. London: College Publications.
- Bolander, T., 2002. Restricted truth predicates in first order logic. In: *The logica 2002 yearbook*. Praha: Filosofia.
- Chaitin, G., 2004. *Algorithmic information theory*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hall, B.C., 2013. *Quantum theory for mathematicians*. New York et al.: Springer.
- Hrbacek, K., Jech, T., 1999. *Introduction to set theory*. 3rd edition. Boca Raton, Fl.: Chapman & Hall/CRC.
- Kharazishvili, A., 2005. *Strange functions in real analysis*. 2nd edition. Boca Raton, Fl.: Chapman & Hall/CRC.
- Odifreddi, P., 1992. *Classical recursion theory: The theory of functions and sets of natural numbers*. Vol. I. Amsterdam: North Holland.
- Rogers, H., 1987. *Theory of recursive functions and effective computability*. Mabrige, Mass.: MIT Press.
- Shen, A., Vereshchagin, N., 2002. *Computable functions*. Providence, RI: American Mathematical Society.

Minimal Information Structural Realism

Roman Krzanowski

Pontifical University of John Paul II in Krakow

Abstract

This paper presents Minimal Information Structural Realism (MISR), that claims that information (signified by I) is an ontologically and epistemologically objective entity (signified by R) and is apprehended as, but not identical to structures perceived in nature (signified by S). Two informal arguments are presented in support of this claim. One argument is based on the conclusions from models of quantum mechanics (QM) and cosmology, while the other argument is referred to as incompleteness of epistemic definitions of information. MISR is not associated directly with the structural realism (SR) of the ontic or epistemic kinds, and is only remotely related to the concept of information structural realism (ISR) defined by Floridi.

Keywords

information; information ontology; structure; structural realism; information structural realism

1. Introduction

This paper presents Minimal Information Structural Realism (MISR). MISR claims that information (signified by I) is an ontologically and epistemologically objective physical¹ entity² (signified by R) and is perceived as a structure³ (or form)⁴ of na-

¹ “Physical” as understood, e.g., in *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, A. Lalande, Press Universitaires de France, 1956 – “belonging to the world of perceptual phenomena and may be the subject of experimental research” – (fr. *artenant au monde phenom-enal, qui peut etre objet de connaissance experientielle*) (p.780).

² These claims are about the mode of existence (apart from the type of knowledge). Epistemic (or having to do with knowledge) objectivity means that the object of knowledge is/exists independently of the mind. Ontological (ontology or having to do with existence) objectivity means that the object is/exists as observer independent. Epistemic and ontological objectivity in the case of information means that information is not dependent on the existence of the mind. The statements like ‘this is a beautiful painting’ are epistemically subjective. Tectonic plates exist in this sense objectively. The examples are from Searle lecture (2005). See lecture at Google Academy by John Searle (2015) for the detailed explanation.

³ ‘Structure’ is notoriously difficult to define. One way tackle this is to understand structure as “Configuration of parts forming some whole” after *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*, A. Lalande, Press Universitaires de France, 1956 (p. 1031). However, this is a very general definition and does not reflect the multifarious role the term ‘structure’ plays in the philosophy of science. Please refer also to ft 9.

⁴ In some SR papers the term ‘form’ is used exchangeable with ‘structure’. For example Worrall writes: “There was continuity or accumulation in the shift, but the continuity is of form or structure...” (Worrall, 1989, p. 117). Such examples may be found in other papers on structural realism.

ture⁵ (signified by S). The term minimal (M) is added to ISR, meaning that no other claims, epistemic, ontic, or others, are associated with MISR. MISR may be seen as a version of Structural Realism (SR). However, MISR goes beyond structures conceived in SR⁶ and postulates that behind them lies information. MISR is not a claim about pancomputationalism though, along the views of, for example, Fredkin (1991), Lloyd (2007), or Muller (2008). The paper is not a comparison of MISR with SR but rather an explication of MISR and SR is providing solely the context for the discussion.

The paper is organized as follows. First, the basic claims of SR are reviewed. Second, the concept of information is discussed. Finally, the basic assumptions of MISR are explicated. Finally, the conclusion collects the claims formulated in the paper and suggests some areas for further work.

Structural Realisms (SR)

SR, as explicated in the works of Psillos (2004), Brading and Laundry (2006), Frigg and Votis (2010), Ladyman (2016), and

⁵ “Nature” as understood, e.g., in *The Oxford Companion to Philosophy*. T. Honderich. OUP, 1995: “...everything that there is in the physical world of experience, very broadly constructed. The universe and its contents, in short” (p. 607).

⁶ This concept of structure obviously assumes that it is a representational or abstract (or abstracted) structure.

many others⁷, claims that nature is structural (roughly speaking because structure is what seems to be invariant in scientific models of nature; it is what survives theory changes). The two main currents in SR are ontic and epistemic. Ontic Structural Realism (OSR), as defined by Ladyman (1998) and French (1998), embodies the view that structure is the ultimate reality and ontologically basic. In the strong version of OSR structures are “all the way down” (Frigg and Vostis, 2010). Epistemic Structural Realism (ESR), defined by Worrall (1989), claims that structures are all that we can and may know about nature. There can be more to nature than structures but ESR does not say what this “more” could be. The differences between ESR and OSR go much deeper but they are omitted here as having no importance for this discussion. Another version of SR that is interesting from the perspective of MISR is Information Structural Realism (ISR).

ISR has been defined by Floridi (2004, 2010). It does not change basic SR_s claims, rather it admits that nature is structural, but structures are informational objects or information structures. Information structures supervene upon data (or data structures). Data structures, in order to be information structures, must have meaning, which in turn depends on the presence of the scient agent⁸. Elementary data structures form “in-

⁷ SR and related ideas extend well into last century and traces of it can be found in much earlier works (for example, see Ladyman, 2016).

⁸ Dependence of informational structures on the mind gives to Floridi's ISR a Berkeleyan touch, so it seems.

fons” or “elementary information particles” (Floridi, 2010). At the core of ISR is the General Definition of Information (GDI) which describes the foundational assumptions behind data, infons, and information structures (a more detailed description of data and infons is given in the following sections). ISR, because of its epistemic claims, can be seen as a variant of ESR⁹.

2. Information

Most of the definitions of information relate it to knowledge, belief, or a communication process (for example, see Burgin, 2003; Capurro, 2009, Floridi, 2010, or Nafria, 2010). This makes information epistemically and ontologically subjective; information exists if someone recognizes it as such, it exists specifically in and for the mind of the receiver or an originator, or it exists when communicated (such as created, sent, and received). Epistemologically and ontologically subjective information is the one specified by General Definition of Information (GDI) elaborated by Floridi (2010) or information defined by Bar-Hiller and Carnap (1953), Brooks (1980), Loose (1998), Sveiby (1998),

⁹ The problem for SR is that the definition of structure and its ontological meaning are open; SR structure is often left unspecified (Vostis, 2010; Floridi, 2004), or assumed to be logical, physical, or mathematical in nature, or claimed that it is an information object of the sort defined in the OOP paradigm (Floridi, 2005), but there is no single version of a structure accepted in SR.

Dretske (1999), Casagrande (1999), Burgin (2003), and Len-ski (2010), to list just a few examples. Shannon’s concept of in-formation as being a measure of the probably density function (PDF) over some probability space (Shannon, 1948; Shannon and Weaver, 1964; Pierce, 1968), may have subjective or objec-tive properties depending on how probability is defined (Gilles, 2000). If we accept Shannon’s information¹⁰ for what it is (a mo-ment of (PDF)), we may think of it as some measure of patterns, which may be natural or man-made. However, how Shannon’s concept is related to other definitions of information is disputa-ble (see, for example, the discussion of Shannon’s information by Shannon Weaver, 1964; Pierce, 1968; Cherry, 1978; Casa-grande, 1999; Hidalgo, 2015; Krzanowski, 2016; and Schroeder, 2017)¹¹.

In recent decades, the perception of information as a on-tological¹² element of nature, has become quite widespread in

¹⁰ To be precise Shannon never explicitly defined information. How-ever, his concept of measure of information was later interpreted (cor-rectly) as the definition of it, so there is not much inaccuracy in saying ‘Shannon’s information’ as most of those working in the field under-stand this term for what it is – a mental shortcut.

¹¹ For example, Hidalgo writes: “...the interpretation of entropy and information that emerged from Shannon’s work was hard to reconcile both with the traditional use of the word information and with the inter-pretation that emerged from Boltzmann’s work” (Hidalgo, 2105, p. 15).

¹² ‘ontological’ means here pertaining to ontology or ‘things in them-selves’ (fr. ‘...les chose ells-memes...’) following *Vocabulaire tech-nique at critique de la pilosophie*, A. Lalande, Press Universitaires de France, 1956.

physics, cosmology, computing sciences, biology, and other sciences. Information seems to be a unifying concept connecting these diverse domains. The success of computing models of natural phenomena can be explained by postulating that computing models and nature share a common element – information (see for example Polak, 2017).

One may argue that the concept of information as an ontological element of nature goes back as far as the pre-Socratic Greeks and Ancient China (Curd, 2011; Oldstone-Moore, 2011). However, it is safer to focus on the twentieth century authors; the incomplete, selective, and rather idiosyncratic list would include¹³ Zuse (1970), von Weizsäcker (1970), Turek (1978), Wheeler (1982), Heller (1987, 2014), Collier (1989), Batenson (1979), Stonier (1990), Toffoli (1990), Thagard (2000), Barwise and Ethemendy (2000), Steinhart (2000), Jadacki and Brożek (2005), Seife (2006), de Castro (2007), and Hidalgo (2015). These authors claim in some way or another that information is at the center of nature (Dodig-Crnkovic), as energy is (Seife), and is related somehow to structure of nature (Collier), patterns (Dodig-Crnkovic) or physical order (Hidalgo). Collier (1989) writes, “Physical things have properties that give them a definite structure and causal capabilities. If information is an intrinsic property of physical objects, then it seems likely that it is contained in their physical structure” (p. 6). Hidalgo (2015) states,

¹³ Dates of publication refer to the edition cited, not to the original date of publication of the work.

“Information... understood broadly as a physical order” and further “... information is not restricted to messages. It is inherent in all physical objects” (p. 6). Seife (2006) claims that “...there is something about information that transcends the medium it is stored in. It is a physical entity, a property of objects akin to energy or work or mass” (p. 57). Stonier (1990) writes that “... information exists... information has physical reality and constitutes an intrinsic property of the universe” (p. 12). Dodig-Crnkovic (2012) states “The universe is, from the metaphysical point of view, nothing but processes in structural patterns all the way down. Understanding patterns as information, one may infer that information is a fundamental ontological category” (p. 228). For Hidalgo, Seife, and others quoted above, information is as real as any physical phenomena can be; it is objective, it is structural.

3. Why Minimal Information Structural Realism?

Presented here are two informal arguments for MISR. The arguments propose that interpreting natural structures as information or representing information is consistent with the findings of physical sciences and that epistemic interpretation of information and structures (as in ESR and ISR) is not sufficient for the description of nature, thus postulating ontological interpretation (of information and structures) may be more constructive.

Isomorphism of mathematical models of nature. The research in physics and cosmology provides evidence that different mathematical structures of natural phenomena support the same experimental results (Heller, 2014, p. 85). This would suggest that behind different mathematical models, or structures, there is an unchanging physical reality, and mathematical models are just reflections, or approximations, of this reality. Heller, a cosmologist and a philosopher, gives the example of how the evolution of quantum states is modeled by three different mathematical representations: those of Schrödinger, Heisenberg and Dirac¹⁴.

Heller observes that, as these three models support the same experimental results, they must then refer to another invariant structure, to which we do not have access, but that is representing a true reality or is a reality in itself. Heller (2014) also writes, “This is not an exceptional situation in physics” (p. 65), meaning that multiple mathematical structures describing successfully the same physical phenomena exist, as well, in other areas of physics than just QM. Further, Heller (2009) writes that “...every (natural) structure has certain information; more constraints (by laws of physics) given structure imposes more infor-

¹⁴ “There is a proof that these (Schrödinger, Heisenberg, Dirac) mathematical models are unitary equivalent, meaning that they lead to the same empirical predictions. To say it differently, there is an isomorphism between these models with respect to all observables. Thus, it is not the case that one mathematical structure corresponds to something we would call the structure of the world” (Heller, 2014, p. 64).

mation it contains. As the world is a structure, it contains certain information, or (we may say) the structure of the world encodes certain information” (p. 63). Still, in a different work, Heller (1995) observes that “...the modern physics suggests that the world does not have a structure but is a structure. This structure contains in itself certain information (or is information). Science decodes its fragments by fitting mathematical structures to the structure(s) of the universe” (p. 170)¹⁵.

Epistemic incompleteness. In epistemic definitions, information always supervenes on datum or data. The existence of data in addition to information is what may be called epistemic incompleteness. Epistemic incompleteness means that epistemic definitions of information recognize the necessary existence of something beyond epistemic information itself for the complete description of nature. An exemplary case for epistemic incompleteness is offered by the GDI. In GDI, data are primary “stuff” of the universe and occur prior to informa-

¹⁵ “...even if a real world contain something more than a form, with the methods of modern physics we are unable to touch it: this something intangible escapes through gaps of the mathematical models and experiments.... If information may be conceptualized as constraining options, every law of physics is information, as it constrains nature. It may be suggested that the stuff of the world is information. However, following Shannon’s definition of information, information is a structure and not what possibly can this structure fill in. In this view the structure of the world is an information encoded. The role of science is to break this code and reveal information” (Heller, 1987, 1963, p. XX). It seems that Heller’s interpretation of Shannon’s information should not be taken literally but as a heuristic device.

tion (Floridi, 2010, p. 84). Data are denoted as “lack of uniformity”, diaphora de re, didomena, or “a fracture in a fabric of being” (Floridi, 2010). Information forms structures composed of data in a certain, specific way that is meaningful to some observer. As Floridi (2010) writes, “...General Definition of Information (information is defined) in terms of data + meaning” (p. 83). Thus, information supervenes on data structures. In addition, between information structures and data, Floridi includes *infon* – an elementary particle of information; as Floridi (2010) writes, “the parallel with fundamental particles of physics the electrons, protons, neutron, photons, and so forth” (p. 85). Infon is a strange concept, as on one hand it is conceived to be similar to elementary, physical particles and objective ontologically, while, on the other hand, it has an epistemic, subjective quality.

4. Minimal Information Structural Realism

MISR combines intuitions about the structural character of reality and the ontological and foundational role of information in nature. Structures in MISR are the order behind the abstract structures of ESR or OSR. Information in MISR is not something awaiting to be recognized by the mind, but rather an organizational principle pervading nature. This view of structures and information is not present in current strands of SR (ESR, OSR, and ISR).

MISR claims also that information is an objective aspect of reality and it is perceived or apprehended through (or as) patterns or structures. No data and no infons are necessary to define what information is.

MISR is not associated with ESR and OSR directly, but it does not contradict them. MISR is somewhat related to the concept of Floridi's ISR, in that both ISR and MISR attribute importance to the role of information in nature, yet do so in different ways. Floridi's ISR claims that structures perceived in SR strands are informational structures, or can be interpreted as informational, similar to informational structures modeled by the Object Oriented Programming (OOP) paradigm (Floridi, 2004). MISR claims that structures in SR reflect, or approximate, the structure of nature that contains information.

Versions of MISR may support more nuanced versions of MISR along ontic, epistemic, mathematical, quantum, or computational perspectives. Of course, each of these versions of ISR must be refined and evaluated for its logical coherence and correspondence with the facts of physics¹⁶.

¹⁶ One would have to mention the differences in the understanding of *realism* in SR and MISR. In SR, realism denotes the position of science and scientific theories towards nature (realism vs. anti-realism). In MISR, realism denotes the objective character (mind-independent) of information. Both realisms, in further interpretations, do, however, converge on the same claim that there is an objective (mind-independent) reality that we can study. Realism is a polysemic concept that splits various versions of scientific realism (see for example Chakravarty, 2007). It seems that MISR may add (regrettably) still another interpretation to what is real.

5. Conclusions and open issues

SR and MISR take two different, but not completely contradictory, views of nature and our knowledge of it. SR claims structures are what is or what can be known¹⁷, but that they have nothing to do with information. In Floridi's ISR, information is epistemic and it emerges over structures composed of data. MISR sees structures that we conceive as representations, or approximations, of the structure of nature, which is what is invariant behind SR structures. This structure of nature may be thought of as information or composed of information.

Acknowledgement

I would like to thank Prof. Paweł Polak for his constructive comments on the early draft of this paper. All the errors, faulty conclusions and logical and factual mistakes are of course of my doing.

¹⁷ A big problem for SR is how structures in ESR and OSR translate into the objects of nature. This problem seems to be so far unsolved, despite many propositions.

Bibliography

- Bar-Hiller, Y., Carnap, R., 1953. Semantic information. *The British Journal of Philosophy of Science*, 4(14), pp. 147–157.
- Barwise, J., Etchemendy, J., 2000. Computers, visualization and nature of reasoning. In: T. Bynum, J. Moor (eds.), *The digital phoenix*. Oxford: Blackwell Publishing, pp. 93–136.
- Bateson, G., 1979. *Mind and nature*. New York: E. P. Dutton.
- Brading, K., Landry, E., 2006. Scientific structuralism: Presentation and representation. *Philosophy of Science*, 73, pp. 571–581.
- Brooks, B., 1980. The foundations of information science. Part I. Philosophical Aspects. *Journal of Information Science*, 2, pp. 125–133.
- Burgin, M., 2003. Information: Problems, paradoxes, and solutions. *TripleC*, 1(1), pp. 53–70.
- Casagrande, D., 1999. Information as a verb: Reconceptualizing information for cognitive and ecological models. *Georgia Journal of Ecological Anthropology*, 3, pp. 4–13.
- Chakravartty, A., 2007. *A metaphysics for scientific realism*. Cambridge: Cambridge University Press. 233.
- Capurro, R., 2009. Past, present, and future of the concept of information. *TripleC*, 7(2), pp. 125–141.
- Cherry, C., 1978. *On human communication*. 3rd ed. Cambridge, Mass.: The MIT Press.
- Collier, J., 1989. Intrinsic information. In: P.P. Hanson (ed.), *Information, language and cognition: Vancouver studies in cognitive science*, Vol. 1. (originally University of British Columbia Press, now Oxford University Press, 1990). pp. 390–409.
- Curd, P., 2011. *A pre-Socratic reader*. Indianapolis: Hackett Publishing Company.
- De Castro, L., 2007. Fundamentals of natural computing: An overview. *Physics of Life Review*, 4, pp. 1–36.
- Dretske, F., 1999. *Knowledge and the flow of information*. Cambridge: CSLI Publications.
- Dodig-Crnkovic, G., 2012. *Alan Turing's legacy: Info-computational philosophy of nature*. [Online] Available from <http://arxiv.org/>

- [ftp://arxiv/papers/1207/1207.1033.pdf](ftp://arxiv.org/papers/1207/1207.1033.pdf) [Accessed October 7th 2015].
- Feynman, R., 1971. *The Feynman lectures on physics*. Vol. I. <http://www.feynmanlectures.caltech.edu/> [Accessed May 10th, 2017].
- Floridi, L., 2004. *Informational realism. Computing and philosophy conference*. In: J. Weckert, Y. Al-Saggaf (eds.), *Conferences on Research and Practice of Information Technology*. Canberra: 37.
- Floridi, L., 2010. *The Philosophy of information*. Oxford: Oxford University Press.
- Fredkin, E., 1991. Digital mechanics: An informational process based on reversible universal automata. In: H. Gutowitz (ed.), *Cellular automata; Theory and experiment*. Cambridge, Mass.: The MIT Press.
- French, S., 1998. On the withering away of physical objects. In: E. Castellani (ed.), *Interpreting bodies: classical and quantum objects in modern physics*. Princeton: Princeton University Press, pp. 93–113.
- Frigg, R., Votsis, I., 2011. Everything you always wanted to know about structural realism but were afraid to ask. *European Journal for Philosophy of Science*, 1(2), pp. 227–276.
- Gillies, D., 2000. *Philosophical theories of probability*. New York: Routledge.
- Heller, M., 1987. Ewolucja pojęcia masy. In: M. Heller, A. Michalik, J. Mączka (eds.), *Filozofować w kontekście nauki*. Kraków: PTT, pp. 152–169.
- Heller, M., 1995. *Nauka i wyobrażenia*. Kraków: Znak.
- Heller, M., 2009. *Filozofia Nauki. Wprowadzenie*. Kraków: Petrus.
- Heller, M., 2014. *Elementy mechaniki kwantowej dla filozofów*. Kraków: Copernicus Center Press.
- Hidalgo, C., 2015. *Why information grows*. London: Penguin Books.
- Krzyanowski, R., 2016. Shannon's information revisited or Shannon's redux. Presentation at XII Zlot Filozoficzny, Białystok, 4–6 VII 2016.
- Ladyman, J., 1998. What is structural realism? *Studies in History and Philosophy of Science*, 29, pp. 409–424.

- Ladyman, J., 2016. Structural realism. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Winter 2016 (Edition), Edward N. Zalta (ed.) [Online] Available from <https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/structural-realism/> [Accessed October 10th 2016].
- Lloyd, S., 2007. *Programming the universe: A quantum computer scientist takes on the cosmos*. New York: Vintage Books.
- Loose, R., 1998. A discipline independent definition of information. *Journal of the American Society for Information Science*, 48(3), pp. 254–269.
- Lensky, W., 2010. Information: Conceptual investigation. *Information*. [Online] pp. 74–118. Open Access Journal. Available from www.mdpi.com/journal/information [Accessed October 6th 2015].
- Jadacki, J., Brozek, A., 2005. Na czym polega zrozumienie w ogóle a rozumienie informacji w szczególności. In: M. Heller, J. Mączka (eds.), *Informacja a zrozumienie*. Tarnów: Biblios.
- Muller, V., 2008. Pancomputationalism: Theory or metaphor? In: R. Hagengruber, U. Riss (eds), *Philosophy, computing and information Science. History and philosophy of technoscience*, 3. Chattoo: Pickering & Chattoo, pp. 231–221.
- Nafria, J., 2010. What is information? A multidimensional concern. [Online] *TripleC*, 8(1), pp.77–108. Available from <http://www.triple-c.at> [Accessed October 6th 2015].
- O’Connell, C., 2016. *What is energy. cosmos*. [Online] Available from <https://cosmosmagazine.com/physics/what-is-energy>. [Accessed April 2nd 2017].
- Oldstone-Moore, J., 2011. *Understanding taoism*. London: Watkins Publishing.
- Psillos, S., 2001. Is structural realism possible? *Philosophy of Science*, 68, (Supplementary Volume), pp. 13–24.
- Polak, P., 2017. Does everything compute? Philosophical implications of pancomputationalism interpretation of natural computing. (in Polish). *Studia Metodologiczne*, 38, Poznań, Adam Mickiewicz University.
- Searle, J., 2015. *Consciousness in Artificial Intelligence*. [Online] Talks at Google, Available from <https://www.youtube.com/watch?v=rHKwIYsPXLg> [Accessed January 15th 2017].

- Stonier, T., 1990. *Information and the internal structure of the universe*. New York: Springer-Verlag.
- Shannon, C., 1948. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, pp. 379–423.
- Shannon, C., Weaver, W., 1964. *The mathematical theory of communication*. Urbana, Ill.: The University of Illinois Press.
- Schroeder, M., 2017. Spór o pojęcie informacji. *Studia Metodologiczne*, 35, pp. 11–37. [Online] Adam Mickiewicz University, Poznan. Available at <http://studiametodologiczne.amu.edu.pl/vol-34/> [Accessed April 2nd 2017].
- Sveiby, K-E., 1994. *What is information*. [Online] Available at <http://www.sveiby.com/articles/information.html> [Accessed April 20th 2016].
- Thaggard, P., 2000. Computation and philosophy of science. In: T. Bynum, J. Moor (eds.), *The digital phoenix*. New York: Blackwell Publishing, pp. 48–61.
- Weyl, H., 1949. *The philosophy of mathematics and natural science*. Princeton: Princeton University Press.
- Worrall, J., 1989. Structural realism: The best of both worlds? *Dialectica*, 43, pp. 99–124.
- Zuse, K., 1970. Calculating space. MIT Technical Translation AZT-70-164-GEMIT, Cambridge: Massachusetts Institute of Technology (Project MAC).

Current perspectives on the development of the philosophy of informatics (with a special regard to some Polish philosophers)

Paweł Polak

Pontifical University of John Paul II in Krakow;
Copernicus Center for Interdisciplinary Studies

Abstract

This article is an overview of the philosophy of informatics with a special regard to some Polish philosophers. It juxtaposes the informationistic worldview with the long-prevailing mechanical conceptualization of nature before introducing the metaphysical perspective of the information revolution in sciences. The article shows also how ontic pancomputationalism – regarded as an update to structural realism – could enrich the philosophical research in some classical topics. The paper concludes with a discussion of the philosophy of Jan Salamucha, a philosopher from the Cracow Circle (1903–1944) whose ideas could be inspiring for today’s philosophy of informatics in Cracow.

Keywords

philosophy of informatics; pancomputationalism; methodology of informatics; informationistic worldview; mathematical computability of the world

1. Important questions

During the transition from the 20th to the 21st century, informatics indisputably played an important role in society. However, it presents somewhat of a mixed bag. On one hand, information technology solves many practical problems and makes our lives easier and more productive, but it also raises many controversies. Sometimes it is even perceived as a fresh threat to individuals and civilization. What is particularly interesting for us, though, is the role that informatics can play in philosophical reflection. In general terms, this problem has already been analyzed (Bolter, 1984; Goban-Klas, 1990; Stacewicz and Marciszewski, 2011; Polak, 2015). In this paper, we focus on the specific question of whether informatics can contribute to substantive changes in philosophy. In other words, we ask what role can informatics play in creating a new philosophy for the 21st century?

This article attempts to form a unified philosophical perspective on the field of informatics. It seems that many strands of research about the philosophy of informatics may be combined into a single, broader philosophical vision at a fundamen-

tal level. However, a unified picture of this science has yet to be created. For practical reasons, we will focus here on the aspects of the philosophy of informatics that are represented in the Polish philosophical tradition and especially represented in scientific milieu publishing in *Philosophical Problems in Science* (Zagadnienia Filozoficzne w Nauce). In this tradition, which was always open to foreign influences, one can find a wide variety of intriguing perspectives inspired by diverse views from other philosophical schools. In consequence we need also some confrontation of these ideas with mainstream of philosophy of informatics.

Informatics is understood in this paper in a broad sense, meaning that it is not limited to information technology and the digital processing of information but instead covers the general processing of information in all its diverse forms and aspects¹.

¹ The term “informatics” is used here in a broad sense that reflects the standard English usage as defined in (for example) <http://www.ed.ac.uk/informatics/about/what-is-informatics> or <https://en.wikipedia.org/wiki/Informatics> [accessed on 1.07.2017]. Traditionally the term “computer science” is used, but the scope of described reflection goes beyond the boundaries of classical paradigm, therefore change in the terminology is needed for showing much broader attempt (see paragraph “An update to mathematical structuralism – a concept of the computing Universe” below). We could use as well the term “computing” in a meaning given by Tedre and Dennig (2017) (N.B. in this publication it is a synonym for “informatics”). Nevertheless, a semantic field of the chosen term “informatics” is closer to Polish “informatyka” and is focused on the notion of information (crucial in mentioned paragraph).

2. Methodological uncertainty of modern informatics

The important role that informatics plays in a modern society, resulted from their practical successes. Without information technology in its various forms, it seems unlikely that modern societies could function as they do now. One could venture to state that information technologies, on both regional and global scales, create a new information “environment” for human activity. Paradoxically, the more critical thinkers in this field (e.g., Denning, 2005; Cerf, 2012) point out how the methodological foundations of informatics are unclear and very questionable², and they lack clarity as to what informatics actually is and what it should be.

Informatics has in practice ceased to be, at least in recent decades, confined to the science of principles and practices for constructing computing machines, developing algorithms and programs, and testing and deploying them. Today, elements of informatics are found in a variety of very remote methodological areas, such as formal and empirical sciences, engineering and humanities.

As informatics has been applied in so many diverse research areas, with no firm methodological basis for it being established, many have been tempted to question its future and its

² Comprehensive outline of views on methodology of informatics could be found in: (Tedre and Denning, 2017). Three different paradigms of informatics were analyzed by Eden (2007). See also (Tedre, 2011).

status as a science in its own right. This question, from a historical perspective, is of fundamental significance when we recall how several autonomous disciplines have been expected to bring on a new worldview only to recede into the backwaters of science over the course of history. A good example of this is the old science of microscopy. Robert Hook's famous *Micrographia* (Hook, 1665) was perceived as the beginning of a new chapter in the history of science, opening up a previously unknown world. The science of microscopy itself was to play a fundamental role in science. Today, microscopy is regarded as no more than a collection of useful techniques that can be applied in many scientific domains.

The status of informatics shows some similarities with the historical development of microscopy: Informatics takes on diverse roles among most scientific disciplines (as microscopy did in the past), ranging from basic sciences through to technical sciences and on to applied sciences like forestry and even modern humanities. Many scientists perform *de facto* tasks typical to informatics. However, there is a significant distinction between the history of microscopy and informatics, because informatics has already had fundamental and widespread effects throughout science. For example, compare a textbook from the early 20th century with its modern-day counterpart. One can easily see conceptual changes with, for example, frequent references to concepts such as information and algorithms. One can witness the application of computational methods and information technology in almost every area of modern research. This

has led to substantial methodological changes, such as the use of simulation (Kleiber, 1999; Winsberg, 2010, 2014; Boyer-Kassem, 2014), computer-controlled experimental systems (Leciejewski, 2013), computer-aided discovery of scientific knowledge (e.g., Żytkow, 2000; Giza, 2002, 2006), data mining (e.g., Critchlow and van Dam, 2013; Bell, Hey and Szalay, 2009; Callebaut, 2012; Kelling et al., 2009; Trumbull, Bonney, Bascom and Cabral, 2000), the application of computational methods in humanities³, and the use of information technologies in legal practice and research (e.g. Mamak, 2017). The methodological changes observed in informatics itself, such as empirical

³ The literature for the application of computer technologies in humanities (i.e., Digital Humanities) is quite substantial, but it is worth mentioning at least the pioneers of these applications in philosophy, such as Roberto Busa, who was the first to use computer technology for linguistic and literary analysis and built the *Index Thomisticum*: (Busa, 2004; Janusz, 2012). To learn more about the sources and history of the creation and application of computational methodologies in humanities, see the work of Dalbello (2011). Digital Humanities have not just opened up new areas of research but also precipitated revolutionary changes in traditional research methods. One could mention here the highly significant initiative to develop the Polish Federation of Digital Libraries (a part of Europeana Collection), which radically changed the way research could be conducted using old publications and manuscripts by offering unprecedented access to dispersed, difficult-to-obtain, and unique sources. A short characterization of the methodological changes brought around by computer technologies to the philosophical workshop can be found in the textbook of Polak, Michalczyk and Stawarz (2012). To learn about new research areas created by the digital humanities, one may consult a number publications on the topic (e.g. Berry, 2011).

informatics, clearly indicate that the relationship between informatics and the natural sciences is becoming increasingly intimate. As well, our perception of what computation is changes significantly (Polak, 2016).

Some researchers, such as Gordana Dodig-Crnkovic and Rafaela Giovagnoli, emphasize the extraordinary breadth of the methodological changes brought about by informatics, postulating that a paradigm shift beyond the boundaries of the record previously set by Newton has already taken place in science (Dodig-Crnkovic and Giovagnoli, 2012, p. 18). Certainly, without informatics, our progress in understanding the complex phenomena in physics, chemistry, biology, environmental sciences, and climatology – as well as in social sciences like anthropology, psychology, medicine, technology, military sciences and economics (e.g. Urchs, 2016; Hooker, 2011b) – would have been hindered. These changes are so far-reaching that some researchers, such as Clifford Hooker, talk about a revolution in science precipitated by computer-aided research into complex phenomena (*complex system revolution*)⁴.

⁴ The complex systems revolution is currently exploding through science, transforming its concepts, principles, methods and conclusions. It is also transforming its disciplinary structure, both creating new, distinctive “complexity” disciplines, such as climate science, systems and synthetic biology and self-maintaining and social robotics. It is also transforming older disciplinary relations, such as developmental biology, psychology and sociology. This revolution creates a plethora of new problems and challenges for the foundations and philosophy of science (Hooker, 2011a, p. 902).

Let us briefly try to characterize the uniqueness of these changes. We can begin with how it is hard to deny that the range of changes precipitated by informatics is even greater than those that resulted from the introduction of mathematical and empirical methods in the description of nature. Indeed, the changes introduced by informatics relate to the whole system of human knowledge, not just to natural sciences. What is more, while attempts by positivists to introduce scientific methods into humanities have not been successful, the application of information technology in a variety of liberal arts research is a fact that is neither astonishing nor objectionable. Even the informatization of various aspects of human life meets with scarce resistance from anthropologists and philosophers⁵. Sometimes, simple metaphors are rejected, like treating the brain as a digital computer comparable to a von Neumann machine, but this computer – brain analogy merely indicates that some metaphors are unsuitable for certain specific problems and does not refute the general current of informatization. Despite many examples for methodological changes, it is not yet possible to talk about a uniform “information methodology” that is common to all areas of knowledge acquisition. Instead, we see applications of information technologies to solve specific problems. On the other hand,

⁵ The term “informatization” is defined in the OED as “the adoption of information technology; computerization.” It has been used in literature on the subject having been coined similarly to the term “mechanization” (e.g., Mul, 1999).

however, the informational nature of reality seems even more evident today than its mathematical nature (Polak, 2010).

Certainly, the greatest symptom of these changes is the unification of scientific concepts (and partially methodology) under the umbrella of informatics. It has happened despite the proponents of inductive generalizations in philosophy⁶ and against the fears of scientometrics adherents, who see the rapid progress of informatics more like a road to the Tower of Babel than an opportunity to develop some common and generally accepted language (Price, 1961, 1963). The restructuring of the conceptual foundations of science has occurred gradually, paralleling the development of informatics and being accepted without any major shocks. This may be interpreted as confirmation of David Bolter's thesis about the Turing man, who thinks about himself and about the world in new computational categories (Bolter, 1984; see also Goban-Klas, 1990; Polak, 2015).

3. Informationistic philosophy – a new mechanical philosophy?

From a historical perspective, there are numerous analogies between the role played by mechanical philosophy and (philosoph-

⁶ In Polish philosophy, in the 19th century already, Fr. Stefan Z. Pawlicki realized how philosophy influences other sciences through their assumptions and fundamental concepts, not just through inductive generalizations (Pawlicki, 1878).

ical) evolutionism in the development of science and the role played today by informationistic philosophy. Informationistic philosophy is understood here (using the analogy with mechanical philosophy) as a set of philosophical ideas inspired by informatics, constituting the essential elements of the modern worldview⁷.

From a historical perspective, mechanical philosophy has, since the 17th century, largely served as a philosophical basis for the development of modern natural science. Using the terminology coined by Marciszewski, it can be said that mechanical philosophy fulfilled the basic role of establishing a “worldview” and “compass of conduct” for scientific research (Stacewicz and Marciszewski, 2011). In the 19th century, mechanical philosophy was complemented significantly by evolutionism. It is worth noting how the crisis of the mechanistic worldview began in the same field that originally inspired it, namely physics (Mul, 1999). The development of physics in the late 19th century and the early 20th century precipitated the rejection of mechanical philosophy as a scientific worldview. (It was especially apparent in the controversies surrounding Einstein’s theory of relativity.)⁸

⁷ Informationistic philosophy in this sense is very close to the concept of the informational worldview formulated by W. Marciszewski and P. Stacewicz (Stacewicz and Marciszewski, 2011; Stacewicz, 2015, 2016). See also (Mul, 1999).

⁸ The rejection of mechanical philosophy as the philosophical environment for the development of physics did not take place rapidly or without tension. It is also worth noting that despite this rejection, elements of mechanical philosophy have survived in the popular view of science.

Previous studies into the relation between science and philosophy have shown how science cannot progress without some philosophical context. It is interesting to note how the fundamental theories of physics have only influenced the post-mechanistic worldview to a small degree. This may be explained by a lack of understanding of fundamentality in physics itself (e.g. Lamża, 2011, p. 71nn). The mechanistic worldview was gradually and almost imperceptibly replaced by the informationistic alternative⁹. This process has been observed for some time and reported on, such as in Poland by S. Krajewski in his research on modern Neo-Pythagoreanism (Krajewski, 2007).

It is noteworthy that the informationistic worldview, in comparison to the mechanistic one, offers an important philosophical advantage. While the latter describes quite well the bottom-up causation, emphasizing the importance of general laws in the creation of nature, the former also explains the top-down causation. This is the result of the doubly causal nature of information systems: the bottom-up (i.e., physical phenomena realizing computing processes in computer systems) and the top-down (i.e., the role of a computer program in shaping computational processes). Informatics evidently shows how this double causality is not just possible but also common, and models for such causation can be formulated analogously to information processes. This change in perspective can play a significant role in

⁹ The term “informationistic”, while not defined in the OED, is found in literature on the subject. It has been coined in a manner similar to the term ‘mechanistic’ (e.g. Mul, 1999).

elucidating important philosophical problems, such as the nature of emergence, the acts of God in the world, and so on.

The acceptance of an informationistic worldview has been a gradual and evolutionary one, but it has not happened unchallenged. The transition from the 20th to the 21st centuries has seen the development of “new mechanics”. This supposed return of the mechanistic perspective is predominantly observed in biological sciences¹⁰. Its first explicit formulation was found in a monograph published in 1993 and written by Bechtel and Richardson (1993). It is problematic how much of the “new mechanical philosophy” is actually just a revival of the historical one. It is worth noting, for example, one definition for a mechanism that features in this new philosophy of science:

“A mechanism is a structure performing a function in virtue of its component parts, component operations, and their organization. The orchestrated functioning of the mechanism is responsible for one or more phenomena” (Bechtel and Abrahamsen, 2005, p. 423).

An interesting research question is whether this new mechanistic view can be reduced to informatics. It seems informatics provides a large conceptual framework capable of encompassing the concept of mechanical explanations. A clue can be seen in how these “mechanical” explanations are combined in practice with computerized methods. Hooker suggests that the link

¹⁰ One can find explicit statements such as “a new framework for thinking about the philosophy of science” (Craver and Tabery, 2017).

is realized through research into complex systems, which uses information frameworks but employs the redefined mechanical terminology of a “new mechanical philosophy” (Hooker, 2011a). Its “linkage” requires a detailed analysis and thorough justification, pointing in the same time towards interesting area for research.

4. An update to mathematical structuralism – a concept of the computing Universe

Regardless of the role of informatics in the “new mechanics,” one should also reflect on another important element in the modern scientific picture of the world, namely the association with the astonishing efficiency of mathematical-empirical methods in the study of reality (Wigner, 1960).

Mathematical structuralism as the ontological concept of nature, as suggested by Heller (2006) and others, leads in a relatively direct manner to a recognition of the fundamental role of information¹¹. In this view, “information” and “structure” are closely linked concepts that are, in principle, two different rep-

¹¹ Krzysztof Turek (Turek, 1978, 1981; see also Krzanowski, 2016) was the precursor of such an understanding of the subject in the Cracow environment. Today, these studies continue, as evidenced in a recent issue of *Semina Scientarum* 13 (2017). Structural representations of information are also discussed in, for example, the work of Schroeder (2015, p. 27nn) and Krzanowski (2017).

representations of the same fundamental aspect of reality. However, the exact relation between structure and information is not obvious and would require further research. It is interesting how, almost naturally, a possible path for the unification of these representations of nature may be found in the current category theory, which is a subject of further investigation.

In this context, one could reinterpret Heller's claims about the mathematical Universe. It seems that Michał Heller is close to the theory (although it is difficult to find unequivocal confirmation in his work) that the mathematical world is realized through computational processes. This is how the frequently quoted saying of Leibniz's "*Dum Deus calculat, mundus fit*" could be understood¹². This view of nature as a computational process is not new because it is one of the version of pancomputationalism (see e.g. Piccinini, 2017). Thesis of computing Universe would mean that reality embodies a specific kind of computations. These "natural computations" are the reason for the emergence of cognitive structures, as well as guarantors for

¹² Of course, Leibniz's original statement was somewhat more elaborate: "*Dum Deus calculat et cogitationem exercet, fit mundus.*" Leibniz's puzzling separation of divine action from computing and cognition in the act of creation leads to numerous speculations. Let us note how the version proposed by Heller can be defended as adequate under the assumption of pancomputationalism (i.e., that all processes in nature are in essence computational). Thus, what is specific to the act of creation are in fact two sides of the same "divine calculations." It is easy to see how such an interpretation seems natural under the assumption that the mathematical nature of the world can be understood as computational.

the stability of their existence (and also the existence of any other structures). Computing universe understood this way can be naturally linked to the Augustinian concept of *creatio continua*, explaining the relationship of the Creator to creation. Interpreting this old Augustinian statement in the context of informatics could fill a gap in the previous reflections of Heller, who accepted both the mathematical nature of the world and the concept of creation. It may be that the link between these philosophical claims has in some degree been implicated by Heller.

The vision of computing Universe offers a philosophical perspective that can be seen as an explanation for the well-known concept of structuralism. It also presents new questions about the nature of the ontology of the world and provides an important companion to contemporary reflection on the concept of creation, which is a key to philosophy practiced in the context of faith. In addition, in the context of the informationistic worldview, the concept of natural computations can be understood as an expression of the computing Universe (see Polak, 2017).

5. Instead of conclusions – philosophical ideas of former Cracow Circle for modern philosophy of informatics

Concluding this review of the challenges facing the philosophy of informatics, it is worth addressing the history of philosophy and the philosophical roots of the presented concepts. When ob-

servicing the current debates surrounding the impact of informatics on philosophy, one can identify significant similarities with a dispute that took place some 70 years ago about the role of the new formal logic (then called logistics) in philosophy, especially with the so-called Christian philosophies. In this context, an interesting response was supplied in Poland by Fr. Jan Salamucha, a prominent member of the Cracow Circle (see Wolak, 2005; Murawski, 2015)¹³, during a discussion that took place in 1936 at the Third Polish Philosophy Congress in Cracow. Salamucha's response was later mentioned in two works: *About the mechanization of thinking* (Salamucha, 1937a) and *About the possibilities of precise formalization of analogous concepts* (Salamucha, 1937b).

Seventy years ago, Salamucha noted (about the then-new formal logic) that “existing new thinking tools cannot be eradicated” (Salamucha, 1937b). He also argued that philosophy must be precise, and therefore it must be logically “mechanizable”. The main theme of Salamucha's work *About the mechanization of thinking* in the context of informatics can perhaps be better phrased as follows: “A philosophical thesis could be expressed by computing artefacts, and this would facilitate better control without removing the space for individual creativity.”

¹³ We should add that the second conference in the “Philosophy in Computer Science” series took place in Cracow in 2016, and the proceedings took place in the former seminary building of the Diocese of Częstochowa at Bernardyńska St. 3, where in the 1930s, Fr. Jan Salamucha lived and worked.

In translating the meta-philosophical statements of Salamucha into modern times, one could say that informatics provides new tools for philosophical thinking. It plays a significant role in clarifying philosophical problems, and thus it cannot be dismissed. The spirit of Salamucha's philosophy is alive today in Cracow's Philosophy of Science community (at the Copernicus Center for Interdisciplinary Studies). In this context it is worth to note Robert Janusz's research on the application of computing methods to the solution of classical philosophical problems (Janusz, 2002, 2006, 2007). Let us consider one more passage from Salamucha, which is as relevant to philosophy now as it was years ago:

“It is particularly important in philosophy, where it is more difficult than in other sciences to separate mature and well-developed ideas, which with unyielding effort penetrates into the secrets of reality from the half-baked and pseudo-scientific concepts” (Salamucha, 1937a).

Acknowledgements

I am grateful to Roman Krzanowski that translated this paper from Polish and resolved many complex linguistic puzzles. I would also like to thank the referee for his/her suggestions that greatly improved the paper.

Bibliography

- Bechtel, W., Abrahamsen, A., 2005. Explanation: a mechanist alternative. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, [online] 36(2), pp. 421–441. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369848605000269>> [Accessed 21 Mar. 2017].
- Bechtel, W., Richardson, R.C., 1993. *Discovering complexity: decomposition and localization as strategies in scientific research*. Princeton, NJ: Princeton Univ. Press.
- Bell, G., Hey, T., Szalay, A., 2009. Beyond the data deluge. *Science*, [online] 323(5919), pp.1297–1298. Available at: <https://www.researchgate.net/profile/Chester_Bell/publication/24180847_Computer_science_Beyond_the_data_deluge/links/53f367110cf2dd48950cb941.pdf> [Accessed 20 Mar. 2017].
- Berry, D., 2011. The computational turn: Thinking about the digital humanities. *Culture Machine*, [online] 12, pp.1–22. Available at: <http://sro.sussex.ac.uk/49813/1/BERRY_2011-THE_COMPUTATIONAL_TURN-_THINKING_ABOUT_THE_DIGITAL_HUMANITIES.pdf> [Accessed 21 Mar. 2017].
- Bolter, J.D., 1984. *Turing's man: western culture in the computer age*. Chapel Hill: University of North Carolina Press.
- Boyer-Kassem, T., 2014. Layers of models in computer simulations. *International Studies in the Philosophy of Science*, [online] 28(4), pp. 417–436. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1080/02698595.2014.979670>> [Accessed 6 Feb. 2015].
- Busa, R.A., 2004. Foreword: Perspectives on the digital humanities. *A companion to digital humanities*. [online] Available at: <https://www.researchgate.net/profile/Nancy_Ide2/publication/229666751_Preparation_and_Analysis_of_Linguistic_Corpora/links/5744412f08ae9ace841c5073.pdf#page=15> [Accessed 21 Mar. 2017].
- Callebaut, W., 2012. Scientific perspectivism: A philosopher of science's response to the challenge of big data biology. *Studies in*

- History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, [online] 43(1), pp. 69–80. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369848611000835>> [Accessed 20 Mar. 2017].
- Cerf, V.G., 2012. Where is the science in computer science? *Communications of the ACM*, [online] 55(10), p. 5. Available at: <<http://doi.acm.org/10.1145/2347736.2347737>> [Accessed 11 Sep. 2015].
- Craver, C., Tabery, J., 2017. Mechanisms in Science. In: E.N. Zalta, ed., *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Spring 2017. [online] Stanford: Metaphysics Research Lab, Stanford University. Available at: <<https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/science-mechanisms/>> [Accessed 21 Mar. 2017].
- Critchlow, T., van Dam, K.K., 2013. *Data-intensive science*. CRC Press.
- Dalbello, M., 2011. A genealogy of digital humanities. *Journal of Documentation*, [online] 67(3), pp. 480–506. Available at: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/full/10.1108/00220411111124550>> [Accessed 21 Mar. 2017].
- Denning, P.J., 2005. Is computer science science? *Communications of the ACM*, [online] 48(4), pp. 27–31. Available at: <<http://doi.acm.org/10.1145/1053291.1053309>> [Accessed 21 Oct. 2014].
- Dodig-Crnkovic, G. and Giovagnoli, R., 2012. *Computing nature: A network of networks of concurrent information processes*. *arXiv:1210.7784 [cs]*. [online] Available at: <<http://arxiv.org/abs/1210.7784>> [Accessed 21 Oct. 2014].
- Eden, A.H., 2007. Three paradigms of computer science. *Minds and Machines*, [online] 17(2), pp. 135–167. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11023-007-9060-8>> [Accessed 22 Oct. 2014].
- Giza, P., 2002. Automated discovery systems and scientific realism. *Minds and Machines*, [online] 12(1), pp. 105–117. Available at: <<http://link.springer.com/article/10.1023/A:1013726012949>> [Accessed 20 Jan. 2017].
- Giza, P., 2006. *Filozoficzne i metodologiczne aspekty komputerowych systemów odkryć naukowych*. Lublin: Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej.

- Goban-Klas, T., 1990. Społeczeństwo ludzi Turinga: iluzje i problemy. In: *Człowiek Turinga: kultura Zachodu w wieku komputera*, Biblioteka Myśli Współczesnej. Warszawa: Państwowy Instytut Wydawniczy, pp. 5–27.
- Heller, M., 2006. Czy świat jest matematyczny? In: *Filozofia i wszechświat: Wybór pism*. Kraków: TAIWPN UNIVERSITAS, pp. 48–57.
- Hooke, R., 1665. *Micrographia or, Some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses. With observations and inquiries thereupon*. [online] London: Printed by Jo. Martyn and Ja. Allestry. Available at: <http://lhldigital.lindahall.org/cdm/ref/collection/nat_hist/id/384>.
- Hooker, C.A., 2011a. Introduction to philosophy of complex systems: Part B: Scientific paradigm + philosophy of science for complex systems: a first presentation c. 2009. In: C. Hooker (ed.), *Philosophy of complex systems*, Handbook of the philosophy of science. [online] Amsterdam: Elsevier/North-Holland, pp. 841–909. Available at: <<http://lib.myilibrary.com/Open.aspx?id=312760&src=2>> [Accessed 22 Mar. 2017].
- Hooker, C.A. (ed.), 2011b. *Philosophy of complex systems*. Handbook of the philosophy of science. [online] Amsterdam: Elsevier/North-Holland. Available at: <<http://lib.myilibrary.com/Open.aspx?id=312760&src=2>> [Accessed 22 Mar. 2017].
- Janusz, R., 2002. *Program dla Wszechświata: filozoficzne aspekty języków obiektowych*. Rozprawy OBI. Kraków: Ignatianum – Wydawnictwo WAM.
- Janusz, R., 2006. Relacja etyczno-psychologiczna w ujęciu obiektowym. In: R. Darowski (ed.), *Philosophiae & musicae: księga pamiątkowa z okazji jubileuszu 75-lecia urodzin księdza profesora Stanisława Ziemiańskiego SJ*. Kraków: Ignatianum – Wydawnictwo WAM, pp. 375–380.
- Janusz, R., 2007. O metodach wirtualnych w paradygmacie obiektowym. *Zagadnienia Filozoficzne w Nauce*, [online] 41, pp. 125–131. Available at: <<http://zfn.edu.pl/index.php/zfn/article/view/268>>.
- Janusz, R., 2012. Roberto Busa i humanistyczna informatyka. *Rocznik Filozoficzny Ignatianum*, 18, pp. 91–106.

- Mul, J. de, 1999. The informatization of the worldview. *Information, Communication & Society*, 2:1, pp. 69–94.
- Kelling, S., Hochachka, W.M., Fink, D., Riedewald, M., Caruana, R., Ballard, G., Hooker, G., 2009. Data-intensive science: A new paradigm for biodiversity studies. *BioScience*, [online] 59(7), pp. 613–620. Available at: <<http://www.bioone.org/doi/10.1525/bio.2009.59.7.12>> [Accessed 20 Mar. 2017].
- Kleiber, M., 1999. Modelowanie i symulacja komputerowa. Moda czy naturalny trend rozwoju nauki. *Nauka*, 4, pp. 29–41.
- Krajewski, S., 2007. Neopitagoreizm współczesny: uwagi o żywotności pitagoreizmu. In: M. Heller, J. Mączka, R. Janusz (eds.), *Człowiek: twór wszechświata – twórca nauki*. Kraków – Tarnów: Polska Akademia Umiejętności – Ośrodek Badań Interdyscyplinarnych – Wydawnictwo Diecezji Tarnowskiej Biblos, pp. 57–93.
- Krzanowski, R., 2016. Towards a formal ontology of information. Selected ideas of K. Turek. *Philosophical Problems in Science (Zagadnienia Filozoficzne w Nauce)*, [online] 61, pp. 23–52. Available at: <<http://zfn.edu.pl/index.php/zfn/article/view/131>> [Accessed 21 Mar. 2017].
- Lamża, Ł., 2011. W kierunku ilościowej teorii wzrostu złożoności świata. *Semina Scientiarum*, [online] 10, pp. 57–77. Available at: <<http://czasopisma.upjp2.edu.pl/seminascientiarum/article/view/1557>> [Accessed 21 Mar. 2017].
- Leciejewski, S., 2013. *Cyfrowa rewolucja w badaniach eksperymentalnych: studium metodologiczno-filozoficzne*. Seria Filozofia i Logika / Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Poznań: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza.
- Mamak, K., 2017. *Prawo karne przyszłości*. Warszawa: Wolters Kluwer.
- Murawski, R., 2015. Cracow Circle and its philosophy of logic and mathematics. *Axiomathes*, [online] 25(3), pp. 359–376. Available at: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10516-014-9256-5>> [Accessed 22 Nov. 2017].
- Pawlicki, S.Z., 1878. *Kilka uwag o podstawie i granicach filozofii*. [online] Kraków: Nakł. Księgarni S.A. Krzyżanowskiego. Available at: <<http://rcin.org.pl/dlibra/docmetadata?id=15111>>.

- Piccinini, G., 2017. Computation in physical systems. In: E.N. Zalta, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Metaphysics Research Lab, Stanford University. URL= <<https://plato.stanford.edu/archives/sum2017/entries/computation-physicalsystems/>> [Accessed 24 Nov. 2017].
- Polak, P., 2010. Komputery; wyobrażenia i współczesna filozofia przyrody. In: M. Kuszyk-Bytniewska, A. Łukasik (eds.), *Filozofia przyrody współcześnie*. Kraków: Universitas, pp. 305–318.
- Polak, P., 2015. Sieć, software czy obliczenia naturalne? Jakie techniki definiują myślenie filozoficzne Homo informaticus? *Studia Metodologiczne*, [online] 34, pp. 143–170. Available at: <<http://studiametodologiczne.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2016/02/SM34-08.pdf>>.
- Polak, P., 2016. Computing as empirical science – evolution of a concept. *Studies in Logic, Grammar and Rhetoric*, [online] 48, pp. 49–69. Available at: <<https://www.degruyter.com/view/j/slgr.2016.48.issue-1/slgr-2016-0055/slgr-2016-0055.xml?format=INT>> [Accessed 22 Mar. 2017].
- Polak, P., 2017. Does everything compute? Philosophical implications of pancomputationalism interpretation of natural computing. (in Polish). *Studia Metodologiczne*, 38.
- Polak, P., Michalczyk, H., Stawarz, M., 2012. *Wprowadzenie do pracy naukowej w filozofii: podręcznik do zajęć 'Metodyka pracy naukowej i obsługi komputera' na kierunku filozofia*. Podręczniki OBI. Kraków: Ośrodek Badań Interdyscyplinarnych – Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Papieskiego Jana Pawła II.
- Price, D.J. de S., 1961. *Science since Babylon*. New Haven: Yale University Press.
- Price, D.J. de S., 1963. *Little science, big science*. New York: Columbia University Press.
- Salamucha, J., 1937a. O „mechanizacji” myślenia. In: *Myśl katolicka wobec logiki współczesnej*, Studia Gnesnensia. Poznań: Księgarnia św. Wojciecha, pp. 112–122.
- Salamucha, J., 1937b. O możliwościach ścisłego formalizowania dziedziny pojęć analogicznych. In: *Myśl katolicka wobec logiki*

- współczesnej, *Studia Gnesnensia*. Poznań: Księgarnia św. Wojciecha, pp. 122–153.
- Schroeder, M.J., 2015. Spór o pojęcie informacji. *Studia Metodologiczne*, [online] 34, pp. 11–36. Available at: <<http://studiametodologiczne.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2016/02/SM34-02.pdf>> [Accessed 28 Mar. 2017].
- Stacewicz, P., 2015. Światopogląd informatyczny. Naukowe podstawy i filozoficzne perspektywy. In: P. Stacewicz, ed., *Informatyka a filozofia: od informatyki i jej zastosowań do światopoglądu informatycznego*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, pp. 11–24.
- Stacewicz, P., 2016. Informational worldview. Scientific foundations, and philosophical perspectives. *Studies in Logic, Grammar and Rhetoric*, [online] 48(1), pp. 35–47. Available at: <<https://www.degruyter.com/view/j/slgr.2016.48.issue-1/slgr-2016-0054/slgr-2016-0054.xml?format=INT>> [Accessed 22 Mar. 2017].
- Stacewicz, P., Marciszewski, W., 2011. *Umysł-komputer-świat. O zagadce umysłu z informatycznego punktu widzenia*. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT. Available at: <<http://libra.ibuk.pl/book/101353>> [Accessed 6 Mar. 2014].
- Tedre, M., 2011. Computing as a science: A survey of competing viewpoints. *Minds and Machines*, [online] 21(3), pp. 361–387. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11023-011-9240-4>> [Accessed 21 Oct. 2014].
- Tedre, M., Denning, P.J., 2017. Shifting identities in computing: From a useful tool to a new method and theory of science. In: *Informatics in the Future*. [online] Springer, Cham, pp. 1–16. Available at: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-55735-9_1> [Accessed 8 Jun. 2017].
- Trumbull, D.J., Bonney, R., Bascom, D., Cabral, A., 2000. Thinking scientifically during participation in a citizen-science project. *Science Education*, [online] 84(2), pp. 265–275. Available at: <[http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200003\)84:2<265::AID-SCE7>3.0.CO;2-5/abstract](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1098-237X(200003)84:2<265::AID-SCE7>3.0.CO;2-5/abstract)> [Accessed 20 Mar. 2017].

- Turek, K., 1978. Filozoficzne aspekty pojęcia informacji. *Philosophical Problems in Science (Zagadnienia Filozoficzne w Nauce)*, 1, pp. 32–41.
- Turek, K., 1981. Rozważania o pojęciu struktury. *Philosophical Problems in Science (Zagadnienia Filozoficzne w Nauce)*, 3, pp. 73–95.
- Urchs, M., 2016. Massive simulation of complex behaviour. *Studies in Logic, Grammar and Rhetoric*, [online] 48(1), pp. 71–84. Available at: <<https://www.degruyter.com/view/j/slgr.2016.48.issue-1/slgr-2016-0056/slgr-2016-0056.xml?format=INT>> [Accessed 22 Mar. 2017].
- Wigner, E.P., 1960. The unreasonable effectiveness of mathematics in the natural sciences. Richard Courant lecture in mathematical sciences delivered at New York University, May 11, 1959. *Communications on Pure and Applied Mathematics*, [online] 13(1), pp. 1–14. Available at: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cpa.3160130102/abstract>> [Accessed 7 Apr. 2016].
- Winsberg, E.B., 2010. *Science in the age of computer simulation*. Chicago: University of Chicago Press.
- Winsberg, E.B., 2014. *Computer simulations in science*. [online] The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Available at: <<http://plato.stanford.edu/archives/fall2014/entries/simulations-science/>> [Accessed 21 Oct. 2014].
- Wolak, Z., 2005. Scientific philosophy of the Cracow Circle (Naukowa filozofia Koła Krakowskiego). *Philosophical Problems in Science (Zagadnienia Filozoficzne w Nauce)*, [online] 36, pp. 97–122. Available at: <<http://zfn.edu.pl/index.php/zfn/article/view/348>> [Accessed 22 Nov. 2017].
- Żytkow, J.M., 2000. Automated discovery: A fusion of multidisciplinary principles. In: H.J. Hamilton (ed.), *Advances in artificial intelligence*, Lecture Notes in Computer Science. [online] Conference of the Canadian Society for Computational Studies of Intelligence. Berlin-Heidelberg: Springer, pp.443–448. Available at: <http://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-45486-1_39> [Accessed 20 Jan. 2017].

Czy wiemy dlaczego czasoprzestrzeń na dużych skalach jest gładka i 4-wymiarowa?

Jerzy Król

Uniwersytet Śląski, Instytut Fizyki

How do we know that physical spacetime in cosmology is smooth and 4-dimensional?

Abstract

Even though the description of the universe in cosmology, is known to be given by a smooth 4-dimensional Lorentz manifold for energies below Planck scale, one still can ask about the origins of this phenomenon. In this paper we show that mathematics used for description of quantum systems at micro scale determines smoothness of spacetime at large cosmological scales and indicates the dimension 4 as the only possible dimension for spacetime.

Keywords

quantum mechanics; Boolean-valued models of set theory; exotic smoothness on R^4

1. Wprowadzenie

Ogólna teoria względności Einsteina (OTW) opisuje wszechświat fizyczny w największych skalach jako różniczkowalną z metryką Lorentza. Równania OTW można konsystentnie formułować w dowolnej liczbie wymiarów. Zaczniemy opis ewolucji wszechświata od stanu kwantowego. Nie znamy obecnie poprawnej teorii kwantowej grawitacji, która opisywałaby precyzyjnie taki początkowy stan ewolucji. Przyjmujemy, że początkowa osobliwość grawitacyjna ma naturę kwantową opisywaną strukturą pewnej przestrzeni Hilberta stanów \mathcal{H} . Jest to ośrodkowa zespolona przestrzeń Hilberta, która, jeśli ma reprezentować relacje nieoznaczoności pęd-położenie, musi być nieskończenie wymiarowa. Takie podejście nie jest wyjaśnieniem natury i struktury początkowej osobliwości, jednak jej kwantowy charakter jest formalnie reprezentowany kratą rzutowań \mathbb{L} wyznaczoną przez \mathcal{H} . Krata $(\mathbb{L}, \wedge, \vee)$ jest strukturą niedystrybutywną, względem \wedge i \vee jako działań inf i sup definiujących kratę. Odzwierciedla to fakt, że rzutowania na podprzestrzenie domknięte, liniowe w \mathcal{H} , rozpinające \mathbb{L} , są, w ogólności, nieprzemienne. Możemy jednak wybrać maksymalne zbiory komutujących rzutowań. Takie zbiory generują algebry Boole'a B komutujących operatorów samosprzężonych. Mianowicie, każdy operator samosprzężony A na przestrzeni \mathcal{H} w rozkładzie spektralnym zapisuje się jako

$$A = \int_{\lambda} \lambda \cdot P_{\lambda}, P_{\lambda} \in B \quad (1)$$

Rzutowania P_λ należy rozumieć jako wartości miary spektralnej dE_λ na spektrum operatora A względem której całkujemy. Mówimy wtedy, że operatory A reprezentowane przez całkę (1) są też w B i piszemy $A \in B$. Okazuje się, że zachodzi ważny lemat.

Lemat 1 (Takeuti, 1978). *Dla każdej rodziny $\{A_\alpha | \alpha \in I\}$, komutujących operatorów samosprzężonych na \mathcal{H} , istnieje zupełna algebra Boole'a rzutowań B , taka, że*

$$A_\alpha = \int \lambda dE_\alpha^\lambda$$

i dla każdego $\forall \alpha \in I (dE_\alpha^\lambda \in B)$.

Maksymalne algebry Boole'a rzutowań wybranych z kraty \mathbb{L} odgrywają kluczową rolę w rozumieniu wielkoskalowej struktury różniczkowej wszechświata. Spróbujemy wyjaśnić to pokrótce.

Po pierwsze, mówienie o strukturze różniczkowej wszechświata odwołuje się do parametryzacji osiami liczb rzeczywistych \mathbb{R} – opis lokalny przez n -wymiarowe produkty \mathbb{R}^n zakłada już istnienie osi \mathbb{R} . Czy jednak oś liczb rzeczywistych jest niezmienna i taka sama w czasie całej ewolucji wszechświata od pierwotnego stanu kwantowego w mikroskali do kosmologicznych skali zdominowanych klasyczną grawitacją? Możemy oczywiście przyjąć, że tak jest. Czy jednak fakt występowania istotnych trudności w budowaniu modeli kosmologicznych ekspandującego wszechświata (np. problem stałej kosmologicznej i ciemnej energii) pozwala na bezkrytyczne odwoływanie się do

absolutnego obiektu liczb rzeczywistych? Czy, zatem, faktycznie obiekt \mathbb{R} jest matematycznie niezmienny? Oznaczałoby to absolutność osi \mathbb{R} zarówno w opisie reżimu kwantowego, jak i skal właściwych dla OTW. A może matematyka mechaniki kwantowej wyróżnia \mathbb{R}_{QM} a wielkoskalowy wszechświat \mathbb{R} i $\mathbb{R}_{QM} \neq \mathbb{R}$?

2. Oś liczb rzeczywistych w reżimie kwantowym i w OTW

Zacznijmy od wielkoskalowego modelu czasoprzestrzeni. Jest to w ogólności n -wymiarowa rozmaitość Lorentza, której struktura różniczkowa jest lokalnie modelowana przez \mathbb{R}^n . Wiemy, że świat fizyczny wyróżnia $n = 4$. Oś \mathbb{R} pojawiająca się tutaj jest „ciałem algebraicznym, domkniętym, uporządkowanym” (CADU). Teoria formalna opisująca CADU jest 2-go rzędu i kategorierna w \aleph_1 . To ostatnie oznacza, że wszystkie modele CADU mocy kontinuum są izomorficzne. Zatem istnieje jeden model mocy kontinuum (z dokładnością do izomorfizmu). Teoria zbiorów opisująca większość konstrukcji matematycznych i leżąca u podstaw matematyki klasycznej to ZFC – teoria Zermelo-Fraenkla z aksjomatem wyboru. W szczególności ZFC opisuje konstrukcję zbioru wszystkich liczb rzeczywistych jako zbioru podzbiorów (zbiór potęgowy $P(\mathbb{N})$) zbioru liczb naturalnych \mathbb{N} . Jednak ZFC jest teorią 1-go rzędu oraz $P(\mathbb{N})$ zależy od modelu. Chodzi o to, że ZFC jako teoria 1-go rzędu nie jest teorią kategorierną – posiada nieskończenie wiele nieizomorficz-

nych modeli w danej mocy. W każdym takim modelu M istnieją różne kopie osi liczb rzeczywistych R_M . Kluczowe dla relacji \mathbb{R}_{QM} i \mathbb{R} jest to, że maksymalne, zupełne algebry Boole'a, B , wybrane z kraty \mathbb{L} , wyznaczają modele ZFC (Takeuti, 1978; Król et al. 2017; Klimasara i Król, 2015; Asselmeyer-Maluga, 2016). Oznaczmy model ZFC wyznaczony przez B jako $Sh(B)$. Mianowicie

Lemat 2 (Takeuti, 1978). *Dla każdej maksymalnej zupełnej algebry Boole'a B j.w. istnieje kanonicznie skonstruowany boolowski model ZFC, $Sh(B)$. Liczby rzeczywiste w $Sh(B)$, tzn. $r \in R_{Sh(B)}$, odpowiadają 1:1 operatorom samosprzężonym w B , tj. $r \Leftrightarrow A_r \in B$.*

Modele boolowskie ZFC to specjalna klasa modeli, których modele klasyczne, $Sh(\{0, 1\}) \simeq M$, stanowią specjalną podklasę.

Lemat 2 pokazuje zadziwiającą zgodność pomiędzy liczbami rzeczywistymi w pewnych modelach boolowskich ZFC i operatorami samosprzężonymi, które reprezentują wielkości mierzalne w mechanice kwantowej. Z tego powodu traktujemy $R_{Sh(B)} = R_B$ jako \mathbb{R}_{QM} , tj. jako oś liczb rzeczywistych mechaniki kwantowej opisanej przestrzenią Hilberta stanów \mathcal{H} . Okazuje się jednak, że

Lemat 3 (e.g. Król et al, 2017). *Rodzina wszystkich maksymalnych algebr Boole'a $\{B\}$ wybranych z \mathbb{L} nie może być zredukowana do zbioru 1-elementowego. Istnieją przynajmniej dwie różne algebry w $\{B\}$.*

Jest to bezpośredni wniosek z faktu, że gdyby redukcja powyższa była możliwa to krata rzutowań \mathbb{L} musiałaby być dystrybutywna. Zatem, rodzina dopuszczalnych osi liczb rzeczywistych $\{R_B\}$ jest też wieloelementowa. Czyli atlas lokalnych map $\{R_B^n\}$ nie redukuje się do jednej mapy $\{R^n\}$. Przypuśćmy dalej, że przejście od mechaniki kwantowej do wielkoskalowej struktury różniczkowalnej na czasoprzestrzeni wyróżnia różnicę M^n jako model czasoprzestrzeni. Oś \mathbb{R} jest generowana jej kwantowym odpowiednikiem \mathbb{R}_{QM} czyli którąś R_B . M^n lokalnie opisuje się przez kawałki $U_\alpha \subset M^n$ dyfeomorficzne z \mathbb{R}^n , tj. $\phi_\alpha(U_\alpha) = \mathbb{R}^n$ dla pewnych dyfeomorfizmów ϕ_α . Przyjmijmy, że każdy taki 'kawałek', tj. \mathbb{R}^n , jest wyznaczony pewnym R_B czyli $R_B^n \rightarrow \mathbb{R}^n$. Przy czym, dla różnych $\phi(U) = R_B^n$, $\phi'(U) = R_{B'}$, jeśli $U \neq U'$ jako podzbiory M^n , to $B \neq B'$. Dla szczególnego przypadku $M^n = \mathbb{R}^n$ otrzymujemy ważne

Twierdzenie 1 (Król et al, 2017). *Jeśli $M^n = \mathbb{R}^n$ jest gładkie i jest generowane atlasem kwantowym $\{R_B^n\}$ z kraty \mathbb{L} , to*

i. $M^n = \mathbb{R}^n$ nie jest płaskie, tzn. nie znika tożsamościowo tensor Riemanna $R_{\mu\nu\rho\chi}$ na tym \mathbb{R}^n , tzn. $\exists x \in \mathbb{R}^n (R_{\mu\nu\rho\chi}(x) \neq 0)$ oraz żaden obraz poprzez dyfeomorfizm gładki różniczkowości M^n nie zmienia tej własności.

ii. $n = 4$, tj. musi być $M^n = \mathbb{R}^4$.

Bezpośredni wniosek jest następujący: jedyną gładką rozmaitością $M^n = \mathbb{R}^n$ generowaną kratą \mathbb{L} jest *egzotyczne* \mathbb{R}^n , czyli rozmaitość topologicznie identyczna z \mathbb{R}^n ale niedyfeomorficzna z nią. Takie egzotyczne \mathbb{R}^n nie mogą być płaskie i istnieją tylko dla $n = 4$. Otrzymaliśmy ważny wniosek: zestawienie kraty rzutowań mechaniki kwantowej opisującej wszechświat w skali mikro z gładką strukturą rozmaitości czasoprzestrzeni w skali makro, generuje krzywiznę czasoprzestrzeni i ustala jej wymiar na $n = 4$ (wyklucza każde inne $n \neq 4$). W następnym rozdziale spróbujemy nadać fizyczne znaczenie krzywiznie na \mathbb{R}^4 generowanej kratą rzutowań \mathbb{L} . Zauważmy, że nie możemy tej krzywizny 'usunąć' żadnym dyfeomorfizmem gładkim. Jej nieznikanie ma silnie niezmienniczy charakter.

3. Problem stałej kosmologicznej

Jeśli ewolucja wszechświata została zapoczątkowana pewnym reżimem kwantowym (pierwotny stan kwantowy) i prowadzi do gładkiej czasoprzestrzeni gdzie dominuje klasyczna gravitacja (np. Weinberg, 1972; Ellis et al., 2012), to spróbujemy wyjaśnić rolę formalnych zależności z poprzedniego rozdziału w takim właśnie modelu. Jednym z otrzymanych wniosków jest istnienie niezerowej krzywizny na \mathbb{R}^n w wymiarze 4. Spróbujemy zatem oszacować wartość tej krzywizny. Następnie zastanowimy się, czy wartość ta jest stabilna (np. jako niezmiennik topologiczny) i czy jest fizyczna. Stała kosmologiczna to

gęstość energii próżni odpowiedzialna za przyspieszające rozszerzanie się wszechświata. Fizykom, na podstawie danych doświadczalnych zebranych w ramach misji PLANCK, udało się podać silne ograniczenie na wartość stałej kosmologicznej tj. $\sim 10^{-29} [g/cm^3]$. Kwantową energię próżni możemy również oszacować teoretycznie posługując się technikami kwantowej teorii pola (KTP). Obydwie wielkości powinny być zgodne. Jednak, otrzymany z KTP wynik, w zależności od rodzaju teorii i pól, jest rzędu od 10^{60} do 10^{120} razy większy niż ten obserwowany w PLANCK (Ellis et al., 2012, s. 371). Taka niezgodność wyniku doświadczalnego i przewidywania teoretycznego jest oczywiście druzgocąca dla teorii przewidującej taki wynik. Jest to KTP – obecnie jedna z najlepszych teorii fizycznych. Nie istnieje dobry i powszechnie akceptowany sposób teoretyczny uzasadnienia obserwowanej wartości stałej kosmologicznej. To jedno z krytycznych zagadnień dla całej fizyki.

Naszym celem jest 1) Wskazanie pewnego zanurzenia egzotycznego R^4 w rozmierność 4-ro wymiarową N^4 ; 2) Wskazanie (kilku) podrozmierności w R^4 , których krzywizna brzegów, przy powyższym zanurzeniu, jest niezmiennikiem topologicznym; 3) Policzenie wartości tego niezmiennika i porównanie z wartością energii próżni dostarczoną danymi misji PLANCK. Program ten został niedawno zrealizowany (Asselmeyer-Maluga i Król, 2017; 2014; Król et al., 2017). Okazuje się, że istnieje taka rozmierność N^4 z punktu 1) powyżej i, że jest ona powierzchnią zespoloną $K3\#CP(2)$. Tutaj $K3$ to sławna powierzchnia zespolona (2 wymiary zespolone a 4 rzeczywiste) a $\overline{CP(2)}$ to rozma-

itość rzutowa zespolona 2-wymiarowa (4 wymiary rzeczywiste) $\overline{CP(2)}$ ze zmienioną orientacją, symbol $\#$ oznacza sumę spójną tych dwóch rozmaitości. Dla powierzchni $K3\#\overline{CP(2)}$ istnieje egzotyczne R^4 kanonicznie w niej zanurzone. Zanurzenie to wyznacza zmiany 3-wymiarowych brzegów pewnych 4-wymiarowych podrozmaitości w R^4 , tj. $S^3 \rightarrow \Sigma(2, 5, 7) \rightarrow P\#P$, gdzie S^3 to sfera 3-wymiarowa, $\Sigma(2, 5, 7)$ tzw. sfera homologiczna Brieskorna (jedna z nieskończonej ilości, które są odróżniane wartościami parametrów w nawiasie), P to inna 3-sfera homologiczna, sfera Poincarégo, a $P\#P$ to suma spójna dwóch kopii sfery P . Wtedy topologicznie niezmiennicza część krzywizny R^4 zanurzonego w $K3\#\overline{CP(2)}$ wyrażona relatywnie do fizycznej stałej Hubble'a H_0 , jest dana wyrażeniem:

$$\Omega_\Lambda = \frac{c^5}{3hGH_0^2} \cdot \exp\left(-\frac{3}{CS(\Sigma(2, 5, 7))} - \frac{3}{CS(P\#P)} - \frac{\chi(A_{cork})}{4}\right).$$

gdzie c to prędkość światła, h – stała Plancka, G stała Newtona, $CS(\Sigma(2,5,7))$ to niezmiennik topologiczny Cherna-Simonsa sfery homologicznej Brieskorna $\Sigma(2,5,7)$, $CS(P\#P)$ niezmiennik Cherna-Simonsa sumy spójnej dwóch sfer Poincarégo, $\chi(A_{cork})$ to niezmiennik topologiczny Eulera tzw. korka Akbuluta w R^4 (pewnej 3-wymiarowej zwartej podrozmaitości w R^4). Powyższe wyrażenie określa wartość krzywizny jako części krytycznej energii próżni. Bezpośrednie wyliczenie daje (Asselmeyer-Maluga i Król, 2017):

$$\Omega_\Lambda = 0,6869.$$

Porównując tę wartość z dostarczonym przez PLANCK oszacowaniem energii próżni jako części energii krytycznej, tj. $\Omega_{Planck} = 0,683$ (Ade et al., 2016), stwierdzamy istotną zgodność obu wyników.

To zdumiewające, że można myśleć o stałej kosmologicznej jako niezmienniku topologicznym związanym z niestandardową (egzotyczną) gładkością na \mathbb{R}^4 .

Bibliografia

- Ade, P.A.R., Aghanim, N., Arnaud, M., Ashdown, M., Aumont, J., Baccigalupi, C., Banday, A.J., Barreiro, R.B., Bartlett, J.G., Bartolo, N., et al., 2016. Planck 2015 results XIII. Cosmological parameters. *Astron. Astrophys.*, A13, s. 594.
- Asselmeyer-Maluga, T., Bielas, K., Klimasara, P., Król, J., 2016. The latent meaning of forcing in quantum mechanics. *Acta Phys. Pol. B*, 47, s. 1685–1690.
- Asselmeyer-Maluga, T., Król, J., 2014. Inflation and topological phase transition driven by exotic smoothness. *Adv. High Energy Phys.*, 2014, s. 867460.
- Asselmeyer-Maluga, T., Król, J., 2017. How to obtain a cosmological constant from small exotic R4. *Physics of the Dark Universe*, <https://doi.org/10.1016/j.dark.2017.12.002>.
- Bielas, K., Klimasara, P., Król, J., 2015. The structure of the real line in quantum mechanics and cosmology. *Acta Phys. Pol. B*, 46, s. 2375–2379.
- Ellis, G.F.R., Maartens, R., Maccallum, M.A.H., 2012. *Relativistic cosmology*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Klimasara, P., Król, J., 2015. Remarks on mathematical foundations of quantum mechanics. *Acta Phys. Pol. B*, 46, s. 1309.

- Król, J., Asselmeyer-Maluga, T.; Bielas, K.; Klimasara, P., 2017. From quantum to cosmological regime. The role of forcing and exotic 4-smoothness. *Universe*, 3 (2), s. 31.
- Takeuti, G., 1978. *Two applications of logic to mathematics*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Weinberg, S., 1972. *Gravitation and cosmology: Principles and applications of the general theory of relativity*, New York: John Wiley and Sons.

Przezroczystość Wszechświata i międzygwiazdowe pasma rozmyte jako wyzwania dla rozwoju wiedzy przyrodniczej

Bogdan Wszolek

Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie;
Obserwatorium Astronomiczne Królowej Jadwigi
w Rzepienniku Biskupim

The transparency of the universe and diffuse interstellar bands as a challenge for the development of science

Abstract

In general introduction few examples of astronomical explanations of well-known and common local physical phenomena are presented. They are meant to show that it is often much easier to explain commonly experienced phenomena by investigating the behavior of something which is very far from the observer. In main chapters of the article the transparency of interstellar and intergalactic medium as well as the mystery of diffuse interstellar bands are presented. These very important fundamental problems are – for some reasons – overlooked by contemporary researchers. Plausible mechanisms of sociological, psychological and methodological kinds are proposed in last chapter as a potential explanation of

fading of the scientific attempts to understand the nature and to create better future for the mankind. These are ethics in science and interdisciplinary way of solving scientific problems.

Keywords

diffuse interstellar bands; light extinction; ethics in science; interdisciplinary methods in science.

1. Wstęp

Mogłoby się zdawać, że poznanie przyrodnicze zachodzi najefektywniej tam, gdzie występuje bezpośrednia bliskość badanego zagadnienia w stosunku do badacza. Historia nauki pokazuje jednak, że w wielu przypadkach zrozumienie czegoś, z czym mamy powszechnie do czynienia na Ziemi, przychodzi dopiero wraz z obserwacjami astronomicznymi. Weźmy dla przykładu grawitację. Doświadczają jej nieustannie wszyscy mieszkańcy Ziemi, ale dopiero obserwacje ruchów planet Układu Słonecznego pozwoliły odkryć i zweryfikować prawo powszechnego ciężenia, które nie tylko opisuje matematycznie siły przyciągania przedmiotów przez Ziemię, ale tłumaczy powstawanie i ewolucję wszelkich ciał niebieskich. Podobnie, że zjawiskiem światła ludzkość miała do czynienia od zawsze, a problem szybkości jego rozchodzenia się w przestrzeni zaprzętał umysły filozofów przez tysiąclecia. Dopiero precyzyjne obserwacje astronomiczne zaćmień księżyca Io przez Jowisza rozstrzygnęły, że światło rozchodzi się ze skończoną szybko-

ścią, bliską 300 000 km/s. Ta astronomicznie odkryta właściwość światła ma jakże ważne konsekwencje – dzięki niej mamy wgląd w historię Wszechświata. Światło przychodzące do nas dzisiaj, zostało bowiem wypromieniowane przez ciała niebieskie w dalekiej przeszłości, liczonej w tysiącach, milionach i miliardach lat.

Nawet tak przyziemną sprawę, jak prawo zachowania momentu pędu, pozwalające dziś opisywać zjawiska nawet w mikrokosmosie, trzeba było Keplerowi odnaleźć w ruchach planet. Problem ruchu N ciał grawitujących też wziął się z oglądu spraw na niebie. Wypracowany formalizm opisu ruchu N ciał niebieskich, np. w Układzie Słonecznym, jest wykorzystywany dla opisu wielu sytuacji fizycznych na Ziemi. Cała mechanika kwantowa, opisująca zjawiska na poziomie atomów i molekuł, korzysta z tego formalizmu lub na nim się wzoruje. Ograniczenia formalizmu na poziomie makrokosmicznym przenoszą się na mikrokosmos. Już zagadnienie ruchu trzech ciał, np. w układzie Słońce-Ziemia-Księżyc, nie daje się kompletnie rozwiązać analitycznie z powodu zbyt małej ilości znanych tzw. całek ruchu. Podobnie w mechanice kwantowej; jeśli atom posiada więcej niż jeden elektron (jądro + dwa elektrony to są już trzy ciała), nie daje się analitycznie opisać. (Ruch N punktów materialnych w izolowanych układach, tzw. zagadnienie N ciał, jest określony przez układ $3N$ równań różniczkowych drugiego rzędu. Pełne rozwiązanie takiego układu równań jest równoznaczne podaniu $6N$ całek ruchu. Jednakże w ogólnym przypadku można otrzymać ich tylko 10. Są to: 6 całek ruchu opisujących prostoli-

niowy, jednostajny ruch środka układu rozważanych punktów, całka energii wyrażająca fakt, że energia mechaniczna układu jest stała oraz 3 całki określające niezmiennosc momentu pędu układu). Cierpi astronomia, cierpią też fizyka i chemia, na niedobór całek ruchu. Skądinąd, układy wielu ciał, choćby w Układzie Słonecznym, nie rozlatują się – są stabilne. Można stąd przypuszczać, że całek ruchu jest więcej niż dotychczas znanych dziesięć. Czy ewentualnych dalszych dostarczy kiedyś astronomia?

Przywołane przykłady ilustrują, że często droga do odkrycia praw przyrody prowadzi poprzez badanie czegoś, co znajduje się daleko na niebie. Sama zaś astronomia, co może mało oczywiste dla wielu współczesnych myślicieli, to nauka autonomiczna (nie dział fizyki!) posługująca się właściwymi sobie metodami, u podstaw których znajduje się obserwacja zjawisk na niebie (nie eksperymentowanie, jak w fizyce) wspomaganą od zawsze matematyką, a ostatnio również fizyką, chemią, biologią i innymi dziedzinami szczegółowymi, jak chociażby technikami numerycznymi i technologiami kosmicznymi. U astronoma jest też inne zasadniczo podejście do przenikania tajemnic przyrody niż np. u fizyka. Astronom jest nastawiony na odbiór, pokorne „wsluchiwanie” się w mowę Wszechświata. Fizyk miewa skłonność do „dyktowania” światu, jakim ma być, a to może prowadzić do długich zastojów poznawczych.

Współcześni astronomowie, analizując światło ciał niebieskich, mają wgląd nie tylko w fizykę jego źródeł, ale także w niektóre tajniki środowiska międzygwiazdowego i międzygalaktycznego. Dochodzące światło zawiera bowiem ślady

wszelkich jego wcześniejszych oddziaływań ze środowiskiem materialnym. W tym kontekście zostaną tu przybliżone szczegółowiej dwa zagadnienia przyrodoznawcze, od lat czekające na rozstrzygnięcie i współcześnie jakby porzucone przez świat nauki. Pierwsze dotyczy przezroczystości Wszechświata, a drugie natury międzygwiazdowych pasm rozmytych. W zakończeniu zawarte zostaną refleksje dotyczące etyki i metodologii działalności naukowej inspirowane rozważaniami wokół zaprezentowanych zagadnień.

2. Ograniczona przezroczystość Wszechświata

Przezroczystość Wszechświata jest ważnym problemem współczesnego przyrodoznawstwa, podejmowanym zarówno w astrofizyce, jak i w kontekście kosmologicznym oraz filozoficznym. Współczesne techniki obserwacyjne zdają się być wystarczająco precyzyjne, by zagadnienie przezroczystości ośrodka dzielącego ciała niebieskie od obserwatora traktować już nie tylko jakościowo, ale przede wszystkim ilościowo. Samo pojęcie światła jest dziś rozumiane szerzej, niż to miało miejsce powiedzmy sto pięćdziesiąt lat temu. Wiemy, że ludzkie zmysły są wrażliwe tylko na wybrane wąskie pasmo jego częstotliwości. Techniki obserwacyjne dzisiejszej astronomii obejmują cały zakres światła (promieniowania elektromagnetycznego), od najbardziej energetycznego promieniowania gamma do najslabszego energetycznie promieniowania radiowego. A wszystko we Wszechświecie

świeci. Zgodnie z prawami fizyki, każde ciało o temperaturze wyższej od zera bezwzględnej jest źródłem promieniowania elektromagnetycznego. Wszechświat zatem nie skrywa swoich tajemnic. Problem leży po stronie człowieka. Czy ten jest go ciekaw? Czy chce mu się przyglądać? Ile swego potencjału poznawczego jest gotów zainwestować w badanie przyrody?

Prześledźmy jakościowo drogę światła od jego źródła, np. gwiazdy w jakiejś odległej galaktyce, do obserwatora. Fotony tego światła rodzą się w materii gwiazdy, a ich spektrum energetyczne jest funkcją temperatury tej materii. Rozpierzchają się potem na wszystkie strony. Jedne giną już w najbliższym sąsiedztwie źródła, np. zostaną pochłonięte przez znajdujące się tam atomy czy cząsteczki. Te, które zdołają opuścić gwiazdę, „zmęczą” się nieco pokonując siły grawitacji, najpierw gwiazdy, potem galaktyki. To wczesne „zmęczenie” sprawi, że do obserwatora dotrą kiedyś jako mniej energetyczne niż były na starcie. Astronom powie, że widmo światła zostało grawitacyjnie przesunięte ku czerwieni. Grawitacja osłabia nieco energię fotonów, ale nie zmniejsza ich ilości. Wszystkie mają równe szanse dotrzeć kiedyś do naszego obserwatora. Jednak uda się to tylko części z nich. Jedne zginą zaabsorbowane przez atomy i cząsteczki napotkane po drodze. Inne w oddziaływaniu z drobinami materii (m.in. z elektronami, jądrami atomowymi, cząsteczkami, ziarnami pyłu) zostaną rozproszone na boki i zgubią pierwotny kierunek. Taki proces astronomowie nazywają ekstynkcją, albo osłabieniem blasku gwiazdy, spowodowanym ograniczoną przezroczystością ośrodka. Procesy absorpcji

i rozpraszania fotonów mogą działać wybiórczo. Jedne częstotliwości (fotony) łatwiej się im poddają, inne zaś trudniej. W rezultacie całego ciągu najrozmaitszych oddziaływań światła z materią rozproszoną w środowisku kosmicznym, widmo promieniowania docierającego do obserwatora jest znacznie bogatsze w informacje niż było na starcie po opuszczeniu źródła. Astronom, mając do wglądu ilość i rozkład widmowy docierającego promieniowania, chce z niego wydobyć możliwie najwięcej informacji o tym wszystkim, z czym borykało się ono po drodze. To trudne zadanie jest współcześnie wykonalne. Dla przykładu, z pomiaru rejestrowanych linii widmowych daje się wydobyć informacje o rodzaju i ilości atomów oraz cząsteczek napotykanym przez promieniowanie elektromagnetyczne po drodze od źródła do obserwatora. Zaś analiza polaryzacji promieniowania radiowego pozwala wnioskować o gęstości elektronów w przestrzeni międzygwiazdowej i międzygalaktycznej.

Trzeba sobie dobrze zdawać sprawę z tego, że informacje o Wszechświecie, jakie jest w stanie uzyskać astronom, są zwykle tylko wrywkowe i na ogół niejednoznaczne. Weźmy choćby, oczywisty, acz najczęściej nieuświadomiony, obserwacyjny efekt selekcji. Wrażliwość detektorów jest z natury rzeczy ograniczona. Z drugiej strony, we Wszechświecie wszystko świeci, zatem istnieje poświata, tło promieniowania o jasności zależnej od energii jego fotonów. Daje się zatem obserwować tylko te obiekty, których jasność przekracza jasność tła przynajmniej o tyle, ile wynosi dolny próg detekcji przyrządów/metod obserwacyjnych. W pogodny dzień nie widzimy gwiazd wi-

docznych nocą, bo jasność dziennego nieba (tła) jest tak duża, że oko ludzkie nie rejestruje różnicy jasności pomiędzy jasnością nieba z dodaną jasnością gwiazdy, a jasnością samego nieba. Ale i nocą, jeśli popatrzymy na niebo z miasta, gdzie światło licznych lamp zwiększa poświatę atmosfery, zobaczymy tylko najjaśniejsze gwiazdy. Gdy wyjedziemy za miasto, gdzie poświata atmosferyczna zblednie, zobaczymy znacznie więcej gwiazd. Z odległych od cywilizacji szczytów górskich zobaczymy ich jeszcze więcej, a z kosmosu najwięcej. Gdyby zmniejszyć nie poziom jasności tła, a wrażliwość przyrządu obserwacyjnego, też uzyskamy podobny efekt. Gołe oko dostrzeże z danego miejsca mniejszą ilość gwiazd na stopień kwadratowy niż oko uzbrojone w lornetkę. Przez duży teleskop dostrzeże ich jeszcze więcej. Jeśli zamiast oka umieścić w ognisku teleskopu kliszę, ilość gwiazd na zdjęciu znów wzrośnie, bo klisza jest wrażliwsza od oka, wobec możliwości stosowania długich czasów naświetlania. Konkludując, przy ustalonym poziomie jasności tła i przy ustalonej czułości detektora, zawsze istnieją obiekty wymykające się obserwacji. Zaglądając w odległe obszary Wszechświata, choćbyśmy to czynili spoza ziemskiej atmosfery i użyli największych teleskopów wyposażonych w najczulsze detektory, zobaczymy tylko najjaśniejsze obiekty i pozostaniemy w pełnej nieświadomości istnienia tam obiektów świecących zbyt słabo, byśmy mogli je dostrzec. Zawsze istnieje jakiś horyzont, poza który nie mamy wglądu na danym poziomie rozwoju technik obserwacyjnych. Zaś w pobliżu tego horyzontu postrzegamy tylko najjaśniejsze obiekty. Dzieje się tak,

nawet przy założeniu idealnej przezroczystości Wszechświata. Mętność przestrzeni i efekty selekcji, jedno i drugie niechciane a nieuniknione, uniemożliwiają wgląd w całość Wszechświata.

Za ekstynkcję promieniowania elektromagnetycznego odpowiadają głównie drobiny pyłu, zalegające przestrzeń międzygwiazdową i międzygalaktyczną. Udział w ekstynkcji samych atomów i cząsteczek w fazie gazowej jest zdecydowanie mniejszy. Ziarna pyłu składają się z ogromnej ilości atomów i cząsteczek, zespolonych w skomplikowany konglomerat obdarzony dużym ładunkiem elektrycznym. Zimny pył kosmiczny jest podstawowym i najbardziej pospolitym bytem w przyrodzie. Narzucające się swoim ogromnym blaskiem gorące obiekty, np. gwiazdy, zajmują tylko znikomy ułamek całej objętości Wszechświata. Zimny pył świeci bardzo słabo i w niewidzialnej części widma (w zakresie mikrofalowym i podczerwonym). Techniki obserwacji w tych obszarach widmowych, dostępnych głównie spoza atmosfery, rozwinęły się stosunkowo niedawno i chyba tylko to jest sensownym usprawiedliwieniem zapóźnień przyrodoznawczych w odniesieniu do pyłu kosmicznego.

Chociaż formalnie pyłem kosmicznym można nazwać wszelkie ciała stałe w przyrodzie, poczynając od mikroskopijnych ziarenek o rozmiarach submikronowych, a na ciałach planetarnych kończąc, to jednak pospolite wyobrażenie ziarna pyłu kojarzy się z czymś bardzo małym, co ogląda się pod mikroskopem. Choć ilość maleńkich ziarenek pyłu jest w przyrodzie największa, to nie może to zwieść badacza. Większe ziarna, choć mniej liczne, mogą skupiać w sobie znacznie większą masę. Nie-

policzalna ilość ziaren piasku na powierzchni Ziemi bardzo niewiele znaczy pod względem masy wobec zgromadzonych na niej stosunkowo nielicznych, ale masywnych, kamieni i ogromnych brył skalnych. Funkcjonuje w astronomii pojęcie funkcji świecenia galaktyk. Byłoby dobrze posiadać podobną funkcję masy ziaren pyłu! Żeby wiedzieć, jaki procent masy Wszechświata zawarty jest w mikroskopijnych ziarnach, a jaki w milimetrowych, centymetrowych, metrowych itd. Problem masy, nie tyle jako budulca, ale przede wszystkim jako źródła grawitacji, należy do kluczowych dla rozumienia Wszechświata. A warto też nadmienić, że określona masa materii, np. jednego kilograma, powoduje tym większą ekstynkcję, im bardziej ją rozdrobnić. Jeśli pomierzmy ekstynkcję, to nie wiemy, czy wywołała ją ogromna masa skupiona w dużych i masywnych ziarnach, czy znacznie mniejsza masa, ale bardzo rozdrobniona. Taką samą bowiem ekstynkcję może wywołać mała ilość bardzo rozdrobnionej materii, co wielka ilość materii, ale mniej rozdrobnionej!

O ile mikroskopijne ziarna oddziałują ze światłem widzialnym selektywnie, tj. powodują jego poczerwienienie, wobec efektywniejszego rozpraszania światła niebieskiego niż czerwonego, o tyle ekstynkcja na dużych ziarnach ma charakter niezależny od długości fali. Mówi się, że duże ziarna odpowiedzialne są za ekstynkcję szarą, a małe za selektywną lub barwną. Astronomowie wypracowali dość precyzyjne techniki określania wartości ekstynkcji selektywnej w środowisku lokalnym, ograniczonym do naszej Galaktyki. Przebarwienie obiektów daje się stosunkowo łatwo zauważyć i pomierzyć. Wartość

szarej ekstynkcji pozostaje nieznana, bo wciąż brakuje skutecznych i jednoznacznych metod jej wyznaczania. W konsekwencji, nie wiemy np., jakie są odległości najdalszych obserwowanych obiektów. Mogą one być np. dwa albo cztery albo więcej razy mniejsze, niż się pospolicie uważa.

Odległości obiektów astronomicznych (r) wyznacza się za pomocą wzoru na tzw. moduł odległości:

$$m - M = 5 \log r - 5 + A,$$

gdzie m i M oznaczają odpowiednio obserwowany i absolutny blask gwiazdy, natomiast A jest ekstynkcją. Ze wzoru wynika, że $r_0/r = 10^{0.2A}$, gdzie r_0 oznacza odległość przy zaniedbaniu ekstynkcji. Załóżmy dla przykładu, że ekstynkcja na odcinku obserwator obiekt wynosi 1 magnitudo. Wtedy $r_0/r = 1.58$, czyli zaniedbanie ekstynkcji w ilości 1 mag spowoduje błąd (zawyżenie) odległości równy 58%. Podobnie, zaniedbanie ekstynkcji w ilości 5 mag, daje $r_0/r = 10$, czyli 10-krotne przeszacowanie prawdziwej odległości.

Jakie zawirowania w poglądach naukowych może wywołać lekceważenie ekstynkcji, niech posłuży tu modny dziś temat supernowych (SN) typu Ia. W świetle obserwacji obiekty te na dużych odległościach (z ok. 1) są o 15-25% słabsze niż wynikałoby to z przewidywań opartych na analizach bliskich SNIa ($z < 0.1$). Zjawisko można wyjaśnić przyjmując istnienie szarej ekstynkcji zaledwie w ilości 0.2–0.3 mag na dystansie ponad 6 mld lat świetlnych. Jednak postanowiono, że wynik zostanie

oficjalnie zinterpretowany zgoła inaczej. Forsuje się w sposób skrajnie nieodpowiedzialny ideę o przyspieszaniu ekspansji Wszechświata i o rzekomym występowaniu we Wszechświecie tzw. ciemnej energii. Pospieszono się, równie nieodpowiedzialnie (zresztą nie po raz pierwszy w problematyce dotyczącej ewolucji Wszechświata), z Nagrodą Nobla.

Ziarna pyłu, odpowiedzialne za ograniczoną przezroczystość przestrzeni, są też bardzo interesujące same w sobie, i nie tylko w kontekście kosmicznym. Należy je traktować jako dogodne miejsca przebiegu wielu reakcji chemicznych oraz przejść fazowych prowadzących do powstawania skomplikowanych cząsteczek organicznych, w tym leżących u podstaw życia.

Zagadnienie przezroczystości przestrzeni międzygwiazdowej i międzygalaktycznej jest w nauce współczesnej mocno zaniedbane i jakby programowo przemilczane. Skądinąd, bez jego gruntownego zbadania nie może być mowy o postępie prawdziwej wiedzy o Wszechświecie. Taka sytuacja sprzyja tylko szerzeniu się unaukowionych zabobonów i efektywnemu szkodzeniu nauce.

3. Międzygwiazdowe pasma rozmyte

Od zarania dziejów ważnym zagadnieniem filozoficznym jest pochodzenie życia. Ostatnie ożywienie tą problematyką idzie w parze z odkryciami egzoplanet, potencjalnych siedlisk żywych organizmów. W gruncie rzeczy, nie wiemy jak powstaje życie

– kolejny fenomen, z którym mamy powszechnie do czynienia na Ziemi. Czy i tu odpowiedź miałaby przyjść skądś z góry i czy znowu mieliby dostarczyć jej astronomowie? Zastanawiał się kiedyś Johannes Kepler, czy sześciokątne płatki śniegu powstają w akcie stwórczym jakichś inteligentnych duszków, czy może samoistnie. Czy nie jest tak, że niewidzialne mikrocząstki wody mają taką przyrodzoną właściwość, że przy spełnieniu odpowiednich warunków fizycznych otoczenia muszą dopasować się do siebie tak, żeby makroskopowo przyjąć kształt sześciokątny? Tłumaczenie z duszkami załatwiało sprawę. Jednak duch badacza ciągnął drogą trudniejszą, a z jego pytania o przyczynę kształtu śnieżynek wyrosła nowa dziedzina nauki – krytalografia. Dostarcza ona wspaniałego przykładu samoporzędowania (zmniejszania entropii) w obrębie materii nieorganicznej. Czy podobny proces może leżeć u podstaw życia? Czy w odpowiednich warunkach fizykochemicznych samoistne powstanie życia jest nieuniknione?

W kontekście powyższego warto przybliżyć zagadnienie tzw. międzygwiazdowych pasm rozmytych (MPR), znane w astronomii już od niespełna stu lat. Nośniki MPR są dziś najdłużej nierozwiązaną zagadką spektroskopii. MPR są to pasma absorpcyjne pochodzenia międzygwiazdowego widoczne w widmach gwiazd. Światło podążając od gwiazdy do obserwatora napotyka po drodze półprzezroczyste obłoki materii, stanowiące surowiec przyszłych gwiazd i planet. Nie jest tajemnicą, że materia międzygwiazdowa jest bogata w pierwiastki i cząsteczki chemiczne. Wiadomo też, że w znaczącym stop-

niu jest ona zestalona w ziarna pyłu międzygwiazdowego, który to pył (jako dostarczyciel powierzchni) jest odpowiedzialny za powstawanie niektórych cząstek chemicznych, jak choćby cząsteczki wodoru (H_2). Ziarna pyłu, działając na podobieństwo katalizatora, leżą u samych początków astrochemii. Cząsteczka wodoru, jako wyjściowa dla reakcji chemicznych prowadzących do bardziej skomplikowanych molekuł, nie może powstać w środowisku gazowym pozbawionym pyłu. Gdy dwa atomy wodoru zderzą się z sobą w wolnej przestrzeni, utworzą w najlepszym razie niestabilny układ, który natychmiast się rozpadnie na pojedyncze atomy. Jeśli zderzenie nastąpi na powierzchni ziarna pyłu, nadmiar energii powstałego układu zostanie odebrany przez ziarno i układ się stabilizuje. Powstaje cząsteczka wodoru, która po jakimś czasie odparuje z ziarna i może, już w gazowym środowisku, wchodzić w dalsze reakcje, prowadzące do bardziej skomplikowanych molekuł. Obłoki międzygwiazdowe zawierają wszystkie znane pierwiastki oraz wiele cząsteczek, rejestrowanych i identyfikowanych spektroskopowo. Wydajność procesów syntezy molekuł w takich obłokach silnie zależy od czynników fizykochemicznych, znacząco odmiennych w różnych obszarach przestrzeni międzygwiazdowej, a nawet w obrębie tego samego obłoku. W takich obłokach gazu i pyłu, penetrowanego przez fotony promieniowania elektromagnetycznego, dochodzi w temperaturach pyłu rzędu 100 K do powstania nośników MPR. Wiadomo, że raz utworzone są bardzo odporne na rozpad. Wiele wskazuje, że powinny to być molekuły z dużą zawartością wę-

gla i składające się raczej z dużej ilości atomów. Postulowano kiedyś, że możliwymi nośnikami MPR mogą być (wtedy jeszcze hipotetyczne) fulereny. Napędzane astronomicznie poszukiwania fulerenów zostały zwieńczone sukcesem na miarę Nagrody Nobla. Siłą rozpędu odkryto też grafen, jeszcze jedną alotropową postać węgla. Mimo ogromnego znaczenia tych odkryć dla różnorodnych zastosowań, w świetle dotychczasowych laboratoryjnych analiz spektroskopowych nic nie wskazuje na to, aby fulereny czy grafen miały być nośnikami MPR. Nadto, jak pokazują obserwacje astronomiczne, nośników MPR może być wiele, z pewnością nie jeden. Za produkcję kilkuset linii z rodzaju MPR może odpowiadać całkiem spora ilość nośników. Wbrew pozorom, to obiecująca perspektywa. Jeśli kiedyś astronomowie, w oparciu o precyzyjne analizy spektroskopowe, zdołają wyodrębnić tzw. rodziny spektroskopowe pośród MPR, to identyfikacja nośnika w laboratoriach astrochemicznych stanie się łatwiejsza i ostatecznie skuteczna. W skład określonej rodziny spektroskopowej linii absorpcyjnych wchodziłyby tylko te MPR, za które odpowiada jakiś jeden nośnik. Inny nośnik będzie odpowiadał za inną rodzinę spektroskopową. Pośród dobrych kandydatów na nośniki MPR uznaje się dziś łańcuszki węglowe oraz policykliczne aromatyczne węglowodory. Względy estetyczne, od których astronomia nie stroni, wyróżniają cząsteczkę o nazwie coronen ($C_{24}H_{12}$) z grupy węglowodorów aromatycznych (piękne liczby atomów we wzorze sumarycznym cząstki i piękna jej struktura – siedem sześciokątnych pierścieni węglowych, połączonych

w idealnie symetryczny obrazek). Trzeba jednak zauważyć, że propozycje nośników MPR obarczone są silnie efektami selekcji, wynikającymi z tradycji badawczych laboratoriów chemicznych, które organizowano pod przyziemne zapotrzebowania. Laboratoria astrochemiczne z prawdziwego zdarzenia, jeśli gdzieś w świecie funkcjonują, to na zasadzie łączenia tematyki obliczonej w pierwszej kolejności na doraźne zyski, a dopiero w drugiej na mało obiecujące badania *stricte* astrochemiczne. Jeszcze gorzej ma się rzecz z wyposażeniem i obsadą laboratoriów astrobiologicznych. Nie dziwi zatem, że z propozycjami na nośniki MPR wciąż pozostajemy przy kombinacjach zaledwie dwóch pierwiastków – węgla i wodoru. Ale przecież w środowisku międzygwiazdowym, wszędzie gdzie jest węgiel, jest też azot i tlen. Bardziej naturalne byłoby poszukiwanie cząsteczek o szerszym spektrum atomowym, odzwierciedlającym względną obfitość pierwiastków w obłokach międzygwiazdowych.

Analiza profili MPR w widmach astronomicznych nie pozwala jednoznacznie rozstrzygnąć, czy nośniki występują w fazie gazowej, czy zestalonej. Może mamy do czynienia z obiema sytuacjami? Rozstrzygnięcie w tym względzie pozwoliłoby zredukować znacząco ilość „ślepych uliczek” w analogowych badaniach laboratoryjnych, koniecznych dla identyfikacji nośników MPR.

Jest bardzo prawdopodobne, że zagadnienie MPR bliższe jest astrobiologii niż astrochemii. Istnieje wiele przesłanek, że tajemnicze nośniki MPR mogą być kluczowe dla zrozumienia

fenomenowi życia. Tlen i wodór w odpowiednich warunkach prowadzą do sześciokątnych gwiazdek śniegowych. Czy atomy węgla, tlenu, azotu i wodoru, wchodzące prawdopodobnie w skład cząsteczek – nośników MPR, na podobnej zasadzie mogą prowadzić w korzystnych warunkach do powstania życia? Wizja taka jest kusząca i domaga się pilnie weryfikacji. Tymczasem poszukiwanie nośników MPR jest w nauce niszowe i zajmuje się nim na serio tylko garstka uczonych w świecie.

4. Refleksje końcowe

Przedstawiono powyżej dwa istotne zagadnienia współczesnego przyrodoznawstwa, które są szczególnie bliskie autorowi, ze względu na jego osobiste zaangażowanie badawcze w zakresie ekstynkcji światła oraz spektroskopowej analizy obłoków międzygwiazdowych. Podobnych przykładów można by przytoczyć znacznie więcej i nie tylko z zakresu astronomii. Ilustrują one, że badania podstawowe, choć w najwyższej mierze pożądane i realne pod względem wykonawczym, nie zawsze znajdują odpowiednie zainteresowanie ludzi nauki. Najwyraźniej dobór tematów badawczych nie jest odzwierciedleniem naturalnych pobudek i zainteresowań samych uczonych, którzy najlepiej zdają sobie sprawę z tego, co jest najpilniejsze do zbadania, ale jest zewnętrznie manipulowany przez środowiska pozanaukowe, którym bliższe są partykularne interesy niż górnolotne idee. Badacz przyrody musi dokonywać wyboru pomiędzy ide-

alistycznym stylem swoich działań poznawczych, a podejściem typowo pragmatycznym, często stymulowanym zewnętrznie i nie zawsze czystym etycznie.

W nauce, bardziej niż w innych dziedzinach życia, liczą się stanowiska jasne. Albo jest TAK, albo nie jest TAK, albo nie wiadomo jak jest! Inne twierdzenia są mętne i służą raczej pokrętnym interesom niż poznaniu. Brak etyki w działaniach ludzkich hamuje rozwój, hamuje poznanie, hamuje postęp ku wspanialszej przyszłości. Dobitnym przykładem niech tu będzie podbój kosmosu. Dokąd przygodę kosmiczną traktowano bardziej uczciwie, postępy były imponujące. Kiedy eksplorację kosmosu ubiznesowiono i upolityczniono, od razu pojawiły się problemy spowalniające rozwój w tej dziedzinie. Od czasu, kiedy ostatni człowiek opuścił Księżyc, upłynęło 45 lat. Czym tłumaczyć tak długi zastój? Problem najwyraźniej nie leży po stronie możliwości, ale po stronie etyki. Komuś ten zastój służy i dobrze przekłada się na profity.

Dawniej wszechstronność wykształcenia badaczy przyrody była motorem postępu. Dzisiaj w modzie jest interdyscyplinarność. Jeśli poznanie przyrody ma być kompletne, to trzeba rzeczy ujmować z pozycji wielu szczegółowych dyscyplin przyrodniczych. Tu nie ma wątpliwości. Jednak grupa, choćby liczna, przedstawicieli wąskich specjalności nie może z powodzeniem zastąpić wybitnej i wszechstronnie wykształconej jednostki. Specjaliści z różnych wąskich dziedzin nie są w stanie należycie porozumieć się między sobą, co skutecznie osłabia sprawność poznawczą zespołu interdyscyplinarnego. Tak jak grupa

pagórków nigdy nie wespnie się wyżej niż pojedynczy wyniosły szczyt górski, tak zespół badaczy o wąskich specjalnościach nie dorówna jednemu badaczowi o przyzwoitym wszechstronnym wykształceniu. Podobnie jak brak etyki w działaniach naukowych, interdyscyplinarne metodologie mogą bardziej hamować niż przyspieszać postęp przyrodoznawczy.

Przyjmuje się zwyczajowo, że normy etyczne i wszelka mądrość, również w odniesieniu do przyrodoznawstwa, pochodzą z „góry”, z nieba. Wiele też przemawia za tym, że ludzkość nigdy nie oderwie się trwale od Ziemi bez wcześniejszego globalnego sprostania podstawowym normom etycznym. I choć umysłem niecierpliwym boleśnie doskwierają różnorakie zahamowania procesów poznawczych, to można mieć nadzieję, że niebiańskie rubieże niebawem odsłonią się przed ludzkością pełniej i wyraźniej.

Bibliografia

- Brosch, N., Almoznino, E., Wszolek, B., Rudnicki, K., 1999. The nature of a dusty ring in virgo. *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 308, s. 651–663.
- Krelowski, J., Snow, T.P., Papaj, J., Seab, C.G., Wszolek, B., 1993. On the system of diffuse interstellar bands at 5844 and 5850Å. *Astrophysical Journal*, 419, s. 692–697.
- Rudnicki, K., Wszolek, B., 1992. The intergalactic dust. In: G.A. Mamon, D. Gerbal (eds.), *The distribution of matter in the universe*. Meudon: Observatoire de Paris-Meudon, s. 343–349.
- Wszolek, B., 1994. Is there matter in voids?. In: H.C. Arp, C.R. Keys, K. Rudnicki (eds.), *Progress in new cosmologies: Beyond the Big*

- Bang: *13th Cracow Summer School of Cosmology*. New York: Plenum Press, s. 67–69.
- Wszolek, B., 1995. Observational limits on intergalactic matter. *Astrophysics and Space Science*, 227, s. 151–155.
- Wszolek, B., 2006. Międzygwiazdowe pasma rozmyte. W: C. Kozłowski (red.), *Materiały z II Interdyscyplinarnego Seminarium Studenckiego – Forum Młodych Nauki*. Częstochowa: AJD, s. 83–88.
- Wszolek, B., Czajka, M., 2002. Analiza widmowa emisji podczerwonej obłoków międzygwiazdowych. *Prace Naukowe WSP w Częstochowie, Fizyka, V*, s. 79–97.
- Wszolek, B., Godłowski, W., 2003. Toward an adequate method to isolate spectroscopic families of diffuse interstellar bands. *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 338, s. 990–998.
- Wszolek, B., Golda, Z., 1996. A search for infrared emission from extragalactic clouds in the sculptor group of galaxies. *Apeiron*, 3(1), ss. 1–2.
- Wszolek, B., Kania, A., 2005. Galaktyczna natura Obłoku Rudnickiego-Baranowskiej. *Prace Naukowe AJD w Częstochowie, Fizyka, VI–VII*, s. 61.
- Wszolek, B., Kuczara, M., 2001. Badanie natury emisji podczerwonej z obszaru gromady galaktyk Zw5897. *Prace Naukowe WSP w Częstochowie, Fizyka, IV*, s. 111–122.
- Wszolek, B., Nagel, E., 2002. Spectroscopic families of diffuse interstellar bands. *Journal of Physical Studies*, 6(4), s. 447–450.
- Wszolek, B., Owczarek, G., 1998. Modeling of the effects due to intergalactic extinguishing clouds in distribution of galaxies. *Acta Cosmologica, XXIV-2*, s. 177–185.
- Wszolek, B., Piłat, A., 2005. Badania spektrofotometryczne wybranych ciemnych obłoków międzygwiazdowych w podczerwieni. *Prace Naukowe AJD w Częstochowie, Fizyka, VI–VII*, s. 71.
- Wszolek, B., Wszolek, M., 2003. Diffuse Interstellar Bands. *Astronomical and Astrophysical Transactions*, 22(6), s. 821–825.

Rogera Sperry'ego teoria świadomości

Józef Bremer

Akademia Ignatianum w Krakowie

Roger Sperry's theory of consciousness

Abstract

Roger W. Sperry (1913–1994) received the Nobel Prize for Physiology in 1981 for his outstanding scientific achievements in connection with the study of people with severed brain commissures. Sperry linked the results of his research to philosophical considerations pertaining to the conscious mind of human beings and its place in the natural sciences. He was interested in the philosophical question of whether or not the severing of the cerebral hemispheres constituted a violation of the unity of consciousness. Sperry's explanatory account of mind-body (mind-brain) interaction forms part of a broadly construed theory of emergent interactionism – one that also purports to guarantee the unity of consciousness. In this article, I first present an intellectual profile of Sperry, outlining the evolution of his philosophical-scientific analyses. I then outline the emergence and flourishing of theories of emergence, along with the elements essentially associated with them. Using this as a basis, I go on to consider Sperry's account of emergent interaction more closely, focusing on his understanding of down-

ward causation. In conclusion, I show how his theory corresponds to a version of emergent interactionism, and seek to address some criticisms leveled against it. I also aim to establish how far this theory can be said to answer the question of the conscious character of mental states.

Keywords

emergent interactionism; unity of consciousness; macro- and micro-determination; mentalism; mind-body problem; theories of emergence; downward causation; supervenience

Jeśli żadne nowe zjawiska nie wyłoniłyby się w wielkich systemach z dynamiki systemów pracujących na niższym poziomie, to nie potrzebowalibyśmy naukowców, lecz fizyków cząstek elementarnych, gdyż nie byłoby innych obszarów badań. Lecz wówczas nie byłoby fizyków cząstek elementarnych (Bak, 2008, s. 275).

Roger W. Sperry (1913–1994) – wybitny amerykański neurobiolog, neuropsycholog, otrzymał w roku 1981 Nagrodę Nobla w dziedzinie fizjologii za badania dotyczące osób z rozciętym spoidłem wielkim. Osoby te były poddawane specjalnym testom zawierającym zadania, za których wykonanie – zgodnie z ówczesną wiedzą – odpowiadały poszczególne półkule mózgu (Bremer, 2014, s. 363–415). Swoje wybitne osiągnięcia naukowe Sperry łączył z rozważaniami filozoficznymi na temat świadomego umysłu i jego miejsca w naukach przyrodniczych. Poja-

wiło się bowiem filozoficzne pytanie, czy wraz z rozdziałem półkul mózgowych dochodzi do naruszenia jedności świadomości.

Proponowane przez niego wyjaśnienie interakcji umysł–ciało (*mind-body*, *mind-brain*) odwołuje się do teorii szeroko rozumianego interakcyjnego emergentyzmu, gwarantującego zarazem jedność świadomości. Z jednej strony ta teoria, nadal komentowana w pracach z zakresu kognitywistyki czy filozofii umysłu, omija jego zdaniem liczne problemy takich ujęć, jak dualizm umysł–ciało, epifenomenalizm, radykalny redukcjonizm i behawioryzm lub panpsychizm¹. Z drugiej strony należy zapytać, na ile słuszna jest jej krytyka przeprowadzona przykładowo przez historyka psychologii – B.R. Hergenhahna, który uważa, iż stanowisko Sperry'ego jest nie tylko dualistyczne, lecz reprezentuje dualizm interaktywny, który był często postulowany w historii psychologii. W podobny sposób wyrażają się P. Pirolli i V. Goel, twierdząc, iż Sperry'ego „pojęcie stanów mentalnych posiadających przyczynowość skierowaną ku dołowi jest niekoherentne” (por. Hergenhahn i Henley, 2014, s. 16–17, 572–574, 595; Pirolli i Goel, 1990, s. 72). Szersze pytanie dotyczy tego, na ile skutecznie emergentyzm Sperry'ego potrafi włączyć ludzkie wartości w naukowy obraz świata.

W niniejszym artykule przedstawię najpierw sylwetkę naukową R.W. Sperry'ego i rozwój jego analiz filozoficzno-naukowych. Następnie naszkicuję krótko powstanie i rozkwit teorii emergencji oraz ich zasadnicze elementy mniej lub bardziej

¹ Teorie te omawiam bliżej w: (Bremer, 2001).

obecne w każdej z nich. Wykorzystując ten szkic, omówię bliżej interakcyjny emergentyzm Sperry'ego, skupiając się na jego rozumieniu przyczynowości skierowanej ku dołowi. W podsumowaniu pokażę, na ile zbudowana przez Sperry'ego teoria odpowiada interakcyjnemu emergentyzmowi, i ustosunkuję się do krytycznych uwag na jej temat. Odpowiem także na pytanie, w jakich granicach teoria ta odpowiada na pytanie o świadomość stanów mentalnych.

1. R.W. Sperry'ego interaktywny mentalizm – rozwój historyczny

Sperry'ego zainteresowanie teoriami emergencji pojawiło się bardzo wcześnie (1964²), w okresie silnego rozkwitu redukcjonistycznych teorii umysł–ciało. Od samego początku szukał bowiem naukowego wyjaśnienia subiektywnych przeżyć osoby, ujmowanych dzisiaj pod pojęciem świadomości. W tym okresie jego liczni koledzy, zarówno neurolodzy, jak i filozofowie, próbowali wykluczyć zagadnienie świadomości z zakresu swoich badań. Dzisiaj przeżycia subiektywne wróciły na warsztat interdyscyplinarnie prowadzonych rozważań i są zasadniczo analizowane z tzw. perspektywy pierwszoosobowej jako: „trudny

² Większość prac Sperry'ego można znaleźć na stronie: <<http://people.uncw.edu/puente/sperry/sperrypapers>>. Dostęp: 18.04.2017.

problem świadomości”, „pytanie o qualia” bądź pytanie „jak to jest być świadomym?” (por. Bremer, 2005).

Istotny wpływ na Sperry'ego neurofizjologiczne i filozoficzne poglądy wywarły prace Karla Poppera i neurofizjologa Johna Ecclesa (laureata Nagrody Nobla w dziedzinie fizjologii lub medycyny w 1963 r.). Pozostawał pod ich wpływem mniej więcej do roku 1960. Podobnie jak silny dualista i kartezjanista J. Eccles, Sperry odrzucał materialistyczne (lub fizykalistyczne) i redukcjonistyczne teorie umysł–ciało. Część swoich filozoficznych opracowań Eccles wydał razem z Popperem, odwołując się do jego teorii „trzech światów”.

Od lat 1964–1966 Sperry sam siebie określał ogólnie jako „mentalistę” (Sperry, 1993). Zaznaczał, iż mentalizm, jako pogląd przeciwny szeroko wówczas panującemu „materializmowi”, wymaga nowego dookreślenia: nie jest on synonimem dualizmu, tak samo jak materialistyczny fizykalizm nie musi być równoznaczny z materialistycznym monizmem. Sperry pisał:

(A) Przy naszej obecnej teorii umysłu i mózgu monizm musi obejmować subiektywne cechy mentalne jako rzeczywistości przyczynowe. Nie jest tak w przypadku fizykalizmu czy materializmu, które są rozumiane jako antytezy mentalizmu i które tradycyjnie wykluczały zjawiska mentalne jako konstrukty przyczynowe. Nazywając siebie samego „mentalistą”, uważam subiektywne zjawiska mentalne za podstawowe, przyczynowo oddziałujące rzeczywistości, doświadczane w sposób subiektywny; za różne od ich fizyczno-chemicznych elementów, a co więcej,

także za nieredukowalne do nich. Równocześnie definiują to stanowisko i teorię umysł-mózg, która ma się na nim opierać, jako monistyczne i widzą je jako silny środek odstraszący przeciwko dualizmowi (Sperry, 1980, s. 196).

We wspomnianych latach Sperry zajmował się zagadnieniami neurobiologicznymi związanymi z ewolucją mózgu. Rozszerzył równocześnie pojęcie emergencyjnego oddziaływania, emergencyjnej kontroli oddziaływań pochodzących z wyższego poziomu organizacji mózgu nad oddziaływaniami obecnymi na jego niższym poziomie. Uznał, iż „[...] emergentne siły mentalne muszą logicznie wywierać skierowaną ku dołowi przyczynową kontrolę nad elektrofizjologicznymi zdarzeniami w aktywności mózgu” (Sperry, 1980, s. 196, zob. 1964, s. 1–22; przedruk w: Duncan i Weston-Smith, 1977, s. 423–433). Wywnioskował, iż w dynamice mózgu siły mentalne są równoważne siłom operującym na poziomie komórkowym, molekularnym i atomowym lub silniejsze od nich. Współcześnie problem ten jest analizowany pod kątem przyczynowości: w jaki sposób zdarzenia, stany mentalne mogą wchodzić w interrelacje z materialnymi „zdarzeniami fizycznymi”.

W wykładzie „Umysł, mózg i wartości humanistyczne” (Sperry, 1965) zaznacza, iż pracuje nad doprecyzowaniem terminu „mentalizm”, łącząc go z analizą: i) zagadnień znanych z teorii holistycznych i redukcjonistycznych, ii) z odpowiedziami na pytania o emergencyjną kontrolę skierowaną ku dołowi oraz iii) z dyskusją nad błędnymi rozumowaniami o ludzkim systemie wartości. Podkreśla, że w szerokim sensie pracuje

(B) [...] nad odrzuceniem rozpowszechnionego – mechanistycznego, materialistycznego, behawioralnego, fatalistycznego, redukcjonistycznego – spojrzenia na naturę umysłu i duszy [*psyche*] (Sperry, 1965, s. 76; por. Bremer, 2006).

Tym samym coraz wyraźniej zmienia swoje nastawienie do zagadnień świadomości, przechodząc od behawiorystycznego materializmu do antymechanistycznego, nieredukcyjnego mentalizmu. Ten ostatni rozumie w sensie, (i) w jakim termin ten jest używany w psychologii w przeciwieństwie do behawioryzmu, (ii) negującym jego skrajnie filozoficzne ujęcie, które zaprzecza rzeczywistości materialnej.

Pomimo licznych artykułów samego Sperry'ego na temat emergencji stanów mentalnych, a także pomimo często spotykanych, dłuższych lub krótszych analiz tychże prac, nadal pozostaje kilka niejasności, jak interpretować jego emergencyjno-mentalistyczne stanowisko. Część problemów interpretacyjnych pochodzi chociażby stąd, iż z jednej strony Sperry przypisuje subiektywnym doświadczeniom/przeżyciom świadomości – widzianym jako emergencyjna cecha aktywności mózgu – przyczynową rolę w kontrolowaniu funkcji mózgu, zaś z drugiej strony stara się zachować przyczynową nienaruszalność procesów zachodzących na poziomie neuronalnym. Kolejnym pytaniem jest, na ile emergentyzm Sperry'ego różni się od innych teorii emergencji, a na ile posiada z nimi elementy wspólne.

2. Przyczynowość skierowana ku dołowi jak podstawowa charakterystyka obiektów emergentnych

Termin „emergencja” pochodzi od łacińskiego czasownika *emergere*, co można oddać za pomocą polskich czasowników „wynurzać się”, „wyłaniać”³. Jako filozoficzną kategorię termin ten wypracowali brytyjscy filozofowie S. Alexander, C.L. Morgan i C.D. Broad. Po raz pierwszy przy wyjaśnianiu świadomości używa go G.H. Lewes, odróżniając oddziaływania emergentne od oddziaływań przyczynowych⁴. Te pierwsze, według Lewesa, cechują się tym, iż nie da się ich zredukować do oddziaływań pomiędzy elementami systemu. Teorie emergencji od początku są zakorzenione w filozoficznym pytaniu o przyczynowość. Jedną z podstawowych charakterystyk emergencji pochodzi z XIX wieku, a konkretnie z ujęcia zaproponowanego przez prekursora brytyjskiego emergentyzmu – J.S. Milla.

Odróżnia on tzw. przyczynowość mechaniczną (działającą według praw homopatycznych, *homopathic laws*) i chemiczną (działającą według praw heteropatycznych, *heteropathic laws*). W pierwszym rodzaju praw, znając poszczególne przyczyny, możemy obliczyć przyczynę całkowitą (por. Blitz, 1992, s. 76–

³ Por. Glosbe: słownik łacińsko-polski <<https://pl.glosbe.com/la/pl/emergere>>. Dostęp: 22.04.2017.

⁴ Lewes (1875) przejmuje ten termin od J.S. Milla z jego *Systemu logiki dedukcyjnej i indukcyjnej* (por. Skirl, 2009, s. 15–16; McLoughlin, 2001).

78; McLaughlin, 1992, s. 59–60). Przykładem mogą być prawa mechaniki, których obliczanie złożenia podlega metodom nauk dedukcyjnych. Metody ta nie obowiązują, zdaniem Milla, przy zjawiskach chemicznych i biologicznych.

Połączenie chemiczne dwóch substancji daje, jak dobrze wiadomo, trzecią substancję z własnościami różnymi od własności każdej z tych substancji, wziętych z osobna czy też wziętych razem (Mill, 1962, s. 575 (ks. 3, VI, § 1; także ks. 3, XVI, § 6)).

Coś podobnego obowiązuje w przypadku organizmów biologicznych. Prawa dotyczące związków chemicznych czy organizmów biologicznych nie dadzą się wydedukować z praw elementów składowych tychże związków czy z praw dotyczących części organizmów. Mill nie wypowiada się na temat praw mentalnych.

G.H. Lewes, idąc za Millem, zbudował bardziej ogólną teorię organizmów, nazywając *heterophatic laws* prawami emergencji. Posługując się wprowadzonym przez A. Comte'a podziałem nauk, Lewes umieścił biologię po matematyce, astronomii, fizyce i chemii. Psychologia i socjologia zamykały tę klasyfikację. Każda z tych nauk (wzięta w wymienionej kolejności) dodaje nową metodę badań do metod nauki ją poprzedzającej. Matematyka rozpoczyna od abstrakcji, dedukcji i tworzenia definicji, astronomia dodaje obserwację itd. Z jednej strony Lewes odrzuca witalizm (mówiący o niematerialnych siłach życiowych), z drugiej strony podkreśla, iż biologia różni się od fizyki

i chemii tym, że bierze pod uwagę organizm jako całość w jego relacjach do otoczenia, natomiast fizyka i chemia badają części organizmu, abstrahując od jego całości i od jego odniesienia do otoczenia (Blitz, 1992, s. 76–79).

Mówiąc o teoriach emergencji, zazwyczaj wymienia się, kilka ich podstawowych cech (Bremer, 2005, s. 134–144).

1) Nieprzewidywalność i nieredukowalność obiektów emergentnych. W swojej definicji emergencji K. Popper odwołuje się do czteroelementowego schematu rozwiązywania problemu: $P1 \rightarrow TS \rightarrow EE \rightarrow P2$, gdzie: P1 – problem początkowy, TS – niepewne rozwiązanie problemu, EE – eliminacja błędu, P2 – rozwiązanie obciążone nowymi, lecz być może mniej uporczywymi problemami (por. Niemann, 2014, s. 70). Schemat ten, zdaniem Poppera, wyjaśnia emergencję w świecie organizmów, w którym wszystkie rozwiązują problemy, przy czym P2 jest rozwiązaniem emergencyjnym, ponieważ rozwiązanie problemu P1 nie jest znane z góry, więc tym samym P2 jest często czymś faktycznie nowym w świecie.

Popper przyjmuje, iż obiekty emergentne są nieredukowalne, gdyż ich cech nie da się wydedukować z cech obiektów na niższym poziomie złożenia. Zdaniem Poppera faktem jest, że w świecie, w którym kiedyś nie istniały żadne inne elementy oprócz, powiedzmy, wodoru i helu, żaden teoretyk, znający obowiązujące prawa fizyczne nie mógłby przewidzieć wszystkich cech cięższych pierwiastków, które jeszcze się nie wyłoniły z helu i wodoru lub które mogłyby się wyłonić (por. Stephan, 1992, s. 34).

Natomiast nieprzewidywalność obiektów emergentnych Popper kojarzy ze zdarzeniami. Definiuje ją w terminach dokładnie skupionego na zdarzeniach indeterminizmu. „Emergencja hierarchicznych poziomów czy stopni oraz interakcji pomiędzy nimi zależy od fundamentalnego indeterminizmu świata fizykalnego. Każdy poziom jest otwarty na wpływ pochodzący z niższego i z wyższego poziomu” (cyt. za: Stephan, 1992, s. 35). Niededukowalność cech emergentnych i nieprzewidywalność emergentnych zdarzeń i procesów generują jedną z ich ogólnych charakterystyk.

2) Nowość złożonych procesów, obiektów i cech. Ze względu na heteropatyczny typ przyczyn teoria emergencji wymaga refleksji nad naturą rzeczywistości, która daje podstawy owym zależnościom przyczynowym. Stąd próba filozoficznej specyfikacji natury emergentów. W tej kwestii spotykamy różne propozycje: S. Alexander używa języka procesualnego, mówiąc o nowości pojawiającej się w kompleksowych procesach. Jako przykład służy mu kolokacja ruchów (*collocation of motions*), generująca jakościowo nowe „emergentne” cechy (por. McLaughlin, 1992, s. 66). Z porządku niższego emerguje porządek wyższy cechujący się nową jakością. Alexander charakteryzuje ten nowy porządek w terminach sił, dyspozycji czy zdolności. Broad mówi o cechach specyficznych dla porządku emergencyjnego i nazywa je „ostatecznymi charakterystykami” (*ultimate characteristics*) w odróżnieniu od „potocznych, neutralnych charakterystyk” (*ordinally neutral characteristics*) czy charakterystyk

redukowalnych (*reducible characteristics*)⁵. Broad wspomina wyraźnie o emergencji cech mentalnych z cech fizycznych.

J. Kim (1990, s. 5–23) zauważa, iż emergencję cech wiąże się z pojęciem superwencji, której podstawową tezę można wyrazić następująco: cechy na wyższym poziomie systemu pojawiają się tylko wtedy, gdy zostają spełnione warunki na niższym poziomie. Należy jednak dodać, iż teorie superwencji mówią o współzmienności cech podstawowych i superwientnych i rezygnują z wprowadzania przyczynowości skierowanej ku dołowi.

3) Ontologia poziomów złożoności. Inną charakterystyczną cechą emergencji jest wprowadzone przez Aleksandra pojęcie hierarchii poziomów organizacji i złożoności (najniżej mamy poziom przestrzeni i czasu, z którego emerguje poziom materii i tak dalej, aż po poziomy umysłu i boskości). C. Emmeche uwzględnia cztery podstawowe poziomy: fizyczny, biologiczny, psychologiczny i socjologiczny. Każdy z nich może służyć za podstawę do dalszych podziałów⁶. Zdaniem Emmeche’a prawa na poziomach wyższych, będących w materialnej relacji do poziomów niższych, nie naruszają praw obowiązujących na poizo-

⁵ Tezy Broada omawiam w: (Bremer, 2005, s. 141–144). Por. (McLaughlin, 1992, s. 77–79).

⁶ Por. (Bremer, 2015b, s. 102–103). Nie wchodzę tutaj w szczegółowe pytania (które można postawić Emmeche), takie jak: W jaki sposób należy te poziomy zindywidualizować? Na ile się one w sobie zawierają? czy: Gdzie podział ten ma swoje źródła?

mach niższych, ale równocześnie prawa na poziomie wyższym nie mogą być wydedukowane z praw na poziomie niższym (por. Emmeche, Køppe i Stjernfelt, 2000). Tym samym poziom wyższego nie da się po prostu wyeliminować. Alexander wprowadza „specjalne prawa zachowania” (*special laws of behavior*) obiektów emergentnych, Mill mówi o homo- i heteropatycznych skutkach, gdzie te ostatnie kierują się jakościowo nowymi, emergentnymi prawami. Broad mówi o „prawach przekraczających dany poziom” (*trans-ordinal laws*) (Broad, 1925, s. 77–78; por. Wong, 2010, s. 19), łączących mikrostrukturę jakiegoś systemu z jedną z jego z wyższych, niewyprowadzalnych cech.

4) Przyczynowość skierowana ku dołowi (lub przyczynowość odgórna). Jeśli obiekty, cechy emergentne się pojawiły, to należy zapytać, czy oprócz swego istnienia coś one powodują. Jeśli nie posiadają żadnego przyczynowego wpływu, to mają status epifenomenów, które z czasem można będzie wyeliminować. Epifenomenalizm jest formą nieinteraktywnego emergentyzmu (stany mentalne wyłaniają się ze stanów mózgu, lecz nie mają przyczynowego wpływu na zdarzenia w mózgu i na zachowania organizmu).

Zdaniem Kima istotne dla teorii emergencji jest to, iż „[...] cechy emergentne mają swoje własne [nowe] siły przyczynowe [...] nieredukowalne do sił przyczynowych swoich podstawowych elementów składowych” (Kim, 1999, s. 22). Zamiast „przyczynowości skierowanej ku dołowi” (*downward causation*) Sperry używa terminu „makrodeterminacja”. Oprócz

przyczynowości skierowanej ku dołowi teorie emergencji mówi o „przyczynowości oddolnej” (*upward causation*), traktującej o wpływie obiektów poziomu niższego na obiekty i cechy poziomu wyższego, a także o przyczynowości obecnej na danym poziomie złożenia. Jako przykład przyczynowości skierowanej ku dołowi można podać symbiozę w systemach biologicznych. Będąc zjawiskiem emergentnym, symbioza nie opiera się jedynie na prostym sumowaniu indywidualnych korzyści dla dwóch różnych organizmów. Symbioza wpływa na naturę, zmienia mikrostrukturę i fizjologię każdego z organizmów, często umożliwiając ich istnienie w otoczeniu, które inaczej byłoby dla nich (lub dla jednego z nich) niekorzystne bądź wręcz zabójcze. Otoczenie wpływa z kolei na każdy z organizmów. Filozof D. Campbell, prowadzący badania nad kompleksowymi systemami biologicznymi, był jednym z pierwszych, który użył nazwy „przyczynowość skierowana ku dołowi”.

Prawa obowiązujące na wyższym poziomie systemu selektywnego określają częściowo rozkład zdarzeń i materiału na poziomie niższym. [...] W biologii wszystkie procesy zachodzące na niższym poziomie hierarchii są ograniczone przez prawa wyższego poziomu i funkcjonują zgodnie z nimi⁷.

⁷ (Campbell, 1990, s. 4). Por. (Bremer, 2015b, s. 93–115), szerzej Campbella „epistemologię ewolucyjną” omawiam w: (Bremer, 2015a, s. 182–188).

Mówiąc o przyczynowości skierowanej ku dołowi, Campbell zaznacza, iż wszystkie procesy na niższym poziomie hierarchicznym są ograniczane przez procesy na poziomie wyższym i zachodzą w zgodzie z nimi. To samo odnosi do rozumienia selekcji biologicznej: jeśli mamy do czynienia z selekcją na poziomie wyższym, to prawa obowiązujące na poziomie wyższym są konieczne dla całkowitej specyfikacji zjawisk na obydwu poziomach: wyższym i niższym.

Pojęcie przyczynowości skierowanej ku dołowi stało się tematem licznych analiz filozoficznych. Przyjęcie tego typu przyczynowości jest dla wielu emergentystów kryterium oddzielającym słabe i silne wersje teorii emergencji. Słaba teoria emergencji jest najczęściej rozumiana jako wynik ograniczenia naszych ludzkich możliwości rozumowania, a tym samym jako wolna od ontologicznych zobowiązań. Tym samym możemy oczekiwać, iż wraz z rozwojem nauki i ludzkiego poznania owe epistemiczne (a tym samym subiektywne) cechy emergentne po prostu zostaną wyeliminowane. Silna emergencja jest obiektywna w tym, iż przyjmuje zmiany ontologiczne i obecność przyczynowości skierowanej ku dołowi, tj. wywieranej przez cechy emergentne.

3. R. Sperry – jaki rodzaj teorii emergencji?

W swoich pracach Sperry podkreśla, iż w jego ujęciu świadomość jest nową cechą w stosunku do cech nieświadomej ma-

terii mózgu, cechą wywierającą rodzaj „emergencyjnej” przyczynowości skierowanej ku dołowi, która nie jest w żadnym rozumieniu redukowalna do przyczynowej aktywności elementów organizmu (Sperry, 1991, s. 222). Ponadto zaznacza, iż świadomość, w uzupełnieniu jej skierowanej ku dołowi aktywności, determinuje także „interakcje obiektu jako całości na jego własnym poziomie” poprzez „sekwencyjne działania na tym samym poziomie” (por. Sperry, 1991, s. 225, por. także 1980, s. 200). W końcu jego stanowisko zawiera tezę o współzmienności, znaną z teorii superweniencji. Stwierdza on bowiem następującą zależność między świadomością a procesami neurofizjologicznymi: „[...] każdorazowo kiedy elementy stworzenia [...] są łączone w ten sam sposób w tych samych warunkach, [...] to wyemergują te same nowe cechy” (Sperry, 1980, s. 200).

3.1. Emergencja vs superweniencja

Można przyjąć, iż Sperry ma na myśli świadomość w sensie wspomnianych wyżej cech obiektów emergentnych. Jakkolwiek znane są także inne jego wypowiedzi o relacji przyczynowej między aktywnością obiektów emergencyjnych, a leżącymi u ich podstaw substratami. Stąd rodzą się więc kolejne pytania o to, jak rozumieć jego teorię emergencji i na ile jest ona spójna.

Po pierwsze, Sperry obstaje przy tezie, iż „nowe prawa” emergencyjnych interakcji, jak on je rozumie, nie naruszają ani

nie zmieniają praw rządzących cząstkami elementarnymi⁸. Pi-sze:

(C) [...] oczekiwanie, iż skierowana ku dołowi makrodetemi-nacja powinna wpłynąć na rekonfiguracje [...] w oddziaływa-niu neuronu na neuron związanej z nią subiektywnymi stanami mentalnymi – lub na mikroskładniki makrozjawiska – wskazuje na poważne niezrozumienie tego, czym jest interakcja emergen-cyjna. Od początku stale podkreślałem, iż zjawiska na wyższym poziomie, sprawując kontrolę skierowaną ku dołowi, nie prze-rywają ani nie interweniują w przyczynowe relacje zachodzące pomiędzy komponentami na niższym poziomie. Zamiast tego superwenują one w sposób, który pozostawia mikro-interakcje niezmiennymi (Sperry, 1991, s. 230).

Druga ogólna uwaga, pozwalająca na bardziej wyważoną interpretację jego powyższych tez, związana jest ze stwierdzeniem, iż cechy emergencyjne i przyczynowość emergen-cyjna są „wszechobecne, prawie uniwersalne” w przyrodzie⁹. Ich występowanie nie jest ograniczone do organizmów biolo-

⁸ Por. (Sperry, 1980, s. 201–202). „I have stressed that the term ‚interaction’ is not to imply that the mental forces intervene in, or disturb or disrupt the physiology or chemistry of the brain, but only that they supervene, like TV programs over the electronic processes. No inter-ruption or violation of the laws of physiology is involved” (Sperry, 1980, s. 202; por. O’Connor, 1994, s. 21–22).

⁹ „Emergent causation of this kind is ubiquitous, almost universal. Its manifestation differs in different types of systems having different forms of part-whole relations” (Sperry, 1991, s. 225).

gicznych, lecz pojawiają się one także w fizyce i chemii. Czy tym samym nie można mówić o silnej emergencji, aby mówić o zjawiskach na poziomie fizyki? Czy tym samym Sperry nie ma na myśli pogodzenia swojej tezy z mikrodeterminizmem dółgóra (*bottom-up*)?

Z jednej strony takie rozumowanie na temat stanowiska Sperry'ego wydaje się nieporozumieniem. Że jest ono dość powszechne, można wyjaśnić wysoce nowym charakterem Sperry'ego pojęcia emergencji, które odgrywa krytyczną rolę w jego interesującej, lecz trudnej i może nieprecyzyjnej filozofii przyrody. Owa ogólna teza dochodzi do głosu w jego *In defense of mentalism and emergent interaction*.

Z drugiej strony proponowana w (C) koncepcja przyczynowości skierowanej ku dołowi wydaje się atrakcyjna, dostarcza bowiem każdemu tego, czego oczekuje (Hasker, 2010, s. 88–89). Fizykalista może zachować jedność i uniwersalną dostępność fundamentalnych praw fizyki, antydualista może się poczuć uspokojony brakiem obecności duszy czy podobnych duchowych cech lub obiektów, natomiast emergentysta będzie zadowolony, słysząc o przyczynowości skierowanej ku dołowi.

Co z dalszym stwierdzeniem, że zjawiska wyższego poziomu „superwenują w sposób, który pozostawia mikrointerakcje niezmiennymi” (C)? Trudno tutaj jednoznacznie ocenić analizy Sperry'ego. Można powiedzieć, iż odrzuca on ujęcie emergencji, zgodnie z którym komponenty na niższym poziomie – dawniej operujące niezmiennie, szczególnie w specyficznym lokalnym kontekście – zachowują się różnie w zupełnie ta-

kiego samego rodzaju lokalnym kontekście, gdy ten ostatni jest, znowu, osadzony w kompleksowym systemie okazującym występowanie emergencji. Raczej, według niego, jest tak, że prawa mikrofizyczne nie są adekwatne dla takich kompleksowych sytuacji ani nie mogą być do nich zastosowane, ponieważ emergent determinuje (w dużej części) relacyjny kompleks, który nie może być adekwatnie opisany w terminach dotyczących elementów niższego poziomu i ich mikrorelacji.

3.2. Rozumienie „cech emergentnych”

Bezpośrednio po zacytowanym fragmencie (C), w którym twierdzi, iż przyczynowość skierowana ku dołowi nie narusza przyczynowych relacji na niższym poziomie złożenia, Sperry podaje swój znany przykład z kołem:

(D) Owe mikroakcje i wzajemne relacje wszystkich infrastrukturalnych komponentów zostają wplecione w większy, ogólny system jako całość i w konsekwencji zaraz potem poruszane i niesione przez cechy dynamiczne tego systemu... które [to cechy, J.B.] mają ich własne nieredukowalne, należące do wyższego poziomu formy przyczynowej interakcji.

Molekuła w toczącym się kole, przykładowo, chociaż zachowuje swoje zwykle inter-molekularne relacje w kole, jest w tym samym czasie, z punktu widzenia obserwatora zewnętrznego, prowadzona przez szczególne wzorce w przestrzeni i w czasie, determinowane przez ogólne cechy koła jako całości. Nie musi

być „rekonfiguracji” jednej molekuly w stosunku do drugiej wewnątrz samego koła. Jakkolwiek relatywnie do reszty świata, wynikiem jest wielka „rekonfiguracja” przestrzennoczasowa, są nią trajektorie wszystkich komponentów w infrastrukturze koła (Sperry, 1991, s. 230).

Zjawiska zachodzące na wyższym poziomie i sprawujące kontrolę skierowaną ku dołowi nie naruszają przyczynowych relacji określających aktywność komponentów tego poziomu (Clayton, 2004, s. 139–140). Zamiast tego superwenują one w sposób pozostawiający niezmiennymi interakcje na niższym poziomie.

Dwie racje przemawiają, moim zdaniem, za tym, że w przypadku cech mentalnych upada analogia z kołem, jako przykład emergencyjnej przyczynowości skierowanej ku dołowi. Zauważmy po pierwsze, iż „ogólne cechy koła jako całości” (por. (D)) nie są cechami emergentnymi wyłonionymi przez obiekty subwenantne (z niższego poziomu). Są one raczej strukturalnymi kompleksami konstytutywnie superwenującymi, tzn. są tworzone przez obiekty podstawowe. Odnośnie do wpływu koła na specyficzną molekułę mamy do czynienia z przyczynowością zewnętrzną–wewnętrzną, a nie z emergencyjną przyczynowością skierowaną ku dołowi. Po drugie „rekonfiguracja» przestrzenno-czasowej trajektorii” jakiejś specyficznej molekuly nie jest cechą emergentną, a przynajmniej nie w ten sposób, w jaki, zgodnie z tym, co podałem wyżej, traktujemy cechy emergentne. Cechy mentalne są emergentne w sensie istotnie nowego rodzaju

cech, które w żaden sposób nie charakteryzują poziomu podstawowego. Natomiast owa „rekonfigurowana” trajektoria jest jedynie nową kombinacją cech przestrzennych i czasowych, które już charakteryzują obiekty subwenantne. Tym samym przykład z kołem jest raczej przykładem interakcji przyczynowej typu zewnątrz–wewnątrz, z powodu poszerzonych relacji strukturalnych na poziomie podstawowym (molekularnym).

Cytat (D) można skomentować za pomocą innych słów Sperry'ego, pochodzących z tego samego artykułu:

(E) [...] z wyjątkiem skrajnie prostych systemów, nigdy nie możemy znać „relacji zachodzących pomiędzy” komponentami. Te obejmują ogromnie kompleksowe przestrzenne i czasowe schematy (wzorce) oraz faktory form, które z kolei obejmują multi hierarchie, dynamicznie otwarte struktury, które niosą z sobą wpływ przyczynowo-kontrolny. Ani obecna nauka, ani matematyka nie mogą poradzić sobie z tymi przestrzenno-czasowymi faktoremami. Żadne istniejące prawa ani zasady nie są tutaj adekwatne (Sperry, 1991, s. 235).

(F) Mówimy tutaj o kodzie mózgu, fizjologicznym języku półkul mózgowych. Mamy prawo przypuszczać, iż ten język jest zbudowany na impulsach nerwowych, [...] ten kod składa się z przestrzenno-czasowych schematów pobudzenia. Gdy jednak mamy sobie wyobrazić kluczowe zmienne tych schematów, korelujące ze zmiennymi, które znamy z wewnętrznych świadomych przeżyć, to jesteśmy beznadziejnie zagubieni (Sperry, 1965, s. 76).

Z jednej strony należy założyć, iż nie tylko obecne prawa dla niższego poziomu nie są adekwatne dla opisu całego systemu, lecz potrzebowałibyśmy dodatkowych praw do opisanie relacji między poziomami. Z drugiej strony cytaty (E) silnie sugeruje, iż cechy emergentne kompleksowego systemu odgrywają dużą rolę w determinowaniu całościowej relacyjnej struktury, w której tworzące ten system molekule są osadzone. Tak więc rodzi się pytanie, w jakim sensie cechy emergentne nie wpływają na „rekonfigurację” tychże komponentów, jak to Sperry wcześniej stwierdził.

Można, moim zdaniem, przyjąć, że Sperry zakłada, iż obecność cechy emergentnej i wynikająca z tego nowa relacyjna struktura są urzeczywistniane jednocześnie, i dlatego nie są one w relacji: przyczyna → skutek. Jeśli tak, to można przyjąć, że cecha emergentna strukturalnie determinuje relacyjną strukturę systemu. Stąd jego uwaga, że:

(G) [...] mikrodeterminizm zostaje tym samym nie tyle odrzucony lub sfalsyfikowany, ile uzupełniony (Sperry, 1991, s. 230–231).

Sposób tego uzupełnienia przypomina, moim zdaniem, ten, z jakim mamy do czynienia w przypadku komórki: cechy komórki superwenują na cechach tworzących ją molekuł, więc są one diachronicznie zdeterminowane przez holistyczny stan komórki. Jej ogólny stan w danym momencie determinuje (poprzez procesy molekularne) właśnie procesy molekularne zachodzące w kolejnym momencie, w którym procesy superwenują

„ogólny stan” komórki w tym momencie, który determinuje (poprzez zdarzenia na mikropoziomie) molekularne procesy w następnym momencie itd. Pytaniem pozostaje, na ile odpowiednio do (B) oraz (G) Sperry przyjmuje przyczynową zamkniętość obszaru fizycznego.

Oczywiście, obecność cech emergentnych i skierowana ku dołowi kontrola ze strony cech emergentnych implikuje niepowodzenie analiz ogólnego stanu obiektu lub systemu jako zdeterminowanego przez cechy i mikrorelacje jego części, a to byłoby zwykle uznane za główny komponent tezy mikro-determinizmu. W końcu ten zmodyfikowany szerszy kontekst wpływa na typ interakcji przyczynowych, w jakie obiekt jako całość wchodzi z otaczającym go środowiskiem.

3.3. Emergencja świadomości

Sperry krótko opisuje sposób, w jaki jego rozumienie emergencji można wykorzystać w mówieniu o świadomości.

(H) Zamiast postępować zgodnie ze zwykłymi podejściami próbującymi włączyć skutki do ustalonego łańcucha mikroprzyczyn, impas logiczny został rozwiązany przez pozostawienie mikroprzyczynowości nienaruszonej, lecz umieszczenie jej w wyższych procesach mózgowych posiadających cechy subiektywne, wraz z ich własnym wyższopoziomowym rodzajem przyczynowości, przez którą owe umieszczone tam mikro zdarzenia są później kontrolowane.

[...] Podobnie pobudzenie komórek kory jest przypisane do wyższych dynamik przelotnych wzorców aktywności poznawczej. Ciąg myśli, w którym jedna mentalna myśl pobudza inną, zależy przez cały czas od jego neurokomórkowej fizjologii i biochemii. Niemniej jednak, podobnie jak molekuly w płynących falach w cieczy, aktywność komórki mózgowej jest podmiotem dynamik wyższego poziomu, które determinują całkowite schematy neuronalnego odpalania, relatywnie nie do innych zdarzeń w tym szczególnym procesie mózgowym, lecz do reszty organizmu i jego otoczenia (Sperry, 1991, s. 231–232).

Komentując powyższy cytat (H), Ch. Wright zauważa, iż jakkolwiek tezy Sperry’ego mogą być prawdziwe, to pozostawiają nierozwiązaną podstawową kwestię problemu umysła (por. Wright, 2013, s. 81–82). Nie pozwalają one na przewyżczenie luki pomiędzy tym, co prywatne, a tym, co publiczne. Niemniej jednak błędem byłoby całkowite odrzucenie emergentyzmu z tego powodu. Nie jest bowiem tak, iż emergentyści w gruncie rzeczy niczego nie wyjaśniają. Choć nie potrafią oni rozwiązać intuicyjnego paradoksu emergowania świadomego umysłu z materii mózgu, to nie potrafi tego także uczynić inna teoria. Jedną z zalet teorii odwołującej się do emergencji (w stosunku do innych teorii umysłu – np. teorii redukcjonistycznych lub funkcjonalistycznych) jest to, iż uznaje ona swoje granice wyjaśniania, przyznając niejako, iż problem ten jest prawdziwym problemem.

Jak Sperry przyznaje, jego poglądy o naturze świadomości są po prostu szeroką propozycją badawczą. Ich brak precyzji i niejasności wynikają z braku bardziej rozwiniętych teorii możliwych mechanizmów kontroli skierowanej ku dołowi nad elektrodynamicznym aktualnym przepływem materii i informacji w systemie mózgowym (por. wyżej (F)) (Sperry, 1991, s. 231).

Biorąc pod uwagę neurobiologiczne nastawienie Sperry'ego i przytoczone przez mnie powyżej cytaty, jakkolwiek oceniane przez filozofów lub naukowców, powinny były one pokazać, że niejako w naturze rzeczy leży, iż wpływ poszczególnych emergentnych cech jako emergentów może być zrozumiany tylko wtedy, gdy dokładniej poznamy prawa, relacje na poziomie mikrostruktur leżących u podstaw świadomości. Jest to teza, której krytycy Sperry'ego idei świadomości nie potrafią uchwycić, być może dlatego, że nie została ona dobrze ujęta przez teoretyków emergencji. Teza ta wskazuje na kierunek dalszych badań empirycznych i analiz filozoficznych nad świadomością, które być może umożliwią przejście pomiędzy kartezyjskim dualizmem a materialistycznym mikrodeterminizmem. Czy problem świadomego umysłu i jego związku ze strukturami mózgowymi da się rozwiązać metodami współczesnych nauk empirycznych? Czy da się wyjaśnić, dlaczego holistyczny stan neuronalnych interakcji w relatywnie prostym systemie nie wykazuje cech bycia świadomym, podczas gdy holistyczny stan takich interakcji w systemie złożonym, takim jak ludzki mózg, jest świadomy? Fakt, iż przyjmowana

tutaj zmiana ilościowa tworzy zmianę jakościową, jest trudny do przeniknięcia. Jak Sperry sam zauważa

(I) [...] jego centralna teza podkreśla, iż subiektywnie przeżywany mentalny obraz z jego jednością, ciągłością i stałością skrajnie różni się od odpowiadającego mu procesu mózgowego, który jest rozproszony, nieporównywalny, często przestrzennie i czasowo złamany i jest przeobrażonym zbiorem neuronalnych zdarzeń w mózgu, o którym się przypuszcza, iż generuje przeżycia subiektywne (Sperry, 1991, s. 233).

Na ile można się zgodzić ze wspomnianą na wstępie kwestią, iż Sperry był dualistą? Sperry preferuje używanie terminu „dualizm” dla teorii świadomości odwołujących się do totalnie różnej od ciała, niematerialnej, wiecznej duszy (por. Stover i Erdmann, 2000, s. 139–142). Negując tak rozumiany dualizm, sam wybiera inną drogę – redefiniuje monizm tak, iż zawiera on mentalne jakości jako emergentne, dodatkowe, „uzupełniające” zdarzenia neuronalne. Czyni to z nadzieją, iż jakości te dadzą się wkomponować w teorię naukową.

4. Podsumowanie

Zdaniem emergentysty Sperry’ego świadomość nie jest wielkością strukturalną, niemniej jednak wywiera przyczynowy wpływ na zdarzenia w mózgu. Jeśli go wywiera, to musi to

czynić w sposób inny od tego, jaki znamy na poziomie mikro. Podkreśla przy tym, iż jego teoria świadomości nie jest dualistyczna, świadomy umysł jest emergentną cechą funkcji mózgu, w swoim istnieniu zależną od złożonych procesów zachodzących w mózgu. Jego rozumienie emergencyjnej przyczynowości skierowanej ku dołowi odpowiada terminowi używanemu przez D. Campbella, na co zresztą sam wskazuje.

1. Proponowana w (C) oraz (D) koncepcja przyczynowości skierowanej ku dołowi jest po części dezorientująca, zagmatwana. Nie podaje ona uzasadnionego wsparcia dla tych, którzy chcą uniknąć przyczynowego redukcjonizmu. Z jednej strony myśl o rzeczywistości jako zorganizowanej w hierarchiczne poziomy jest zrozumiała i nie widać powodu, aby ją odrzucać. Z drugiej strony mówienie przez emergentystów o „poziomach” może łatwo doprowadzić do myślenia o różnych stopniach jako o konkretnych i zdolnych do wywierania różnego rodzaju przyczynowego wpływu. Czegoś w rodzaju biura dyrekcji na najwyższym poziomie wieżowca, z którego płyną instrukcje do pracowników niższych pięter. Instrukcje z wyższego poziomu zmieniają przebieg działania osób na niższym poziomie. Tego typu obraz jest błędny. Emergentne poziomy jako wyższe to posiadające nowe cechy poziomy organizacji, a nie konkretne, oddzielone od siebie obiekty (por. (I)). Jedyne konkretne obiekty tworzą ostateczne konstytuenty. Jedyne przyczynowo-sprawcze wpływy to te, które pochodzą od tych konstytuentów. Jeśli wyższy poziom organizacji ma powodować jakąś różnicę, może tego do-

konać tylko przez wywarcie skierowanego ku dołowi wpływu na interakcje konstytuentów na poziomie podstawowym. Nie może tutaj chodzić o wpływ przyczynowo-sprawczy, gdyż taki jest zabroniony przez Sperry'ego tezę mikrodeterminizmu. Poszukiwany wpływ można rozumieć w sensie umiarkowanej przyczynowości skierowanej ku dołowi (Bremer, 2015b, s. 105–107).

2. Prawdą jest (cytat (D)), iż molekuly, jako części toczącego się koła, poruszają się inaczej w relacji do otaczającego świata, aniżeli gdyby były one częścią obręczy koła leżącej na ziemi. Lecz makroskopowe ruchy koła jako całości można dobrze wyjaśnić w sposób redukcjonistyczny, w zgodzie z mikrodeterminizmem typu dół–góra. Analogia z kołem z trudnością opisuje (bo raczej nie wyjaśnia) zależności między świadomością a procesami mózgowymi. Przyczynowość skierowana ku dołowi, tak jak Sperry ją rozumie, nie potrafi jednoznacznie zapobiec redukcjonizmowi przyczynowemu. Brakuje też jednoznacznej odpowiedzi na problem naświetlony w cytacie (E), dotyczący rozumienia relacji między i) mikrokomponentami a ii) dynamicznie otwartymi strukturami (stanami świadomymi). Sperry zdaje się utożsamiać i) z ii). Można jedynie ufać, iż jeśli neurofizjologia i inne neuronauki będą się wciąż rozwijać, to zbliżymy się do odpowiedzi na pytanie o redukcjonizm przyczynowy.

3. Istotne pytanie brzmi: w jaki sposób cecha emergentna, taka jak świadomość, wchodzi w interakcję z fizykalnie funkcjonu-

jącym mózgiem? Emergentne cechy mentalne superwenują na fizykalnie funkcjonujących neuronach mózgu, a neurony te są niesione przez owe cechy mentalne w analogiczny sposób, w jaki molekuly koła są niesione przez toczące się koło. Ruch koła jest możliwy ze względu na jego okrągłość, natomiast całościowość i subiektywność mentalnych stanów świadomości superwenuje na fizykalnych cechach mózgu. Niemniej jednak pytanie o naturę stanów mentalnych w ich powiązaniu z mózgiem, o mechanizm stojący za ich wyemergowaniem ciągle czeka na odpowiedź. Można powiedzieć, iż Sperry'ego teoria świadomości opiera się na naszej nieznajomości mechanizmów łączących cechy mentalne z aktywnością mózgu (por. (F)).

4. W jakim stopniu można się zgodzić z krytyką interakcyjnego emergentyzmu proponowaną przez Pirolliego, Goela czy Hergenhahna? Krytyka ta, jeśli się ją podtrzyma, z pewnością zanegowałaby spojrzenie na świadomość jako na cechę emergentną lub na wielkość emergentną oddziałującą przyczynowo. Przyjmując stanowisko Sperry'ego, można odpowiedzieć, iż w gruncie rzeczy przedstawia on model przyczynowości skierowanej ku dołowi, który: i) wydaje się potocznie zrozumiały, zgodny z potocznym rozumieniem spostrzegania czy działania, ii) z pewnością nie został zakwestionowany przez badania empiryczne. Sperry doda ponadto, iż zarówno w latach 60. miniego wieku, jak i dzisiaj nie ma wystarczającej wiedzy o tym, jak mózg ostatecznie funkcjonuje, ani o tym, jak świadomość wchodzi w interakcje z fizycznym mózgiem, ani też o tym, że

– jak się tego broni w stanowiskach materialistycznych – świadomość nie odgrywa żadnej roli w operacjach mózgu. Trudność w tym, jak powie Sperry (por. (E)), iż owe podstawowe procesy w mózgu, z którymi świadomość jest prawdopodobnie skojarzona, nadal nie są po prostu przez nas zrozumiane. Sperry sugeruje jednak poziom, na którym należy szukać rozwiązania (por. (F)). W wielu przypadkach jesteśmy nadal zagubieni, nawet dzisiaj, prawie pół wieku po publikacjach Sperry’ego, chociaż dokonano dużego postępu w badaniach nad systemem nerwowym i w neuroobrazowaniu mózgu. Sperry odrzuca tezę, iż klucz do zrozumienia świadomego ludzkiego umysłu można znaleźć w zredukowaniu go do jego atomowych lub kwantowych komponentów.

Tym samym rozumiałe jest, iż odrzuca on kartezjański dualizm, zgodnie z którym substancja mentalna nie ma nic wspólnego ze światem fizycznym, a więc nauka o mózgu nigdy nie będzie mogła nic nam powiedzieć o naturze świadomego umysłu. I odwrotnie, nauki ściśle bazujące jedynie na stochastycznych regularnościach neuronalnych odpalań nigdy nie będą mogły wyjaśnić myśli, gdyż nie pozostawiają miejsca dla odgórnego, przyczynowego oddziaływania na mózg i centralny system nerwowy.

5. Na pytanie o skuteczne zintegrowanie przez Sperry’ego świadomości z naukowym obrazem świata można odpowiedzieć innym pytaniem: W jaki sposób tego typu integracja wpłynęłaby na podejmowane przez nas decyzje w realnym świecie: w życiu prywatnym oraz we wchodzeniu w relacje społeczne? Sper-

ry'ego teoria świadomości jest rozwiązaniem przybliżonym i służy interpretacji nowych faktów i zależności między nimi oraz formułowaniu dalszych hipotez. Biorąc pod uwagę Poppera schemat rozwiązywania problemu: $P1 \rightarrow TS \rightarrow EE \rightarrow P2$, można powiedzieć, iż emergencyjne rozwiązanie problemu świadomości jest obciążone nowymi, lecz być może mniej uporczywymi problemami.

Bibliografia

- Bak, P., 2008. How nature works. W: R. Dawkins (red.), *The Oxford book of modern science writing*. Oxford: Oxford University Press, s. 273–276.
- Blitz, D., 1992. *Emergent evolution: Qualitative novelty and the levels of reality*. Dordrecht: Kluwer Academic.
- Bremer, J., 2001. *Problem umysł-ciało: wprowadzenie*. Wyd. 2 poszerz. Kraków: Wyższa Szkoła Filozoficzno-Pedagogiczna „Ignatianum” – WAM.
- Bremer, J., 2005. *Jak to jest być świadomym: analityczne teorie umysłu a problem neuronalnych podstaw świadomości*. Umysł: prace z filozofii i kognitywistyki. Warszawa: Wydaw. Instytutu Filozofii i Socjologii Polskiej Akademii Nauk.
- Bremer, J., 2006. Uwagi do uwag Pana dra Roberta Poczobuta. *Diametros*, [online] 7. Dostępne na: <<http://www.diametros.iphils.uj.edu.pl/serwis/?l=1&p=deb5&m=17&ii=386>> [ostatni dostęp 19.04.2017].
- Bremer, J., 2014. *Osoba – fikcja czy rzeczywistość?: tożsamość i jedność Ja w świetle badań neurologicznych*. Wyd. 2. Kraków: Aureus.
- Bremer, J., 2015a. Epistemologia naturalistyczna: Między filozofią a kognitywistyką. W: S. Janeczek, A. Starościc (red.), *Epistemologia*. Dydaktyka Filozofii. Lublin: Wydawnictwo KUL, s. 171–198.

- Bremer, J., 2015b. Przyczynowość skierowana ku dołowi i jej rozumienie w biologii. *Poznańskie Studia z Filozofii Nauki (Aktywność poznawcza podmiotu w perspektywie badań kognitywistycznych)*, [online] 24(1), s. 93–115. Dostępne na: <http://poznstud.home.amu.edu.pl/pliki/tom24nr1/PS_numer%203_Bremer.pdf> [ostatni dostęp 18.07.2017].
- Broad, C.D., 1925. *The mind and its place in nature*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Campbell, D.T., 1990. Levels of organization, downward causation, and the selection-theory approach to evolutionary epistemology. W: G. Greenberg, E. Tobach (red.), *Theories of the evolution of knowing*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, s. 1–17.
- Clayton, P., 2004. *Mind and emergence: From quantum to consciousness*. Oxford: Oxford University Press.
- Duncan, R., Weston-Smith, M., 1977. *The encyclopaedia of ignorance*. Oxford: Pergamon Press.
- Emmeche, C., Køppe, S., Stjernfelt, F., 2000. Levels, emergence, and three versions of downward causation. W: *Downward causation. Minds, bodies and matter*, Aarhus: Aarhus University Pres, s. 13–34.
- Hasker, W., 2010. On behalf of emergent dualism. W: J.B. Green (red.), *In search of the soul: Four views of the mind-body problem*, 2. wyd. Eugene/OR: Wipf and Stock Publishers, s. 75–114.
- Hergenhahn, B.R., Henley, T.B., 2014. *An introduction to the history of psychology*. Wadsworth: Cengage Learning.
- Kim, J., 1990. Supervenience as a philosophical concept. *Metaphilosophy*, 21(1–2), s. 1–27.
- Kim, J., 1999. Making sense of emergence. *Philosophical Studies (An International Journal for Philosophy in the Analytic Tradition)*, 95(1), s. 3–36.
- Lewes, G.H., 1875. *Problems of life and mind*. 1st series, Vol.2 1st series, Vol.2. London: Trübner.
- McLaughlin, B.P., 1992. The rise and fall of British emergentism. W: A. Beckermann, H. Flohr, J. Kim (red.), *Emergence or reduction?: Essays on the prospects of nonreductive physicalism*. Berlin: W. de Gruyter, s. 49–93.

- McLaughlin, B.P., 2001. Emergentism. W: F.C. Keil, R.A. Wilson (red.), *The MIT encyclopedia of the cognitive sciences*. Cambridge, MA – London: The MIT Press.
- Mill, J.S., 1962. *System logiki dedukcyjnej i indukcyjnej*. T. 1. Biblioteka Klasyków Filozofii. Tłum. C. Znamierowski. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Niemann, H.-J., 2014. *Karl Popper and the two new secrets of life including Karl Popper's Medawar Lecture 1986 and three related texts*. Tübingen: Mohr Siebeck.
- O'Connor, T., 1994. Emergent properties. *American Philosophical Quarterly*, 31(2), s. 91–104.
- Pirolli, P., Goel, V., 1990. You can't get there from here: Comments on RW Sperry's resolution of science and ethics. *American Psychologist*, 45, s. 71–73.
- Skirl, H., 2009. *Emergenz als Phänomen der Semantik am Beispiel des Metaphernverstehens*. Tübingen: Gunter Narr Verlag.
- Sperry, R.W., 1964. *Problems outstanding in the evolution of brain function* (James Arthur lecture on the evolution of the human brain, no. 33, 1964). New York, NY: American Museum of Natural History.
- Sperry, R.W., 1965. Mind, brain, and humanist values. W: J.R. Platt (red.), *New views of the nature of man*. Chicago: University of Chicago Press, s. 71–92.
- Sperry, R.W., 1980. Mind-brain interaction: Mentalism, yes; dualism, no. *Neuroscience*, 5(2), s. 195–206.
- Sperry, R.W., 1991. In defense of mentalism and emergent interaction. *Journal of Mind and Behavior*, 12(2), s. 221–245.
- Sperry, R.W., 1993. A mentalist view of consciousness. *Social Neuroscience Bulletin*, 6(2), s. 15–19.
- Stephan, A., 1992. Emergence – a systematic view on its historical facets. W: A. Beckermann, H. Flohr, J. Kim (red.), *Emergence or reduction?: Essays on the prospects of nonreductive physicalism*. Berlin: W. de Gruyter, s. 25–48.
- Stover, D., Erdmann, E., 2000. *A mind for tomorrow: facts, values, and the future*. Westport, Conn.: Praeger.

- Wong, H.Y., 2010. The secret lives of emergents. W: A. Corradini, T. O'Connor (red.), *Emergence in science and philosophy*. New York: London: Routledge, s. 7–24.
- Wright, C., 2013. *Notes of an underground humanist*. Bradenton, Fl.: BookLocker.com, Inc.

Stulecie kosmologicznych prac Einsteina i de Sittera

Robert Janusz

Akademia Ignatianum w Krakowie

The centenary of Einstein's and de Sitter's cosmological works

Abstract

In the article some philosophical issues regarding the emergence of the modern cosmology are discussed. The mathematical field equations enabled for the first time in the history to set a cosmological problem as a physical one. The “power” of mathematics was not easy to be read by the pioneers of cosmology. Also the philosophical perspective on the Universe changed in front of this “power” expressed by Einstein and de Sitter in their models. In the paper we propose also some new ideas related to the mathematics of cosmology as a physical science.

Keywords

cosmology; model; mathematics; Albert Einstein; Willem de Sitter

W roku 2017 obchodzimy rocznicę stulecia ogłoszenia dwóch prac kosmologicznych: Alberta Einsteina (1879–1955) przełomowych *Rozważań kosmologicznych na temat ogólnej teorii względności* (Einstein, 1917) oraz Willema de Sittera (1872–1934) *O względności bezwładności* (Sitter, 1917)¹.

Albert Einstein wygłosił swoje *Rozważania* 8 II 1917 roku na posiedzeniu Akademii Nauk w Berlinie, rozpoczynając tym samym nową naukę fizyczną, jaką stała się kosmologia relatywistyczna. Za M. Hellerem (1985) przypomnijmy ważne wydarzenia poprzedzające ten historyczny moment.

W roku 1905 Einstein opracował podstawy szczególnej teorii względności, podając właściwe znaczenie fizyczne dla wyników i ścieżek badawczych, które do niej zmierzały². W 1908 roku Hermann Minkowski (1864–1909), na 80. Zebraniu Niemieckich Przyrodników i Lekarzy w Kolonii wprowadził pojęcie czterowymiarowej czasoprzestrzeni, geometryzując w ten sposób szczególną teorię względności. Einstein podjął tę ideę przeczuwając, że po wprowadzeniu materii do takiej czasoprze-

¹ Artykuł ten był szeroko omawiany na zajęciach ks. prof. Michała Hellera (Papieska Akademia Teologiczna, 1994). W Ośrodku Badań Interdyscyplinarnych PAT przykładano dużą wagę do analizy oryginalnych prac wielkich uczonych, gdyż w rozważanych przez nich podstawowych kwestiach naukowych często kryją się głębokie wątki filozoficzne (o uniwersalnym znaczeniu). Zasadnicze informacje kosmologiczne, o ile nie zaznaczono inaczej, zaczerpnięte są z: M. Heller, *Ewolucja kosmosu i kosmologii, passim*.

² Uczonymi, którzy byli krok od odkrycia tej teorii byli: Hendrik A. Lorentz (1853–1928) oraz Henri Poincaré (1854–1912).

strzeni, pojawi się kwestia pola grawitacyjnego. Pole elektromagnetyczne, z analizy którego narodziła się szczególna teoria „absolutyzująca” stałość prędkości światła (a więc względność czasu i przestrzeni), domagało się płaskiej czasoprzestrzeni Minkowskiego, zatem pole grawitacyjne mogłoby domagać się jakiejś innej „geometryzacji” czasoprzestrzennej.

Poznając geometrię Riemannowską i rachunek tensorowy, Einstein wszedł na właściwą ścieżkę badawczą. W 1915 roku napisał, stopniowo poprawiane, poprawne równania pola i dopracował swoją ogólną teorię względności, w której fizyczne pole grawitacyjne było powiązane z krzywizną czasoprzestrzeni. Równania te można zapisać na kilka sposobów, ale w poniżej postaci widać interakcje członów geometrycznego („metafizycznego”) i fizycznego (materii).

$$R^{uv} - \frac{1}{2} Rg^{uv} = \kappa T^{uv}.$$

Dzięki temu, że można te równania w przybliżeniu uznać za Poissonowskie, daje się przez to wyznaczyć stałą $\kappa = -8\pi G/c^4$. Gdyby nie wpływ de Sittera, Einstein chyba nigdy nie napisałby swojej pracy. Wcześniej twórca ogólnej teorii względności polemizował z de Sitterem na temat względności masy (zasady Macha), uważając, że ogólna teoria względności w modelu statycznym zawiera w sobie ową zasadę. De Sitter był przeciwnego zdania.

Einsteinowskie *Rozważania* nie przypominają traktatu matematycznego, lecz raczej filozoficzny. M. Heller zauważa, że

wyrastały one z Macha krytyki Newtonowskiej mechaniki oraz ze Spinozowskiego racjonalizmu. W mechanice klasycznej prędkość jest względna, ale przyspieszenie takim nie jest. Pozytywista Ernst Mach (1838–1916) chciał wyeliminować „metafizyczne” pojęcia nieempiryczne z nauki, do których zaliczał absolutny czas i przestrzeń. Wedle tego empiriokrytyka, bezwładność nie powinna być określana wykorzystując Newtonowskie przyspieszenie (odnoszące się do absolutnej przestrzeni), ale względem całej materii Wszechświata. Wcześniej Gottfried W. Leibniz (1646–1716) uważał, że czas i przestrzeń są relacjami w materialnym świecie, nie miałyby więc jakichś metafizycznych, absolutnych cech. Jednakże racjonalistyczny panteizm osiągnął szczyt w poglądach Barucha de Spinozy (1632–1677), który w filozofii uprawianej *more geometrico* doszedł do monizmu substancji, uznając Wszechświat za boga. Taki nieskończony Wszechświat byłby twórcą samego siebie na zasadach ściśle deterministycznych, wypływających z najogólniejszych idei filozoficznych. Einstein, za Spinozą, uważał Wszechświat za logicznie zamknięty, zaś za Machem sądził, że bezwładność (masa) pochodzi od oddziaływań danego ciała z wszystkimi innymi, czyli bezwładność nie byłaby własnością ciała, ale niejako relacją z otoczeniem. „Zasada Macha” poważnie inspirowała więc powstanie Einsteinowskiej ogólnej teorii względności.

Einstein był przekonany, że w ogólnej teorii względności zasada Macha jest spełniona, gdyż geometria czasoprzestrzeni zależy od materii. Bardzo się tu mylił, co wykazał mu właśnie de Sitter. Poniżej prześledzimy bardziej szczegółowo oba podejścia wyra-

żone w prezentowanych pracach oraz dołączymy do nich niektóre bardziej współczesne kwestie filozoficzne, które te prace stawiają.

1. Einsteinowska kosmologia relatywistyczna

Nie ulega wątpliwości, że ogólna teoria względności była genialnym dziełem Einsteina, któremu udało się dodatkowo po raz pierwszy sformułować problem kosmologiczny jako problem fizyczny. Dysponował on swoją teorią, w ramach której mógł sensownie zapytać o krzywiznę globalną, o geometrię Wszechświata jako całości. Jest to o tyle zaskakujące, że poczynione przy tym drastyczne (jak na skalę problemu) przybliżenia mające opisać cały fizyczny Wszechświat, są nader proste: jednorodność rozkładu materii (tzn. rozmieszczenie gwiazd uśrednione na dużych obszarach przestrzennych) i izotropowość (tzn. niezależność od kierunków w tejże przestrzeni), a baza empiryczna do wyjaśnienia – nader skąpa (przesunięcie prążków widmowych ku czerwieni, reliktowe promieniowanie tła, wiek meteorytów); dodajmy, że teoria powinna podać także wyjaśnienie paradoksu Olbersa (tzn. dlaczego jednorodny Wszechświat nieskończony powinien świecić także nocą).

Einstein zastosował swoje równania do problemu kosmologicznego w 1917 r., wkomponowując w nie, jak powiedziano ogólnie, swoje poglądy filozoficzne. Uważał mianowicie, że Wszechświat jest niezmienny w czasie w tym sensie, że „filozofia” równań ogólnej teorii (jej równowaga między przestrze-

nią a materią) wymagała „korekty” polegającej na usunięciu kolapsu grawitacyjnego „gazu” gwiazd. Einstein dopisał więc do równań ogólnej teorii względności tzw. człon kosmologiczny odpowiedzialny za „odpychanie” (umożliwiłaby to np. jakaś hipotetyczna „ujemna masa”). Dopisanie członu z (małą – aby była zgodna z Układem Słonecznym) stałą λ nie zmienia dywergencji tensora T^{uv} .

Po odkryciu przez Hubble’a ucieczki galaktyk, czyli przestrzennego rozszerzania się Wszechświata, Einstein uznał człon kosmologiczny za największy błąd swojego życia. W 1932 roku, wraz z de Sitterem, zaproponowali płaski model (w sensie Friedmannowskich rozwiązań kosmologicznych) (por. Foster, Nightingale i Lipiński, 1985, s. 188n).

Model Einsteina-de Sittera wyróżniał się estetyką, która nie wyjaśnia jednak, dlaczego Wszechświat miałby takim być, jak przyjęli jego autorzy. Kosmos z przestrzenią Euklidesową jest jedynym spośród nieskończonego wielu z krzywiznami ujemnymi lub dodatnimi. Nasz Wszechświat, który – jak dziś wiemy – leży na granicy otwartych i zamkniętych, domaga się także naukowego uzasadnienia (por. Sokołowski, 2005, s. 212).

Dodatkowym problemem, który wypływał z ekspansji Wszechświata, stał się filozoficzny problem jego początku. Rozwiązania kosmologiczne cechowały się osobliwością początkową, ale czy można by ją usunąć? Teorię Einsteina zmodyfikował Cartan, wiążąc ją z teoriami pól fizycznych (rozwiązania ze spinem). W teoriach Einsteina-Cartana można pozbyć się osobliwości (por. Kopczyński i Trautman, 1984, s. 194, 197). W latach

sześćdziesiątych i siedemdziesiątych Roger Penrose (ur. 1931), Stephen Hawking (ur. 1942) i inni udowodnili szereg twierdzeń, z których wynika, że istnienie osobliwości w modelach kosmologicznych nie jest wynikiem upraszczających założeń (np. założenia jednorodności i izotropowości), lecz następstwem bardzo ogólnych własności modelu (por. Hawking i Ellis, 1973).

Kolejnym problemem była stała kosmologiczna, która przeżywała burzliwe dzieje filozoficznego sensu i bez-sensu, nawet u swego twórcy, Einsteina. Stała ta dziś okazuje się mieć znaczenie w kwantowych teoriach pola, a co wydaje się zdumiewające – zdaje się mieć związek z „metafizyczną” cztero-wymiarowością naszej czasoprzestrzeni³. Kosmiczna misja Planck pozwala na wyliczenie stałej kosmologicznej, preferując płaski Wszechświat, w którym dominuje ciemna materia i ciemna energia. Okazuje się zatem, że stała kosmologiczna nie była takim „strasznym” filozoficznym błędem, gdyż kryje się za nią najprawdopodobniej bardzo poważna fizyka.

³ J. Król i T. Asselmeyer-Maluga (Asselmeyer-Maluga i Król, 2013; Król, 2016) obliczyli wartość stałej kosmologicznej, posługując się analizą egzotycznych struktur różniczkowalnych właśnie na \mathbf{R}^4 . Okazuje się, że jedynie dla tego wymiaru (4) różniczkowalności te przejawiają niespotykane bogactwo struktur różniczkowych. Michael Freedman (ur. 1951) i Simon K. Donaldson (ur. 1957) przyczynili się (od 1982 r.) do poznania egzotycznych różniczkowalności na \mathbf{R}^4 . W pracy (Asselmeyer-Maluga i Król, 2013) autorzy, korzystając z niezmienników topologicznych struktur egzotycznych, obliczają z dokładnością do trzech miejsc znaczących. Zob. także pracę J. Króla, „Czy wiemy dlaczego czasoprzestrzeń na dużych skalach jest gładka i 4-wymiarowa?” opublikowaną w niniejszym tomie ZFN, ss. 101–111.

Stała kosmologiczna jest szeroko dyskutowana przez G. Elisa w jego znakomitej pracy o filozofii kosmologii. Autor (pod koniec p. 2.4.6) stwierdza, że równania grawitacyjne oraz obserwacje supernowych pozwalają wnioskować, że stała kosmologiczna lub jej równoważnik w formie „ciemnej energii”, choć są obecne, to jednak ich fizyczna natura pozostaje nieznana. Kwantowa teoria pola, wiążąca stałą kosmologiczną z zerową energią próżni, nie wystarcza jednak na wyjaśnienie zagadki „ciemnej energii” – cała fizyka jest więc tu nadal tajemnicza. To jednak nie stanowi przeszkody w rozwoju nauki; wręcz przeciwnie. Nawet prosty, de Sitterowski model, choć jest wieloznaczny ze względu na jego stałą krzywiznę, mimo to stanowi punkt wyjścia dla innych modeli kosmologicznych, np. dla wielu modeli inflacyjnych, ograniczanych silnie przez obserwacje WMAP (p. 9.2.7) (Ellis, 2006 *passim*; np. w 2.3.6 Ellis interpretuje stałą kosmologiczną jako „ciemną energię”). Kosmologia przyjmuje więc nadal „tajemnicze” elementy pochodzące z intuicji typu filozoficznego, a nie z ufundowanej uprzednio metody empirycznej. Inspirująca okazuje się tu – jak zwykle w fizyce – sama matematyka.

Gdyby (jak sugerują prace Króla *et al.*) stała kosmologiczna wynikała z czystej matematyki „czasoprzestrzennej” umożliwiającej mechanikę kwantową, byłoby to swoistym argumentem na „metafizyczność” kryjącą się w matematyczności czasoprzestrzeni, nie zaś w pozytywistycznych, empiriokrytycznych interpretacjach przestrzeni i czasu. Okazuje się, że jedyny scenariusz dopuszczający naszą fizyczność trójwymiarowej przestrzeni i jednowymiarowego czasu, określony byłby matematycznie, nie materialnie.

Dopowiedzmy jeszcze jedną rzecz, związaną z mechaniką kwantową, do której powstania przyczynił się Einstein. Można zapytać, czy mamy jakiś „kosmologiczny” dowód na jej słuszność, której nie uznawał Einstein? Co do tej kwantowo-mechanicznej pomyłki Einsteina można dodać, że po raz pierwszy udało się przetestować nierówności Bella na „kosmicznym układzie” wykorzystującym źródła astronomiczne do wykazania kwantowo-mechanicznych nielokalności nieznanych kosmologii Einsteińskiej (por. Handsteiner i in., 2017).

Widzimy zatem, jak filozoficzne poglądy geniusza, Alberta Einsteina, wpłynęły na powstanie jego fizycznych teorii i przyczyniły się do zainicjowania kosmologii relatywistycznej. Widzimy jednak także to, że taka filozofia przyrody musiała (i nadal musi) kapitulować wobec tajemnic matematycznie badanego Kosmosu.

2. Analiza wybranych fragmentów *Rozważań...*

Przejdźmy teraz do analizy niektórych, ważniejszych partii artykułu Einsteina bardziej od strony naukowej. Na początku tekstu Einstein odwołuje się do „znanych powszechnie” własności Poissonowskiego równania różniczkowego, które należy do formalizmu Newtonowskiej dynamiki i opisuje pole grawitacyjne dla danego rozkładu gęstości materii. Jest to cząstkowe równanie różniczkowe, a więc dla rozwiązania domaga się ono podania tzw. przestrzennych warunków brzegowych, określających wartość wyjściową tego pola na brzegu rozważanego ob-

szaru. Można podać takie warunki dla lokalnych układów, matych w stosunku do „nieskończonego” Kosmosu – można wtedy uznać, że potencjały „zerują się w nieskończoności”. Einstein zdawał sobie sprawę z tego, że dla całości Wszechświata tego uczynić *a priori* nie można. Co ciekawe, w grawitacji Newtonowskiej tak tego problemu w ogóle postawić nie było można i m.in. dlatego nie była ona w stanie opisać całego fizycznego Kosmosu z nieskończonymi czasem i przestrzenią.

Ogólna teoria względności wprowadza elastyczną czasoprzestrzeń: materia – źródło pola grawitacyjnego – zakrzywia czasoprzestrzeń i Einstein dostrzegł, że można by rozważać Wszechświat jako „kontinuum zamknięte w swojej przestrzennej rozciągłości” (zakończenie §2.), wtedy niepotrzebne byłyby żadne warunki brzegowe: zamknięta przestrzeń eliminuje warunki brzegowe.

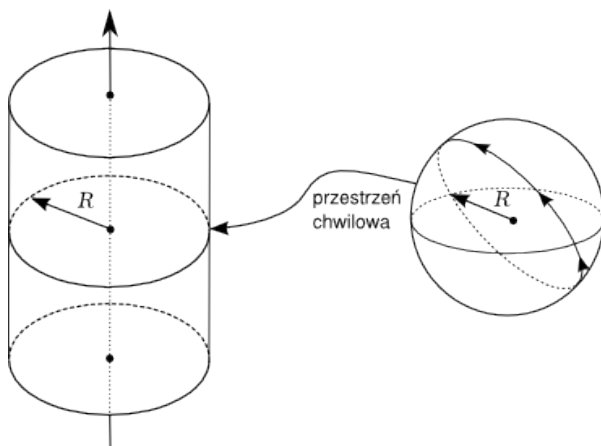
W §3. Einstein uzasadnia takie założenie, powołując się na analogię między kosmologami i geodetami: w pierwszym przypadku niezmiernie złożona struktura geometryczna Kosmosu może być uproszczona w takim sensie, jak Ziemię przybliża się elipsoidą. Można też, ze względu na małe prędkości gwiazd⁴, wprowadzić takie współrzędne, w których materia jest, po uśrednieniu, w spoczynku.

Kolejnym problemem, z którym przyszło się zmierzyć, był statyczny obraz Wszechświata jako całości (na co zwróciliśmy

⁴ Dziś wiemy, że to było bardzo grube przybliżenie, gdyż realistycznie odnosi się ono do gromad galaktyk.

uwagę powyżej, w części bardziej filozoficznej). Jak zauważa M. Heller (s. 20), którego szlakiem myśli tu przemierzamy, Einstein nawet nie podejrzewał, że Kosmos mógłby być inny, a tymczasem równania ogólnej teorii względności na to nie pozwalały, by Kosmos „spoczywał”. Tak więc racje filozoficzne skłoniły Einsteina do dopisania „członu kosmologicznego” – małej poprawki zgodnej z postulatami ogólnej teorii względności, która nie byłaby widoczna w skali Układu Słonecznego, ale „ratowałyby” statyczność Wszechświata jako całości zamkniętej w skończoną przestrzeń. Einstein wiedział dobrze, że stała λ jest potrzebna dla statyczności, nie do zamknięcia przestrzennego Wszechświata.

Wszechświat Einsteinowski jest więc skończony, ale nieograniczony. Czasoprzestrzeń rozpada się na czas i chwilowe przestrzenie, które mają ten sam promień krzywizny (statyczność). Tworzy to „hipercylinder”, którego uproszczenie pokazuje przytoczony rysunek.



Kosmologiczny model Einsteina okazał się niezgodny z obserwacjami, ale otworzył drogę do relatywistycznej kosmologii.

3. De Sittera pusta czasoprzestrzeń

Willem de Sitter (1872–1934) był holenderskim astronomem i matematykiem, dyrektorem Obserwatorium Astronomicznego w Lejdzie, założycielem stacji obserwacyjnej w Johannesburgu, inicjatorem ekspedycji astronomicznych, głównie do Kenii. Opracował wyniki 250-letnich obserwacji satelitów Jowisza. Jest autorem drugiego, po Einsteinie, modelu-rozwiązania problemu kosmologicznego. Model ten był całkowicie zaskakujący: opisuje pusty Wszechświat, a więc zasada Macha nie jest wkomponowana w Einsteinowskie równania; co więcej, czasoprzestrzeń jest „niefizyczna” – bez materii, a więc jakby „metafizyczna”, absolutna. Co ciekawe, również de Sitter szukał statycznego rozwiązania kosmologicznego. Sądził, że je znalazł, gdyż model ten rzeczywiście posiadał stałą krzywiznę czasoprzestrzeni. Jednakże – poza Einsteinowskim – inne statyczne wszechświaty nie istnieją (w tej klasie rozwiązań). Wybrane przez de Sittera współrzędne były podobne do Einsteinowskich, za wyjątkiem czasu, który tu reprezentowały krzywe. Taki stan rzeczy odpowiada Wszechświatowi pustemu, bez materii.

De Sitter nazwał Einsteinowskie podejście do zasady Macha „materialnym postulatem”, fizycznym, konkretnym (tzn.

masa będąca lokalnie miarą bezwładności wynika, czy lepiej powiedzieć: jest „indukowana” przez wszystkie masy znajdujące się globalnie we Wszechświecie). De Sitter zaproponował swój abstrakcyjny, „matematyczny postulat” odnoszący się do warunków brzegowych (matematyka!) i to „w nieskończoności” (odległe masy), polegający na tym, że można je zaniedbać, bo są „nieskończenie odległe”. W jego „Systemie B” jest to spełnione automatycznie, bo Wszechświat de Sittera jest pusty.

Nad modelem de Sittera pracował później m.in. ksiądz Georges-Henri Lemaître (1894–1966). Wprowadził on do modelu de Sittera nowe współrzędne, które pozwoliły rozłożyć czasoprzestrzeń na uniwersalny „kosmiczny czas” – wspólny dla swobodnych obserwatorów – oraz na chwilowe, jednorodnie przestrzenie, które okazały się płaskie, Euklidesowe, jednakże – jako przestrzenie chwilowe – nie są „statyczne” jak u Einsteina, ale zależą od czasu, ewoluują. Zasada Macha została wyrugowana, bowiem pusta przestrzeń może ewoluować. Lemaître pokazał, że umieszczone w takim Wszechświecie świecące „cząstki próbne” (nienaruszające jego pustej struktury) będą się widziały nawzajem jako poczerwienione, na skutek efektu Dopplera związanego z rozszerzaniem. Arthur S. Eddington (1882–1944) jako pierwszy przyjął założenie, że taka właśnie jest astrofizyka przesunięć ku czerwieni w obserwowanych widmach galaktyk. Model de Sittera, mimo że opisujący Wszechświat pusty, okazał się bardzo pożytecznym katalizatorem rozwoju kosmologii, choć dziś jest już raczej historycznym eksponatem i interesującym świadkiem początków kosmologii relatywistycznej.

Podziękowania

Autor składa wyrazy wdzięczności dla M. Hellera za cenne uwagi wykorzystane w niniejszym opracowaniu.

Bibliografia

- Asselmeyer-Maluga, T., Król, J., 2013. Decoherence in quantum cosmology and the cosmological constant. *Modern Physics Letters A*, [online] 28(34), s. 1350158. Dostępne na: <<http://arxiv.org/abs/1309.7206>> [ostatni dostęp 23.10.2017].
- Einstein, A., 1917. Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie. *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften (Berlin)*, [online] s. 142–152. Dostępne na: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/1917SPAW.....142E>> [ostatni dostęp 30.03.2016].
- Ellis, G.F.R., 2006. Issues in the philosophy of cosmology. *arXiv:astro-ph/0602280*. [online] Dostępne na: <<http://arxiv.org/abs/astro-ph/0602280>> [ostatni dostęp 23.10.2017].
- Foster, J., Nightingale, J.D., Lipiński, S., 1985. *Ogólna teoria względności*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Handsteiner, J., Friedman, A.S., Rauch, D., Gallicchio, J., Liu, B., Hosp, H., Kofler, J., Bricher, D., Fink, M., Leung, C., Mark, A., Nguyen, H.T., Sanders, I., Steinlechner, F., Ursin, R., Wengrowsky, S., Guth, A.H., Kaiser, D.I., Scheidl, T., Zeilinger, A., 2017. Cosmic bell test: Measurement settings from Milky Way stars. *Physical Review Letters*, [online] 118(6), s. 60401. Dostępne na: <<https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.118.060401>> [ostatni dostęp 23.10.2017].
- Hawking, S.W., Ellis, G.F.R., 1973. *The large scale structure of space-time*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Heller, M., 1985. *Ewolucja kosmosu i kosmologii*. Wyd. 2. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Kopczyński, W., Trautman, A., 1984. *Czasoprzestrzeń i grawitacja*. Wyd. 2. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Król, J., 2016. *Dziwna matematyczność Wszechświata*. [online] Dyskusja w Copernicus Center 19 XII 2016. Dostępne na: <<https://www.youtube.com/watch?v=pfVHoIMytQg>>.
- Sitter, W. de, 1917. On the relativity of inertia. Remarks concerning Einstein's latest hypothesis. *Proceedings of the Section of Sciences. Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam*, [online] *XIX(9–10)*, s. 1217–1225. Dostępne na: <<http://www.archive.org/details/proceedingsofsec192koni>>.
- Sokołowski, L.M., 2005. *Elementy kosmologii: dla nauczycieli, studentów i dociekliwych uczniów*. Kraków: ZamKor.

Rozważania kosmologiczne na temat ogólnej teorii względności

Albert Einstein

Z niemieckiego oryginału tłum. Robert Janusz¹

¹ Podstawą tłumaczenia było pierwsze wydanie pracy: A. Einstein, „Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie”, *Sitzung der Physikalisch-mathematischen Klasse vom 8. Februar 1917*, „Sitzungsberichte der Preußischen Akad. d. Wissenschaften, 1917”, s. 142–152; wersja cyfrowa jest dostępna online <<http://adsabs.harvard.edu/abs/1917SPAW.....142E>>. Tłumaczenie było również konfrontowane z przekładem angielskim: A. Einstein, „Cosmological considerations on the general theory of relativity”. W: [A.] Einstein, H.A. Lorentz, H. Weyl, H. Minkowski, *The principle of relativity. A collection of original papers on the special and general theory of relativity. Notes by A. Sommerfeld*. Mineola, NY: Dover Publications, Inc., 1952 (published by Methuen and Company, Ltd. 1923). Artykuł jest dostępny w Internecie pod adresem: <<http://nausika2.mpiwg-berlin.mpg.de/cgi-bin/toc/toc.x.cgi?dir=S250UZ0K&step=thumb>> [oryginał niemiecki] (dn. 22 VI 2010) oraz <<http://books.google.com/books?id=yECokhzsJYIC>> [przekład ang.] (dn. 25 VI 2010).

Do tekstu wprowadzono drobne zmiany redakcyjne związane z koniecznością dostosowania go do wymogów ZFN. Uzupełnienia tekstu podano w nawiasach kwadratowych.

Jest dobrze znane, że Poissonowskie równanie różniczkowe²:

$$\Delta\phi = 4\pi K\rho \quad (1)$$

w połączeniu z równaniem ruchu punktu materialnego, nie zastępuje jeszcze całkowicie Newtonowskiej teorii oddziaływania na odległość. Musi się jeszcze dołączyć warunek, że w przestrzennej nieskończoności potencjał ϕ dąży do skończonej wartości granicznej. Podobnie zachowuje się on w teorii grawitacji ogólnej teorii względności; także tutaj do równań różniczkowych muszą być dołączone warunki brzegowe w przestrzennej nieskończoności, gdyby rzeczywiście rozważać wszechświat³ przestrzennie rozległy w nieskończoność.

Przy opracowaniu zagadnienia planetarnego wybrałem te warunki brzegowe w formie następującego założenia⁴: Jest możliwe, ażeby tak wybrać układ odniesienia, aby wszystkie potencjały grawitacyjne $g_{\mu\nu}$ były stałe w przestrzennej nieskończoności. Nie jest jednak *a priori* całkiem oczywiste, że można wyznaczyć te same warunki brzegowe, gdy się chce uwzględnić⁵ większe części fizycznego wszechświata⁶. W dalszej części

² W przekładzie ang.: „Poisson's equation [...] $\nabla^2\phi = 4\pi K\rho$ [...]” (s. 177). W języku polskim używa się niejednoznacznie określenia „równanie Poissona”; $\Delta = \nabla^2$.

³ Niem. *Welt*: świat; *passim*.

⁴ Niem. *Annahme*: przyjęcie, hipoteza, przesłanka, założenie, przypuszczenie.

⁵ Niem. *ins Auge fassen*: rozważyć, przewidzieć, brać pod uwagę.

⁶ Niem. *Körperwelt*: świat cielesny, świat fizyczny.

będą podane przemyślenia, do których dotąd doszedłem odnośnie tego zasadniczo ważnego problemu.

§ 1. Teoria Newtonowska

Jest dobrze znane, że Newtonowski warunek brzegowy stałej granicy ϕ w przestrzennej nieskończoności prowadzi do konkluzji⁸, że gęstość materii [spada] w nieskończoności do zera. Przypuśćmy mianowicie, że można by znaleźć w przestrzeni kosmicznej takie miejsce, wokół którego pole grawitacyjne materii posiada, wielkoskalowo [*im großen betrachtet*], symetrię sferyczną (środek). Zatem z równania Poissonowskiego wynika, że średnia gęstość ρ musi zatem, z rosnącą odległością r od środka, spadać szybciej do zera niż $\frac{1}{r^2}$, tak aby ϕ osiągnęło w nieskończoności jakąś granicę⁹. W tym sensie, według Newtona, wszechświat jest także skończony, mimo tego, że może posiadać nieskończenie wielką masę całkowitą¹⁰.

Stąd wynika następnie, że część promieniowania emitowanego przez ciała niebieskie opuści Newtonowski wszech-

⁷ Niem. *prinzipiell wichtige Frage*.

⁸ Niem. *Auffassung*: zapatrywanie, zdanie, pogląd, ujęcie, wniosek.

⁹ ρ jest średnią gęstością materii wytworzoną [*gebildet*] w przestrzeni, która jest wielka w porównaniu z odległością sąsiednich gwiazd stałych, ale mała w porównaniu z rozmiarami całej galaktyki [*Sternsystem*] – przyp. A. Einsteina.

¹⁰ Tekst niem.: *In diesem Sinne ist also die Welt nach Newton endlich, wenn sie auch unendlich große Gesamtmasse besitzen kann* (s. 143).

świat radialnie na zewnątrz, i potem zaniknie w nieskończoności, tracąc oddziaływanie. Czy nie można by podobnie rozważyć również wszystkich ciał niebieskich? Jest prawie niemożliwe zaprzeczyć temu pytaniu. *Nota bene*¹¹ z warunku skończonej granicy dla ϕ w przestrzennej nieskończoności wynika, że ciało niebieskie obdarzone skończoną energią kinetyczną może osiągnąć przestrzenną nieskończoność, przewyżając Newtonskie siły przyciągające. Ten przypadek musi, zgodnie z mechaniką statystyczną, dotąd zachodzić, dopóki całkowita energia galaktyki jest wystarczająco wielka, aby – przeniesiona na tylko jedno ciało niebieskie – pozwoliła mu oddalić się do nieskończoności, z której nigdy więcej nie będzie mogło powrócić.

Można by próbować szukać ucieczki od tego swoistego¹² problemu przez przyjęcie, że ów potencjał graniczny ma w nieskończoności jakąś bardzo wielką wartość. To byłby sposób do przejścia, gdyby przebieg potencjału grawitacyjnego nie musiał być samouwarunkowany [*selbst bedingt*] przez ciała niebieskie. Zaprawdę będziemy zmuszeni koniecznie przyjąć, że jest sprzeczne z faktami pojawienie się¹³ znacznych różnic potencjałów pola grawitacyjnego. One muszą być raczej mniejszego rzędu wielkości, tak aby generowane przez nie prędkości gwiazd nie przekraczały [prędkości] rzeczywiście obserwowanych.

¹¹ Niem. *denn*: ponieważ, albowiem, więc.

¹² Niem. *eigentlich*: osobliwy, dziwny, charakterystyczny, szczególnie, specyficzny, typowy.

¹³ Niem. *Auftreten*: występowanie, zachodzenie, zachowanie się.

Przez zastosowanie do gwiazd Boltzmannowskiego prawa rozkładu dla cząsteczek gazu, w ten sposób, że porówna się galaktykę z gazem o stacjonarnym ruchu cieplnym, wynika, że Newtonowska galaktyka w ogóle nie mogłaby istnieć. *Nota bene* skończonej różnicy potencjałów między środkiem a przestrzenną nieskończonością odpowiada skończony stosunek gęstości. Zanik gęstości w nieskończoności pociąga za sobą także zanik gęstości w środku.

Chyba nie da się tych trudności pokonać na gruncie teorii Newtonowskiej. Można sobie postawić pytanie, czy da się je wyeliminować przez jakąś modyfikację teorii Newtonowskiej. Na razie¹⁴ podamy tu na to taki sposób, który nie domaga się, by go brać poważnie; on posłuży tylko do tego, aby dało się lepiej uwydatnić to, co następuje [potem]. W miejsce równania Poissonowskiego wstawiamy:

$$\Delta\phi - \lambda\phi = 4\pi K\rho, \quad (2)$$

gdzie λ oznacza jakąś uniwersalną stałą¹⁵. Jeśli ρ_0 jest (równomierną) gęstością rozkładu masy, wtedy:

$$\phi = -\frac{4\pi K}{\lambda}\rho_0 \quad (3)$$

¹⁴ Niem. *zunächst*: najpierw, po pierwsze, na razie.

¹⁵ Przekład ang.: $\nabla^2\phi - \lambda\phi = 4\pi\kappa\rho$ [...] (s. 179; zamiana K z równania (1) na κ ; tu i *passim*).

jest rozwiązaniem równania (2). To rozwiązanie odpowiadałoby takiemu przypadkowi, że materia gwiazd stałych byłaby równomiernie rozłożona w przestrzeni, przy czym gęstość ρ_0 byłaby równa rzeczywistej średniej gęstości materii w kosmosie. Rozwiązanie to odpowiada nieskończonej rozciągłości przestrzeni w środku równomiernie wypełnionej materią. Jeśli pomyśli się, bez jakiegokolwiek zmiany średniego rozkładu gęstości, materię lokalnie rozłożoną nierównomiernie, wtedy na stałą wartość ϕ z równania (3) będzie nakładać się dodatkowe ϕ , które w pobliżu gęstszych mas jest tym bardziej podobne do pola Newtonowskiego, im λ_ϕ ¹⁶ jest mniejsze w porównaniu z $4\pi K\rho$.

Tak uzyskany wszechświat nie miałby, odnośnie do pola grawitacyjnego, żadnego środka. Nie musiałoby się przyjmować spadku gęstości w przestrzennej nieskończoności, lecz zarówno średni potencjał, jak też średnia gęstość byłyby stałe aż do nieskończoności. Konflikt z mechaniką statystyczną, występujący¹⁷ w teorii Newtonowskiej, jest tu nieobecny. Dla określonej (niezwykle małej) gęstości materia jest w równowadze, bez tego, aby były konieczne dla tej równowagi wewnętrzne siły materii (ciśnienie).

¹⁶ Przekład ang.: $\lambda\phi$.

¹⁷ Niem. *konstatieren*: stwierdzić, zauważyć, nadmienić, dobitnie powiedzieć.

§ 2. Warunki brzegowe odpowiednie dla ogólnej teorii względności

Poniżej wprowadzam czytelnika na przebytą już przeze mnie ośboście, trochę pośrednią i wyboistą drogę, gdyż tylko tak mogę mieć nadzieję, że okaże on zainteresowanie końcowym rezultatem. Dochodzę mianowicie do wniosku, że przedstawiane przeze mnie dotąd równania pola grawitacyjnego wymagają jeszcze drobnej [*kleinen*] modyfikacji, tak aby, na podstawie ogólnej teorii względności, uniknąć owych zasadniczych trudności, które przedstawiliśmy w poprzednim paragrafie dla teorii Newtonowskiej. Ta modyfikacja odpowiada całkowicie przejściu od równania Poissonowskiego (1) do równania (2) poprzedniego paragrafu. W końcu okazuje się, że warunki brzegowe w przestrzennej nieskończoności w ogóle odpadają, gdyż kontinuum wszechświata, odnośnie swojej przestrzennej rozciągłości, ujmuje się jako zamkniętą w sobie, skończoną przestrzennie (trójwymiarową) objętość.

Opinia, pielęgnowana przeze mnie do niedawna, odnośnie do ustalenia warunków brzegowych dla przestrzennej nieskończoności, opierała się na następujących rozważaniach. W wewnętrznie spójnej¹⁸ teorii relatywistycznej nie może być bezwładności w z g l ę d e m „przestrzeni”, lecz jedynie bezwładność w z g l ę d e m m a s e¹⁹. Gdy z tego miejsca jakąś masę

¹⁸ Niem. *konsequent*: logicznie nieodparty, niezłomny.

¹⁹ Tekst niem.: *nur eine Trägheit der Massen g e g e n e i n a n d e r* (s. 145).

odsunę od wszystkich innych mas wszechświata przestrzennie wystarczająco [daleko], przez to jej bezwładność musi spaść do zera. Spróbujemy sformułować ten warunek matematycznie.

Według ogólnej teorii względności (ujemny) pęd jest dany przez trzy pierwsze składowe, energia przez ostatnią składową kowariantnego tensora, pomnożone przez $\sqrt{-g}$:

$$m\sqrt{-g} g_{\mu\alpha} \frac{dx_\alpha}{ds} \quad (4)$$

przy czym, jak zawsze, podstawiamy:

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu. \quad (5)$$

W szczególnie przejrzystym przypadku, kiedy można tak wybrać układ współrzędnych, że pole grawitacyjne w każdym punkcie jest przestrzennie izotropowe, otrzymuje się prostsze:

$$ds^2 = -A(dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2) + Bdx_4^2.$$

Jeśli jeszcze równocześnie:

$$\sqrt{-g} = 1 = \sqrt{A^3B},$$

wtedy, dla małych prędkości, otrzymuje się z (4), w pierwszym przybliżeniu, składowe pędu:

$$m \frac{A}{\sqrt{B}} \frac{dx_1}{dx_4} \quad m \frac{A}{\sqrt{B}} \frac{dx_2}{dx_4} \quad m \frac{A}{\sqrt{B}} \frac{dx_3}{dx_4}$$

i energię (w przypadku spoczynku):

$$m\sqrt{B}$$

Z wyrażen na pęd wynika, że $m\frac{A}{\sqrt{B}}$ odgrywa rolę bezwładnej masy²⁰. Jeśli m jest stałą właściwą masie w punkcie [*Massenpunkt*], niezależnie od jego położenia, to wtedy to wyrażenie, przy zachowaniu warunku na wyznacznik, może tylko wtedy zaniknąć w przestrzennej nieskończoności, gdy A dąży do zera, podczas gdy B wzrasta w nieskończoność²¹. Wydaje się także, iż postulat względności każdej bezwładności wymaga takiej degeneracji współczynników $g_{\mu\nu}$. To żądanie pociąga za sobą, że energia potencjalna $m\sqrt{B}$ punktu w nieskończoności staje się nieskończenie wielka. Zatem punkt materialny [*Massenpunkt*] może nigdy nie opuścić układu; szczegółowe badanie pokazuje, że to samo powinno obowiązywać dla promieni świetlnych. System wszechświata, z takim zachowaniem się potencjałów grawitacyjnych w nieskończoności, nie byłby także narażony

²⁰ Tekst niem.: [...] *die Rolle der trägen Masse spielt* (s. 145); przekład ang.: *the rest mass* (s. 181; masa spoczynkowa).

²¹ Tekst niem.: *Da meine dem Massenpunkt unabhängig von seiner Lage eigentümliche Konstante ist, so kann dieser Ausdruck unter Wahrung der Determinantenbedingung im räumlich Unendlichen nur dann verschwinden, wenn A [...]* (s. 145); przekład ang.: *As m is a constant peculiar to the point of mass, independently of its position, this expression can vanish only when A [...]* (s. 181).

na niebezpieczeństwo, jak ten niedawno omówiony dla teorii Newtonowskiej.

Nadmieniam, że te uproszczone założenia dotyczące potencjałów grawitacyjnych, które położyliśmy u podstaw tych rozważań, zostały wprowadzone jedynie ze względu na przejrzystość. Można znaleźć ogólne sformułowania dla zachowania się $g_{\mu\nu}$ w nieskończoności, które wyrażają istotę rzeczy bez dalszych ograniczających założeń.

Więc [nun] przebadalem, z uprzejmą pomocą matematyka J. Grommera, środkowo symetryczne, statyczne pola grawitacyjne, które na wspomniany sposób degenerują się w nieskończoności. Po przyjęciu²² potencjałów grawitacyjnych $g_{\mu\nu}$, na podstawie równań pola grawitacyjnego został z nich obliczony tensor energii materii $T_{\mu\nu}$. Ale przy tym okazało się, że dla galaktyki gwiazd stałych [Fixsternsystem] tego rodzaju warunki brzegowe zupełnie nie mogłyby wchodzić w grę, jak także niedawno słusznie wykazał²³ astronom de Sitter.

Kontrawariantny tensor energii $T^{\mu\nu}$ ważkiej materii jest mianowicie dany przez²⁴:

$$T^{\mu\nu} = \rho \frac{dx_{\mu}}{ds} \frac{dx_{\nu}}{ds} \quad (5)$$

²² Tekst niem: *Die Gravitationspotentiale wurden angesetzt [...] berechnet* (s. 146); niem. *ansetzen*: przykładać, podchodzić, utwierdzić, ustalić.

²³ Niem. *herforheben*: podkreślać, uwydatniać.

²⁴ *sic!* s. 146 (5); równanie (5) było zdefiniowane na s. 145.

gdzie ρ oznacza zmierzoną naturalną gęstość materii. Przy stosownym wyborze układu współrzędnych prędkości gwiazd są bardzo małe w porównaniu do prędkości światła. Dlatego można zastąpić ds przez $\sqrt{g_{44}dx_4}$. Przy tym [można] rozpoznać, że wszystkie składowe T^{ν} , w porównaniu do ostatniej składowej T^{44} , muszą być bardzo małe. Jednak tego warunku nie dało się bynajmniej połączyć z wybranymi warunkami brzegowymi. Poza tym wydaje się, że ten wynik nie jest zaskakujący. Fakt, że prędkości gwiazd są małe, pozwala stwierdzić, że tam, gdzie są gwiazdy stałe, tam nigdzie potencjał grawitacyjny (w naszym przypadku \sqrt{B}) nie może być znacznie większy niż u nas²⁵; to wynika z rozważań statystycznych dokładnie [tak], jak w przypadku teorii Newtonowskiej. W każdym razie nasze rachunki doprowadziły mnie do przekonania, że nie wolo żądać tego rodzaju warunków degenerujących $g_{\mu\nu}$ w przestrzennej nieskończoności.

Po niepowodzeniu tej próby [można] zaproponować dwie.

a) Można żądać, jak przy zagadnieniu planetarnym, żeby w przestrzennej nieskończoności $g_{\mu\nu}$, przy odpowiednim wyborze układu odniesienia, zbliżały się do wartości:

$$\begin{array}{cccc} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

²⁵ Niem: *bei uns*; przekład ang.: *here on earth* [tu na Ziemi].

b) Można wcale nie stawiać żadnych ogólnej ważności wymaganych warunków brzegowych na przestrzenną nieskończoność²⁶; w każdym poszczególnym przypadku trzeba podawać $g_{\mu\nu}$ w przestrzennej granicy rozważanego obszaru, tak jak dotąd zwykło się podawać osobno czasowe warunki początkowe.

Możliwość b nie odpowiada żadnemu rozwiązaniu problemu, lecz rezygnacji z jego rozwiązania. To jest bez wątpienia stanowisko, które przyjmuje obecnie de Sitter²⁷. Jednak muszę przyznać, że trudno mi przychodzi, aby tak dalece rezygnować w tej zasadniczej sprawie. Zdecydowałbym się na to dopiero wtedy, gdyby wszystkie wysiłki posuwające naprzód właściwy²⁸ pogląd [*Auffassung*], okazałyby się daremne.

Możliwość a jest pod wieloma względami niezadowolająca. Po pierwsze, takie warunki brzegowe zakładają określony wybór układu odniesienia, co jest przeciwne duchowi zasady względności. Po drugie, przyjmując ten pogląd, rezygnuje się z żądania, aby była spełniona względność bezwładności. Bezwładność punktu materialnego [*Massenpunktes*] o zmierzonej naturalnej masie m zależy mianowicie od $g_{\mu\nu}$; te jednak tylko niewiele różnią się od podanych żądanych wartości dla przestrzennej nieskończoności. Zatem materia (będąca w skończo-

²⁶ Tekst niem.: *Man stellt überhaupt keine allgemeine Gültigkeit beanspruchenden Grenzbedingungen auf für das räumlich Unendliche;* (s. 147).

²⁷ De Sitter, Akad. van Wetensch. Te Amsterdam, 8 XI 1916.

²⁸ Niem. *befriedigend*: zadowolający, dopuszczalny, odpowiedni, wystarczający, dostateczny.

ności) wprawdzie ma bezwładność, ale nie²⁹ jej. Gdyby istniał jeden jedyny punkt materialny [*Massenpunkt*], wtedy posiadałby on, według tego sposobu rozumienia [*Auffassungsweise*], bezwładność, i to prawie równej wielkości, jak w przypadku, gdyby był on otoczony pozostałymi masami naszego rzeczywistego świata. W końcu, przeciw temu pogładowi są wszystkie statystyczne wątpliwości, do których można dojść [*geltend zu machen*], które były podane wyżej dla teorii Newtonowskiej.

Z tego, co dotąd powiedziano wynika, że nie udało mi się postawić warunków brzegowych dla przestrzennej nieskończoności. Mimo to, istnieje jeszcze możliwość poradzenia sobie³⁰, bez rezygnacji podanej w b. Gdyby mianowicie było możliwe rozważyć wszechświat jako continuum zamknięte w s o - jej przestrzennej rozciągłości³¹, wtedy nie byłyby w ogóle potrzebne żadne tego rodzaju warunki brzegowe. Poniżej okaże się, że zarówno ogólne żądanie relatywistyczne, jak i fakt małych prędkości światła dadzą się pogodzić z hipotezą przestrzennej zamkniętości całości wszechświata³²; jednak [*al-lerdings*] do wyrażenia tej myśli będzie potrzebna uogólniająca modyfikacja równań pola grawitacyjnego.

²⁹ Niem. *bedingen*: powodować, przyczyniać się, uzależniać, warunkować, wymagać.

³⁰ Niem. *auskommen*: żyć w zgodzie, radzić sobie.

³¹ Tekst niem.: [...] *die Welt als ein Kontinuum* [...] (s. 148).

³² Tekst niem.: [...] *Geschlossenheit des Weltganzen* [...] (s. 148).

§ 3. Świat zamknięty przestrzennie z równomiernym rozkładem materii

Charakterystyka metryczna (krzywizna) czterowymiarowego kontinuum czasoprzestrzennego jest określona, zgodnie z ogólną teorią względności, w każdym punkcie przez tamże znajdującą się materię i jej stan. Struktura metryczna tego kontinuum musi koniecznie, z powodu nierównomiernego rozkładu materii, być niezmiernie zawikłana. Jeśli nam jednak chodzi jedynie o strukturę wielkoskalową [*im groβen*], powinniśmy sobie wyobrazić materię jako rozpostartą [rozproszoną] równomiernie w ogromnej przestrzeni, tak że jej rozkład gęstości będzie funkcją zmieniającą się niezmiernie powoli. Postępujemy tutaj³³ prawie jak geodeci, którzy przybliżają elipsoidą niezmiernie skomplikowaną ukształtowaną w małych rozmiarach zewnętrzną powierzchnię Ziemi.

Najważniejsze, co wiemy z doświadczenia o rozkładzie materii, jest to, że względne prędkości gwiazd są bardzo małe w porównaniu z prędkością światła. Dlatego wydaje mi się³⁴, że wolno nam na razie [*fürs erste*] przyjąć za podstawowe [*zugrunde legen*] następujące przybliżone założenie [*Annahme*] naszego rozważania: Jest dany układ współrzędnych, względem którego można uważać [*ansehen als*] materię za trwającą w spo-

³³ Tekst niem.: *Wir gehen damit ählich vor [...]* (s. 148).

³⁴ Tekst niem.: *ich glaube deshalb* (s. 148; niem. *glauben*: wierzyć, myśleć, sądzić, zdawać się).

czynku. Względny wobec niego³⁵ jest także kontrawariantny tensor energii $T^{\mu\nu}$ materii, zgodnie z (5), o prostej formie:

$$\left. \begin{array}{cccc} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \rho \end{array} \right\} \quad (6)$$

Skalar ρ (średniej) gęstości rozkładu może być *a priori* funkcją przestrzennych współrzędnych. Jeśli jednak założymy, że wszechświat jest w sobie zamknięty, prawdopodobna jest hipoteza [*so liegt die Hypothese nahe*], że ρ powinno być niezależne od położenia; to przyjmujemy za podstawowe dla tego, co [dalej] następuje³⁶.

Co się tyczy [*was... anlangt*] pola grawitacyjnego, to z równania ruchu punktu materialnego³⁷:

$$\frac{d^2 x_\nu}{ds^2} + \left\{ \begin{array}{c} \alpha\beta \\ \nu \end{array} \right\} \frac{dx_\alpha}{ds} \frac{dx_\beta}{ds} = 0$$

wynika, że punkt materialny w statycznym polu grawitacyjnym tylko wtedy może pozostawać w spoczynku, gdy g_{44} nie zależy od położenia. Dlatego dalej zakładamy, dla wszystkich wielkości, niezależność od współrzędnej czasowej x_4 , zatem możemy żądać dla szukanego rozwiązania, aby dla wszystkich x_ν było:

³⁵ Niem. *Relativ zu diesem*; [tensor] w tym właśnie układzie.

³⁶ Tekst niem.: [...] *diese legen wir dem Folgenden zugrunde* (s. 149).

³⁷ Człon: należy rozumieć jako: .

$$g_{44} = 1. \quad (7)$$

Jak zawsze przy problemach statystycznych, trzeba przyjąć dalej, że:

$$g_{14} = g_{24} = g_{34} = 0 \quad (8)$$

Chodzi teraz jeszcze o wyznaczenie tych wszystkich składowych potencjałów grawitacyjnych, które określają czysto przestrzenno-geometryczne zachowanie się naszego kontinuum ($g_{11}, g_{12} \dots g_{33}$). Z naszego założenia o równomierności [*Gleichmäßigkeit*] rozkładu mas wytwarzających pole wynika, że także krzywizna szukanej przestrzeni³⁸ musi być stała. Dla takiego rozkładu mas także poszukiwane zamknięte kontinuum x_1, x_2, x_3 przy stałym x_4 będzie także przestrzenią sferyczną.

Do osiągnięcia tego [stwierdzenia] dochodzimy np. w następujący sposób. Wychodzimy z przestrzeni Euklidesowej $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \zeta_4$ o czterech wymiarach, z elementem liniowym $d\sigma$; jest zatem:

$$d\sigma^2 = d\zeta_1^2 + d\zeta_2^2 + d\zeta_3^2 + d\zeta_4^2. \quad (9)$$

W tej przestrzeni rozważamy hiperpowierzchnię:

$$R^2 = \zeta_1^2 + \zeta_2^2 + \zeta_3^2 + \zeta_4^2, \quad (10)$$

³⁸ Niem. *Mefbraumes*: przestrzeń podlegająca pomiarom.

gdzie R oznacza stałą. Punkty tej hiperpowierzchni tworzą trójwymiarowe kontinuum, przestrzeń sferyczną o promieniu krzywizny R .

Ta czterowymiarowa przestrzeń Euklidesowa, od której wychodzimy, służy tylko do wygodnej definicji naszej hiperpowierzchni. Interesują nas jedynie punkty tej ostatniej, których własności metryczne powinny zgadzać się z tymi, [które ma] fizyczna przestrzeń o równomiernym rozkładzie materii. Do opisu tego trójwymiarowego kontinuum możemy posłużyć się współrzędnymi ξ_1, ξ_2, ξ_3 , (rzut na hiperpłaszczyznę $\xi_4 = 0$), tak aby, zachowując [*vermöge*] (10), można wyrazić ξ_4 przez ξ_1, ξ_2, ξ_3 . Przez wyeliminowanie ξ_4 z (9), otrzymuje się, dla elementu liniowego przestrzeni sferycznej, wyrażenie:

$$\left. \begin{aligned} d\sigma^2 &= \gamma_{\mu\nu} d\xi_\mu d\xi_\nu \\ \gamma_{\mu\nu} &= \delta_{\mu\nu} + \frac{\xi_\mu \xi_\nu}{R^2 - \rho^2} \end{aligned} \right\}, \quad (11)$$

gdzie przyjmuje się $\delta_{\mu\nu} = 1$, gdy $\mu = \nu$, $\delta_{\mu\nu} = 0$, gdy $\mu \neq \nu$ i $\rho^2 = \xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2$. Tak wybrane współrzędne są zadowalające, gdy chodzi o badanie otoczenia jednego z punktów $\xi_1 = \xi_2 = \xi_3 = 0$.

Teraz mamy także dany element liniowy³⁹ szukanego czasoprzestrzennego [*raum-zeitlichen*] czterowymiarowego wszech-

³⁹ Tekst niem.: *Linsenelement* (s. 150; element soczewkowy [obiektywu], zapewne błąd w druku, miałyby być: *Linienelement*: element liniowy); przekład ang.: *linear element* (s. 185; element liniowy).

świata. Musimy podstawić [*wir haben... zu setzen*] jawnie [*offenbar*] za potencjały $g_{\mu\nu}$, których oba indeksy różnią się od 4:

$$g_{\mu\nu} = -\left(\delta_{\mu\nu} + \frac{x_\mu x_\nu}{R^2 - (x_1^2 + x_2^2 + x_3^2)}\right), \quad (12)$$

które [to] równanie, w połączeniu z (7) i (8), zupełnie określa zachowanie miarek [długości] [*Maßstäben*], zegarów i promieni świetlnych w rozważanym czterowymiarowym wszechświecie.

§ 4. O dodatkowym członie dodanym do równań pola grawitacyjnego⁴⁰

Zaproponowane przeze mnie równania pola grawitacyjnego dla dowolnie wybranego układu współrzędnych mają postać⁴¹:

$$\left. \begin{aligned} G_{\mu\nu} &= -\kappa \left(T_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} T \right) \\ G_{\mu\nu} &= -\frac{\partial}{\partial x_\alpha} \left\{ \begin{matrix} \mu\nu \\ \alpha \end{matrix} \right\} + \left\{ \begin{matrix} \mu\alpha \\ \beta \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} \nu\beta \\ \alpha \end{matrix} \right\} \\ &+ \frac{\partial^2 \lg \sqrt{-g}}{\partial x_\mu \partial x_\nu} - \left\{ \begin{matrix} \mu\nu \\ \alpha \end{matrix} \right\} \frac{\partial \lg \sqrt{-g}}{\partial x_\alpha} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

⁴⁰ Tekst niem.: *Über ein an den Feldgleichungen der Gravitation anzubringendes Zusatzglied* (s. 150; warto przytoczyć w oryginale ten historyczny tytuł).

⁴¹ *Lauten*; przekład ang. zamienia $\left\{ \begin{matrix} \mu\nu \\ \alpha \end{matrix} \right\}$ na $\{\mu\nu, \alpha\}$ itd. oraz \lg na \log ; warto zwrócić uwagę, że tekst niem. ma teraz κ , podczas gdy przekład ang. zachowuje też tutaj κ .

Układ równań (13) wcale nie jest spełniony, gdy wstawi się za $g_{\mu\nu}$ wartości podane w (7), (8) i (12) i za (kontrawariantny) tensor energii materii wartości podane w (6). W następnym paragrafie będzie podane, jak przeprowadzić wygodnie ten rachunek. Jeśli ma być pewne, że równania pola (13), dotąd przeze mnie używane, byłyby jedynymi dającymi się pogodzić z postulatem ogólnej względności, to zapewne musielibyśmy wnioskować [*wohl schließen*], że teoria względności nie dopuszcza hipotezy o przestrzennym zamknięciu wszechświata.

Układ równań (14)⁴² umożliwia jednakże oczywiste rozszerzenie dające się pogodzić z postulatem względności, które jest zupełnie analogiczne do rozszerzenia równania Poissonowskiego podanego przez równanie (2). Możemy mianowicie dodać z lewej strony równania pola (13) fundamentalny tensor $g_{\mu\nu}$ pomnożony przez prowizoryczną, nieznaną uniwersalną stałą $-\lambda$, bez naruszenia przez to ogólnej kowariancji; w miejsce równania pola (13) wstawiamy:

$$G_{\mu\nu} - \lambda g_{\mu\nu} = -\kappa \left(T_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} T \right). \quad (13a)$$

Także to równanie pola jest w każdym razie zgodne, przy dostatecznie małej λ , z faktami doświadczalnymi uzyskanymi w Układzie Słonecznym. Spełnia [*befriedigt*] ono także prawa zachowania pędu i energii, gdyż (13a) osiąga się w miejsce (13),

⁴² Najprawdopodobniej błąd (w przekładzie ang. także jest: (14)); chodzi bowiem nadal o (13).

gdy zamiast skalaru tensora Riemannowskiego wprowadzi się do zasady Hamiltonowskiej ten skalar pomnożony przez uniwersalną stałą, [do] zasady, która gwarantuje już ważność praw zachowania⁴³. To, że równanie pola (13a) daje się pogodzić z naszym podejściem [*Ansätzen*] odnośnie pola i materii, zostanie pokazane poniżej.

§ 5. Przeprowadzenie rachunku. Wynik

Skoro wszystkie punkty naszego kontinuum są równoważne, wystarczy przeprowadzić rachunki dla jednego z punktów, np. jednego z dwóch punktów o współrzędnych $x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = 0$. Wtedy dla $g_{\mu\nu}$ w (13a) wszędzie trzeba wstawić wartości:

$$\begin{array}{cccc} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

gdzie one tylko raz lub wcale dadzą się zróżniczkować [*differenziert erscheinen*]. Tak otrzymuje się po pierwsze:

⁴³ „Skalar tensora” nie jest najlepszym sformułowaniem.

$$G_{\mu\nu} = \frac{\partial}{\partial x_1} \begin{bmatrix} \mu\nu \\ 1 \end{bmatrix} + \frac{\partial}{\partial x_2} \begin{bmatrix} \mu\nu \\ 2 \end{bmatrix} + \frac{\partial}{\partial x_3} \begin{bmatrix} \mu\nu \\ 3 \end{bmatrix} + \frac{\partial^2 \lg \sqrt{-g}}{\partial x_\mu \partial x_\nu}.$$

Łatwo stąd otrzymać, przy uwzględnieniu [*mit Rücksicht auf*] (7), (8) i (13), że wszystkie równania (13a) dają się spełnić, gdy zachodzą obie relacje:

$$\begin{aligned} -\frac{2}{R^2} + \lambda &= -\frac{\varkappa\rho}{2} \\ -\lambda &= -\frac{\varkappa\rho}{2} \end{aligned}$$

lub

$$\lambda = \frac{\varkappa\rho}{2} = \frac{1}{R^2}. \quad (14)$$

Nowo wprowadzona uniwersalna stała λ oznacza także zarówno średni rozkład gęstości ρ , jaki może pozostać w równowadze, jak też promień R przestrzeni sferycznej i jej objętość $2\pi^2 R^3$. Całkowita masa wszechświata M jest według naszego ujęcia skończona, równa mianowicie⁴⁴:

$$M = \rho \cdot 2\pi^2 R^3 = 4\pi^2 \frac{R \cdot \sqrt{32\pi^2}}{\varkappa \cdot \sqrt{\varkappa^3 \rho}}. \quad (15)$$

Teoretyczny wniosek [*Auffassung*] [dla] rzeczywistego wszechświata, gdyby on odpowiadał naszym rozważaniom, byłby zatem następujący. Charakter krzywizny [*Krümmung*-

⁴⁴ Przekład ang. zamiast ostatniego wzoru podaje: $\pi^2 \sqrt{\frac{32}{\kappa^3 \rho}}$ (s. 187; niezgodność).

scharakter] przestrzeni jest, zależnie od [*nach Maßgabe*] rozkładu materii, zmienny w czasie i miejscu, pozwala się jednak wielkoskalowo przybliżyć przez przestrzeń sferyczną. W każdym razie jest to wniosek logicznie wolny od sprzeczności i, z punktu widzenia ogólnej teorii względności, najbardziej oczywisty; czy on, z punktu widzenia dzisiejszej wiedzy astronomicznej [*aus betrachtet*], jest solidny, nie tutaj powinno się to zbadać. Aby dojść do tego wolnego od sprzeczności wniosku, musieliśmy oczywiście wprowadzić nowe, nieuzasadnione przez naszą faktyczną wiedzę o grawitacji, rozszerzenie równań pola grawitacyjnego. Trzeba jednakże podkreślić, że dodatnia krzywizna przestrzeni [powodowana] przez będącą w niej materię, wynika [*resultiert*] także wtedy, gdy ów człon dodatkowy nie będzie wprowadzony; ten ostatni był nam potrzebny tylko po to, aby umożliwić *quasi*-statyczny rozkład materii, co odpowiada faktowi małych prędkości gwiazd⁴⁵.

Wydano 15 lutego [1917 r].

⁴⁵ Warto przytoczyć tekst niem.: [λ] *das letztere haben wir nur nötig, um eine quasi-statische Verteilung der Masse zu ermöglichen, wie es der Tatsache der kleinen Sternengeschwindigkeiten entspricht* (s. 152).

O względności bezwładności. Uwagi dotyczące ostatniej hipotezy Einsteina¹ (Przedstawione na spotkaniu 31 III 1917)

Willem de Sitter

z języka angielskiego tłum. Robert Janusz¹

¹ A. Einstein, „Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie”, *Sitzungsber. Berlin*, 8 II 1917, s. 142.

¹ (Cyframi łacińskimi oznaczone są przypisy tłumacza) Źródłem niniejszego tłumaczenia jest publikacja: W. de Sitter, „On the relativity of inertia. Remarks concerning Einstein’s latest hypothesis”, *Proceedings of the Section of Sciences. Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam*, [przekład ang.], Vol. XIX, No. 9 i 10, Johannes Müller, Amsterdam, September 1917, ss. 1217–1225 (sekcja: „Mechanics”). Artykuł jest dostępny w Internecie w wolnym dostępie w serwisie Internet Archive: *Proceedings of the section of sciences: Koninklijke Akademie van Wetenschappen (Netherlands)* pod adresem: <<http://www.archive.org/details/proceedingsofsec192koni>> (ostatni dostęp. 5 VI 2017)

W tekście zostały wprowadzone drobne zmiany redakcyjne dla uzgodnienia ze stylem przyjętym w ZFN.

Jeżeli pominiemy oddziaływanie grawitacyjne całej zwyczajnej materii (Słońca, gwiazd, itd.), i jeżeli użyjemy jako układu odniesienia trzech prostopadłych, kartezjańskich osi przestrzennych i czasu pomnożonego przez c , to, w tej części czterowymiarowej czasoprzestrzeni, która jest dostępna naszym obserwacjom^{II}, wartości $g_{\mu\nu}$ są bardzo zbliżone do tych z dawnej teorii względności, mianowicie:

$$\left. \begin{array}{cccc} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & +1 \end{array} \right\} \quad (1)$$

Tę część czasoprzestrzeni, gdzie tak jest, będę nazywał „naszym otoczeniem”. W przestrzeni rozciąga się ono co najmniej do najdalszej gwiazdy, mgławicy lub gromady^{III}, w której widmie możemy określić wyraźne linie².

^{II} De Sitter, oprócz tego, że był dobrym matematykiem, był też znakomitym astronomem; znał rozwiązania Schwarzschilda. Mówi tutaj o tym, że w naszym otoczeniu czasoprzestrzeń jest płaska (rys. 1).

^{III} „Mgławica” – dawna nazwa galaktyk; dziś – obiekt międzygwiazdowy złożony z pyłu lub gazu. Ówczesny spór dotyczący mgławic i gromad wspomniany przez de Sittera został rozstrzygnięty przez Hubble’a dopiero w 1924 r.

² W. de Sitter, „On Einstein’s theory of gravitation and its astronomical consequences” (second paper), *Monthly Notices R.A.S.*, XII 1916, Vol. LXXVII, s. 182. To ograniczenie odnosi się tylko do g_{44} .

Jakimi $g_{\mu\nu}$ są na zewnątrz naszego otoczenia, tego nie wiemy, a jakiegokolwiek przypuszczenia co do ich wartości są ekstrapolacją, której niepewność rośnie z odległością (w przestrzeni lub w czasie, lub w obydwójgu) od punktu odniesienia. Nigdy nie będziemy wiedzieć, jakimi $g_{\mu\nu}$ są w nieskończoności przestrzennej lub czasowej^{IV}. Niemniej jednak odczuwano potrzebę tworzenia hipotez na ten temat. Ekstrapolacją, która narzuca się najbardziej naturalnie, a którą niejawnie zakłada się także w mechanice klasycznej, jest przyjęcie, że wartości (1) pozostają niezmienione dla całej przestrzeni i czasu aż do nieskończoności. Z drugiej strony chciano dysponować stałymi całkowaniami, lub raczej wartościami brzegowymi w nieskończoności, które byłyby takie same we wszystkich układach odniesienia. Wartości (1) nie spełniają tego warunku. Najbardziej pożądaną i najprostszą wartością dla $g_{\mu\nu}$ w nieskończoności jest oczywiście *zero*. Einstein nie zdołał znaleźć takiego zbioru wartości brzegowych³ i dlatego przyjmuje hipotezę, że Wszechświat nie

^{IV} Warto zwrócić uwagę na to, że Einstein rozwiązywał ten eksperymentalny problem jednym pociągnięciem pióra, mówiąc o jednorodności i izotropowości przestrzeni; de Sitter, jako eksperymentator, wyraża się z dużą ostrożnością.

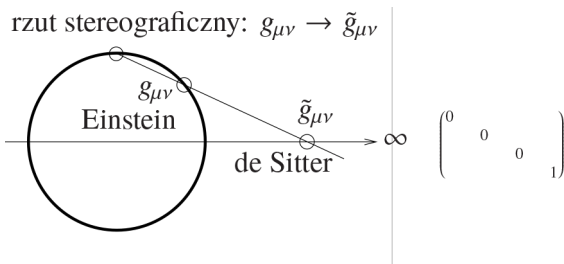
³ Tamże, s. 148. Poniżej okaże się, że hipoteza Einsteina jest równoważna pewnemu określone mu zbiorowi wartości w nieskończoności, mianowicie zbiorowi (2A). Istotnie, jest to oczywiste, że gdyby Wszechświat mierzony w naturalnej skali [*natural measure*] był skończony, wówczas, jeśli by wprowadzić współrzędne euklidesowe, to $g_{\mu\nu}$ musiałyby koniecznie przyjąć w nieskończoności wartości zero, i odwrotnie, gdyby $g_{\mu\nu}$ w nieskończoności równały się zero z dokładnością do wystarczająco wysokiego rzędu, Wszechświat byłby skończony w naturalnej skali.

jest nieskończony, lecz sferyczny: wtedy nie trzeba żadnych warunków brzegowych i trudność znika. Z punktu widzenia teorii względności początkowo wydaje się niepoprawne mówienie, że świat *jest* sferyczny, gdyż można by go opisać w przestrzeni euklidesowej przez jakąś transformację analogiczną do rzutu stereograficznego. Taka całkiem poprawna transformacja zachowuje stałe różne niezmienniki ds^2 , G , itd. Jednak nawet ta niezmienniczość pokazuje, że także w euklidesowym układzie współrzędnych świat, w naturalnej skali, pozostaje skończony i sferyczny. Jeśli tę transformację zastosuje się do $g_{\mu\nu}$, które Einstein znajduje dla swego sferycznego świata, to transformują się one do zbioru wartości, który w nieskończoności degeneruje się do^v:

$$\left. \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix} \right\} \quad (2A)$$

Okazuje się jednakże, iż $g_{\mu\nu}$ einsteinowskiego sferycznego świata (i stąd także ich przetransformowane wartości w eukli-

^v Przedstawia to następujący rysunek:



desowym układzie odniesienia) nie spełniają równań różniczkowych pierwotnie przyjętych przez Einsteina, mianowicie:

$$G_{\mu\nu} = -\kappa(T_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}T). \quad (3)$$

Einstein uważa zatem za konieczne wprowadzić dodatkowy człon do swoich równań, które przyjmują wtedy postać:

$$G_{\mu\nu} - \lambda g_{\mu\nu} = -\kappa(T_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}T). \quad (4)$$

Ponadto okazuje się konieczne założyć, że cała trójwymiarowa przestrzeń jest wypełniona materią^{VI}, której masa całkowita jest tak niezwykle wielka, że w porównaniu z nią cała znana nam materia jest zupełnie zaniedbywalna. Tę hipotetyczną materię będę nazywał „materią świata”.

Einstein zakłada, że jedynie *trój*-wymiarowa przestrzeń jest skończona. Konsekwencją tego założenia jest, że w (2A) g_{44} pozostaje 1, zamiast przyjąć [wartość] zero wraz z pozostałymi $g_{\mu\nu}$. Sugeruje to koncepcję⁴ rozszerzenia hipotezy Einsteina na *cztero*-wymiarową czasoprzestrzeń. Znajdujemy wówczas zbiór $g_{\mu\nu}$, które w nieskończoności degenerują się do wartości:

^{VI} Dodanie λ wymagało założenia istnienia materii, której ilość znacznie przekraczała zwykłą materię znaną z doświadczeń.

⁴ Koncepcję przyjęcia za sferyczny czterowymiarowego świata, w celu uniknięcia konieczności przyjmowania jakichś warunków brzegowych, podsunął autorowi w rozmowie prof. Ehrenfest kilka miesięcy temu. Nie była ona jednak wtedy dalej rozwijana.

$$\left. \begin{array}{cccc} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right\} \quad (2B)$$

Ponadto otrzymujemy godny uwagi wynik, że teraz nie jest potrzebna żadna „materia świata”.

Aby uwypuklić analogię pomiędzy tymi dwoma przypadkami, podaję razem oba układy równań. Wzory *A* odnoszą się do hipotezy (trój-wymiarowej) Einsteina, a wzory *B* odnoszą się do wprowadzonego tutaj założenia (cztero-wymiarowego). Będę używał indeksów *i* oraz *j*, gdy przyjmują one wartości jedynie 1, 2, 3; μ oraz ν przyjmują wartości od 1 do 4. Ponadto Σ oznacza sumę od 1 do 4, a Σ' – od 1 do 3; $\delta_{\mu\mu} = 1$, $\delta_{\mu\nu} = 0$, jeśli $\mu \neq \nu$.

Najpierw rozważam układ odniesienia użyty przez Einsteina. W przypadku *A* przyjmujemy $x_4 = ct$, w [przypadku] *B* biorę, ze względu na symetrię⁵, $x_4 = ict$. W obu przypadkach *R* jest promieniem hipersfery. Dla obu tych przypadków $g_{\mu\nu}$ wynoszą:

$$\left. \begin{array}{l} A \\ g_{ij} = -\delta_{ij} - \frac{x_i x_j}{R^2 - \sum x_i^2} \\ g_{44} = 1 \end{array} \right| \left. \begin{array}{l} B \\ g_{\mu\nu} = -\delta_{\mu\nu} - \frac{x_\mu x_\nu}{R^2 - \sum x_\mu^2} \end{array} \right.$$

⁵ Możemy także przyjąć $x_4 = ct$. Wtedy czterowymiarowy świat jest hiperboliczny zamiast sferyczny, ale wyniki pozostają takie same.

W celu lepszego ukazania sferyczności wprowadzam hipersferyczne współrzędne przez transformacje^{VII}:

$$\begin{array}{l|l} x_1 = R \sin \chi \sin \psi \sin \vartheta & x_1 = R \sin \omega \sin \chi \sin \psi \sin \vartheta \\ x_2 = R \sin \chi \sin \psi \cos \vartheta & x_2 = R \sin \omega \sin \chi \sin \psi \cos \vartheta \\ x_3 = R \sin \chi \cos \psi & x_3 = R \sin \omega \sin \chi \cos \psi \\ & x_4 = R \sin \omega \cos \chi \end{array}$$

Wyrażenie na element liniowy przyjmuje wtedy postać^{VIII}:

$$\begin{array}{l} A: ds^2 = -R^2[d\chi^2 + \sin^2 \chi(d\psi^2 + \sin^2 \psi d\vartheta^2)] + c^2 dt^2, \\ B: ds^2 = -R^2[d\omega^2 + \sin^2 \omega\{d\chi^2 + \sin^2 \chi(d\psi^2 + \sin^2 \psi d\vartheta^2)\}]. \end{array}$$

W końcu wykonuję „rzut stereograficzny” i równocześnie wprowadzam z powrotem współrzędne prostokątne poprzez transformacje:

$$\begin{array}{l|l} A & B \\ r = 2R \tan \frac{1}{2}\chi & h = 2R \tan \frac{1}{2}\omega \\ x = r \sin \psi \sin \vartheta & x = h \sin \chi \sin \psi \sin \vartheta \\ y = r \sin \psi \cos \vartheta & y = h \sin \chi \sin \psi \cos \vartheta \\ z = r \cos \psi & z = h \sin \chi \cos \psi \\ & ict = h \cos \chi \\ x^2 + y^2 + z^2 = r^2 & x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = h^2 \end{array}$$

^{VII} De Sitter nie wiedział, że jego model jest w rzeczywistości ekspandujący; wybrał takie współrzędne, które zasłoniły mu ten istotny efekt.

^{VIII} R interpretuje się jako „promień Wszechświata”; dziś zwykle zaznacza się jego zależność od czasu $R(t)$ i nazywa „czynnikiem skali”.

Nie trzeba wykazywać, że w A x, y, z oraz w B x, y, z, ct można dowolnie zmieniać. Przyjmują następująco:

$$\sigma = \frac{1}{4R^2}.$$

Wtedy $g_{\mu\nu}$ dla zmiennych x, y, z, ct przyjmują wartość⁶:

$$\left. \begin{array}{l} A \\ g_{ij} = -\frac{\delta_{ij}}{(1+\sigma r^2)^2} \\ g_{44} = 1 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} B \\ g_{ij} = -\frac{\delta_{ij}}{(1+\sigma h^2)^2} \\ g_{44} = \frac{1}{(1+\sigma h^2)^2} \end{array} \right\} \quad (5)$$

Wszystkie $g_{\mu\nu}$ poza diagonalą są [równe] zero. Jeżeli σ jest bardzo mała, to $g_{\mu\nu}$ dla rozsądnych wartości r oraz h mają wartości bardzo bliskie (1). W nieskończoności degenerują się one do podanych wyżej wartości (2A) i (2B).

⁶ W układzie B wszystkie $g_{\mu\nu}$ są nieskończone na „hiperboloidzie”:

$$1 + \sigma h^2 = 0 \quad \text{lub} \quad 4R^2 + x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = 0 \quad (a)$$

Ta nieciągłość jest jednak tylko pozorna. Czterowymiarowy świat, który ze względu na symetrię^x przedstawiliśmy jako sferyczny, jest w rzeczywistości hiperboliczny i składa się z dwóch płatów, które łączą się ze sobą jedynie w nieskończoności. Wzory opisują [embrace] oba płaty^y, ale jedynie jeden z nich przedstawia rzeczywisty Wszechświat. Hiperboloida (a) jest granicą pomiędzy dwiema częściami przestrzeni euklidesowej x, y, z, ct odpowiadającej tym dwu płatom. Oś t przecina ją w punktach $ct = \pm 2R$ których odległość od środka układu wynosi, w naturalnej skali, $\int_0^{2R} \frac{cdt}{1-\sigma c^2 t^2} = \infty$. W obu układach długość półosi x w naturalnej skali wynosi $\int_0^\infty \frac{dx}{1+\sigma x^2} = \pi R$.

W celu znalezienia relacji pomiędzy σ i λ musimy podstawić⁷ wartości (5) do równań (4). Aby tego dokonać musimy uwzględnić możliwą konieczność wprowadzenia jakiejś „materii świata”. Zaniedbujemy całą zwyczajną materię i będziemy przyjmować, że materia świata spoczywa i jest jednakowo rozmieszczona⁸ w całej przestrzeni tak, że $T_{44} = g_{44}\rho$ oraz wszystkie inne $T_{\mu\nu} = 0$. Wtedy równania pola przyjmują postać:

$$G_{ij} - \left(\lambda + \frac{1}{2}\varkappa\rho\right)g_{ij} = 0,$$

$$G_{44} - \left(\lambda + \frac{1}{2}\varkappa\rho\right)g_{44} = -\varkappa\rho.$$

Dla takich wielkości $G_{\mu\nu}$ otrzymujemy w obu układach:

$$\begin{array}{l} A \\ G_{ij} = 8\sigma g_{ij} \\ G_{44} = 0, \quad g_{44} = 1 \end{array} \left| \begin{array}{l} B \\ G_{\mu\nu} = 12\sigma g_{\mu\nu} \end{array} \right.$$

Stąd:

$$\left. \begin{array}{l} \lambda = 4\sigma \\ \rho = \frac{8\sigma}{\varkappa} \end{array} \right| \left. \begin{array}{l} \lambda = 12\sigma \\ \rho = 0 \end{array} \right\} \quad (6)$$

⁷ Możemy, oczywiście, wziąć te wartości także w dowolnym innym układzie odniesienia.

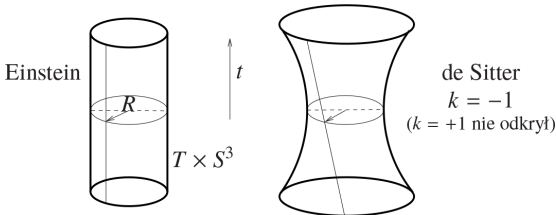
⁸ Chodzi o rozkład, w którym ρ , jako gęstość w *naturalnej* skali, jest stałe. Gęstość w mierze współrzędnych, oczywiście, nie jest wtedy stała, ale (w układzie x, y, z, ct) wynosi zero w nieskończoności.

Wynik dla A jest taki sam, jaki znalazł Einstein^{IX}. Dla B mamy $\rho = 0$: hipotetyczna materia świata nie istnieje.

Który z tych trzech układów ma być preferowany: A z materią świata, B bez niej, oba z równaniami pola (4) i w nieskończoności $g_{\mu\nu}$ (2A) lub (2B); czy pierwotny układ bez materii świata, z równaniami pola (3) i $g_{\mu\nu}$ (1), który zachowuje te same wartości w nieskończoności?

Z czysto fizycznego punktu widzenia, dla opisu zjawisk w naszym otoczeniu, to pytanie nie ma znaczenia. W naszym otoczeniu $g_{\mu\nu}$ mają we wszystkich przypadkach, w ramach granicy dokładności naszych obserwacji, wartości (1), a równania pola (4) nie różnią się od (3). Zatem pytanie jest faktycznie takie: Jak możemy ekstrapolować na zewnątrz naszego otoczenia? Wybór zatem nie może być dokonany na podstawie fizycznych argumentów^X, ale musi opierać się na rozważaniach metafizycznych.

^{IX} Wybór współrzędnych doprowadził do ciekawego wyniku, ale jednocześnie nie umiano radzić sobie wówczas z względnością współrzędnych. Geometria nie zależy jednak od współrzędnych, które czasem mogą nie pokryć całej rozmaitości. De Sitter nie odkrył pełnej geometrii swojego modelu (rys. 3)



^X Zbyt duża gęstość niepokoiła de Sittera. Pionierzy mają prawo do błędzenia. Dziś model – to świat sam dla siebie, który odnosi się następnie do rzeczywistości.

zycznych lub filozoficznych^{XI}, na które, oczywiście, będą także wpływać swoiste osobiste opinie lub upodobania.

Wracając do pytania: Jeśli założymy, że cała materia nie istnieje, za wyjątkiem jednego punktu używanego jako ciało próbne, to czy to ciało próbne posiada bezwładność, czy nie? Szkoła Macha wymaga odpowiedzi *nie*^{XII}. Nasze doświadczenie daje jednakże bardzo stanowczą odpowiedź *tak*, jeśli przez „całą materię” rozumie się wszystką zwyczajną fizyczną materię: gwiazdy, mgławice, gromady, itd. Zwolennicy Macha są zatem zmuszeni przyjąć istnienie jeszcze większej [ilości] materii: materii świata. Jeśli spojrzymy z tego punktu widzenia, musimy koniecznie przyjąć układ *A*, który jest jedynym dopuszczającym materię świata⁹.

^{XI} Dzisiaj sytuacja wygląda inaczej. Efekt krzywizny jest mierzalny przez zliczanie galaktyk i promieniowanie tła. Promieniowanie to „pokrywa” prawie 100% czasu kosmicznego i wykracza daleko poza „nasze otoczenie”. Odnośnie testów o krzywiznie Wszechświata, zob. Ellis G.F.R., *Cosmology and verifiability*, *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, t. 16, 1975, s. 245–264.

^{XII} Jest to mylące sformułowanie. Apriorycznie nie jest pewne, czy materia indukuje bądź nie indukuje masy, więc trzeba przeprowadzić doświadczenia. Przeprowadzono bardzo dokładne pomiary anizotropii masy, otrzymując wynik zerowy. Opierano się na tym, że materii w kierunku centrum Galaktyki jest coraz to więcej.

⁹ Hipoteza poprzednio utrzymywana przez Einsteina, a zaprzeczana przeze mnie, że byłoby możliwe otrzymanie, z równań (3) i przez bardzo wielkie masy [rozmieśczone] na bardzo dużych odległościach, takich $g_{\mu\nu}$, które degenerowałyby się do niezmienniczego zbioru w nieskończoności, okazała się teraz nie do utrzymania przez samego Einsteina (tamże, s. 146).

Jednakże taka materia świata nie służy innym celom, jak umożliwieniu nam przypuszczenia, że ona nie istnieje. Teraz wzór (6) pokazuje, że jeśli ona nie istnieje ($\rho = 0$), to równania pola nie są spełnione: zatem przypuszczenie jej nieistnienia wydaje się logiczną niemożliwością; w układzie A materia świata *jest* przestrzenią trójwymiarową lub przynajmniej jest od niej nieoddzielna.

Możemy także odrzucić postulat Macha, stawiając taki postulat, że w nieskończoności [wartości] $g_{\mu\nu}$ lub jedynie g_{ij} przestrzeni trójwymiarowej będą zero lub przynajmniej [będą] niezmiennikami wszystkich transformacji. Ten postulat może być także wyrażony stwierdzeniem, że musi być możliwe, aby cały Wszechświat wykonywał dowolne ruchy^{xiii}, których nigdy nie da się wykryć przez żadną obserwację. Trójwymiarowy świat musi, w celu umożliwienia wykonania „ruchów”, tj. aby jego pozycja mogła być zmienną funkcją czasu, być rozważany jako ruchomy w „absolutnej” przestrzeni trój- lub więcej wymiarowej (*nie* czasoprzestrzeni x, y, z, ct). Czterowymiarowy świat wymaga dla swoich „ruchów” cztero- (lub więcej) wymiarowej absolutnej przestrzeni, a ponadto jakiegoś poza-światowego „czasu”, który służy jako niezależna zmienna dla tego ruchu.

^{xiii} De Sitter trochę dramatyzuje tę sytuację – dla niego wykonać transformację oznacza obracać Wszechświatem. Stąd bierze się potrzeba zanurzenia Wszechświata w „szerszej” przestrzeni. Dzisiejsze modele symetryczne dają się zanurzyć w przestrzeni 5-wymiarowej, wtedy dowody stają się łatwiejsze. Autor staje przed tą sytuacją po raz pierwszy.

Wszystko to pokazuje, że postulat niezmienniczości $g_{\mu\nu}$ w nieskończoności nie ma żadnego fizycznego znaczenia. Jest on czysto matematyczny.

Układ A , z wartościami $g_{\mu\nu}(2A)$ w nieskończoności, spełnia ten postulat, jeśli się go zastosuje jedynie do trójwymiarowego świata, i jeśli nie wymagamy niezmienniczości dla wszystkich transformacji, a jedynie dla tych, które w nieskończoności mają $t' = t^{10}$. Jeśli ten postulat zastosuje się do świata czterowymiarowego, i do *wszystkich* transformacji, wtedy jedynie układ B spełnia [je]. Stąd stwierdzamy, że w układzie A czas ma status samodzielnego. Że tak musi być, jest oczywiste *a priori*. Mówienie o *takim* trójwymiarowym świecie, bez równoważnego wprowadzenia absolutnego czasu, pociąga za sobą przynajmniej hipotezę, że w każdym punkcie czterowymiarowej przestrzeni jest jedna określona współrzędna x_4 , która jest wyróżniona z wszystkich innych do użycia jako „czas”, i że we wszystkich punktach i zawsze ta jedna współrzędna jest rzeczywiście wybrana jako czas. Tego typu fundamentalna różnica między czasem i współrzędnymi przestrzennymi wydaje się czymś sprzecznym z cał-

¹⁰ Stąd np. zwyczajna transformacja Lorentza:

$$x' = \frac{x - qct}{\sqrt{1 - q^2}}, \quad ct' = \frac{ct - qx}{\sqrt{1 - q^2}}$$

nie jest dozwolona w układzie A , ale musi być zamieniona przez:

$$x' = \frac{x - qct}{\sqrt{1 - \frac{q^2}{(1 + \sigma r^2)^2}}}, \quad ct' = \frac{ct - \frac{qx}{1 + \sigma r^2}}{\sqrt{1 - \frac{q^2}{(1 + \sigma r^2)^2}}}.$$

kowitą symetrią równań pola i równań ruchu (równań linii geodezyjnych) w odniesieniu do czterech zmiennych.

Można wszakże wskazać pewne własności układów A i B . W A prędkość światła jest zmienna^{XIV11}, w nieskończoności staje się nieskończona. W B jest ona zawsze i wszędzie taka sama^{XV}. Z faktu, że możemy określić linie w widmie najbardziej odległych znanych nam obiektów takich jak mgławice [*Nubeculae*], i że paralaksy tych obiektów nie są ujemne, możemy wnioskować, że na tych odległościach nadal mamy w przybliżeniu $g_{ij} = -\delta_{ij}$, $g_{44} = 1$ i w konsekwencji dla $A\sigma r^2$ oraz dla $B\sigma h^2$ muszą być bardzo małe. W przypadku A możemy otrzymać w ten sposób górną granicę σ . Z drugiej strony dla B otrzymujemy, jako wniosek ze stałości prędkości światła, $h^2 = 0$ dla wszystkich czysto optycznych obserwacji (jeśli pominiemy wpływ materii).

Odnosnie wpływu σ na ruch planet^{XVI}: w obu przypadkach płaszczyzna orbity nie jest zniekształcona. W przypadku A nie ma żadnych członów sekularnych zależnych od σ .

Dla [układu] B człony pochodzące od σ są niższego rzędu, jako wniosek z faktu, że wszystkie $g_{\mu\nu}$ zależą jawnie od czasu. Ruch peryhelium [spełnia]:

^{XIV} Zmienność prędkości światła w ogólnej teorii względności wynika z zakrzywienia czasoprzestrzeni.

¹¹ W układzie x, y, z, ct ; w układzie χ, ψ, θ, ct jest ona stała

^{XV} Układ B jest stacjonarny – choć zmienia się, zawsze tak samo wygląda.

^{XVI} Przez pomiar perturbacji można wyliczyć σ .

$$\delta\omega = \frac{3\sigma a^3}{\lambda_0^2} nt - 2\sigma c^2 t^2,$$

i także inne człony mają składniki z $c^2 t^2$; zatem np. parametr orbity eliptycznej [wynosi]:

$$p = p_0 e^{-2\sigma c^2 t^2},$$

gdzie $\lambda_0^2 = \kappa m/8\pi$, m jest masą Słońca, a $e = 2,718...$ Takim „perturbacjom”¹² niedostępnym naszym doznaniom, możemy tutaj także przypisać górną granicę σ .

Nie będę próbował określić tej górnej granicy z jakąkolwiek dokładnością. Dla obu przypadków możemy bezpiecznie przyjąć np. $\sigma < 10^{-24}$ w jednostkach astronomicznych, albo $2\sigma < 10^{-50}$ centymetrów¹³. Jednakże nie możemy zrobić nic więcej, jak przypisać σ jakiejś górnej granicy. Aby umożliwić wy-

¹² Człony niższego rzędu dla „sił zaburzających” są dwojakiego rodzaju:

$$\text{W A: } S = -3\sigma + \frac{2\sigma}{\lambda_0^2} r(\dot{r}^2 - r^2 \dot{\theta}^2), \quad T = \frac{4\sigma}{\lambda_0^2} r^2 \dot{r} \dot{\theta}, \quad W = 0,$$

$$\text{w B: } S = \frac{2\sigma}{\lambda_0^2} r - \frac{2\sigma}{\lambda_0^2} c t \dot{r}, \quad T = -\frac{2\sigma}{\lambda_0^2} c t r \dot{\theta}, \quad W = 0.$$

(Odnosnie notacji patrz np. de Sitter, *On Einstein's theory of gravitation*, M.N. Vol. LXXI, s. 724nn).

Człony z $c^2 t^2$ w przypadku B powstają przez to, że obie jednostki czasu i przestrzeni (w mierze współrzędnych) zależą od czasu.

¹³ Gęstość materii świata w układzie A wynosi wtedy $\rho < 3 \cdot 10^{-17}$ (jednostki astronomiczne) albo $\rho < 2 \cdot 10^{-23}$ (jednostki C.G.S.). To odpowiada jednej gwiazdzie (tej samej masy co Słońce) w sferze o promieniu jednego parseka.

znaczenie wartości tej stałej, byłoby konieczne, aby ona miała mierzalny efekt w jakimś zjawisku fizycznym lub astronomicznym. Obecnie nie można, oczywiście, wykluczyć *a priori*, że kiedyś w przyszłości jakieś obserwacje będą wykonane, albo że odkryje się zjawiska, które można będzie wyjaśnić przy pomocy stałej σ , jednakże jak dotąd nie są znane żadne takie zjawiska, i nie ma żadnych wskazówek czegokolwiek w tym kierunku. Stała σ ma jedynie zadowolić odczuwaną przez wielu filozoficzną potrzebę, ale nie ma ona żadnego rzeczywistego fizycznego znaczenia, chociaż może być interpretowana matematycznie jako krzywizna przestrzeni.

W końcu możemy także odrzucić oba układy A i B , i powrócić do wyjściowych równań pola (3) oraz wartości (1) dla $g_{\mu\nu}$, które nie są niezmiennicze w nieskończoności. Wtedy, oczywiście, nie wyjaśnia się bezwładności: musimy zatem przedłożyć pozostawienie jej bez wyjaśnienia niż raczej wyjaśnianie jej przez nieokreśloną i niewyznaczalną stałą λ . Nie można zaprzeczyć, że wprowadzenie tej stałej umniejsza symetrię i elegancję pierwotnej teorii Einsteina, której główną atrakcją było, że wyjaśniała tak wiele bez wprowadzania jakiegokolwiek nowej hipotezy albo stałej empirycznej.

Postscriptum

Prof. Einstein, któremu zakomunikowałem zasadniczą treść tej pracy, pisze (24 III 1917): „Es wäre nach meiner Meinung unbefriedigend, wenn es eine denkbare Welt ohne Materie gäbe. Das $g_{\mu\nu}$ -Feld soll vielmehr *durch die Materie bedingt sein, ohne dieselbe nicht bestehen können*. Das ist der Kern dessen, was ich unter der Forderung von der Relativität der Trägheit verstehe”^{xvii}. On zatem postuluje to, co nazwałem powyżej logiczną niemożnością przypuszczenia, że materia nie istnieje. Możemy nazwać to „materialnym postulatem” względności bezwładności. To może być spełnione jedynie przez wybór układu A razem z jego materią świata, tzn. przez wprowadzenie stałej λ , i przypisanie czasowi wyróżnionej pozycji między czterema współrzędnymi.

Z drugiej strony mamy „matematyczny postulat” względności bezwładności, tzn. postulat, że $g_{\mu\nu}$ powinny być niezmiennicze w nieskończoności. Postulat ten, jak to wykazano powyżej, nie ma żadnego fizycznego znaczenia, [gdyż] nie ma w nim mowy o materii. Może być on spełniony przez wybór układu B , bez materii świata, i z zupełną względnością czasu^{xviii}. Ale tu-

^{xvii} „Według mnie byłoby niezadowolające, gdyby był możliwy świat bez materii. Pole $g_{\mu\nu}$ powinno raczej *być uzależnione od materii, bez której nie mogłoby istnieć*. To jest sedno tego, co rozumiem przez wymaganie (*Forderung*) względności bezwładności”. Pole $g_{\mu\nu}$ jest wielkością geometryczną i może istnieć bez materii, a wyrażony tu pogląd Einsteina jest wynikiem przyjmowania przez niego zasady Macha.

^{xviii} Model de Sittera też jest iloczynem kartezjańskim „czas” \times „przestrzeń chwilowe”.

taj także potrzebujemy stałej λ . Wprowadzenie tej stałej może być tylko wtedy pominięte, gdy odrzuci się całkowicie postulat względności bezwładności^{XIX}.

^{XIX} W niniejszym artykule rachunków jest stosunkowo niewiele, ale jest za to głęboka dyskusja dotycząca fundamentalnych aspektów fizyki. Einstein uważał, że liczenie jest największym wrogiem myślenia; liczyć należy wtedy, gdy się wie, jaki jest wynik. Można powiedzieć, że jest to podejście bardziej filozoficzne niż „aktualnie” naukowe. W odróżnieniu od niego, „konkretny” de Sitter, odnośnie do względności inercji, zwraca uwagę na trzy elementy: materię świata, wyróżnienie czasu i stałą λ . Dopiero Friedmann, dzięki przestawieniu naukowego myślenia na nowe tory, wykazał „przypadki pośrednie” pomiędzy rozwiązaniami Einsteina i de Sittera. Zagadnienie stałej jest do dziś dyskutowane – równania z nią są bardziej ogólne, aczkolwiek znane są modele bez tej stałej. Mechanika kwantowa wiąże stałą λ z próżnią.

Czy można nie być naturalistą?

J. Woleński, *Wykłady o naturalizmie*, Wydawnictwo Naukowe UMK, Toruń 2016, ss. 226.

Problematyka naturalizmu nie pojawiała się zbyt często w kręgu zainteresowań polskich filozofów. Być może jest to efekt specyfiki rodzimej tradycji filozoficznej, w której tendencje skrajnie naturalistyczne właściwie nigdy nie wykształciły się na tyle, aby mogły stanowić poważną przeciwwagę dla prądów mniej lub bardziej antynaturalistycznych. Ostatnimi czasy w Polsce o naturalizmie mówiło się jednak częściej, zwłaszcza w kontekście konkretnych problemów z zakresu teorii prawa, metodologii nauk, filozofii przyrody, filozofii umysłu czy filozofii religii. Zagadnienie naturalizmu – rozu-

mianego jako specyficzny, komplementarny nurt filozoficzny – nie było natomiast przedmiotem odrębnych studiów. Na szczęście *Wykłady o naturalizmie* Jana Woleńskiego w pewnym stopniu wypełniły tę lukę, wzbogacając rodzimą myśl filozoficzną o interesującą perspektywę tzw. umiarkowanej wersji naturalizmu, z którą Woleński sympatyzuje i której broni na kartach swojej książki¹.

Omawiana pozycja ukała się w 2016 roku nakładem Wydawnictwa Naukowego Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Spis treści może sugerować, że książka ma charak-

¹ J. Woleński, *Wykłady o naturalizmie*, Toruń 2016. Praca stanowi rozszerzoną wersję wystąpień o naturalizmie, jakie prof. Woleński wygłosił w dniach 16–18 listopada 2015 roku w ramach cyklu Wykładów Kopernikańskich w Humanistyce, zorganizowanych przez Wydział Humanistyczny Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu.

ter przeglądowny. Tytuły głównych rozdziałów („Ogólne uwagi o naturalizmie”, „Krótka historia naturalizmu”, „Naturalizm a ontologia”, „Naturalizm a epistemologia”, „Naturalizm, logika, matematyka”, „Naturalizm a etyka”) wskazują na szeroki zakres tematyczny pracy, zogniskowany wokół problematyki naturalizmu w kontekście nauk formalnych i filozofii. Większość rozdziałów liczy ok. 30 stron², choć nie w każdym przypadku udało się zachować proporcje (najdłuższy rozdział „Naturalizm i ontologia” składa się z 39 stron, podczas gdy najkrótszy, „Naturalizm i etyka”, z 24 stron). Przegląd bibliografii utwierdza w przekonaniu, że Autorowi zależało na możliwie wszechstronnym podejściu do zagadnienia naturalizmu, a dobór źródeł nie został ograniczony

² Strona zawiera ok. 1800–2000 znaków ze spacjami.

wyłącznie do pozycji dostępnych w języku obcym (głównie anglo- i niemieckojęzycznych). Dość powiedzieć, że wykaz zawiera 261 prac, z czego artykuły i książki napisane bądź przetłumaczone na język polski stanowią blisko 1/3 bibliografii³, co może okazać się ważną informacją dla tych czytelników, którzy po lekturze książki Woleńskiego pragnęliby uzupełnić swoją wiedzę, zapoznając się z pracami dostępnymi w języku ojczystym.

W części wstępnej książki Woleński zaznacza, iż jego rozważania „są z reguły ogólne lub/i szkicowe, na ogół ograniczone do zarysowania dyskutowanych kwestii i sposobów ich rozwiązywania, przede wszystkim przez naturalistów”, przy czym „prezentowana książka jest także poświęcona antynaturalizmowi, czyli opozycji wobec naturalizmu”

³ Dokładnie 82 pozycje, czyli 31,4%.

(s. 7–8). Na kartach książki Autor nie stroni również od merytorycznych dygresji do podejmowanych zagadnień, które zostały odpowiednio oznaczone i włączone w korpus głównego tekstu. Zasadniczy tok rozważań jest w wielu miejscach przeplatany polemiką z ujęciami antynaturalistycznymi. Dyskusje te bywają bardzo interesujące i aż prosi się o ich rozwinięcie w przyszłości. Zwłaszcza, że argumenty wysuwane w dyskusjach między naturalistami a antynaturalistami – na przykład w kontekście sporu o istnienie Boga czy statusu poznawczego wypowiedzi normatywnych – bywają zróżnicowane, a swoim oddziaływaniem ograniczają się wyłącznie do poziomu akademickich dyskusji, lecz często przekładają się na życie społeczne (zob. np. s. 73).

Omawianą pozycję można potraktować jako wprowadzenie do problematyki naturalizmu. W

początkowych fragmentach *Wykładów* Autor w przystępny sposób kreśli różne oblicza tego kierunku, zwracając uwagę na kwestie terminologiczne oraz kładąc nacisk na potrzebę różnicowania między naturalizmem ontologicznym, epistemologicznym, metodologicznym, etycznym i prawniczym (s. 28). Woleński kieruje także uwagę czytelnika na dzieje filozofii, przypominając, że już tradycja greckiej myśli filozoficznej rozdziła się z próby naturalizacji. Fragmenty te świadczą o tym, że problem naturalizmu trudno sprowadzić wyłącznie do czasów nowożytnych i współczesnych, gdy nauki matematyczno-przyrodnicze zaczęły świecić triumfy. „Krótka historia naturalizmu” od czasów starożytnych po wiek XX ma jednak przede wszystkim charakter zarysu i niewątpliwie zasługiwałaby na rozwinięcie; tym bardziej, że – jak przyznaje sam

Autor – „nie ma, o ile mi wiadomo, szczegółowej historii tego kierunku” (s. 39).

W dalszych częściach książki Woleński podejmuje problematykę naturalizmu w kontekście głównych dyscyplin filozoficznych i nauk formalnych. W świetle przyjętych założeń przygląda się m.in. koncepcji bytu, argumentacjom teistycznym, problemowi źródeł i granic poznania, próbie wyjaśnienia genezy logiki czy zagadnieniom metaetyki. Autor ujmuje naturalizm w powiązaniu z empiryzmem, aprobując taką postać filozofii, która pozostaje *philosophiae secundae* wobec nauki, czerpiąc przy tym z narzędzi logicznych i metodologicznych. Woleński zwraca również uwagę, że przyjęcie stanowiska naturalistycznego nie musi być równoznaczne z akceptacją poglądów skrajnie redukcjonistycznych (monizm materialistyczny) czy scjentyistycznych. Stanowisko naturali-

zmu umiarkowanego jest bowiem do pogodzenia z ujęciami bardziej subtelnymi, jak chociażby stratalizm, w ramach którego przyjmuje się koncepcję warstwowej struktury rzeczywistości (zob. np. 75–78). Krakowski uczony staje się na kartach *Wykładów* rzecznikiem myślenia respektującego wyniki nauk szczegółowych, zorientowanego na rzetelną, pozbawioną wygórowanych ambicji filozoficzno-logiczną analizę problemów, które powstają na gruncie naturalizmu. Siłą rzeczy książka Woleńskiego zachęca także do podjęcia przemyśleń nad specyfiką naturalizmu jako pewnej propozycji metafizycznej, tzn. propozycji szukającej odpowiedzi na pytanie, w jaki sposób uprawiać filozofię, rozumieć jej zadania, funkcje, cele czy związki z innymi dziedzinami poznania.

Książka została oparta na cyklu trzech półtoragodzinnych wykładów. Zapewne miało to

wpływ na jej objętość i sposób prezentacji materiału. *Wykłady o naturalizmie* nie są dziełem wyczerpującym, ale jako przyczynek do podjęcia debaty sprawdzają się znakomicie. Dobrze byłoby, gdyby zapoznali się z tą pracą nie tylko filozofowie przyrody i nauki, ale także teologowie oraz filozofowie chrześcijańscy stroniący na co dzień od zagadnień okołonaukowych. Spór między naturalizmem a antynaturalizmem, do którego Woleński często nawiązuje, dotyka bowiem kwestii fundamentalnych z punktu widzenia uprawomocnienia myśli chrześcijańskiej wobec współczesnej nauki i filozofii. Zdawał sobie z tego sprawę między innymi Józef Życiński, który w wielu swoich pracach pozostawał rzecznikiem chrześcijańskiej wersji naturalizmu. Rzecz jasna spór o to, czy taką wersję naturalizmu uznamy za uzasadnioną merytorycznie, sam w sobie

również pozostaje otwarty, jednak przykłady z dziejów filozofii Boga (rozwój koncepcji panenteizmu, panteizmu czy deizmu) pokazują, że w tradycji zachodniej tendencje naturalistyczne próbowano godzić z tezą o istnieniu Absolutu, co mogłoby okazać się interesującym załączkiem do dalszej dyskusji.

Wykłady o naturalizmie wydają się również ciekawą pozycją dla historyków filozofii polskiej – zarówno tych, którzy interesują się postacią i filozofią Woleńskiego, uznawanego za spadkobiercę tradycji Szkoły Lwowsko-Warszawskiej, ale także wszystkich obserwatorów rozwoju polskiej filozofii uprawianej w kontekście naukowym. Wreszcie, jest to książka dla każdego, kto po prostu ceni dobrą lekturę filozoficzną, przy czym należy nadmienić, że *Wykłady* wymagają od czytelnika podstawowej wiedzy z zakresu fundamentalnych dziedzin filozo-

fii, logiki formalnej (teoria zbiorów, język rachunku predykatów) oraz kilku dyscyplin szczególnie, szczególnie biologii oraz neuronauk, do wyników których Woleński najchętniej się odwołuje.

Warto na koniec powrócić do pytania postawionego w tytule. Czy można nie być naturalistą, zwłaszcza jeśli chce się pozostać dobrym, rzetelnym w swoim „fachu” filozofem? Łatwo można domyślić się, jakiej odpowiedzi udzieliłby Woleński. Zapewne jednak nie każdy czytelnik zgodziłby się z diagnozą krakowskiego uczonego. Naturalizm cieszy się w wielu środowiskach złą sławą. Niekiedy wyrażenie „filozoficzny naturalista” bywa wręcz traktowane jako obelga; epitet, który otwiera i równocześnie kończy dyskusję. Czy jednak rzeczywiście istnieją powody do obaw przed tym nurtem myślowym?

Wydaje się, że każdy filozof zawierający sojusz z nauką już w momencie podjęcia decyzji dokonuje wyboru bycia naturalistą, podążając śladami „ojców założycieli” filozofii. Gdy przed wiekami jońscy myśliciele podjęli wysiłek krytycznego namysłu nad elementarnością natury, stali się przecież – przynajmniej na miarę czasów, w których żyli – protoplastami filozofii naturalistycznej. Gdyby jednak późniejsi filozofowie poprzestali na wywodach Talesa czy Anaksymenesa, zapewne nie cieszylibyśmy się dziś z osiągnięć nauki oraz techniki. Dostrzeżenie, że pod powierzchnią obserwowalnych zjawisk skrywa się bardziej skomplikowany mikroświat atomów i cząstek elementarnych jest tylko jednym z przykładów pokazujących, iż naturalizm z założenia powinien pozostawać koncepcją elastyczną, antydogmatyczną, otwartą na nowe ustalenia. Mam

wrażenie, o ile oczywiście dobrze zrozumiałem treść *Wykładów*, że właśnie takiej koncepcji naturalizmu sprzyja Woleński.

W świetle powyższej tezy można nieśmiało stwierdzić, że linia oddzielająca naturalizm od antynaturalizmu nie zawsze pozostaje ostra. Filozof jest lub nie jest naturalistą, ale jeszcze częściej bywa po prostu mniej lub bardziej konsekwentnym naturalistą. Woleński kończy książkę uwagą, iż „naturalista [...] ogranicza swoje ambicje i poprzestaje na tym, że dyskusja filozoficzna ma nie tyle rozwiązać problem, ile go rozjaśnić, np. w postaci zarysowania możliwych dróg uporania się z daną kwestią i wskazania trudności, jakie nas czekają. I tak już chyba pozostanie” (s. 205–206). Przypuszczam, że gdyby w powyższym fragmencie zastąpić słowo „naturalista” sło-

wem „filozof”, podpisałoby się pod tym wielu współczesnych przedstawicieli ośrodków filozoficznych w Polsce, niekoniecznie deklarujących sympatię z nurtem naturalistycznym. Co oczywiście nie oznacza, że konsekwentny i logicznie spójny naturalizm jest domeną polskiej filozofii, a rodzime uczelnie są kuźniami naturalistów. Jest to jednak temat na inną okazję.

W starym dowcipie na pytanie, czego szuka filozof w bibliotece, odpowiadać się zwykło: Nietzschego. Znajomość *Tako rzecze Zaratustra* to obecnie podstawa edukacji filozoficznej, choć wypada mieć nadzieję, że zagubiony w bibliotece filozof na tym nie poprzestanie. A jeśli na jednej z półek odnajdzie *Wykłady o naturalizmie* i zapozna się z ich zawartością, nie powinien być rozczarowany.

Kamil Trombik

Jeszcze raz o ucieleśnionej sztucznej inteligencji

Vincent C. Müller (red.),

Fundamental issues of artificial intelligence, Springer International Publishing AG, 2016, ss. 570.

Do lat 80. dwudziestego wieku w dziedzinie sztucznej inteligencji (SI) przeważała perspektywa GO-FAI – *Good Old-Fashioned Artificial Intelligence*. Przyjmowała ona założenia klasycznego funkcjonalizmu, zakładając, że stany mentalne są identyczne ze stanami fizycznymi umysłu. Poznanie było postrzegane jako procesy obliczeniowe, w trakcie których powstaje reprezentacja symboliczna. Rozwój nauk kognitywnych początkowo sprzyjał tym założeniom, dostarczając hipotez przedstawiających modele umysłu, który zarządza działaniem organizmu

i który może zostać zaimplementowany w sztucznym systemie obliczeniowym. Nauki poznawcze dostarczały wzorów mechanizmów kognitywnych, a inżynieria sztucznej inteligencji wykorzystywała je do budowania sztucznych systemów poznawczych. Nie ulega wątpliwości, że wpływ na skojarzenie tych odmiennych dziedzin nauki miały związane z nimi głębokie filozoficzne fundamenty. Filozoficzne rozważania wywarły wyraźny ślad w badaniach sztucznych systemów, dlatego nie należy zapominać o podstawowych problemach dziedziny SI, które w olbrzymiej mierze zostały wywołane i ukształtowane przez filozofię.

Fundamental issues of artificial intelligence pod redakcją Vincenta C. Müllera przedstawia szczegółowy obraz obecnej wiedzy na temat sztucznej inteligencji. Książka powstała jako owocny rezultat drugiej konfe-

rencji „Teoria i filozofia sztucznej inteligencji”, która odbyła się w 2015 roku w Oxfordzie. Publikacja zawiera 33 teksty wybitnych naukowców z całego świata, które są zorganizowane w sekcjach zatytułowanych: „Komputery”, „Informacja”, „Poznanie i rozumowanie”, „Ucieleśnione poznanie” i „Etyka”. Redaktor tomu, Vincent C. Müller, od lat zajmuje się badaniem natury i perspektywami systemów obliczeniowych. Szczególnie zainteresowany jest możliwościami powstania sztucznej inteligencji. Zorganizował wiele ważnych konferencji w tej dziedzinie, w tym wspomnianą konferencję w 2015 roku. Müller publikuje artykuły i jest redaktorem pozycji dotyczących filozofii informatyki, filozofii SI, nauk poznawczych, filozofii języka i dziedzin pokrewnych. Pracuje w Anatolia College i na Uniwersytecie w Oxfordzie.

W książce duży nacisk położono na opis problemów zwią-

zanych z dziedziną nauk kognitywnych, neurofilozofii, filozofii umysłu. W publikacji zbadane zostały warunki i możliwości powstania inteligentnych systemów w oparciu o badania nad inteligencją żywych organizmów, zastosowaniu nauk społecznych w sztucznym zdecentralizowanym systemie, a także poruszono problemy prawne i etyczne. Wśród zagadnień podjętych przez autorów tomu znajdują się rozważania dotyczące robotyki, emulacji i symulacji mózgu, systemów hybrydowych, systemów interaktywnych, systemów wielozadaniowych, kwestie związane z cyborgami i wiele innych. Niełatwym zadaniem byłoby przedstawienie każdego z rozdziałów, który znalazł się w tomie, dlatego niniejszy tekst chciałabym poświęcić wielokrotnie podejmowanemu tam zagadnieniu ucieleśniania sztucznych systemów.

Sztuczna inteligencja przechodzi pewnego rodzaju odrodzenie. Dzieje się tak z powodu zwiększania mocy obliczeniowej i uzyskania wydajniejszych algorytmów. Dużą rolę odgrywa też dostęp do ogromnej ilości danych uzyskanych przez nauki poznawcze. Badanie nad ucieleśnieniem i związek tegoż z procesami poznawczymi wydają się być obecnie kluczem do skonstruowania systemów inteligentnych. Wielu autorów w tomie podkreśla ten problem. W rozdziale *Is there a role for computation in the enactive paradigm?* Carlosa F. Brito i Victora X. Marquesa znajdują się liczne odniesienia do ucieleśnienia inspirowanego pracami Francisco Vareli, który swoje badania poświęcił niemal całkowicie rozważaniom nad istotnością ucieleśnienia organizmów. Celem artykułu jest opisanie naturalnych zjawisk obliczeniowych. Autorzy proponują interpretację oddziaływania

systemu z elementami jego środowiska poprzez adaptacyjne mechanizmy konstruujące poznanie, w miejsce klasycznego modelu komputacyjnego. Ich zdaniem pojęcie obliczeń można zrozumieć dzięki enaktywnemu paradygmatowi, gdzie poznanie i rozwój systemu są możliwe dzięki gromadzeniu doświadczeń, zachodzącym bez udziału szeroko rozumianej świadomości. W swoim artykule Brito i Marques podejmują interesującą próbę stworzenia definicji przetwarzania informacji w dynamicznym, ewoluującym procesie fizycznym.

David Leslie w *Machine intelligence and the ethical grammar of computability* dowodzi, że obecne rozumienie obliczeniowości musi zakładać istnienie konkretnych operacji ucieleśnionych w procesach myślenia. Opisuje to poprzez przykłady zastosowania podstawowych reguł do ciągów rozpoznawalnych symboli.

Co ciekawe, Leslie twierdzi, że metody obliczeniowe mogą zostać uchwycone wyłącznie za pomocą dostępnych zasobów umysłowych wspólnych wszystkim ludziom i są zawężone do granic wyznaczonych przez ludzkie możliwości fizyczne.

Bardzo interesujący tekst został zaprezentowany przez Gordanę Dodig-Crnkovic. W *Information, computation, cognition. agency-based hierarchies of levels* autorka łączy informację z obliczeniami i poznaniem poprzez koncepcję czynników pojawiających się na różnych poziomach organizacji układów fizycznych, chemicznych i poznawczych. W swoim artykule Dodig-Crnkovic twierdzi, że w żywych organizmach informacja, obliczenia i poznanie są uogólniane w celu uzyskania struktury informacyjnej. Również środowisko może być postrzegane jako struktura informa-

cyjna z dynamiką obliczeniową. Według autorki w strukturze tej niezbędny jest działający podmiot, który posiada umiejętność aktualizowania dostępnych informacji na temat świata. Dodig-Crnkovic powołuje się na definicje Batesona i Hewitta, pisząc, że „informacja jest różnicą w jednym systemie fizycznym, która czyni różnicę w innym systemie fizycznym”. Argumenty autorki prowadzą do ustalenia wspólnych ram koncepcyjnych dla wielu dziedzin: obliczeń, teorii informacji, działania i poznania, biologii i robotyki. W tekście przedstawiona została propozycja stworzenia modelu obliczeniowego świata fizycznego, w którym na różnych poziomach organizacji nieustająco trwa przetwarzanie informacji.

W rozdziale *From simple machines to eureka in four not-so-easy steps: towards creative visuospatial intelligence* autor-

stwa Any-Marii Oltețeanu przedstawiony został sposób, w jaki mechanizmy poznawcze oparte na przetwarzaniu danych przestrzenno-wizualnych mogą być wdrażane w sztucznych systemach. Autorka przedstawia sposoby integracji zdolności kognitywnych w celu osiągnięcia wyższych umiejętności kreatywnego rozwiązywania problemów i wnioskowania. Mimo że Oltețeanu nie stawia sobie za cel opisywania problemu ucieleśnienia rozwiązywania problemów, bardzo mocno podkreśla, że rozwiązywanie problemów powinno mieć zawsze miejsce w odniesieniu do zjawisk fenomenologicznych, dostępnych dzięki usytuowaniu w środowisku.

Gualtiero Piccini jest kolejnym autorem podkreślającym istotność ucieleśnienia sztucznych systemów. W tekście *The computational theory of cognition* rozważa założenia przyjmo-

wane w badaniach nad świadomością maszyn. Autor zastanawia się, czy wyjaśniania różnych funkcji umysłu w sposób mechanistyczny, jako obliczenia, które są realizowane w mózgu biologicznych organizmów, jest empirycznie testowalne. Zwraca uwagę, że przyjęcie *a priori* obliczeniowej teorii poznania prowadzi do założenia, że procesy neuronowe są obliczeniami i tym samym wymusza przyjęcie niedowodzonych hipotez. Zdaniem autora zdolności poznawcze muszą być wyjaśniane przez przetwarzanie informacji przez neurony, co prowadzi do nieco odmiennych interpretacji. Piccini twierdzi, że należy przede wszystkim skupić się na stanie systemu i jego otoczenia, gdy ten prawidłowo zbiera i przenosi informacje. Szczególnie ważną rolę odgrywa tu sprzężenie zwrotne, uwzględniające istnienie zmiennych, które wpływają na stan

umiejętności poznawczych każdego układu. Mechanistyczne wyjaśnienie w neuronaukach różni się od mechanistycznego wyjaśnienia w obliczeniowej teorii poznania, ze względu na wiele szczególnych funkcji, które wykonuje system nerwowy.

W rozdziale *Toward a theory of intelligent complex systems: from symbolic AI to embodied and evolutionary AI* Klaus Mainzer przedstawia teorię inteligentnych złożonych systemów. Zastanawia się nad problemem inteligencji jako takiej, zauważając, że ludzka inteligencja jest postrzegana jako wyjątkowy zestaw umiejętności rozwiązywania problemów, który wyewoluował w czasie ewolucji biologicznej. W bardzo interesujący sposób pokazuje, że w ucieleśnionej sztucznej inteligencji i robotyce pojawienie się inteligencji jest wynikiem zachowania fizycznego systemu i jego in-

terakcji ze środowiskiem. To, co wydaje się jeszcze bardziej atrakcyjne w tekście Maiznera, to jego przekonanie, że inteligencja nie jest zarezerwowana dla żywych organizmów, ich mózgów i umysłów. Autor przekonuje, że sieci komputerowe ewoluują wraz z infrastrukturą techniczną i społeczną, kreując inteligentną działalność systemów cybernetyczno-fizycznych.

Kolejny tekst, przedstawiony przez Marka H. Bickharda, *The Anticipatory brain: two approaches* prezentuje dwa podejścia do funkcjonowania mózgu: „*Predictive Brain*” oraz „*Interactivist*”. Autor wskazuje, że niezależnie od sposobu opisu działania, obydwa muszą brać pod uwagę, że najważniejsze umiejętności są w pewien sposób wkomponowane w organizację całego organizmu, a nie tylko w budowę mózgu. Bickhard w swoim tekście dowodzi między innymi, że

taka perspektywa musi stać się oczywistym sposobem wyjaśniania organizacji i uporządkowania pracy mózgu.

General homeostasis, passive life, and the challenge to autonomy Stefano Franchiego podejmuje nietrywialny temat homeostazy i utrzymania autonomii. To jedyny tekst w tomie poświęcony temu zagadnieniu. Według Franchiego podstawowe pojmowanie autonomii i heteronomii oraz ich zrównanie z innymi ważnymi pojęciami, jak ciało i umysł, zwierzę i człowiek, emocje i rozum, itp., mają kluczowe znaczenie dla zrozumienia istot żywych oraz w projektowaniu sztucznych systemów.

W rozdziale *Explaining everything* David Davenport podjął się polemiki z angielskim fizykiem Davidem Deutschem, który kwestionował jakiegokolwiek osiągnięcia sztucznej inteligencji. Davenport wskazuje, powstanie sztucznej inteligencji jest

możliwe dzięki uniwersalności obliczeń. Autor twierdzi, że problem niemożności przedstawienia komputerowej teorii wyjaśnienia wszystkiego (opisującej wszystkie zjawiska i przewidującej wyniki dowolnych doświadczeń dzięki nieskończonym możliwościom obliczeniowym komputera) jest ucieleśnienie, osadzenie i usytuowane podejście do poznania żywych organizmów. Uniwersalne urządzenie komputerowe musiałoby mieć taki system kontroli, który może wystąpić całkowicie tylko w ciele i w interakcji ze środowiskiem.

W książce pojawił się też inny wart uwagi artykuł: *The seminal speculation of a precursor: elements of embodied cognition and situated AI in Alan Turing* autorstwa Massimiliano L. Cappuccio. Autor poświęca swój tekst wkładowi Alana Turinga do nauk kognitywnych. Cappuccio przeciwstawia się przekonaniu, że

prace Turinga przedstawiają wyłącznie symboliczne podejścia do poznania i poszukują jedynie podejścia, które mogłyby pomóc zaimplementować działanie żywego umysłu w sztucznym systemie. Autor wskazuje, że w tekstach Turinga znajduje się wiele odniesień do interakcji aktywnego podmiotu i jego środowiska. Znajduje w tekstach prekursora informatyki nawiązania do istotności ucieleśnienia, które powoduje, że podmiot poznania rzeczywiście się uczy. Według Cappuccio, Turing zauważał, że działanie pierwotnych bodźców ciała daje nam wstępne warunki dla poznania. Uważał jednak taki model za zbyt prymitywny, dlatego nie docenił roli odgrywanej przez ciało. Autor tekstu przedstawia nową perspektywę odczytywania tekstów Turinga, dla którego inteligencja była realizowana jako zdekontekstualizowana treść, którą można odłączyć

i przekazać niezależnie od sposobu jej fizycznej implementacji.

W publikacji nie zabrakło też wkładu polskich naukowców. Rozdział *Computation and multiple realizability* został napisany przez Marcina Miłkowskiego i chociaż nie traktuje o ucieleśnionych systemach inteligentnych, warto poświęcić mu nieco uwagi. Miłkowski przedstawia sposoby, w jaki mentalne właściwości, stany lub zdarzenia mogą być realizowane przez różne właściwości fizyczne. Jest to szczególnie istotne, gdy staramy się pojąć naturę systemów obliczeniowych. Autor twierdzi, że obliczenia nie mogą zostać sprowadzone do właściwości fizycznych. Jego zdaniem podstawa fizyczna systemu jest przyczynowo istotna i wpływa na tworzenie modeli obliczeniowych, które muszą zawierać użyteczne i określone informacje. Powrót do tej idei to bardzo ciekawy pomysł, a hipo-

tezy Miłkowskiego stawiają tytułowy problem w nowym świetle.

Opisywane w książce rozważania i badania dotyczące dziedziny sztucznej inteligencji, robotyki i nauki kognitywnej wykazują, że inteligencja wymaga ciała i nie może być zrozumiana tylko na poziomie algorytmów. Autorzy tego tomu, niezależnie od specjalizacji i odmienności swoich badań, zgodnie twierdzą, że zamiast skupiać się tylko na podłożu nerwowym (jak to ma miejsce w komputacjonizmie), należy skierować uwagę w stronę kompletnego organizmu, który obejmuje morfologię (kształt, rozkład i charakterystykę fizyczną czujników i silników, kończyn itd.) i budulec. Ważnym aspektem na nowo odkrywanych zagadnień badawczych jest zrozumienie pewnej „ekologicznej” równowagi, czyli związku morfologii, budulca i umysłu. Z artykułów bezsprzecznie wynika, że te kwestie odgry-

wają zasadniczą rolę w rozwoju inteligencji każdego systemu.

Książka przeznaczona jest przede wszystkim dla osób, które zajmują się teoretycznymi aspektami zagadnień sztucznej inteligencji. Wydaje się jednak, że mogłaby stać się pouczającą lekturą także dla inżynierów i konstruktorów sztucznych systemów, którzy dzięki niej poznaliby, jakie filozoficzne założenia znajdują się w podstawach rozwoju informatyki. W kilku tekstach duży nacisk położono na etykę rozwoju inteligentnych systemów, co jest szczególnie aktualne i ważne w czasie konstruowania autonomicznych maszyn. W książce starano się uwzględnić podstawowe problemy sztucznej inteligencji oraz przedstawić obszary, w których może zostać użyta. Dodatkowo, w tomie zaprezentowano wiele nowych i interesujących badań, więc każdy zainteresowany problemami

sztucznej inteligencji odnajdzie w niej wiele atrakcyjnych materiałów. Większość artykułów może służyć jako dobre źródło informacji o aktualnych problemach SI. Dla studentów lektura recenzowanego tomu może stać się źródłem nie tylko informacji, lecz także inspiracji i nowych pomysłów. W mojej opinii w tomie zabrakło jedynie tekstu

poświęconego autonomii sztucznych systemów. Ten brak jest zaskakujący, jeśli weźmiemy pod uwagę aktualność badań nad samodzielnymi maszynami. Mimo tego, bardzo polecam tę książkę zarówno czytelnikom należącym do środowiska akademickiego, jak i tym, którzy interesują się nauką i technologią.

Anna Sarosiek

Świat pod lupą fenomenologa

Aleksandra K. Przegalińska, *Istoty wirtualne. Jak fenomenologia zmieniła sztuczną inteligencję*, Wydawnictwo Universitas, Kraków 2016, ss. 268.

Książka Aleksandry Przegalińskiej jest ciekawym przedstawieniem rozwoju myśli fenomenologicznej, filozoficznego namysłu nad technologią, a także zmian w sposobie postrzegania relacji człowiek – technologia w obszarze cielesnym, mentalnym i społeczno-kulturowym¹. Autorka jest polską filozofką, którą szczególnie interesują tożsamość człowieka w rzeczywistości wirtualnej, teorie sztucznej inteligencji

¹ A.K. Przegalińska, *Istoty wirtualne. Jak fenomenologia zmieniła sztuczną inteligencję*, Wydawnictwo Universitas, Kraków 2016, s. 10.

oraz wpływ nowych mediów na zdolności poznawcze człowieka. Tych kwestii dotyczyła rozprawa doktorska Przegalińskiej zatytułowana: *Fenomenologia istot wirtualnych*, której promotorem była Zofia Rosińska – profesor w Instytucie Filozofii Uniwersytetu Warszawskiego. Treść wydanej dwa lata później książki pt. *Istoty wirtualne. Jak fenomenologia zmieniła sztuczną inteligencję* w większości odpowiada wspomnianej rozprawie doktorskiej. O wyborze właśnie takiego tytułu do publikacji wspomina autorka we wstępie swojej pracy przyznając, że zależało jej na „zwróceniu uwagi Odbiorcy na istotną rolę fenomenologii w nieustannym badaniu (i przekraczaniu) granic technologii”². Jednocześnie filozofka zaznacza, że książka ta nie przedstawia całościowej fenomenologii istot wirtualnych, gdyż

² *Ibidem*, s. 14.

w dużej mierze jest to dziedzina nowa i niekompletna.

Przegalińska podzieliła swoją monografię na pięć części, zakończonych podsumowaniem, słownikiem najważniejszych pojęć i bogatą bibliografią. W pierwszej części zapoznaje ona czytelnika z najważniejszymi zagadnieniami omawianymi w niniejszej pracy. Wspomina o dwóch nurtach fenomenologii techniki: kontynuacji XX-wiecznej fenomenologii techniki i eksperymentalnej fenomenologii (neurofenomenologii). W osobnym podrozdziale pisze o codziennym doświadczeniu technologii, ze szczególnym uwzględnieniem wirtualizacji techniki oraz omawia takie istoty wirtualne, jak bot i awatar. Kolejna część książki to opis fenomenologii jako metody badania techniki. Za XX-wiecznych pionierów tej dziedziny autorka uważa Martina Heideggera i Leopolda Blausteina. Przedstawiając ewolu-

cję fenomenologii, wskazuje ona na zmianę „z propozycji transcendentnej (Husserl) w hermeneutyczno-egzystencjalną (Heidegger) i *stricte* egzystencjalną (Merleau-Ponty, Dreyfus)”³. Starając się podkreślić różnice pomiędzy powstałymi fenomenologiami techniki autorka nazywa je kolejno: epistemologiczną fenomenologią techniki i hermeneutyczno-egzystencjalną. Dużo uwagi poświęca Przegalińska ukazaniu wpływu pierwszych fenomenologów techniki na kolejnych myślicieli, takich jak: Hubert Dreyfus, Bernard Stiegler, Francisco Varela czy Don Ihde. W części tej ciekawym spostrzeżeniem autorki jest powiązanie rozwoju fenomenologii z kształtowaniem się stosunku do intencjonalności ciała. Według filozofki zmiana taka pozwoliła na „przełamanie myślenia, że

³ *Ibidem*, s. 54.

funkcje psychiczne są wyłącznie funkcjami mózgu⁴. W trzeciej części Przegalińska sięga do źródeł nastawienia technologicznego, starając się przedstawić zmiany w „pojmowaniu i konceptualizowaniu techniki, technologii i mediów oraz ich relacji do aparatu poznawczego człowieka w filozofii zachodniej”⁵. Autorkę szczególnie interesują poglądy, które przyczyniły się do powstania paradygmatu obliczeniowego, a następnie antyobliczeniowego. Podkreśla ona istotne różnice pomiędzy komputacjonizmem a paradygmatem ucieleśnienia. Kwestie te związane są z ewolucją refleksji na temat sztucznej inteligencji i szerzej zostają omówione w kolejnym, czwartym rozdziale. Filozofka przedstawia w nim początki rozważań o kategorii „ucieleśnienia”, podając

⁴ *Ibidem*, s. 54.

⁵ *Ibidem*, s. 84.

prekursorów zajmujących się rolą ciała, języka, otoczenia, motoryki w kontekście umysłu. Wspomina o Lwie Siemionowiczu Wygockim, Williamie Jamesie, Jeanie Piagecie, Jeanie-Paulu Sartrze, Emmanuelu Levinasie, Janie Patocce, ale dokładniejszej analizie poddaje myśl fenomenologów Edmunda Husserla i Maurice’a Merleau-Ponty’ego. Prace ostatniego z wymienionych badaczy uważa autorka za inspirację „dla całego paradygmatu ucieleśnienia”⁶, którego główne kierunki omawia w kolejnych podrozdziałach, zwracając uwagę na obszar językoznawstwa, filozofii umysłu i kognitywistyki. Filozofka podkreśla, że takie nurty, jak funkcjonalizm ucieleśniony, ucieleśniona semantyka (szerzej językoznawstwo kognitywne) i koncepcja enaktywistyczna można zaliczyć do kognitywistyki ucieleśnionej,

⁶ *Ibidem*, s. 142.

ktora intensywnie rozwijała się od późnych lat 90. XX wieku, stanowiąc alternatywę dla komputacjonizmu i koneksjonizmu. Dla badań z dziedziny robotyki szczególnie istotne są rozważania Andy'ego Clarka i Davida Chalmersa, którzy wysunęli hipotezę tzw. umysłu rozszerzonego twierdząc, że „procesy poznawcze nie ograniczają się do procesów zachodzących w umyśle i ciele, ale mogą być rozszerzane przez zewnętrzne narzędzia pełniące funkcję przedłużeń umysłu”⁷. Wzrost roli fenomenologii w badaniach kognitywistycznych zauważa Przegalińska na przełomie XX i XXI wieku w pracach Francisca Vareli. Biolog ten wprowadził metodę neurofenomenologiczną, pozostając przy pierwszoosobowym, fenomenalnym doświadczeniu i antyredukcjonizmie. Filozofka wymienia

za Varelą cztery powiązane ze sobą momenty świadomego nastawienia związanego z redukcją fenomenologiczną: redukcja, bliskość (intuicja), opis (niezmienniki) oraz trening (stabilizacja), przyznając jednocześnie, że „sam Varela nigdy nie interesował się zagadnieniami dotyczącymi robotyki i sztucznej inteligencji”⁸ i dlatego opisywaną metodę należałoby właściwie zmodyfikować w celu dostosowania jej do badań nad technologią.

Analizując w części piątej wybrane istoty wirtualne autorka posługuje się metodą fenomenologii eksperymentalnej zaznaczając, że za eksperyment uważa ona pierwszoosobowe doświadczenie wkroczenia w wirtualny świat, ale odwołuje się także do wyników badań neurokognitywistów i neurofenomenologów⁹. Filozofka pod-

⁷ *Ibidem*, s. 146.

⁸ *Ibidem*, s. 172.

⁹ *Ibidem*, s. 189.

daje analizie dwie kategorie bytów: bota i awatara. Dokonawszy opisu obecnych w środowisku interaktywnym agentów konwersacyjnych: *Elizy* i A.L.I.C.E. Przegalińska stwierdza, że „relacja chatbota do umysłu posiada bardzo złożony charakter”¹⁰, gdyż bot jawi się odbiorcy jako osoba, z którą można nawiązać kontakt o charakterze poznawczym. Dodatkowo, nawiązując do rozważań Edyty Stein o wczuciu, autorka jest zdania, że relacja z chatbotem ma „istotowo wymiar wczucia, ponieważ jest aktem poznawczym nastawionym na osobowość Innego, nie zaś projekcję cech ludzkich na dowolny obiekt”¹¹. Filozofka uważa, że programowanie botów powinno uwzględniać konsekwencje poznawcze wynikające z wczucia człowieka w bota, a do tego przydatny jest opis ekspe-

rymentalno-fenomenologiczny. W podejściu takim można odnaleźć pewne nawiązanie do założeń projektowania „user experience” (ang. *user experience design*). Dyscyplina ta wywodzi się z nauki określanej w skrócie jako HCI (*human-computer interaction*) i dąży „do wytwarzania takich systemów, produktów lub projektów, które będą wywoływać pozytywne doświadczenia u użytkowników wchodzących z nimi w interakcję”¹². Jednak dla autorki *Istot wirtualnych* ważniejsze od wiedzy „o tym, jak technologia może służyć ludzkości czy społeczeństwu, jest to, jak technologia ta jest doświadczana”¹³, a przez to zbliża ona badanie nad

¹⁰ *Ibidem*, s. 200.

¹¹ *Ibidem*, s. 203.

¹² M. Lipiec, *Architektura pozytywnych doświadczeń* [online] [dostęp 29.10.2017]. Dostępny w Internecie: <http://uxdesign.pl/architektura-pozytywnych-doswiadczen/#comments>

¹³ A.K. Przegalińska, *Istoty wirtualne*, *op.cit.*, s. 183.

technologią do rozważań z kręgu filozofii kultury.

Drugim rodzajem bytu wirtualnego, który analizuje Przegalińska, jest awatar – wirtualna reprezentacja człowieka w grze komputerowej, która zdradza zdolności sensomotoryczne analogiczne do ludzkich. Autorka podkreśla wielorakość relacji awatar – cielesność użytkownika, nawiązując w swojej argumentacji do schematu obrazowego zaproponowanego przez Johnsona w *The body in the mind* (1987), rozważań Merleau-Ponty'ego, a także własnych doświadczeń. Sięgając do badań neurokognitywistycznych dowodzi, że istnieje związek pomiędzy fizycznym ciałem a tzw. strukturalną reprezentacją ciała z wykorzystaniem awatarów. Jednak pod koniec rozdziału przyznaje, że pytanie o sensowność mówienia o rozszerzonym, wirtualnym „Ja” pozostaje nadal bez odpowiedzi.

Filozofka zaleca rozwijanie badań „polegających na łączeniu konstytutywnej roli ciała fizycznego z jego wirtualnym ekwiwalentem”¹⁴, jednak ostatecznie nie udziela jasnej odpowiedzi na postawione przez siebie pytanie: „Jak fenomenologia zmieniła sztuczną inteligencję?”. Ostatni, podsumowujący rozdział zawiera ciekawy wątek relacji fenomenologii do posthumanizmu, jednak nadal brak tu wyjaśnień nawiązujących do tytułu książki. Autorka stwierdza w nim, że zastosowała w swojej pracy „fenomenologiczne kategorie uzmienniania, wczucia, ucieleśnienia i uwagi do badania istot wirtualnych”¹⁵ oraz ujawniła ucieleśnioną naturę i osobowy charakter istot wirtualnych. Może zatem bardziej adekwatny byłby tytuł: „jak fenomenologia zmieniła postrzeganie sztucz-

¹⁴ *Ibidem*, s. 220.

¹⁵ *Ibidem*, s. 222.

nej inteligencji” lub „jak fenomenologia może wpłynąć na dalszy rozwój sztucznej inteligencji”.

Najpoważniejszym błędem wydaje się kompozycja książki, szczególnie zaś części pierwszej. We „Wprowadzeniu” autorka starała się szczegółowo przedstawić plan swojej pracy, co widoczne jest w sformułowaniach: „za cel niniejszej pracy” (s.16), „to próba zrozumienia” (s. 19), „część genealogiczna [...] będzie próbą odpowiedzi na pytanie” (s. 27), „postaram się prześledzić” (s. 32), co jednak ze względu na ilość wypowiedzi czyni tekst chaotycznym. Spośród wymienionych w pracy dążeń z pewnością podstawowym jest próba uzasadnienia tezy, do której filozofka dołącza dwa cele:

„Moją pierwszą tezą jest, iż współczesna fenomenologia technologii opiera się na dwóch przenikających się, ale sprzecznych w swoich intencjach nurtach.

Pierwszy z nich stanowi kontynuację rozwiniętej w XX wieku fenomenologii nauki, która poddaje technologię krytycznej analizie. [...] Natomiast drugi nurt, który można określić mianem eksperymentalnej fenomenologii lub neurofenomenologii, angażuje się w tworzenie technologii. [...] W niniejszej pracy skupiać będę się przede wszystkim na nurcie eksperymentalnym, współpracującym z szeroko pojętymi koncepcjami kognitywistycznymi. [...] Wpisując zatem swoją pracę w ten nurt, stawiam sobie za cel dwa zadania:

- analiza skutków zderzenia fenomenologii z paradygmatami tworzenia technologii;
- zastosowanie eksperymentalnej metody fenomenologicznej do zbadania wybranej grupy wytworów nowych technologii, czyli istot wirtualnych¹⁶.

¹⁶ *Ibidem*, s. 12–13.

Mylące wydaje mi się tu stwierdzenie „moją pierwszą tezą”, gdyż we wstępie trudno znaleźć kolejną, traktowaną na równych prawach ważności. Być może wynika to m.in. z obszerności wprowadzenia, które licząc prawie czterdzieści stron, jest niemalże całą pracą w pigułce. Liczne przykłady, nazwiska, terminy, które jak rozumiem miały zachęcić do zapoznania się z całością pracy, raczej do niej zrażają. Znacznie lepiej oceniam kolejne rozdziały, w których autorka z wyjątkową elokwencją i erudycją przedstawia podstawy fenomenologii i kognitywistyki zwłaszcza w kontekście ucieleśnienia. Jest to z pewnością ważna praca dla osób interesujących się filozofią umysłu, epistemolo-

gią i kognitywistyką w kontekście nowych technologii, jednak samych analiz dotyczących tytułowej sztucznej inteligencji w stosunku do pozostałych rozważań jest niewiele. Podkreślając istotną rolę doświadczenia i eksperymentu w budowaniu refleksji o istotach wirtualnych oraz ukazując, jak ważne dla właściwego rozwoju człowieka jest zrozumienie jego miejsca w „technologicznym, kulturowym otoczeniu”¹⁷, autorka kończy swoją pracę, chociaż ma się wrażenie, że to jest dopiero początek treści adekwatnej do tytułu książki. Być może powinna zatem powstać druga część recenzowanej publikacji, rozpoczynająca się w tak interesującym punkcie.

Sylvia Psica

¹⁷ *Ibidem*, s. 230.

Przestrzeń, filozofia i Wszechświat

Michał Heller. *Przestrzenie
Wszechświata. Od geometrii do
kosmologii*, Copernicus Center
Press, Kraków 2017, ss. 284.

Wbrew pozornej oczywistości przestrzeń była i jest zagadką. W miarę rozwoju matematyki, filozofii i fizyki pojęcie przestrzeni ulegało zmianom, ukazując w kolejnych odsłonach jej obraz – a co za tym idzie i obraz Wszechświata – diametralnie różny od naszego codziennego doświadczenia. W książce *Przestrzenie Wszechświata* Michał Heller śledzi te zmiany, które dokonały się w ciągu ostatnich kilkuset lat. Rozważania nad rozwojem pojęcia przestrzeni Autor podjął już w wydanej dwa lata wcześniej książce *Bóg i geometria* (Copernicus Center Press, 2015). W *Przestrzeniach Wszechświata* konty-

nuje historię odkrywania natury przestrzeni rozpoczynając od Leibniza, poprzez Kanta, Gaussa, Bolyaia, Łobaczewskiego, Riemanna, Kleina, Einsteina, aż do Penrose’a. Lista postaci przewijających się przez strony książki jest oczywiście dłuższa.

W pierwszej części książki tytułowe zagadnienie przedstawione jest w kluczu historyczno-biograficznym. Na początku spotykamy Leibniza i jego próby wytłumaczenia, czym jest przestrzeń rozumiana jako specyficzna relacja. Potem wkraczamy w erę Newtona i poznajemy jego idee absolutnej przestrzeni i czasu. Z Greenwich przenosimy się do Berlina na spotkanie z Eulerem, a zaraz potem do Królewca na dyskusję z Kantem o jego sądach syntetycznych *a priori*. Następnie spotykamy na kartach książki Gaussa i Bessela, obserwując ich zmagania z krzywizną Ziemi. Cały czas problematyka

pozostaje w cieniu piątego postulatu Euklidesa, który mimo swojej pozornej oczywistości nie dawał on spokoju co światlejszym umysłom tamtych czasów. Następny etap wyznaczają badania Bolyaia i Łobaczewskiego. W ich pracach widzimy już jasne sformułowanie nieeuklidesowej geometrii i odstępianie od „euklidesowej” codzienności wyobrażeń przestrzennych. Przestrzeń pozwoli staje się coraz bardziej zakrzywiona i tajemnicza. Z tej epoki warto zapamiętać stwierdzenie przypisywane Łobaczewskiemu: „źródłem naszej wiedzy o przestrzeni nie jest aprioryczność ludzkiego poznania, ale obiektywność rzeczywistego świata” (s. 117). Warto mieć to na względzie, mierząc się z relatywizmami współczesnej epistemologii. Następnie uczestniczymy w słynnym wykładzie Riemanna, spotykamy Grassmanna i Kleina, no i oczywiście Einsteina.

Jak widać to intensywna podróż w czasie i przestrzeni, ale Heller przecież zawsze lubił podróżować. Podróż ta ostatecznie prowadzi do teorii strun i geometrii nieprzemiennej. Rzadko spotyka się książki, które wprowadzałyby czytelnika w historię podstawowych problemów fizyki, filozofii i matematyki w tak syntetyczny, ale szczegółowy i panoramiczny sposób. Poza ostatnim rozdziałem książka nie jest pisana językiem zbyt technicznym. Większość pojęć powinna być zrozumiała dla kogoś z (rozszerzoną!) maturą z matematyki. Jakkolwiek końcowe rozdziały mogą wielu czytelników przyczynić o zawrót głowy czy kompleksy. Taka jest jednak cena ciekawości, bo myślę, że właśnie ludzie ciekawi świata powinni wziąć tę książkę do ręki.

W książkach Hellera często odnaleźć można zaskakująco głębokie syntezy i obserwacje, choć

nie zawsze bezpośrednio związane tytułowymi zagadnieniami, ale zawsze inspirowane rozważaniami na temat filozofii nauki, fizyki i matematyki. Takie maksymy same w sobie są warte zapamiętania, gdyż ujmują trudne i skomplikowane problemy w jasnej, ale skondensowanej formie. Za przykład niech posłuży tu pamiętne sformułowanie Bertranda Russella z jego *Problemów filozofii*, w których filozofię Hegla zamknął w stwierdzeniu „*Bad logic breeds bad philosophy*”. Podobnie warte uwagi jest stwierdzenie Hellera o etyce – „Zagadnienia etyczne mają to do siebie, że nie można wszystkiego jak w geometrii wydedukować z prostych aksjomatów” (s. 170). Stwierdzenie to podsumowuje bardzo trafnie problem sformalizowania etycznych zasad, tak charakterystyczny dla znanych z historii różnych redukcjonistycznych szkół etycznych (Spinoza, Bentham, Mill, Ayer), jak i typowy

dla współczesnych zagadnień związanych z programowaniem ogólnych zasad postępowania dla robotów autonomicznych, także zwanych przez daleko posuniętą analogię etykami.

Podobnie celnie jednym stwierdzeniem Heller kwituje Kantowski problem sądów syntetycznych *a priori*: „Czy takie stwierdzenia, jak «w trójkącie suma [długości] dwóch boków jest większa od [długości] boku trzeciego», czy « $7+5=12$ » są stwierdzeniami przyjmowanymi na podstawie naoczności, a więc zdaniem syntetycznymi? Dziś ponad wszelką wątpliwość wiemy, że nie” (s. 80). Z pewnością to godna zapamiętania uwaga, ukazująca źródło problemów filozofii Kanta. Jedną z ukrytych przyjemności czytania książek Hellera jest właśnie polowanie na takie syntezy. Lektura recenzowanej książki na pewno nie rozczaruje w tym względzie.

Przestrzenie Wszechświata mają jednak pewne słabości, jakkolwiek nic nie ujmujące treści. Wydaje się, że jest złożona z trzech słabo powiązanych części. Część pierwsza, obejmująca kilka pierwszych rozdziałów, jest pisana dość panoramicznie. Poszczególne tematy są ujęte w szerokim kontekście filozoficznym i dowiadujemy się dużo (może za dużo) szczegółów bibliograficznych o omawianych postaciach. Przestrzeń jest tu traktowana niejako marginalnie i trzeba się dobrze wczytać w treść, aby na kanwie historycznej odnaleźć interesujące nas przemiany pojęcia przestrzeni. Część trzecia to rozdział ostatni, napisany bardzo syntetycznie i zawierający szereg pojęć ściśle technicznych, bez próby ich wyjaśniania. Jest to zrozumiałe, gdyż takie próby byłyby prawdopodobnie skazane na porażkę z uwagi na złożoność tematów. Jakkolwiek część ta swoją techniczną zawartością odbiega

od całości książki i trochę sprawia wrażenie jakby się autor spieszył z dokończeniem dzieła. A może to jest tylko wstęp to tomu trzeciego? Środkowa część książki wydaje się natomiast być dobrze wyważona między opowieścią o przestrzeni (głównym tematem książki), a przedstawieniem kontekstu historycznego i filozoficznego.

Czy warto tę książkę przeczytać i mieć? Oczywiście, że tak, jak każdą książkę Michała Hellera. Przy lekturze *Przestrzeni Wszechświata* nie tylko pogłębimy wiedzę o przestrzeni, geometrii i Wszechświecie, ale niejako przejdziemy interesujący wykład z historii filozofii nauki, matematyki i fizyki od Leibniza do Penrose'a, przeplatany zaskakującymi obserwacjami i syntezami skomplikowanych problemów filozoficznych.

Roman Krzanowski

Dwa języki, jeden świat

Olaf Pedersen, *Dwie Księgi. Z dziejów relacji między nauką a teologią*, tłum. W. Skoczny, M. Furman (seria: Nauka i Religia), Copernicus Center Press, Kraków 2016, ss. 312.

Potrzeba obserwacji świata i racjonalnej interpretacji pozyskanych tą drogą danych empirycznych towarzyszy człowiekowi od wieków. Już starożytni myśliciele podejmowali próby wyjaśniania praw rządzących zjawiskami przyrodniczymi, a zarazem poszukiwali najgłębszej prawdy o naturze i strukturze świata, o jego początku, przyczynach i celu. Kierowały nimi ta sama ciekawość i marzenie o zbudowaniu adekwatnego do rzeczywistości obrazu świata, które i dziś motywują naukowców, filozofów i teologów.

Wraz z nastaniem chrześcijaństwa, którego fundamentem jest Objawienie zawarte w księdze Pisma, rozpoczęły się długie i obfitujące w dramatyczne wydarzenia dzieje wzajemnych relacji między dwoma obrazami świata: religijnym i budowanym na racjonalnej interpretacji rzeczywistości. Tę bogatą i zarazem trudną historię wzajemnych oddziaływań między teologią i naukami przyrodniczymi przedstawia niedawno opublikowana przez Copernicus Center Press praca Olafa Pedersena (1920–1997), wybitnego duńskiego historyka nauki i teologii, erudyty, rzeczownika dialogu interdyscyplinarnego pomiędzy nauką, filozofią i teologią. Pedersen studiował fizykę pod kierunkiem noblisty Nielsa Bohra, a następnie filozofię i historię idei u wybitnego historyka filozofii i współtwórcy neotomizmu Etienne’a Gilsona. Na jego postawę naukową silny

wpływ wywarły też wzbudzające wówczas kontrowersje poglądy o. Pierre'a Teilharda de Chardin, filozofa, teologa, antropologa i paleontologa, reprezentanta nurtu „nowego entuzjazmu dla nauki” (rozwijającego się w łonie Kościoła katolickiego w 1. poł. XX wieku), zwolennika pogodzenia wiary chrześcijańskiej z najnowszymi osiągnięciami nauk przyrodniczych i humanistycznych. Od 1956 roku Pedersen wykładał fizykę i historię nauki na Uniwersytecie w Aarhus. Tam też założył Instytut Historii Nauki, jedno z najbardziej znaczących centrów prowadzących badania nad tą dziedziną wiedzy. Jako członek wielu organizacji i towarzystw naukowych, m.in. Académie Internationale d'Histoire des Sciences oraz komisji Astronomical Union, w których pełnił ważne funkcje, zdobył międzynarodowe uznanie i sławę. W samej Danii zasłynął jako popularyzator wiedzy dzięki

prowadzonym w telewizji wykładom z historii nauki.

Dwie Księgi, monumentalna *summa* Olafa Pedersena, to druga pozycja tego uczonego wydana w Polsce – 20 lat temu w Tarnowie ukazało się pierwsze wydanie jego wykładów¹, które stało się później jednym z kilku źródeł wyjściowych dla omawianej publikacji uczonego. Jesienią 1990 roku profesor Pedersen przebywał w Krakowie, gdzie jako gość Wydziału Filozoficznego Papieskiej Akademii Teologicznej trzema wykładami pod wspólnym tytułem *The Book of Nature* zainaugurował tzw. Wykłady Coyne'a².

¹ O. Pedersen, *Konflikt czy symbioza?*, tłum. i posłowie W. Skoczny (seria: Universum), OBI i Biblos, Kraków – Tarnów 1997.

² Tytuł tej serii wykładów, zainicjowanej przez Ośrodek Badań Interdyscyplinarnych, nawiązuje do listu, jaki w 1988 r. Jan Paweł II skierował do ks. George'a V. Coyne'a, dyrektora Obserwatorium Watykańskiego, z okazji przypadającej wówczas 300. rocznicy wydania *Principiów New-*

Zaprzyjaźniwszy się z naukowcami z krakowskiego Ośrodka Badań Interdyscyplinarnych, jeszcze kilka razy na ich zaproszenie gościł w Polsce, po raz ostatni kilkanaście dni przed swą śmiercią.

Dwie Księgi stanowią zapis wykładów, wygłoszonych przez duńskiego uczonego na uniwersytetach w Aarhus i Cambridge, poświęconych dziejom relacji pomiędzy nauką a teologią. Jak piszą redaktorzy tomu, George V. Coyne i Tadeusz Sierotowicz, to imponujące dzieło opisuje „z naukową precyzją, jak przebiegała interakcja między naukami przyrodniczymi a religią od czasów

presokratejskich po współczesne dociekania. [...] Pozycja ta stanowi bez wątpienia wyjątkowy i istotny wkład w rozwój badań w tym obszarze”³. Tej rozprawy nikomu, kto chciałby zajmować się historią nauki (i historią teologii), nie wolno przeoczyć – jej lektura jest obowiązkowa. W tym przypadku jednak obowiązek oznacza nie ciężar do udźwignięcia, lecz niezwykłą intelektualną przygodę, w jaką przemienia się podążanie za narracją autora, prawdziwego uczonego, obdarzonego historyczną pasją i wyposażonego w encyklopedyczną wiedzę z omawianych w książce dziedzin wiedzy i nauki.

Owe wymienione w tytule publikacji „dwie księgi” to,

tona. W liście tym papież zachęcał teologów, filozofów i naukowców do prowadzenia interdyscyplinarnego dialogu. O ciekawej historii listu, w której miał swój udział także Olaf Pedersen, opowiada ks. Michał Heller w wywiadzie rzece: M. Heller, W. Bonowicz, B. Brożek, Z. Liana, *Wierzę, żeby rozumieć*, Znak i Copernicus Center Press, Kraków 2016, s. 296–298.

³ G.V. Coyne, S.J., T. Sierotowicz, *Wprowadzenie*, [w:] O. Pedersen, *Dwie Księgi. Z dziejów relacji między nauką a teologią*, tłum. W. Skoczny, M. Furman (seria: Nauka i Religia), Copernicus Center Press, Kraków 2016, s. 5.

oczywiście, badany przez naukę (*science*) świat przyrody, od średniowiecza określany metaforycznie jako „spisana palcem Boga” (wyrażenie Hugona od Świętego Wiktora) Księga Natury, i Biblia, a szerzej: świat teologii i jej uzasadnień. Przez stulecia, od czasów starożytnej filozofii greckiej poczynając, między tymi dwoma źródłami poznania trwał głęboki konflikt, a jego apogeum stanowiła tzw. sprawa Galileusza (a potem sprawa Darwina). Dzięki autorowi omawianej pracy dowiadujemy się, jak i dlaczego do tego konfliktu doszło, oraz na czym polegał błąd, co i rusz popełniany przez zwolenników dosłownej lektury Pisma Świętego. W XIX wieku nieźle zdiagnozował go bł. John Henry Newman, pisząc o „zachłannej ciasnocie umysłowej tych, którzy sądzą, że w kwestiach teologicznych niedopuszczalna jest wolność opinii, roz-

mowania czy myślenia. Ci, którzy nie pozwolili Galileuszowi rozumować 300 lat temu, teraz zabraniają tego wszystkim innym. Przeszłość nie jest dla nich żadną nauką, a ich wyobrażenie stałości wiary sprowadza się do nieustannego powtarzania błędów i ich odwoływania”⁴.

Fascynująca jest kreślona przez Olafa Pedersena opowieść o narodzinach nowożytnej nauki i jej rozwoju oraz związanej z tym procesem demitologizacji natury, a także o dziejach chrześcijaństwa i obecnego w jego łonie myślenia na temat wszechświata. Autor stara się obalić stereotypowy obraz relacji między dwoma źródłami poznania: interpretowanym przez Kościół (religię) Objawieniem i usiłującym odczytać Księgę Natury krytycznym rozumem, jako odwiecznej walki między ignoran-

⁴ *Ibidem*, s. 333–334.

cją i ślepym autorytetem z jednej strony, a wiedzą i wolnością z drugiej. Przeciwnie, twierdzi on, że „nie była to jedna walka, ale długi ciąg wzajemnych oddziaływań”, dzięki którym „każda ze stron coś dawała i zarazem coś otrzymywała”⁵. Na przykład nauka nowożytna wpłynęła na rozwój nowych dziedzin teologii, z kolei religia niwelowała lęk przed światem i jego tajemnymi mocami.

Ta historia wcale nie jest skończona i trudno przewidzieć jej ciąg dalszy. Pedersen uważa jednak, że mamy prawo do nadziei, iż sytuacja odrzucenia przez chrześcijaństwo zdobywcy nauki, jaka rozegrała się np. w czasach Darwina, już nigdy się nie powtórzy. W XIX wieku chrześcijaństwo „nabrało postawy samozadowolenia, uważając się za filar cywilizowanej społeczności, a przeto instynktownie sytuowało

się po stronie stabilności i ustalonego porządku. Historia wszechświata była całkowicie poza jego horyzontem”. Dziś natomiast o wiele lepiej rozumiemy, że „dziedzinę naszej wiary stanowi cały wszechświat. Przypominanie sobie o tym nie jest z pewnością rzeczą błahą, a wdrażanie w życie płynących z tego wniosków, w świetle ciągle następujących kolejnych odkryć nauki, daje wystarczającą gwarancję, że w przyszłości wzajemne oddziaływanie między nauką i teologią również będą mieć miejsce”⁶.

Dzieło Pedersena jest owocem długich lat pracy erudyty. Jego rozległa i zarazem głęboka wiedza z zakresu licznych dziedzin nauki (astronomii, fizyki, historii Kościoła, filozofii, religioznawstwa itp.), szczegółowa znajomość problemów naukowych czy filozoficznych i reli-

⁵ *Ibidem*, s. 337.

⁶ *Ibidem*, s. 338.

gijnych rodzi podziw i szacunek. Może też jednak sprawić, że fascynacja towarzysząca czytelnikowi na początku lektury przerozdzi się w poczucie przytłoczenia, a może nawet pokusę rezygnacji z tego, by wszystkie relacjonowane historie – same w sobie niezwykle ciekawe – spamiętać i uporządkować w logiczną, jasną całość (wystarczy wspomnieć, że liczba przypisów, w których autor odwołuje się do dzieł najśłynniejszych postaci z historii nauki, filozofii i teologii, sięga tysiąca, a bibliografia opracowana pieczołowicie przez redaktorów tomu na podstawie cytowanych prac obejmuje 16 stron drukowanych drobną czcionką). Pośród przytaczanych przez autora licznych szczegółów, faktów, dat, zestawień i wyjaśnień, trudno się nie zagubić temu, kto po raz pierwszy staje wobec – obejmującej przecież ponad dwa i pół tysiąclecia – historii nauki

i religii oraz ich wzajemnych odniesień. Chwilami można nawet odnieść wrażenie, że Pedersen zbyt wiele uwagi poświęca stosunkowo mało istotnym dla toku narracji tematom, ze szkodą dla przejrzystości wywodu i kosztem miejsca na syntezę.

Dzieło Pedersena cechuje mocny europocentryzm: ogranicza się on w swej historii nauki i wiary do kontynentu europejskiego, pomijając wielkie starożytne cywilizacje i kultury Bliskiego i Dalekiego Wschodu czy Ameryki Południowej, a także ich późniejszy – aż po dziś dzień – rozwój. To ograniczenie zakresu badań wydaje się jednak konieczne, jeśli pamiętać, że jedno z dwojga „protagonistów” omawianej pracy stanowi chrześcijaństwo, którego centrum stanowiła przez wieki Europa.

Podczas lektury *Dwóch Ksiąg* towarzyszyło mi – być może przekorne, a może tylko

niedostatecznie zweryfikowane – przekonanie, że autor wykazuje nadmierny optymizm co do przyszłości interdyscyplinarnego dialogu nauki z teologią. Doświadczenia z przeszłości, jak choćby reakcje Kościoła na odkrycia Galileusza, teorię kopernikańską czy teorię ewolucji, pokazują, że rozwój nauki nowożytnej stanowił dla chrześcijańskiej doktryny poważne wyzwanie. Spowodował upadek wizji świata opartej na zasadach Arystotelesa, a potem Newtona. Doprowadził do wyrugowania średniowiecznego statycznego modelu świata, który zgodnie z Księgą Rodzaju został stworzony przez Boga w ciągu sześciu dni, i usunięcia Boga Stwórcy z naukowego obrazu rzeczywistości. Zburzył sięgające jeszcze starożytności wyobrażenia o kosmicznej harmonii, zniszczył wiele zdroworozsądkowych przekonań, nawyków i uprzedzeń, unieważnił argumenty

z autorytetu, takie jak Biblia i nauce Kościoła. Odrzucenie biblijnego obrazu hierarchicznie uporządkowanego świata, który pozostaje pod opieką opatrności, detronizacja Ziemi jako centrum wszechświata, pozbawienie człowieka uprzywilejowanego miejsca w systemie przyrody – to wszystko musiało budzić opór i lęk, wymagało też czasu niezbędnego do zaakceptowania spojrzenia na świat przez pryzmat coraz to nowych odkryć naukowych. Ignorowanie przez uczonych w ich poszukiwaniach podstaw doktryny chrześcijańskiej, np. tezy o teleologicznej strukturze przyrody, rodziło z kolei nieufność, wątpliwości i zastrzeżenia teologów, które owocowały nieraz otwartymi konfliktami. Bywało i tak, że spotkanie religii i nauki kończyło się całkowitą separacją, a czasem wręcz potępieniem naukowych tez (sprawa Galileusza) czy nawet spalaniem

na stosie (przypadek Giordana Bruna). Prawdziwym (choć nie pierwszym) trzęsieniem ziemi okazała się dla chrześcijańskiej wiary i doktryny idea ewolucji. Zakwestionowała bowiem biblijną historię stworzenia, zagroziła centralnej pozycji człowieka w przyrodzie, zdawała się też zaprzeczać Boskiej opatrności i nauce o historii zbawienia⁷.

Można by zatem sądzić, że intensywny i wciąż przyspieszający rozwój nauk przyrodniczych doprowadzi do całkowitego rozjęcia się dróg nauki i teologii. Jako podstawowy argument w polemice wokół teorii ewolucji przeciwnicy nauki wysuwali Biblię, zwłaszcza literalnie traktowany opis stworzenia. Najbardziej radykalni z nich odwoływali się do mitu o odwiecznym konflikcie między nauką a Kościołem, głosząc niemożność

uzgodnienia postawy religijnej z naukową. Z kolei przeciwnicy religii wypowiedzieli jej wojnę, uznając ją za domenę ignorancji, bezrefleksyjnej pobożności i ślepego posłuszeństwa autorytetowi Magisterium Kościoła i przeciwstawiając jej wiedzę i wolność. Zdawać by się mogło, że teologia i nauka pójdą odtąd swoimi drogami. Jednak – mimo że postawy antynaukowe wciąż są w Kościele obecne – dziś zdaje się przeważać świadomość metodologicznej odmienności obu sfer aktywności poznawczej człowieka oraz ich komplementarności. Człowiek dysponuje dwiema księgami, które nie mogą pozo- stawać ze sobą w sprzeczności, bo mają tego samego autora i dotyczą tej samej rzeczywistości, różnią się tylko odmiennymi językami. Księga Biblii jest zgodna z Księgą Natury – zawierają one w sobie dwie perspektywy poznawcze świata. Zachowanie róż-

⁷ *Ibidem*, s. 320–323.

nic między tymi perspektywami jest konieczne, by w racjonalnej refleksji nad procesami przyrodniczymi móc odkrywać najgłębszy sens istnienia.

Pedersen jako zdeklarowany zwolennik interdyscyplinarnego dialogu spodziewa się, że aktualny stan „rozvodu” między nauką i religią zapowiada kolejny etap ich wzajemnych oddziaływań. Spór o ewolucję, która wstrząsnęła fundamentami wiary, przypomniał zdaniem autora o czymś, o czym zapomniano: „Bóg jest Panem **całego** świata. Historia zbawienia jest **powszechna**” [podkr. moje – M.P.]⁸. Na tym właśnie Pedersen opiera swą wiarę w przyszłość dialogu nauki i teologii. Współczesne odkrycia nauki, np. mechanika kwantowa, pozwalają bowiem na powrót spoglądać na wszechświat w horyzoncie wiary.

⁸ *Ibidem*, s. 338.

Zważywszy, że wciąż żywy zdaje się pogląd, iż świat ducha stanowi domenę religii, zaś natura – domenę nauki, i że nie istnieje między nimi żadna interakcja, można mieć nadzieję, że udostępnienie polskiemu czytelnikom dzieła Pedersena przyczyni się do zmiany w tym zakresie. Nie sposób się jednak łudzić, iż będzie ona znacząca, konieczny jest bowiem wysiłek edukacyjny, który zbliżyłby do siebie te dwa światy. Podejmują go nieliczni, stąd zbliżenie dokonuje się powoli. Sam Pedersen skarżył się w rozmowie z ks. Włodzimierzem Skocznym: „obie strony dysponują o sobie wiedzą, w najlepszym przypadku, na poziomie wykładu popularnego. Częste są też obustronne przesady i uprzedzenia. Byłoby doskonale, gdyby fakultety naukowe uczyły także teologii i filozofii [...]. Podobnie, w edukacji teologów czy kapłanów

zaznajomienie się z pewnymi obszarami nauki byłoby niezwykle pożyteczne”⁹. W podobnym duchu, wskazując na przyczyny diagnozowanej sytuacji leżące po stronie teologii, wypowiedzieli się w czerwcu 2017 r. dwaj uczeni – teolog i filozof przyrody – z Uniwersytetu Papieskiego Jana Pawła II w Krakowie: „obraz świata generowany przez współczesne nauki może wymuszać reinterpretację tez

teologicznych, formułowanych przy użyciu bazy pojęciowej klasycznej teologii. Zamykanie się w historycznych stwierdzeniach może być wyrazem pychy – przekonania, że objęliśmy już całość prawdy i pozostało nam jedynie powtarzanie. [...] podjęcie nowych wyzwań wymaga poszukiwania nowych dróg – jedynie wtedy teolog nie będzie piewą mitów”¹⁰.

Maria Poniewierska

⁹ Mamy tylko jeden świat. Z Olafem Pedersenem rozmawia Włodzimierz Skoczny, *Znak*, 428 (1), 1991, s. 7.

¹⁰ ks. W. Grygiel FSSP, ks. D. Wąsek *W obronie generała jezuitów*, rozmawiają: P. Żyłka, M. Lewandowski, <https://m.deon.pl/religia/duchowosc-i-wiara/zycie-i-wiara/art,3819,w-obronie-generala-jezuitow-rozmo-wa.html> (dostęp: 29.06.2017).