



**Zagadnienia
Filozoficzne
w Nauce**



**Philosophical
Problems
in Science**



**Copernicus
Center**



**Copernicus
Center
PRESS**

**Zagadnienia Filozoficzne
w Nauce**

**Philosophical Problems
in Science**

© Copernicus Center Press, 2018

Editorial Board

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

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

Honorary Editor: prof. dr hab. Michał Heller

Editorial Secretary: Piotr Urbańczyk

Section Editor (*On what exists in physics*): dr hab. Wojciech Grygiel

Cover design: Mariusz Banachowicz

Adjustment and correction: Artur Figarski

Technical editor: Artur Figarski

Typographic design: Piotr Urbańczyk

Typeset in L^AT_EX

ISSN 0867-8286 (print format)

e-ISSN 2451-0602 (electronic format)

Editorial Office

Zagadnienia Filozoficzne w Nauce

Wydział Filozoficzny UPJPII

ul. Kanonicza 9, 31-002 Kraków

POLAND

e-mail: zagadnienia@upjp2.edu.pl

www.zfn.edu.pl



**Copernicus
Center
PRESS**

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

pl. Szczepański 8, 31-011 Kraków POLAND

tel. (+48) 12 448 14 12

e-mail: marketing@ccpress.pl

www.ccpress.pl

Zagadnienia Filozoficzne w Nauce

Philosophical Problems in Science

LXV ■ 2018

O tym, co istnieje w fizyce

On what exists in physics

Michael Heller

What does it mean 'to exist' in physics? 9

Marco Bersanelli

On the observability of the early universe 23

Edward Malec

Black holes: do they exist? 47

Wojciech P. Grygiel

*On the adequacy of qualifying Roger Penrose as a complex
Pythagorean 61*

Artykuły

Articles

Adam Olszewski

Negation in the language of theology – some issues 87

Z prac Komisji Filozofii Nauk PAU

Proceedings of the PAU Commission on the Philosophy of Science

Marek Kuś

Czy możemy wykazać istnienie zjawisk całkowicie przypadkowych? 111

Jan Kozłowski

Ewolucja człowieka jako seria dodatnich sprzężeń zwrotnych 145

Wojciech Płazak

Aktualne problemy medycyny – technika czy etyka? 177

Recenzje

Book reviews

January Weiner

Postnaturalizm w narracjach dwóch kultur, czyli dlaczego kryzys cywilizacji jest nieuchronny 197

Szymon Drobnik

Biologia to nie machanie rękami 213

Anna Sarosiek

Odmienność zwierzęcej inteligencji 220

Anna Sarosiek

Opowieści niesamowite ze świata kruków 226

Michał Heller

Filozoficznie prowokująca teoria kategorii 232

Michał Heller, Janusz Mączka

Uczniowie Platona 242

Roman Krzanowski

To be or not to be Yuval Noah Harari's Homo Deus 248

O tym, co istnieje w fizyce

On what exists in physics

What does it mean ‘to exist’ in physics?

Michael Heller

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

Abstract

Physical theories give us the best available information about what there exists. Although physics is not ontology, it can be ontologically interpreted. In the present study, I propose to interpret physical theories *à la* Quine, i.e. not to speculate about what really exists, but rather to identify what a given physical theory presupposes that exists. I briefly suggest how Quine’s program should be adapted to this goal. To put the idea to the test, I apply it to the famous Hartle–Hawking model of the quantum creation of the universe from nothing, and try to discover what kind of nothingness the model presupposes. I also make some remarks concerning ontological commitments of the method of physics itself.

Keywords

existence, ontology in the sense of Quine, ontology of physics, Hartle-Hawking quantum creation model, nothingness in physics.

1. Introduction

Existence is an ontological issue. How then could one ask: “What does it mean ‘to exist’ in physics?” There is a general opinion

that physics does not discuss the problem of existence; it simply presupposes that the subject-matter of its investigation does exist. But in what sense does it exist? And what about claims of some physicists that they have constructed a self-creating world model¹. Are these claims only engines for better selling their works or do they indeed explain the existence of the physical universe?

The problem of existence is indeed an ontological issue, but the history of philosophy abounds in so many and so different ontologies that this statement means nothing until we clarify what do we mean by ontology. To clarify something means to restrict the variety of possible meanings to a smaller subset of our choices. Since we are asking about “to exist” in physics, the natural direction of our preferences should point toward physics itself. Physics is not ontology, but it is often interpreted in an ontological way. This seems to be justified at least as far as the deepest results of physics are concerned. And the deepest, and at the same time the most far-reaching, its result is – this is my claim – the method physics has elaborated in investigating the world. Since this method is so effective, it says something about the structure of the world, namely that in the structure of the world there is something that makes this method so effective. And this “something” has certainly an ontological bearing.

This is essentially the standpoint so persuasively advocated by John Worrall who wrote:

It would be a miracle, a coincidence on a near cosmic scale, if a theory made as many correct empirical predictions as, say, the general theory of relativity or as the photon theory of light

¹ Formally speaking, “to construct a self-creating model” is a contradiction or very close to a contradiction. This is a typical situation when we speak about a self-creating universe. Our language is then at the limits of its applicability.

without what that theory says about the fundamental structure of the universe being correct or 'essentially' or 'basically' correct (Worrall, 1989, p. 101)².

The only difference between Worrall and myself is the difference in emphasis: he puts an accent on predictions whereas I emphasize the method within which the predictions are possible.

Another project that is close to my idea is Tim Maudlin's proposal of "ontology based in physics". In his *The Metaphysics within Physics* he writes:

[...] metaphysics, insofar as it is concerned with the natural world, can do no better than to reflect on physics. Physical theories provide us with the best handle we have on what there is, and the philosopher's proper task is the interpretation and elucidation of these theories. In particular, when choosing the fundamental posit of one's ontology, one must look to scientific practice rather than to philosophical prejudice (Maudlin, 2007, p. 1).

This is an ambitious project. In the present study, to make it workable, I constrain it to a very specific meaning of ontology, the so-called ontology in the sense of Quine. In his "ontological" investigations, Quine did not try to answer the question of what there is, but rather of what a given theory or utterance presupposes there is (which are its "ontological commitments"), and to make his program precise he limited it to its strictly logico-formal aspects. In section 2, I briefly sketch Quine's approach. To apply it to the ontology of physics, the original Quine's program has to be broadened; one should stick to its basic idea, rather than to its technicalities. In section 3, I suggest

² Worrall's paper initiated a long discussion on scientific realism. Some references to this discussion can be found in (Heller, 2006).

how this could be done, and ask, more generally, about ontological commitments of the method of physics itself. The best way to put general doctrines to the test is to see how do they work in concrete instances. In section 4, I apply the broadened version of Quine's ontological program to the famous Hartle-Hawking model of quantum creation of the universe from nothingness in view of identifying its ontological commitments. Finally, in section 5, I try to find out what kind of nothingness is that the model presupposes.

2. À la Quine

A good starting point for our analysis is the famous Quine's criterion of existence. The question he faced was: Which ontological commitments a given language enforces on its user? His celebrated answer is encapsulated in the short formulation: "To be is to be the value of a variable" (Quine, 1964, p. 15). This means that

the theory is committed to those and only those entities to which the bound variables of the theory must be capable of referring in order that the affirmations made in the theory be true (Quine, 1964, p. 13–14).

Although in this particular place Quine speaks on mathematical theories, his idea remains valid if the "theory" is replaced by any statement formulated in a language capable of being logically analyzable. The goal of such an analysis is to disclose "ontological commitments" of a given statement:

We look to bound variables in connection with ontology not in order to know what there is, but in order to know what a

given remark or doctrine, ours or someone else's, *says* there is; and this much is quite properly a problem involving language (Quine, 1964, p. 15–16).

Physical theories are expressed in a language, and Quine's criterion of existence refers to them as well. In fact, Quine, in his essay, makes numerous references to physical theories. However the language of physics is very peculiar. To be precise, we should speak about the particular languages of various physical theories rather than about a language of physics in general. The language of a given physical theory consists of mathematical formulae and a text accompanying them, and both these elements are essential. In more advanced physical theories, the content of the theory is contained in its formulae, and the text provides an interpretation without which the formulae were at most a part of mathematics. If we aspire to make an analysis *à la Quine*, we should look for "bound variables" in both these layers of the language which, of course, would make the analysis more complicated, but still in principle possible. This would give us a knowledge not about "what there is", but rather about what a given theory "says there is".

In practice, we could use simplified version of this approach, which I would call an *exegesis of the mathematical structure of a given physical theory*. To see what I have in mind, let us distinguish three types of comments or interpretations of a physical theory:

1. A comment which is inconsistent or even contradictory with the mathematical structure of the theory; for instance, Bergson's interpretation of the special theory of relativity (Bergson, 1922). Of course, such an interpretation has no value at all.
2. A comment that is neutral with respect to the mathematical structure of a given physical theory. For instance, the space-

time of special relativity can be interpreted as a “block universe”, i.e., as a totality existing “all at once”, or as “now” flowing in time. Both these interpretations can be reconciled with special relativity³. In such a case, we may freely choose among such possibilities.

3. A comment could so closely follow the mathematical structure of a physical theory that any its “perturbation” would result into inconsistencies or contradictions with the theory’s formalism. This I call exegesis of the mathematical structure of this theory. A good example is provided by the interpretation of theorems on the geodesic incompleteness of space-time as space-time singularities; see (Hawking and Ellis, 1973). Such an exegesis is a practical way (often unconsciously done by physicists) of disclosing what a given theory “says there is”.

3. Beyond Quine

Let us again quote from Quine:

We commit ourselves to an ontology containing numbers when we say there are prime numbers larger than a million; we commit ourselves to an ontology containing centaurs when we say there are centaurs; and we commit ourselves to an ontology containing Pegasus when we say Pegasus is (Quine, 1964, p. 8).

And to which ontology we commit ourselves when we are doing physics? I do not have in mind any particular theory or model but rather physics as such. By asking this question we are going beyond

³ Roger Penrose (1979) has demonstrated, somewhat against a common view, that the idea of flowing time can be reconciled with special relativity.

Quine since we are leaving a relatively secure domain of logico-linguistic analyses; nevertheless we can learn from Quine to look for those elements without which doing physics would be impossible. We should look for such elements in the very method of physics. If it would be a miracle “on a cosmic scale” provided theories, such as the general theory of relativity or the photon theory of light, were so successful without being “basically true”, then the success of the physical method without its reference to “what there is”, should be qualified as a coincidence on the mega-cosmic scale. Successes of all particular physical theories hang on these “ontological commitments” of the method.

How to identify “ontological commitments” of the method? To do this in a precise way, at least partially paralleling preciseness of Quine’s approach, would certainly go beyond the bounds of the present essay but, on the other hand, the method of physics has been subject to so many analyses that to do this in a sketchy way does not seem too difficult and is quite sufficient for our purposes.

Roughly speaking, method of physics presupposes three things:

- (A) a certain mathematical structure;
- (B) a part or the aspect of the world which a given mathematical structure is supposed to model;
- (C) “bridge rules” interpreting (A) in terms of (B); owing to these rules (A) serves as a mathematical model of (B).

Every particular physical theory (or model) is an implementation of this scheme. Also making empirical predictions following from the theory (or model) and testing them by confrontation with experimental data is done within the context of this scheme; independently of it the entire procedure would have no meaning at all.

There is no need to enter now into many philosophical discussions related to the above scheme, such as: How mathematical structures do exist? What is the relationship between mathematical structures and mathematical objects? Does the above scheme presupposes structuralist view on physics? Etc., etc.⁴. All these problems are now irrelevant. What interests us at the moment is what the method of physics (as represented, in a sketchy way, by the above scheme) says there is. We are not asking about the “absolute ontology of reality”, we are only looking for the ontology of the *univers de discourse* of physics. And the answer is as follows. There exist: mathematical structures, a domain to which they refer, and rules establishing this reference. Without presupposing these three elements nothing can be done in physics; or even – no physics could be possible.

4. A case study – The Hartle-Hawking Quantum Creation model

In this section, I apply, as an example, the above interpretational proposal to a particular model. Since we are concerned with the existence problem in physics I have chosen the model the authors of which claim that they have mathematically modeled the creation of the universe from nothing (one speaks also about a “quantum tunneling out of nothingness”). The model was published by James Hartle and Stephen Hawking (1983), and was later on developed by others; see, for instance (Wu Zhong, 1993).

In quantum field theory there is a method, due to Richard Feynman, to calculate the transition probability for a quantum system to go from a state $S1$ to a state $S2$. This is not a theoretical subtlety

⁴ Some of these problems are discussed in (Heller, 2006).

satisfying esthetical predilections of theoretical physicists, but an essential procedure, a way of computing the dynamical evolution of a quantum system. To do so one must take into account all possible paths from $S1$ to $S2$, and to calculate a certain integral along all of them. The extremal value of all these integrals is related to the transition probability we want to know.

The idea of Hartle and Hawking was to transfer this strategy to the conceptual environment of quantum cosmology. This required a chain of bold hypotheses. A state of the universe is unlike the state in quantum theory that can be visualized as a point in a space, called phase space. Hartle and Hawking assumed that the universe is spatially closed and, consequently, its state (at a given time⁵) can be represented as a three-dimensional surface of a hyper-sphere (“3-geometry”) equipped with suitable quantum fields. All such states of the universe are elements of a space, called superspace which is mathematically much more complicated than the usual phase space.

How to compute all possible paths from one of such states to another? This is a difficult task both from the conceptual and technical point of view. Hartle and Hawking showed their mastership dealing with it. In order to overcome some technical difficulties they introduced a bold conceptual innovation – an imaginary time, i.e., a time that has acquired all properties of a fourth space dimension. All this (with some other important simplifying assumptions) served to calculate the probability for the universe to find itself in the state $S2$ if it was before in the state $S1$.

The standard tool for calculating probabilities in quantum theory is the wave function that is defined on the space of states; here it must be defined on the superspace of all possible states of the universe and

⁵ The problem of time is another subtle issue in quantum gravity and in this model, in particular.

is called the “wave function of the universe”. It is another investment of the Hartle-Hawking model that is involved in some conceptual problems, but it is indispensable to calculate transition probabilities.

Hartle and Hawking went a step further. Let us assume that the state $S1$ is “empty”: no 3-geometry, no quantum fields. What is the probability for the universe to find itself in the state $S2$ if the state $S1$ was “empty”? Not only this question turned out to be meaningful, but the calculated probability for such a transition from a “no-state” to $S2$ could be different from zero. And this allows one to speak about a quantum creation of the universe from nothing⁶.

Which are ontological commitments of the Hartle-Hawking model? To answer this question we put aside the future developments of this model and a criticism it has provoked (see for instance McCabe, 2005), and take into account the model as it was originally presented by Hartle and Hawking. Of course, the precise analysis *à la Quine* should go into technical details which cannot be done in this essay. We must be satisfied with a rather superficial dealing with the problem which, however, should be enough for grasping the main idea.

What the model says there is? Two levels of existence should be distinguished in it. First, the level of a *potential existence*. The “potentialities” in the model are severely limited by many factors. The wave function of the universe must be a solution to a differential functional equation called DeWitt-Wheeler equation. Moreover, to overcome some technical difficulties Hartle and Hawking consider only a “small” subspace of the superspace, called mini-superspace. Everything that goes beyond this limitations has no even potential existence in this model.

⁶ This is evidently a very simplified description of the Hartle-Hawking model; for a slightly more detailed discussion, see (Heller, 2009, pp. 68–73).

The second level of existence is an actual existence. This is a delicate question. Since the model is a quantum model, probabilities in it play the essential role. To states of the universe, before they are instantiated, only a certain probability of coming to existence can be ascribed. In this sense, the model's ontology admits a situation in which there is (a different from zero) probability for some states of the universe to emerge from a no-state. At least one of such probabilities has been realized, and this is why the universe actually exists. We should not forget that all the time we are speaking about the universe as an element of the model and about its existence as presupposed by the model (in the sense *à la Quine*). Whether this model corresponds to reality, i.e., to which degree is it verified experimentally – this is another story⁷.

We now should go beyond the analysis *à la Quine* and ask about ontological commitments of the method of physics on which the Hartle-Hawking model is based. In agreement with what was said in the preceding section, the model must assume everything without which the method of physics cannot work, i.e., certain mathematical structures that are interpreted as structures of the physical world or of some of its aspects. One says sometimes that every model presupposes certain laws of physics. We may adopt this way of speaking as a simplifying convention without going into a dispute concerning the status of laws of physics, their semantic denotations, etc. In the case of the Hartle-Hawking model three collections or systems of physical laws (mathematical structures with suitable interpretations) are assumed. First, laws taken from quantum field theory, such as Feynman's path integrals or the method of calculating probabilities with the help of wave function. Second, the laws taken from general rel-

⁷ In fact, the Hartle-Hawking model, because of its many simplifications and *ad hoc* assumptions, was never seriously considered as describing the real universe.

ativity, e.g., everything related to closed cosmological models, and some approaches to quantum gravity, e.g., DeWitt-Wheeler equation. And third, some new mathematical tools, suitably interpreted, e.g., imaginary time, that have turned out to be indispensable to make the above two kinds of laws work together.

The Hartle-Hawking quantum creation model is ontologically committed to the existence of these three systems of physical laws. Without them the model is unthinkable.

5. The analysis of “nothing”

Is the claim of Hartle and Hawking justified that they have succeeded in constructing a model of quantum creation of the universe from nothing? Assuming that their model is both mathematically and physically correct and taking into account our *à la Quine* analysis, we are entitled to say that, in their model, there is indeed a (different from zero) probability for the process of an emergence of the universe from nothingness to occur. But what does it mean “nothingness” in this context? Let us notice that in the mathematical structure of the model there is nothing (and rightly so) that could be interpreted as “nothingness”. “Nothingness” is outside of the model. In this sense, nothingness is what model says nothing about.

However, if we look at the problem not from the perspective of the model itself, but rather from the perspective of the method of physics, the situation looks different. The model is based on a rich mathematical structure equipped with a rich physical interpretation. The model itself, with all its structural elements (quantum creation included), is made out of this physically interpreted mathematical structure which is far from being nothingness.

If we attempted to construct a physical model from absolute nothing: the zero of existence, no mathematical structure and nothing to interpret, we would not be able to move one step forward. This is why the Leibniz question is so persistent: “Why is there something rather than nothing?”, and his short comment: “For nothing is simpler and easier than something” (Leibniz, 1908, p. 303). Why then is there something that is neither easy nor simple?

Acknowledgement This publication was made possible through the support of a grant from the John Templeton Foundation (Grant No. 60671).

Bibliography

- Bergson, H., 1922. *Durée et simultanéité: à propos de la théorie d'Einstein*. Paris: Alcan.
- Hartle, J.B. and Hawking, S.W., 1983. Wave function of the Universe. *Physical Review D* [Online], 28(12), pp.2960–2975. Available at: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.28.2960> [Accessed 21 November 2018].
- Hawking, S.W. and Ellis, G.F.R., 1973. *The Large Scale Structure of Space-Time*. Cambridge: Cambridge University Press. Available at: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511524646> [Accessed 23 October 2017].
- Heller, M., 2009. *Ultimate Explanations of the Universe*. Berlin – Heidelberg: Springer-Verlag.
- Heller, M., 2006. Discovering the world structure as a goal of physics. *Paths of Discovery, The Pontifical Academy of Sciences, Acta* 18. Vatican City: The Pontifical Academy of Sciences, pp.154–167.
- Leibniz, G.W., 1908. Principles of nature and grace based on reason, no 7. *The Philosophical Works of Leibnitz* (G.M. Duncan. Trans.). second edition. OCLC: 995173804. New Haven: The Tuttle, Morehouse & Taylor Company, pp.299–307.

- Maudlin, T., 2007. *The Metaphysics within Physics*. OCLC: ocm77012151. Oxford – New York: Oxford University Press.
- McCabe, G., 2005. The structure and interpretation of cosmology: Part II. The concept of creation in inflation and quantum cosmology. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 36(1), pp.67–102. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.shpsb.2004.08.003> [Accessed 21 November 2018].
- Penrose, R., 1979. Singularities and time-asymmetry. In: Hawking, S.W. and Israel, W. eds. *General Relativity: an Einstein Centenary Survey*. Cambridge – New York: Cambridge University Press, pp.581–638.
- Quine, W.v.O., 1964. On what is. *From a Logical Point of View*. OCLC: 713936577. Cambridge: Harvard University Press, pp.1–19.
- Worrall, J., 1989. Structural realism: the best of both worlds? *Dialectica* [Online], 43(1-2), pp.99–124. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1746-8361.1989.tb00933.x> [Accessed 21 November 2018].
- Wu Zhong, C., 1993. *No-Boundary Universe*. OCLC: 657947467. Changsha: Hunan Science & Technology Press.

On the observability of the early universe

Marco Bersanelli

Department of Physics, University of Milan, Italy

Abstract

In the framework of contemporary cosmology, the age-old aspiration to inquire the outer limits of the universe translates into our effort to observe the initial stages of cosmic history. Thanks to a fortunate combination of astronomical circumstances, and pushing mm-wave technology to its limits, today we are able to image the early universe in great detail, back at a time ($t \sim 380,000$ yr) when cosmic age was only 0.0027% of its present value. The state of the art in the field has been set by the ESA Planck mission, launched in 2009, dedicated to precision measurements of the cosmic microwave background (CMB). Planck observed the full sky for 4 years in a wide frequency range, reaching μK sensitivity both in temperature and polarization. The latest results, published by the Planck Collaboration in 2018, are in exquisite agreement with the simplest 6-parameter ΛCDM model and constrain the main cosmological parameters with percent-level accuracy. Furthermore, the Planck data yield insight on the very early universe ($t \sim 10^{-35}\text{s}$), opening the way to a new generation of experiments searching for the possible signatures of primordial gravitational waves in the CMB polarization pattern.

Keywords

cosmology, Planck mission, cosmic microwave background, primordial gravitational waves, CMB polarization patterns.

1. The cosmic edge in history

The challenge of exploring what lies far away from us is as old as humankind. In every epoch, different cultures speculated about the shape and nature of the most distant regions of the cosmos. In ancient Greece, the Aristotelian school envisioned a geocentric universe enclosed within a well-defined spatial boundary, the *Primum Mobile*, the ultimate source of all motions. The most successful version of such worldview was the Ptolemaic model, a highly sophisticated geometrical structure combining a multitude of circular uniform motions capable of accounting for all celestial movements observable at the time. In the middle ages, when the ancient Greek authors were rediscovered, the Aristotelian-Ptolemaic model was enthusiastically adopted and reinterpreted within their new culture. The edge of the physical universe was still the *Primum Mobile*, but now it was surrounded by a further sky, the *Empyrean*, inhabited by the angelic beings and by God himself. In a profound poetic and geometrical intuition, Dante Alighieri suggested that the outer rim of the *Empyrean* coincides with a point of light, as if placed at the antipodes of the Earth in a non-Euclidean, 3-D spherical space¹.

The onset of the heliocentric paradigm in the 16th century opened a new era in the notion of what lies at great distance from us. In fact, the most revolutionary aspect of the Copernican paradigm probably concerned the periphery of the universe, rather than its centre. The daily movements of the stars were now explained in terms of Earth's motions, thus dismissing the need of that huge crystal sphere to hold the stars. Furthermore, the lack of detection of parallax effects

¹ A reading of the geometry of Dante's universe in terms of non-Euclidean geometry was first suggested by Speiser (1925) and developed by other authors (e.g. Peterson, 1979; Bersanelli, 2018).

required stars to be placed at very great distances, now floating in boundless space. The introduction of Newtonian physics did the rest to consolidate the concept of an infinite, Euclidean, absolute space.

With the advent of relativistic cosmology, the concept of “distant universe” entered yet another era. The realization that we live in an expanding space implies that the average properties of the universe (e.g., average density, temperature, etc.) change with time. Furthermore, by observing sources at increasing distances we see them at progressively remote epochs in the past. Because the expansion started at a finite time in the past, some 14 billion years ago, there is an ultimate horizon defining the extension of space we can observe, i.e., what lies within the distance light could travel since the beginning of the universe². In our uniform and isotropic universe (on large scales) any direction in the sky displays to our observation essentially the same past cosmic history. But how far back can we actually see? Today we routinely observe galaxies that are some 12-13 billion light years away, and therefore belong to a relatively young universe. Can we receive light from anything further away? Or, which is the same, can we look further back towards the beginning of the universe?

In 1965, Arno Penzias and Robert Wilson serendipitously discovered³ that the dark background of the sky is not completely lightless, but it glows with a diffuse, weak, uniform luminosity. This fossil light, named cosmic microwave background (CMB), is the remnant of the initial hot state of the universe. The CMB photons were released when expansion cooled the temperature below 3000 K and the first neutral atoms formed. This took place when the universe was 380,000 years old, or only 0.0027% of its present age, well before

² For an excellent conceptual discussion of cosmic horizons see (Harrison, 1981).

³ The key original discovery papers are (Penzias and Wilson, 1965; Dicke et al., 1965). For a complete historical account see (Peebles, Page Jr and Partridge, 2009).

the formation of stars and galaxies. As matter became neutral, the universe quickly became transparent to light. At that time the wavelength of the cosmic photons was $\lambda \sim 1\mu\text{m}$, i.e., in the near-infrared. Since then, cosmic expansion red-shifted the photons by a factor $z \sim 1100$, moving them into the microwave range ($\lambda \sim 1\text{mm}$).

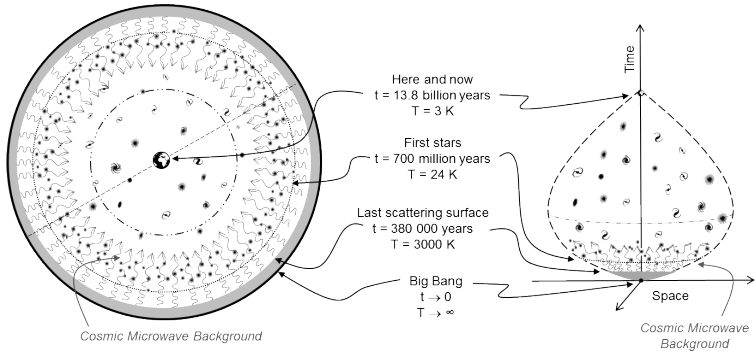


Figure 1: Space-time schematic of our observable universe, showing some of the key phases of cosmic evolution: the Big Bang, the last scattering surface releasing the CMB photons, the formation of the first stars, our present time and location. Left: events are shown in spherical symmetry as they appear to our observation; right: the same events are depicted on our past light cone.

The region where the CMB photons last interacted with matter is called “last scattering surface”: it is a sort of cosmic photosphere encompassing the whole observable universe (Figure 1). Note however that when those photons were emitted, the size of the last scattering surface was 1100 times smaller than it is today, only $\sim 0.1\%$ of the present scale. That relatively small surface is what we actually “see” when we observe the CMB. Therefore, even though the dark background of the sky surrounds us in all directions, and appears to us as the largest cosmic sphere, it is much smaller than the space oc-

cupied by galaxies and stars it contains. In remarkable analogy with Dante's cosmos, looking up in any direction of the sky we literally look towards a single point, the origin of the universe.

2. Observability

The CMB was not released by any particular source, rather, by the universe itself. Every cubic centimeter of space contains about 500 CMB photons with the energy distribution of a pure blackbody⁴ at a temperature $T_0 = 2.725 \pm 0.001$ K. While extremely cold, the energy density of the relic radiation far exceeds that of light produced by all sources in the universe: about 95% of the total photon energy today is contained in the CMB, while all stars, galaxies, quasars, gamma ray bursts, and any other object account for the remaining 5%.

While the CMB photons fill the universe, it is far from obvious that we have the possibility to detect them. This is possible - and, in fact, we can measure them in great detail - only thanks to a number of favorable conditions both in our global and local astronomical environment.

First, one needs a highly transparent universe. And indeed, despite the enormous number of galaxies and clusters distributed in cosmic space, the voids between them are huge and our universe is essentially empty. This is a byproduct of the high efficiency of the galaxy formation process. The cosmic photons in their 14-billion-year journey traveled nearly unperturbed in the ultra-low opacity cosmic medium. Except in the direction of clusters of galaxies (whose hot plasma interacts with the CMB producing the Sunyaev-Zel'dovic

⁴ High precision measurements of the CMB spectrum were established by the COBE/FIRAS experiment (Mather et al., 1994; Fixsen, 2009).

effect) and of extragalactic radio and IR sources, the CMB photons bring to us a very faithful image of the universe at the time of decoupling, redshifted by a factor of $\sim 10^3$.

Second, our galactic environment should not contaminate too much the CMB radiation. When entering our galaxy, the CMB photons get mixed with microwave and mm-wave photons produced within the Milky Way. These come mainly from synchrotron radiation by electrons spiraling in the Galactic magnetic field; from free-free radiation produced in the ionized medium (HII regions); and from thermal and rotational emission by cold interstellar dust. Synchrotron and dust emission also produce linearly polarized components.

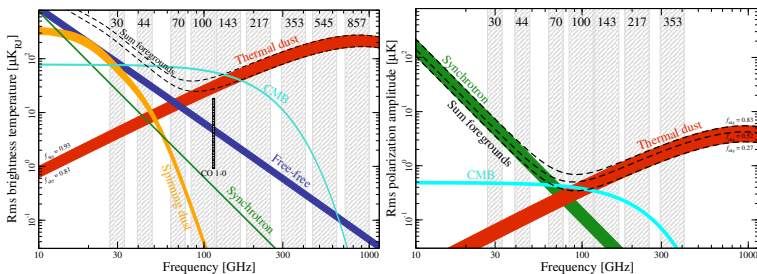


Figure 2: Observed rms brightness temperature of Galactic diffuse emissions and of the CMB as a function of frequency for intensity (left) and for polarization (right). For temperature, each component is smoothed to an angular resolution of 1 degree, and the lower and upper edges of each line are defined by masks covering 81 and 93% of the sky, respectively. For polarization, the corresponding smoothing scale is 40 arcmin, and the sky fractions are 73% and 93%. In the spectral region around ~ 70 GHz the CMB is higher or comparable to foreground emissions. The vertical shades represent the frequency bands observed by the Planck satellite (Planck Collaboration I, 2018) [Credits: ESA and the Planck Collaboration].

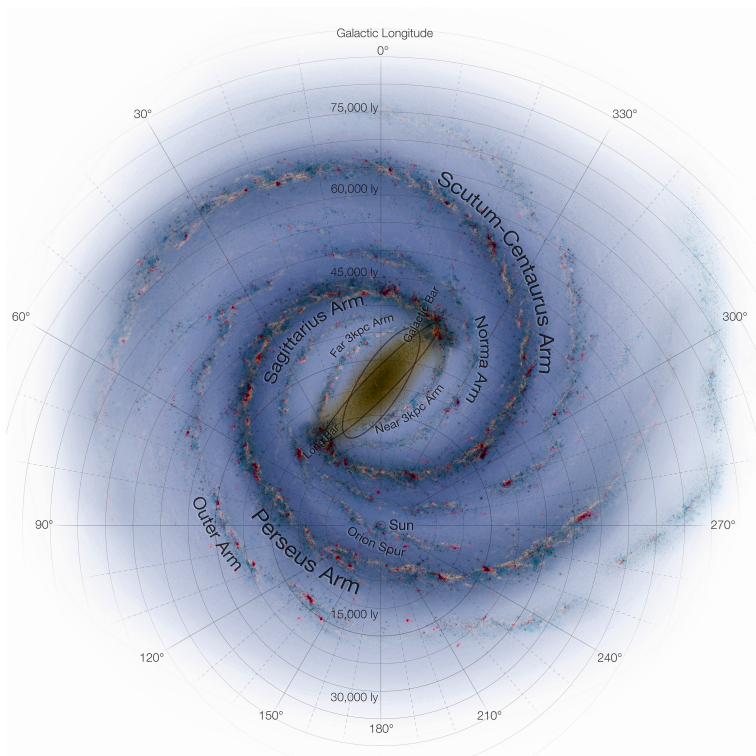


Figure 3: A reconstruction of the shape of the Milky Way, a barred spiral galaxy. The Solar System is located in a relatively low density region between the prominent Perseus arm and the Scutum-Centaurus arm [Credits: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt, SSC/Caltech].

Due to a happy coincidence of nature, the maximum of the CMB blackbody spectrum lies close to a minimum of the combined diffuse emission from the interstellar medium of our galaxy and from extragalactic sources. As a result, the combined foreground signal in total

intensity (temperature) and polarization, in the 1-10 mm range and away from the galactic plane, is lower or comparable to that of the CMB (Figure 2).

Of course, the situation is highly dependent on our vantage point within the Milky Way. Our Solar System is located between two prominent spiral arms, in a relatively low density region (Figure 3). Seen from here, the local diffuse radiation, while adding non-negligible level of contamination, is just weak enough to give us a chance to measure the CMB. Were our planet placed too deep into the galactic center, or inside a major spiral arm, we would be deprived of the possibility to image or even detect the CMB.

3. Cosmic seeds

Since the early 1990s we know that the intensity of the CMB in different direction of the sky is not completely uniform. This was expected because, in order to explain the formation of galaxies under the action of gravity, density perturbations needed to be present already at the time of last scattering. Since the CMB photons are influenced by the gravitational potential at decoupling, their angular distribution traces such early density perturbations and must exhibit a low level of anisotropy. In 1992, NASA's COBE satellite first detected CMB anisotropies with amplitude 0.001% at angular scales larger than 7 degrees (Smoot et al., 1992). The COBE pioneering discovery motivated several experiments from ground and stratospheric balloons in the following decade. In 2000, NASA launched the WMAP satellite which obtained full-sky maps of the CMB fluctuations with sub-degree resolution and much improved sensitivity (Bennett et al., 2003; Hinshaw et al., 2007). The Planck satellite, launched in 2009

by ESA, was designed as a third generation CMB satellite to obtain a definitive measurement of CMB anisotropies at all relevant angular scales.

The reason for such great experimental effort is that CMB anisotropies contain a gold mine of cosmological information. The CMB structure at sub-degree scales traces density and velocity patterns at the last scattering surface produced by acoustic oscillations in the primordial plasma. The details of the statistics of the CMB across the sky, therefore, depends sensitively on the physical conditions of the plasma, which in turn depend on key parameters such as the total energy density, Ω_{tot} , the abundance of baryonic and dark matter, Ω_b and Ω_c , the expansion rate (the Hubble constant $H_0 = 100h \text{ km s}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$), the curvature of space, Ω_k . The observed CMB pattern is also sensitive to the spectrum of initial fluctuations that initiated the acoustic oscillations in the very early universe. These are parametrized by an amplitude A_S and a spectral index and n_S . In conclusion, an accurate measurement of CMB anisotropy over all relevant scales (full-sky to few arcmin) can in principle lead to precise measurements of many crucial cosmological parameters.

Further unique information to constrain the cosmological model is contained in the CMB polarization. A polarized component correlated with the temperature anisotropies, with $\sim 10\%$ of their amplitude, is expected as a consequence of local quadrupole anisotropy at the last scattering surface. This polarization signal, called ‘‘E-mode’’, has been detected by a number of experiments⁵ at the expected level (few μK). These data yield constraints on cosmological parameters complementary to those gained from temperature anisotropy, and help remove degeneracy.

⁵ The first detection of CMB polarization was achieved in 2002 by the DESI experiment, operated at the South Pole (Leitch et al., 2002).

Another yet unobserved component of the CMB polarization, if detected, would provide a direct clue of the very early universe. According to the inflation scenario, first proposed by Linde and Kirshnitz in 1976 and independently by Guth in 1980, an initial ($t \sim 10^{-35}$ s) superluminal expansion of space generated a stochastic field of gravitational waves (see Guth, 1997). Such perturbations must have produced a specific polarized pattern in the CMB photons, called “B-modes”. This is independent and observationally distinguishable from the “E-modes”. Inflation does not predict a specific amplitude of the B-modes, but it does indicate that the amplitude of the primeval gravitational waves (and therefore the CMB polarization) is proportional to the square of the energy scale at which they were generated. Therefore, if detected, the B-modes polarization would provide strong evidence of inflation and, in addition, would determine the energy scale at which it occurred.

How many parameters are needed to describe the global properties of the universe? The so-called standard Λ CDM cosmological model, within the framework of general relativity, assumes major contribution from a cosmological constant, Λ , accounting for the observed cosmic acceleration, and from cold dark matter (CDM). Its simplest version also assumes a flat geometry and fixes to standard values all parameters except for six of them, which can be treated as six degrees of freedom to be determined by observations.

To compare data to theoretical models, it is convenient to express the CMB fluctuations in intensity and polarization in terms of power spectra. The CMB pattern on the sphere, $\Delta T(\theta, \varphi)$, calibrated in brightness temperature, can be expressed as a linear combination of the spherical harmonics $Y_{l,m}(\theta, \varphi)$:

$$\Delta T(\theta, \varphi) = \sum_{l,m} a_{l,m} Y_{l,m}(\theta, \varphi).$$

We construct the angular power spectrum as:

$$C_l = \left\langle |a_{lm}|^2 \right\rangle = \frac{1}{2l+1} \sum_{m=-l}^l a_{lm}^2$$

which represents the anisotropy at all angular scales θ expressed in terms of multipoles $\ell \approx \pi/\theta$. For a Gaussian distribution, the coefficients C_ℓ contain all the statistical information. Similar decompositions can be made to represent the E and B polarization patterns in their corresponding power spectra. Theory predicts a harmonic structure for the power spectrum, with peaks and valleys resulting from the acoustic oscillations in the plasma. The details of the shape of the power spectrum depend sensitively on the values of the cosmological parameters.

4. The Planck mission

The Planck satellite was successfully launched by an Ariane 5 rocket from the ESA launch pad in Kourou, French Guiana, on 14 May 2009, at 10:12 (local time). The satellite took data uninterruptedly for four years, scanning the sky from an L2 orbit about 1.5 million km away from Earth (Tauber et al., 2010). The telescope, instruments and observing strategy were designed to reach an unprecedented combination of angular resolution (up to a tenth of a degree), sky coverage (100%), wavelength coverage (from 0.3 to 10 mm), sensitivity (one part in a million), calibration accuracy (better than 0.2%).

As discussed earlier, while from Earth we enjoy a relatively clean view of the CMB, local astrophysical emissions contribute to the observed microwave signal and must be accurately removed. The extreme sensitivity of Planck called for precision measurement not

only at frequencies dominated by the CMB (70-100 GHz), but also in spectral bands where the foregrounds are strong. Planck observed the sky in nine bands, at frequencies ranging from 30 to 850 GHz. To cover such wide range, two complementary instruments were developed, exploiting state-of-the-art radiometric and bolometric detectors in their best windows of operation, cooled to cryogenic temperatures (up to 0.1 K for the bolometer array)⁶. The two instruments shared the focal plane of a single telescope, an off-axis dual reflector Gregorian system with 1.5m aperture (Figure 4). The ambitious performance of Planck was verified in a demanding ground test campaign before launch, and has been wonderfully confirmed by in-flight data.

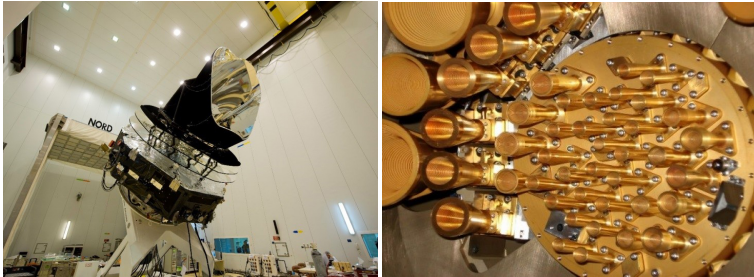


Figure 4: Left: picture of the Planck satellite during system ground tests, just before launch. Right: a view of the Planck focal plane, including two integrated instruments: the Low Frequency Instrument, operating in the 30-70 GHz bands, and the High Frequency Instrument, covering the 100-850 GHz range [Courtesy of ESA, ASI, CNES].

⁶ The two Planck instruments, LFI, Low Frequency Instrument, and HFI, High Frequency Instrument, are described respectively in (Bersanelli et al., 2010; Lamarre et al., 2010).

5. Precision measurements

In 2018 the Planck Collaboration has released the legacy data in temperature and polarization. Figure 5 shows the temperature full-sky map after removal of the foreground emissions (Planck Collaboration I, 2018). Never was the first light mapped on the whole sky with such precision.

The Planck power spectrum for temperature anisotropy (TT) is displayed in the top panel of Figure 6, which represents the anisotropy power (in units of μK^2) conventionally expressed in terms of $\ell(\ell + 1)C_\ell/2\pi$ as a function of multipole number $\ell \sim \pi/\theta$. The blue points are the data, the red solid line is the best fit for the base 6-parameters model. Shown are also the residuals. The agreement between data and model is just amazing. The plots in the bottom of Fig. 6 show the power spectra for the polarization E-mode (EE, left) and for the temperature-polarization correlation (TE, right). Note that in the two lower plots, the red curves are not the best fit to the data, but the model for EE and TE spectra using the best-fit 6-parameter model from the TT data. Here one can appreciate the exquisite agreement between the experimental data and the theoretical expectation, as well as the internal consistency between temperature and polarization.

The minimal 6-parameter Λ CDM model used to fit the Planck data assumed a flat geometry, ($\Omega_k = 1 - \Omega_{tot} = 0$); a constant Λ -term for dark energy, i.e., $w_0 = -1, w_a = 0$ for an equation of state $w(a) = w_0 + (1 - a)w_a$; standard neutrino parameters (i.e., effective number of relativistic degrees of freedom $N_{eff} = 3.046$, sum of neutrino masses of 0.06 eV, no sterile neutrinos); a simple power law for the of primordial fluctuations, $dn_s/d\ln k = 0$, where k is linear perturbation size; a negligible value of B-modes, parametrized as

the ratio r of tensor to scalar modes ($r = 0$); a blackbody temperature for the CMB $T_0 = 2.7255$ K as measured by COBE/FIRAS; a fraction of baryonic mass in helium $Y_P = 0.2477$, as calculated from primordial nucleosynthesis (Hamann et al., 2011); standard amplitude of the lensing power relative to the physical value ($A_L = 1$).

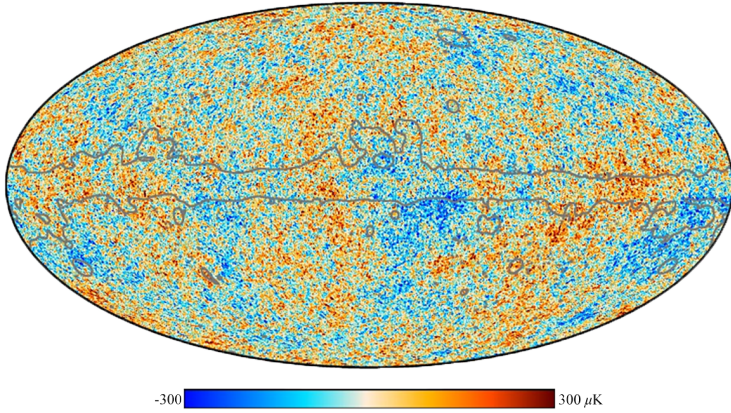


Figure 5: Planck all-sky map of the cosmic microwave background, after subtraction of the galactic and extragalactic foregrounds. Thanks to Planck’s nine frequency channels (30-857GHz) and to sophisticated image analysis techniques, the foregrounds emissions were separated with high precision. The sky regions where foreground radiation was larger, mostly in the Galactic plane, is shown by the gray contour (Planck Collaboration I, 2018) [Credits: ESA and the Planck Collaboration].

With these assumptions, the choice of which six free parameters to fit to the data is somewhat arbitrary, as all the others can be derived from those six. For Planck, the free parameters were chosen to be the baryon density, $\Omega_b h^2$; the cold dark matter density, $\Omega_c h^2$; the angular

size of the fluctuations, θ_{MC} (times 100); the Thomson scattering optical depth due to reionization, τ ; the amplitude and spectral index of the initial fluctuations spectrum, A_S and n_S .

The six basic parameters are derived by fitting the data to the temperature and polarization power spectra. Figure 7 shows contour plots of the constraints on the six parameters obtained independently with the three spectra TT, TE, EE, including large scale polarization, “LowP”, as well as the constraints from the combination all spectra. The internal consistency is very good. Table 1 shows in detail the Planck values for the six primary parameters (first block) and the main derived parameters (second block). These results also exploit independent information extracted from the Planck data on the effect of weak gravitational lensing on the CMB (Planck Collaboration VIII, 2018). Of the six primary parameters shown in Table 1, five are measured to better than 1%. The errorbars are somewhat further reduced when the Planck data are combined with external data sets, particularly from baryonic acoustic oscillations (Planck Collaboration VI, 2018).

The Planck results indicate a contribution to the energy density from baryonic matter of 4.9%, from dark matter of 26.5%, and the remaining 68.5% is ascribed to dark energy. This means that less than 5% of the universe is made of stuff that we understand in terms of known physics. The Hubble constant is found to be $67.4 \pm 0.5 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, indicating a somewhat lower value than previous estimates based on more traditional methods. The combination of Hubble constant and of density parameters yield an estimate of the age of the universe of 13.8 billion years, with the amazing precision of 0.3%.

Extending the analysis beyond the base 6-parameters model is done by relaxing the assumed fixed values of extra parameters. This

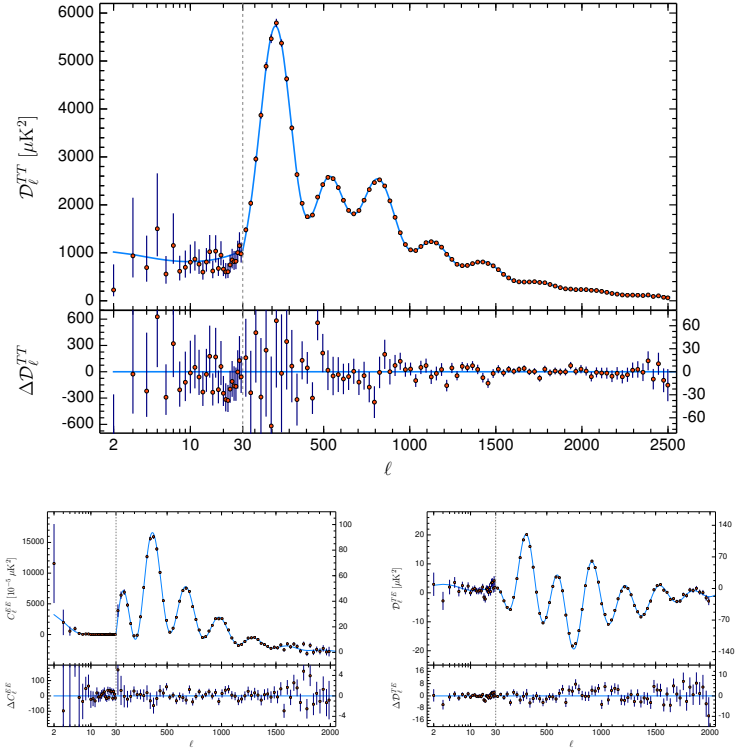


Figure 6: Planck angular power spectra. Top panel: temperature anisotropies; Bottom left: polarization E-mode; Bottom right: correlation of T and E-mode (Planck Collaboration VI, 2018). The horizontal axis is the multipole number, inversely proportional to the angular scale (left to right: 180 degrees to 7 arcmin). The vertical axis is the anisotropy power in units of μK^2 (see text) [Credits: ESA and the Planck Collaboration].

way, stringent limits are placed to the sum of all neutrino masses, < 0.24 eV, tighter than any previous experiment. The Planck data combined with other data sets, especially those from large galaxy

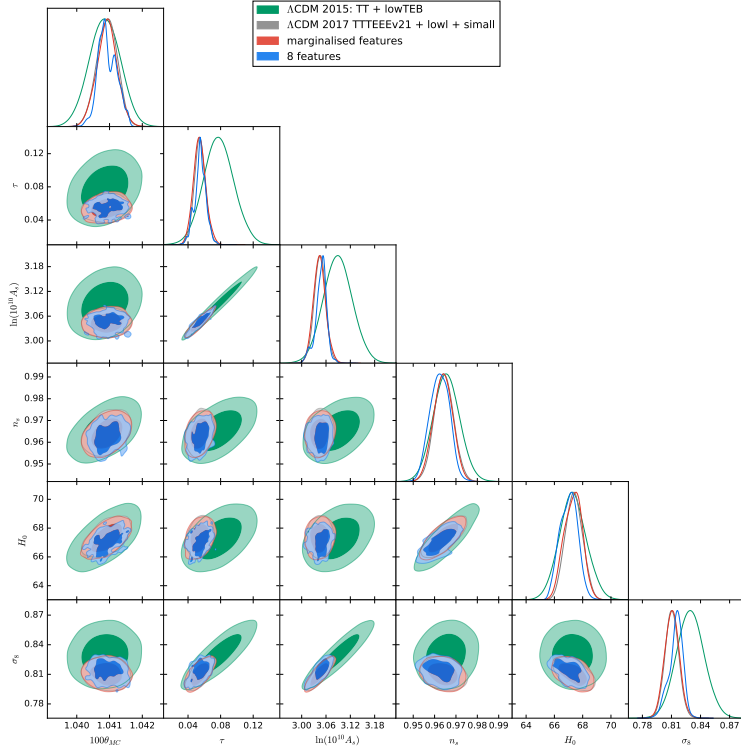


Figure 7: Constraints from Planck data on the six base cosmological parameters of the Λ CDM model from temperature and polarization data (Planck Collaboration VI, 2018) [Credits: ESA and the Planck Collaboration].

surveys, set tight limits on the curvature of the universe sub percent level. We seem to live in a highly Euclidean universe. The spectral index of the primordial perturbations is found to be $n_S = 0.965 \pm 0.004$, i.e. close to, but significantly less than, unity. These two latter results are consistent with the expectations of most popular inflationary scenarios. The signature of primordial gravitational waves is measured

by the parameter r , the ratio of tensor perturbations (producing the B-mode polarization) to density perturbations. The Planck data place an upper $r < 0.09$ (95% confidence level), which implies an upper limit for the energy scale of standard inflation of 1.9×10^{16} GeV. An analysis combining Bicep2 and KEK with Planck data yields $r < 0.07$ at 95% confidence level (Keck Array and BICEP2 Collaborations, 2016). These limits seem to rule out the simplest forms of inflation models, a situation that has increased the motivation to consider alternative approaches to the inflation scenario (see e.g. Ijjas, Steinhardt and Loeb, 2013).

PRIMARY Λ CDM PARAMETERS

Parameter		Planck 2018
$\Omega_b h^2$	<i>Baryon density today</i> ^(a, b)	0.02237 ± 0.00015
$\Omega_c h^2$	<i>Cold dark matter density today</i> ^(a, b)	0.1200 ± 0.0012
$100\theta_{MC}$	<i>Angular scale of sound horizon at last scattering</i>	1.04092 ± 0.00031
τ	<i>Thomson scattering optical depth due to reionization</i>	0.0544 ± 0.0073
$\ln(10^{10} A_S)$	<i>Power of primordial perturbations</i>	3.044 ± 0.014
n_S	<i>Spectral index of primordial perturbations</i>	0.9649 ± 0.0042

DERIVED PARAMETERS

Parameter		Planck 2018
H_0	<i>Hubble constant, km s⁻¹ Mpc⁻¹</i>	67.36 ± 0.54
Ω_Λ	<i>Dark energy density today ^(a)</i>	0.6847 ± 0.073
Ω_m	<i>Dark matter density today ^(a)</i>	0.3153 ± 0.073
σ_8	<i>RMS matter fluctuations today (on scale 8/h Mpc)</i>	0.8111 ± 0.0060
z_{re}	<i>Redshift at which the universe is half re-ionized</i>	7.67 ± 0.73
z_{eq}	<i>Redshift of matter-radiation equality</i>	3402 ± 26
t_U	<i>Age of the universe, Gyr</i>	13.797 ± 0.023

EXTENSIONS OF BASE 6-PARAMETERS MODEL

Parameter		Planck 2018
Ω_K	<i>Curvature parameter today ^(a), $\Omega_{tot} = 1 - \Omega_K$</i>	-0.0096 ± 0.0061
$\sum m_\nu$	<i>Sum of neutrino masses, eV</i>	< 0.241
N_{eff}	<i>Effective number of neutrino species</i>	$2.89^{+0.36}_{-0.38}$
$r_{0.002}$	<i>Tensor to scalar ratio at a scale $k_0 = 0.002 \text{ Mpc}^{-1}$</i>	< 0.101

(a) In units of critical density, $3H_0^2/8\pi G$.

(b) Here $h = H_0/(100 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1})$.

Table 1: The six parameters of the Λ CDM (on top) and derived parameters from the Planck legacy release (Planck Collaboration I, 2018). The parameters are derived from the combined analysis of temperature, polarization and lensing data.

6. Conclusions

The cosmic microwave background is a unique window into the early universe. The CMB photons reach us from a region of space-time which is both the outer rim of our observable universe and the image of a small, hot, young universe. This situation has remarkable analogy with Dante's medieval cosmos, though of course in a very different context. Accurate, full-sky imaging of the CMB gives a snapshot of the gravitational seeds from which galaxies and all cosmic structure formed. Recent measurement of the CMB temperature and polarization anisotropy succeeded in constraining to great precision the main fundamental parameters of cosmology, such as those describing the density of different kinds of matter and energy in the universe, the overall geometry of space, the dynamics of cosmic expansion, the mass and number of species of neutrinos, the age of the universe. Polarization measurement also probe processes occurring in the very first tiny fraction of a second of the big bang at energies far greater than any conceivable terrestrial experiment.

The image of the cosmos emerging in contemporary cosmology is characterized by a combination of simplicity and mystery. The level of agreement shown in Figure 6 is truly astonishing. It means that the data are very well described by the simplest standard cosmological model, in which just six numbers are sufficient to capture the overall state of the early universe to high precision. This is encouraging for our ambition to reach a synthetic description of the properties of the universe, and it seems to indicate that we are on the right track. On the other hand, several fundamental questions remain open. These same data are telling us that we have no clue on the physical nature of as much as 95% of what exists in the universe. Also, the very early universe remains mostly uncharted territory. Inflation is a promis-

ing path, but it still awaits confirmation. The Planck results rule out classic inflation models and less natural potentials must be considered. Furthermore, inflation is not a complete theory and it may face conceptual difficulties (Steinhardt, 2011; Ijjas, Steinhardt and Loeb, 2014). Our experiments will continue to search for B-mode signatures of primordial gravitational waves, and their detection would represent an extraordinary discovery. However, the field is open and we should maintain an open-minded view on what we might find or not find in the data.

The generous scientific payoff that CMB observations have delivered in the past 50 years does not seem to be over, and more breakthroughs can be hoped-for in the next decade. Much technological development has occurred since the Planck instruments were frozen. A new generation of experiments is being developed and deployed in selected high-quality ground-based sites (such as South Pole, Atacama, Tenerife), particularly to probe B-mode polarization. Studies for a future fourth generation CMB space mission are ongoing, such as the JAXA's LiteBIRD project. It will be interesting to see whether our favorable astronomical location in the Milky Way will assist us also in the next stage of precision measurements, as we move from the micro-Kelvin to the nano-Kelvin regime.

Our recent CMB results indicate that the early universe was an amazingly simple place, nearly featureless and well described by only a few numbers. Probably nobody would have bet, if watching the scene back then, on a future as rich and interesting as the one that we experience today. And yet here we are, 13.8 billion years later, to tell the marvelous story.

Bibliography

- Bennett, C.L. et al., 2003. First-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) observations: preliminary maps and basic results. *The Astrophysical Journal Supplement Series* [Online], 148, pp.1–27. Available at: <https://doi.org/10.1086/377253> [Accessed 28 November 2018].
- Bersanelli, M., 2018. *From Dante's Universe to Contemporary Cosmology [in press]*. Milano: Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere.
- Bersanelli, M. et al., 2010. Planck pre-launch status: design and description of the Low Frequency Instrument. *Astronomy & Astrophysics* [Online], 520, A4. Available at: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/200912853> [Accessed 28 November 2018].
- Dicke, R.H., Peebles, P.J.E., Roll, P.G. and Wilkinson, D.T., 1965. Cosmic black-body radiation. *The Astrophysical Journal* [Online], 142, pp.414–419. Available at: <https://doi.org/10.1086/148306> [Accessed 28 November 2018].
- Fixsen, D.J., 2009. The temperature of the cosmic microwave background. *The Astrophysical Journal* [Online], 707, pp.916–920. Available at: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/707/2/916> [Accessed 28 November 2018].
- Guth, A.H., 1997. *The Inflationary Universe: the Quest for a New Theory of Cosmic Origins*. OCLC: 301573086. Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- Hamann, J., Hannestad, S., Raffelt, G.G. and Wong, Y.Y.Y., 2011. Sterile neutrinos with eV masses in cosmology – How disfavoured exactly? *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* [Online], 2011(09), p.034. Available at: <https://doi.org/10.1088/1475-7516/2011/09/034> [Accessed 28 November 2018].
- Harrison, E.R., 1981. *Cosmology: the Science of the Universe*. Vol. 2000. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hinshaw, G. et al., 2007. Three-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) observations: temperature analysis. *The Astrophysical Journal Supplement Series* [Online], 170, pp.288–334. Available at: <https://doi.org/10.1086/513698> [Accessed 28 November 2018].

- Ijjas, A., Steinhardt, P.J. and Loeb, A., 2014. Inflationary schism. *Physics Letters B* [Online], 736, pp.142–146. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2014.07.012> [Accessed 28 November 2018].
- Ijjas, A., Steinhardt, P.J. and Loeb, A., 2013. Inflationary paradigm in trouble after Planck2013. *Physics Letters, Section B: Nuclear, Elementary Particle and High-Energy Physics* [Online], 723(4-5), pp.261–266. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2013.05.023> [Accessed 28 November 2018].
- Keck Array and BICEP2 Collaborations, 2016. Improved constraints on cosmology and foregrounds from BICEP2 and Keck Array cosmic microwave background data with inclusion of 95 GHz band. *Physical Review Letters* [Online], 116(3), p.031302. Available at: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.031302> [Accessed 28 November 2018].
- Lamarre, J.-M. et al., 2010. Planck pre-launch status: the HFI instrument, from specification to actual performance. *Astronomy & Astrophysics* [Online], 520, A9. Available at: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/200912975> [Accessed 28 November 2018].
- Leitch, E.M. et al., 2002. Measurement of polarization with the Degree Angular Scale Interferometer. *Nature* [Online], 420(6917), pp.763–771. Available at: <https://doi.org/10.1038/nature01271> [Accessed 28 November 2018].
- Mather, J.C. et al., 1994. Measurement of the cosmic microwave background spectrum by the COBE FIRAS instrument. *The Astrophysical Journal* [Online], 420, pp.439–444. Available at: <https://doi.org/10.1086/173574> [Accessed 28 November 2018].
- Peebles, P., Page Jr, L. and Partridge, R.B., 2009. *Finding the Big Bang*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Penzias, A.A. and Wilson, R.W., 1965. A measurement of excess antenna temperature at 4080 Mc/s. *The Astrophysical Journal* [Online], 142, pp.419–421. Available at: <https://doi.org/10.1086/148307> [Accessed 28 November 2018].
- Peterson, M.A., 1979. Dante and the 3-sphere. *American Journal of Physics* [Online], 47, pp.1031–1035. Available at: <https://doi.org/10.1119/1.11968> [Accessed 28 November 2018].

- Planck Collaboration I, 2018. Planck 2018 results. I. Overview and the cosmological legacy of Planck [in press]. *arXiv:1807.06205 [astro-ph]* [Online]. Available at: <<http://arxiv.org/abs/1807.06205>> [Accessed 28 November 2018].
- Planck Collaboration VI, 2018. Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters [in press]. *arXiv:1807.06209 [astro-ph]* [Online]. Available at: <<http://arxiv.org/abs/1807.06209>> [Accessed 28 November 2018].
- Planck Collaboration VIII, 2018. Planck 2018 results. VIII. Gravitational lensing [in press]. *arXiv:1807.06210 [astro-ph]* [Online]. Available at: <<http://arxiv.org/abs/1807.06210>> [Accessed 28 November 2018].
- Smoot, G.F. et al., 1992. Structure in the COBE differential microwave radiometer first-year maps. *The Astrophysical Journal Letters* [Online], 396, pp.L1–L5. Available at: <https://doi.org/10.1086/186504> [Accessed 28 November 2018].
- Speiser, A., 1925. *Klassische Stücke der Mathematik, Veröffentlichungen der Schweizerischen Mathematischen Gesellschaft 2*. Zürich – Leipzig: Verlag Orell Füssli.
- Steinhardt, P.J., 2011. The inflation debate. *Scientific American* [Online], 304(4), pp.36–43. Available at: <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0411-36> [Accessed 28 November 2018].
- Tauber, J.A. et al., 2010. Planck pre-launch status: the Planck mission. *Astronomy & Astrophysics* [Online], 520, A1. Available at: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/200912983> [Accessed 28 November 2018].

Black holes: do they exist?

Edward Malec

Jagiellonian University, Institute of Physics, Department of General Relativity
and Astrophysics

Abstract

Black holes entered scientific literature as early as at the end of eighteenth century. They had been known at that time as dark stars, but their concept did not find its way to physics or astronomy, and had been abandoned for more than one hundred years. I shall sketch historical developments and discuss present mathematical and observational status of black holes.

Keywords

black holes, history of physics, history of black holes, first observations of black holes, present status of black holes in physics.

1. Introduction

What would do a general relativist who is asked one day in spring 2017 to give a talk at a methodological conference *on what exists in physics*? He would try – I guess – to find out what kind of a story is expected by philosophers. I have gone through that, and I decided after meticulous considerations that black holes constitute the right concept, that should be of interest. They originated in late 18th century in a work by an almost forgotten English scholar. They had been abandoned by Laplace, in interesting circum-

stances. Schwarzschild gave them in 1915 new life, without knowing about their primordial existence, but the next half of a century had to pass before the mathematical and physical status of black holes had been explained and accepted. The astronomical evidence for their existence has accumulated since 1960s and there are many new observational projects concerning important properties of black holes. I shall sketch this developments in what follows.

2. Prehistory (1783-1806)

Reverend John Michell, a rector in one of Yorkshire parishes, sent in 1783 a paper to his friend Henry Cavendish, under a title: *On the Means of discovering the Distance, Magnitude, &c. of the fixed Stars, in consequence of the Diminution of the Velocity of their Light, in case such a Diminution should be found in any of them, and such other data should be procured from Observations, as would be further necessary for that Purpose* (Michell, 1784).

There had been discussed a number of ideas, one of which is particularly interesting to us. Michell states (without analytic calculations, using geometric arguments), that a star of a radius exceeding 500 solar radii and density not less than that of the Sun, would appear dark. It is easy to convert that statement into modern concepts: such a star would be hidden entirely under its Schwarzschild radius; it would be a black hole. Thus we know now that Michell was right!

We should add, that Michell was one of leading scientific figures in England in the third quarter on 17th century. He made important contributions to geophysics and astronomy. The idea of the Cavendish measurement of the gravitational constant and of the torsion balance instrument was devised by Michell (Israel, 1987).

Thirteen years later Pierre Simon de Laplace discussed, without detailed explanations, the concept of dark stars in the first two editions of his book *Exposition du Système du Monde* (Laplace, 1796). He had been asked by the editor Franz Xaver von Zach to explain his reasoning and he did so in the paper entitled *Beweis des Satzes, daß die anziehende Kraft bey einem Weltkörper so groß seyn könne, daß das Licht davon nicht ausströmen kann*, published in the German journal *Allgemeine Geographische Ephemeriden* (Laplace, 1799). There is essentially a modern type reasoning and a (Newtonian) calculation, that shows that if the escape velocity V of a spherical star is equal to (or exceeds) the speed of light c ,

$$V^2 = \frac{2GM}{R} > c^2,$$

then corpuscles of light cannot leave the star's surface. Thus the star becomes dark to an external observer. Above G is the gravitational constant, M is the mass and R is the radius of the star. Let us add, that it is quite likely, that Laplace did not know the work of Michell, because "there was little scientific contact between England and France during this extremely troubled time in French history." (Montgomery, Orchiston and Whittingham, 2009). For the next nearly two centuries there is no reference to the work of Michell, and Laplace is mentioned in this context (by Eddington) quite late – in 1926 (see Israel, 1987) and then in 1973 (Hawking and Ellis, 1973).

There emerges this interesting question: Why this primordial idea of black stars had been forgotten? In order, to find the clue, let us quote from Michell:

Let us now suppose the particles of light to be attracted in the same manner as all other bodies with which we are acquainted; that is, by forces bearing the same proportion to

their *vis inertiae* (or mass), of which there can be no reasonable doubt, gravitation being, as far as we know, or having any reason to believe, an universal law of nature.

Michell and Laplace adopted the view, after Newton, that *light consists of particles*. In 1801 Thomas Young's experiments revealed interference – a phenomenon characteristic for waves. The reasoning of Michell and Laplace could not be applied to a wave. Interestingly, in the third edition of his *Exposition du Système du Monde* (1808) the passage about dark stars disappears; is that because Laplace realized, that Young experiments invalidate one of his basic assumptions? I leave that question as an open issue, that perhaps will never be conclusively answered.

The concept of dark stars required the universality of gravitation and corpuscular nature of light. We should stress again that the existence of dark stars within Newtonian gravity would not be compatible with the wave character of light.

There was not made any attempt, at that time, to confront theoretical predictions with astronomical observations. This confrontation was anyway impossible, with astronomical instruments available in 19th century, but there exists this interesting possibility, that the main reason was the realization that there exists a conflict between notions of dark stars and the wave-like nature of light. I conclude this section by stating a conjecture, that the eighteenth century concept of dark stars was abandoned because of internal theoretical inconsistencies.

3. History (1916-1990)

Karl Schwarzschild (1916) published a paper with his famous solution to Einstein equations:

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2GM}{Rc^2}\right)dt^2 + dR^2\left(1 - \frac{2GM}{Rc^2}\right)^{-1} + R^2dO^2.$$

Here dO denotes the line element on a unit sphere. Notice the emergence of an apparent “singularity” when the Michell-Laplace condition is saturated,

$$c^2 = v^2 = \frac{2GM}{R}.$$

Notice that this relation defines the critical radius $R_s = \frac{2GM}{c^2}$ – the same quantity as in Michell’s or Laplace’s works! If a star finds itself beneath a sphere of a radius R_s , then it becomes dark. The Schwarzschild’s solution was regarded for almost 50 years as unphysical – albeit with notable exceptions like Landau and Lifszic (see discussion in Israel, 1987). Einstein presented a (correct) proof that no stationary system can be compacted within the Schwarzschild radius R_s . Schwarzschild has shown that a constant mass density spherical star must be larger than $9R/8$. Others would argue that stars squeezed within their Schwarzschild radius would be absurdly dense – a cubic centimeter of the Sun compacted to a ball of the radius 3 km would weigh more than 10^{16} grams.

Werner Israel (1987) describes in his review developments of the preceding 70 years. They proceeded in many directions.

There was a formal (theoretical) progress, in which were found regular representations of the horizon in the Schwarzschild metric (in non-polar slicing conditions) We shall mention here (see discussion in Israel, 1987) Painlevé, Gullstrand, Lemaître, Eddington, Finkelstein, Synge and Szekeresz. Interesting is the case of Lemaître, who explicitly stated that in his coordinates (coinciding with Painlevé and Gullstrand) the Schwarzschild solution is manifestly regular up to the horizon. Nevertheless, this information was not understood and it

was somehow suppressed. It was only around 1960 when it was accepted, that there is nothing unusual from the analytic point of view at the sphere $R = R_S$; that the event horizon is located at R_S , that it can be freely traversed from the outside but that it is confining standard matter inside a black hole. In 1960 appeared a paper *Maximal extension of Schwarzschild metric* (Kruskal, 1960). We should mention in this context also Szekeres and Synge. By mid-sixties (after the discovery of the Kerr and Kerr-Newman solutions and their maximal extensions) it was generally accepted that there do exist mathematically correct solutions of Einstein equations that could be regarded as dark stars. The name “*black hole*” appeared for the first time in print in 1968, in one of publications of John Wheeler, who evidently was the main driving force of the whole development in the years 1955-1965. I like to think that this resolution of theoretical difficulties had constituted the fundamental step in allowing the existence of the modern incarnation of dark stars.

There was a progress from the other – astrophysical – side. Theoretical models and observation of compact stars led to developments of models of white dwarves (Chandrasekhar) and neutron stars (Landau, Gamov and others), that would have quite dense interiors (up to 10^{15} grams per cubic centimeter). That partially took away the odium of “absurdity” from black holes. Baade and Zwicky initiated before the second world war observational search for neutron stars, that led to first successful results in 1967 – discovery of pulsars, quickly rotating neutron stars.

Oppenheimer and Snyder (1939) presented a scenario for the gravitational collapse to a black hole. It required high symmetry and special matter, but singularity theorems of Penrose (Penrose, 1965) and others gave a chance to extend its validity in non-spherical systems

Analysis of accreting systems demonstrated that matter falling onto a black hole can be a very efficient source of electromagnetic energy – one teaspoon of water falling onto a black hole produces roughly the energetic equivalent of dozens of fuel tankers of petrol.

The compact component in a binary system Cygnus X-1, discovered in 1964, has been for a long time a black hole candidate, eventually confirmed a few years ago, to my knowledge.

Active galactic nuclei – sources of electromagnetic radiation, thought to contain giant black holes – have been discovered. Extremely distant and extremely bright sources of radiation – quasars – have conjectured in early 1970s to contain black holes. Accretion of matter onto these black holes would power quasars.

In conclusion: *by mid-1990s the hypothesis of (black holes)/(former dark stars) was firmly grounded theoretically and convincingly supported by observations.*

4. Present status of black holes (1990-2017)

We should acknowledge further formal developments – mathematical investigations of the collapse to black holes (Christodoulou, Klainerman, Rodnianski, Dafermos and others) for simple physical models. In the last three decades Christodoulou, Klainerman and others have shown that gravitational collapse of material fields can lead to a black hole. Real astrophysical processes (from realistic stars to black holes, for instance) are not well studied, to my knowledge. The main obstacle is the complexity of nuclear and transport processes in interiors of heavy stars.

Let me address briefly a claim expressed in many popular books on black holes – that one needs to know the full (*infinite*) history of

a spacetime in order to establish that it contains a black hole (an event horizon). On the other hand, astronomers explain many of their observations by the presence of black holes in the sky. There is no need to stress, that astronomers observe their objects only for a *finite time period*. The whole written history of astronomy can be compacted in the last 2-3 thousands years. Thus on what basis astronomers can claim, that they see black holes? The answer to that question is interesting, because it refers to real astronomical phenomena, but it also shows limitations in our understanding of Einstein equations. Unfortunately, the full discussion requires many technicalities (physical or mathematical) and each time must be adapted to a particular sort of astronomical observations. Let me consider just two particular cases. *It was established* – see the forthcoming example concerning the black hole in the Milky Way – that there is a huge mass that is contained in a volume that is perhaps only ten times larger than the volume within the Pluto orbit in the Solar system. This configuration is evidently stable; the simplest way to explain its stability is to accept the existence of a black hole. It should be noted that black holes have their specific signature – their event horizons are dark – that can be also tested in dedicated observations (see below information on projects of Rezzolla and Falcke et al.). The assertion, that there exists (*now and in the future*) a black hole in the center of Milky Way can be checked in a number of ways. *The other case* – the formation of a black hole in the gravitational wave detection (Abbott et al., 2016) – is of a different category. Its analysis involves a modeling (numerical and analytic, albeit approximate) of the coalescence of two black holes, and detecting in numerics the emergence of the so-called apparent horizon. Apparent horizons can be detected in local experiments (albeit indirectly, through modeling), but they signal – through the so-called cosmic censorship (Penrose, 1969) – the exis-

tence of the event horizon (and therefore *of the black hole, now and in the future*). This argument has a gap – the cosmic censorship is essentially a hypothesis, albeit supported by some important cases. The validity of the so-called Penrose inequality – stated in (Penrose, 1973) and proven (in the so-called Riemannian case) by Huisken and Ilmanen (2001) – is one of strongest arguments in favour of the cosmic censorship. Dynamical black holes, that are in the process of creation, can emit damped gravitational waves, suggesting the existence of event horizons; that was detected in the (Abbott et al., 2016) event, as discussed below. We see here a chain of observations, theoretical/mathematical arguments and philosophical ideas. Some of the latter can be in principle proven by clever manipulation of Einstein equations, assuming that the material content of the Universe obeys several (“energy”) conditions.

There exists a multitude of observations, almost all collected after 1990, that confirm the existence of black holes. The most striking evidence is that concerning the center of the Milky Way.

There is something like two dozens of *observed stars* (Schoedel, Ghez) that circulate around a black hole (4 mln Solar masses!). Below (Figure 8) is an example – visualization (basing on real observations up to 2002) of the orbit of the best known star, S₂.

*The vicinity of Sagittarius A** will be investigated in two ongoing projects. Americans (*Event Horizon Telescope* – Doeleman) and Europeans (*Imaging the Event Horizon of Black Holes* – Falcke, Kramer and Rezzolla) attempt to “*construct the first accurate image of a black hole.*” The main goal is to see directly the event horizon of the black hole.

A new class of data on black holes emerged in recent (2015-2017) detections of gravitational waves (Abbott et al., 2016; see also Królak and Patil, 2018). These waves resulted in the coalescence of binary

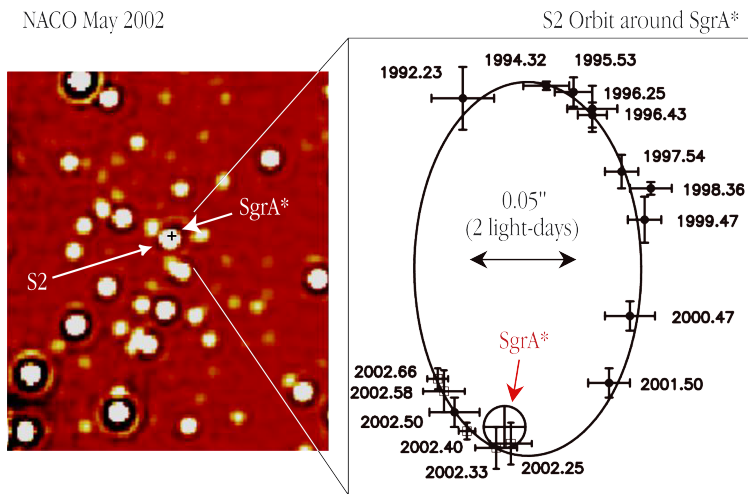


Figure 8: The motion of a star around the central black hole in the Milky Way. [Image credit: ESO]

systems, consisting exclusively of black holes. For not quite obvious reasons, their final collapse is associated with radiation of damped oscillating waves (quasinormal modes).

A comment on these quasinormal modes is needed in this place. They are related with black holes since 1970, when Vishveshwara found that radiation can scatter off a black hole, and that scattered radiation propagates as exponentially damped oscillations. Later investigation (Leaver and others) have shown, that periods of oscillations and damping characteristics allow one to identify uniquely global characteristic of black holes, such as mass and angular momentum. *It has been a common view since 1980s, that identification of quasinormal waves would be the strongest argument in favor of the existence of black holes.*

We should stress that parameters (mass and angular momentum) of the final black hole are determined from characteristics of the ringing pulses (their periods and damping rates). In a sense, the recent Nobel prize for the discovery of gravitational waves, can be regarded as recognition of the existence of black holes. At least by the Nobel Committee.

Important class of evidence is related to accretion of matter onto black holes. Almost all black holes of stellar origin and most of black holes in galactic centers are known due to accretion phenomena.

Astronomers (Ramesh Narayan and others) periodically publish lists of well documented objects purported to be black holes. Recent lists comprise about 3 dozens of black holes of stellar origin (https://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_black_hole) and a significantly larger number of giant black holes that appear in galactic centers (see https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_most_massive_black_holes).

5. Final remarks

I shall group them in two parts, each directed to a different category of potential readers.

Physicists probably would be content just to know that black holes exist in physics. They exist as well defined mathematical objects and there is a plethora of astronomical observational data.

Philosophers would probably be interested in the evolution of the notion and the history of black holes. I emphasize that black holes (dark stars) are invented in a theoretical speculation. They lost their brief theoretical existence after – I like that hypothesis – finding internal inconsistencies by Laplace. Black holes, revived after creation of general relativity, finally have been understood almost 200 years

after invention. It is only at that stage that serious observations began. After next fifty years, evidence in favor of their existence have become compelling.

Bibliography

- Abbott, B.P. et al., 2016. Properties of the binary black hole merger GW150914. *Physical Review Letters* [Online], 116(24), p.241102. Available at: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.241102> [Accessed 28 March 2018].
- Hawking, S.W. and Ellis, G.F.R., 1973. *The Large Scale Structure of Space-Time*. Cambridge: Cambridge University Press. Available at: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511524646> [Accessed 23 October 2017].
- Huisken, G. and Ilmanen, T., 2001. The inverse mean curvature flow and the Riemannian Penrose inequality. *Journal of Differential Geometry* [Online], 59(3), pp.353–437. Available at: <https://doi.org/10.4310/jdg/1090349447> [Accessed 21 November 2018].
- Israel, W., 1987. Dark stars: the evolution of an idea. *Three Hundred Years of Gravitation*, pp.199–276.
- Królak, A. and Patil, M., 2018. Joint detection of gravitational waves from binary black hole and binary neutron star mergers by LIGO and Virgo. *Philosophical Problems in Science (Zagadnienia Filozoficzne w Nauce)* [Online], (64), pp.95–115. Available at: <http://www.zfn.edu.pl/index.php/zfn/article/view/427> [Accessed 21 November 2018].
- Kruskal, M.D., 1960. Maximal extension of Schwarzschild metric. *Physical Review* [Online], 119, pp.1743–1745. Available at: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.119.1743> [Accessed 28 March 2018].
- Laplace, P.S., 1796. *Exposition du système du monde*. Paris: Impr. du Cercle-Social.
- Laplace, P.S., 1799. Beweis des Satzes, dass die anziehende Kraft bey einem Weltkörper so gross seyn könne, dass das Licht davon nicht ausströmen kann. *Allgemeine Geographische Ephemeriden*, 4(1), pp.1–6.

- Michell, J., 1784. On the means of discovering the distance, magnitude, &c. of the fixed stars, in consequence of the diminution of the velocity of their light, in case such a diminution should be found to take place in any of them, and such other data should be procured from observations, as would be farther necessary for that purpose. By the Rev. John Michell, B.D. F.R.S. In a letter to Henry Cavendish, Esq. F.R.S. and A.S. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* [Online], 74, pp.35–57. Available at: <https://doi.org/10.1098/rstl.1784.0008> [Accessed 28 March 2018].
- Montgomery, C., Orchiston, W. and Whittingham, I., 2009. Michell, Laplace and the origin of the black hole concept. *Journal of Astronomical History and Heritage*, 12, pp.90–96.
- Oppenheimer, J.R. and Snyder, H., 1939. On continued gravitational contraction. *Physical Review*, 56(5), p.455.
- Penrose, R., 1965. Gravitational collapse and space-time singularities. *Physical Review Letters*, 14, p.59.
- Penrose, R., 1969. Gravitational collapse: the role of General Relativity. *Nuovo Cimento Rivista Serie* [Online], 1. Available at: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/1969NCimR...1..252P>> [Accessed 21 November 2018].
- Penrose, R., 1973. Naked singularities. *Annals of the New York Academy of Sciences* [Online], 224(1), pp.125–134. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1973.tb41447.x> [Accessed 2 December 2018].
- Schwarzschild, K., 1916. Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie. *Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften (Berlin)* [Online], 35(5), pp.189–196. Available at: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/1916SPAW...189S>> [Accessed 21 November 2018].

On the adequacy of qualifying Roger Penrose as a complex Pythagorean

Wojciech P. Grygiel

Pontifical University of John Paul II in Kraków

Abstract

The aim of the presented article is to provide an in-depth analysis of the adequacy of designating Penrose as a complex Pythagorean in view of his much more common designation as a Platonist. Firstly, the original doctrine of the Pythagoreans will be briefly surveyed with the special emphasis on the relation between the doctrine of this school and the teachings of the late Platonic School as well as its further modifications. These modifications serve as the prototype of the contemporary claims of the mathematicity of the Universe. Secondly, two lines of Penrose's arguments in support of his unique position on the ontology of the mathematical structures will be presented: (1) their existence independent of the physical world in the atemporal Platonic realm of pure mathematics and (2) the mathematical structures as the patterns governing the workings of the physical Universe. In the third step, a separate line of arguments will be surveyed that Penrose advances in support of the thesis that the complex numbers seem to suit these patterns with exceptional adequacy. Finally, the appropriateness of designation Penrose as a complex Pythagorean will be assessed with the special emphasis on the subtle threshold between his unique position and that of the adherents of the mathematicity of the Universe.

Keywords

mathematical platonism, realism, pythagoreism, complex numbers.

1. Introduction

The renowned British mathematical physicist, Roger Penrose, belongs to the most recognized adherents of the mathematical platonism. In the most general terms, mathematical platonism refers to an array of beliefs that mathematical objects are independent of the human cognition and that they exist extramentally in an abstract and atemporal world of mathematical ideas (e.g. Wójtowicz, 2002, pp. 20-24). Consequently, scientific inquiry in the area of mathematics does not lead to the *construction* of these objects but to their *discovery*. In his original and critically acclaimed book entitled *The Emperor's New Mind* (Penrose, 1989), Penrose presented his philosophical views taking eventually the form of the ontology of the three worlds: *mathematics*, *physics* and *mind* (Penrose, 1994, pp. 411–421; 2005, pp. 7–24, 1027–1033). It must be clearly emphasized that Penrose by no means regards this ontology as the ultimate solution but rather as *three mysteries* that will not cease to reveal their intricacies. In particular, his interpretation of the Gödel theorem and the hypothesis of the coupling of consciousness with the quantum gravitational effects provoked massive opposition of experts from a broad variety of disciplines (Penrose, 1994, pp. 64–116; for an extensive review see e.g. Grygiel and Hohol, 2009).

Since platonism prevails as the ontological stance among mathematicians and theoretical physicists, Penrose's views on the ontological status of mathematical objects do not provoke any marked dis-

pute. His platonism, however, bears a very specific mark for Penrose passionately singles out the complex numbers as having a privileged ontological importance in comparison to other abstract mathematical structures. For this very reason, Mateusz Hohol named him “a complex Pythagorean” to reflect Penrose’s deep belief in the reality of the complex numbers as “the stuff of the Universe” (Hohol, 2009). Such a designation seems all the more justified keeping in mind the utterance of Bertrand Russell who stated that “perhaps the oddest thing about modern science is its return to Pythagoreanism” (Ghyka, 2001, p. 311). Moreover, the tendency to refer to the Pythagorean doctrine as proper to the ontological status of the theoretical entities in the context of the contemporary physical theories manifests itself through the appearance of such philosophical positions as *neopythagoreism* (Krajewski, 2011).

The aim of the presented article is to expand on Hohol preliminary and somewhat provocative suggestion and provide an in-depth analysis of the adequacy of designating Penrose as a complex Pythagorean in view of his much more common designation as a Platonist. Some elements of this analysis have been already presented by Grygiel and constitute the proper point of departure of this study (Grygiel, 2014, pp. 267–278). Firstly, the original doctrine of the Pythagoreans will be briefly surveyed with the special emphasis on the relation between the doctrine of this school and the teachings of the late Platonic School as well as its further modifications proposed by Plato’s pupils: Speusippus and Xenocrates. These modifications serve as the prototype of the contemporary claims of the mathematicity of the Universe. Secondly, two lines of Penrose’s arguments in support of his unique position on the ontology of the mathematical structures will be presented: (1) their existence independent of the physical world in the atemporal Platonic realm of pure mathemat-

ics and (2) the mathematical structures as the patterns governing the workings of the physical Universe. In the third step, a separate line of arguments will be surveyed that Penrose advances in support of the thesis that the complex numbers seem to suit these patterns with exceptional adequacy. Finally, the appropriateness of designation Penrose as a complex Pythagorean will be assessed with the special emphasis on the siddle threshold between his unique position and that of the adherents of the mathematicity of the Universe.

2. Pythagoras and Plato on mathematics

The attempts to locate the ontological views of the contemporary mathematicians and theoretical physicists such as Roger Penrose within the framework of the thought of the philosophers of the ancient Greece face several difficulties (e.g. Śleziński, 1999, pp. 206–228). Firstly, the contemporary scientists have a quite different point of departure in their inquiry for they directly handle highly abstract mathematical structures in contrast to the Greek mathematics of simple numbers applicable to the observed phenomena. Although there seems to be much propensity to juxtaposing the contemporary mathematicians and physicists with such ancient thinkers as Pythagoras, Plato and Aristotle, this propensity does not find uniform support. Paul Pritchard expresses his dissatisfaction as follows (Pritchard, 1995, p. 177):

More particularly, the so called ‘Platonist’ philosophy (or philosophies) of (modern) mathematics owe nothing to Plato except for the spurious respectability derived from attaching his name to a set of views that he never held, and of which, could he understand them, he would be unlikely to approve.

Secondly, the original views of these thinkers in regards to the ontological status of mathematics were often subject to considerable modifications within their own schools (e.g., Plato). Moreover, the contemporary interpretations of these views often diverge quite considerably thereby making the respective comparisons and qualifications all the more problematic.

Not unlike many other ancient schools of thought, the members of the Pythagorean School strived to explain the harmony of the Universe's complexity as composed of elements remaining in opposition with respect to each other. Their unique solution came through music as they recognized that musical harmonies are achieved by strings of the instruments having their lengths as ratios of the natural numbers. The main point of contention between the existing interpretations of the Pythagorean doctrine is whether the natural numbers do indeed constitute the fundamental ontology or they are just the means of description of the regularities in nature. The ontologically strong interpretation prevails especially in the standard textbooks of the history of philosophy and seems to be the one that enjoys the common acceptance (Tatarkiewicz, 1970, pp. 41–48, Copleston, 1994, pp. 29–37). On this interpretation, it is maintained that these are indeed the natural numbers that are the essence of the harmony of the Universe and that numbers have spatial dimensions whereby the ratios of the physical lengths express the corresponding harmonies.

However, recent in-depth comparative studies carried out by Dembiński show that the ontological strength of this interpretation has to be considerably weakened (Dembiński, 2015). He claims that this interpretation has its source in Aristotle's expositions of the philosophical doctrines of the antique thinkers preceding him that bear the bias of his own views. According to Dembiński, the Pythagoreans did not equate mathematics with ontology but for them

the *arché* of the Universe was the harmony resulting from the interaction of the two highest existential principles: the Limit (*peras*) and the Unlimited (*apeiron*)¹. The role of mathematics is descriptive only in that it provides means to capture the regularities and patterns of the phenomena observed in nature. These means, that is the forms and shapes that can be assigned to phenomena, are called *eide*. In other words, the means by which the human mind has epistemic access to the structure of the Universe cannot be matched with the Universe's ontology. At this point it remains beyond doubt that Hohol's attempt to designate Penrose as a complex Pythagorean is contingent is upon the ontologically strong interpretation of the Pythagorean views on the nature of mathematics and careful conceptual distinctions and qualifications will have to be made to verify the adequacy of this designation.

Further insight into the adequacy of designating Penrose as a complex Pythagorean is obtained as one takes into account the modification of the Pythagorean views on mathematics introduced by Plato. As Dembiński points out (Dembiński, 1997, 2003), Plato's intervention involved the separation of the mathematical forms from the patterns and regularities occurring in nature with the subsequent elevation of these patterns and regularities to the status of the principles of the cosmic order, namely, to that of the ideas. Consequently, they fundamentally differ from the mathematical objects which are located below them in the hierarchy of being and are the constructs of the power of the human intellect bearing the name of *dianoia* (Dem-

¹ In order to substantiate his views on the ontology of mathematics of the Pythagorean School Dembiński refers to the commentary of Gajda-Krynicka (Gajda-Krynicka, 2007, pp.65-73; 151-193).

biński, 2001). The mathematical objects assume all the limitations proper to the human condition and they cannot constitute the ontological foundation of anything that exists (Dembiński, 2015).

In its late phase, the Platonic School was influenced by the Pythagoreans resulting in a reformulation of the Platonic understanding of the nature of mathematics. This change was mainly stimulated by the pupils of Plato: Speusippus (410-339), Xenocrates (396-314) and Eudoxos (408-355) who made mathematics the principal subject of discussions in the academy. Eventually, these discussions gave rise to the belief that it is mathematics that constitutes the fundamental fabric of the Universe. The contribution of Speusippus involves the assignment of all the characteristics of the ideal numbers to the mathematical numbers, that is, the separate existence, eternity, unchangeability and objectivity (Dembiński, 2010, pp.109-138). Xenocrates can be properly credited with turning mathematics into ontology (Dembiński, 2010, pp. 139–170). According to Dembiński, Xenocrates deserves to be named the precursor of the stance of the *mathematicity of the Universe* adhered to by many of the contemporary philosophers of physics and philosophers of science (Dembiński, 2010, p. 158). On this view, the mathematical structures do indeed underpin the fundamental fabric of the Universe (e.g. Heller, 2010; Życiński, 2013). As Życiński clearly points out, the mathematicity of the Universe has not yet developed into a uniform and well justified doctrine and, despite of its seemingly widespread popularity, still faces conceptual difficulties (Życiński, 2010). With this concise exposition of the Pythagorean doctrine in hand, a detailed critical analysis of the proximity of Penrose's ontological views to those of the Pythagoreans can be now undertaken.

3. Objectivity of mathematics

In his approach to the ontological status of mathematics, the greatest concern of Penrose is associated with the *objectivity of mathematics*, that is, its independence of the workings of the human mind or any social or cultural consensus. First and foremost, Penrose exploits the contrast between the unreliability of the human mind in its judgments and the precision of the scientific theories and claims that the reason for this precision must lie in the extramental objective reality (Penrose, 2005, p. 12). Interestingly enough, Penrose's choice of platonism does not originate from his particular fascination with the thought of Plato or the Greek philosophy in general but from the adequacy of the Platonic ontology to accommodate the basic observation: "It tells us to be careful to distinguish the precise mathematical entities from the approximations that we see around us in the world of physical things" (Penrose, 2005, p. 12). In order to give this idea its proper expression, Penrose coins out the term *robustness* to indicate the rigidity and unchangeability of mathematics that forces the human mind to accept its standards without much room for any creativity on the side of a mathematician. Penrose attests to this stance in the following way:

Mathematics itself indeed seems to have a robustness that goes far beyond what any individual mathematician is capable of perceiving. Those who work in this subject, whether they are actively engaged in the mathematical research or just using results that have been obtained by others, usually feel that they are merely explorers in the world that lies far beyond themselves – a world which possesses objectivity that transcends mere opinion, be that opinion their own or the surmise of others, no matter how expert those others might be (Penrose, 2005, p. 13).

Penrose's observations are consonant with the opinions of other mathematical physicists such as Connes (Changeux and Connes, 1995) and Heller (2006, pp. 78–79). In support of this line of argumentation, Penrose refers to the specificity of the mathematical proof in which, as he insists, once a given mathematical statement is proven to be true, its truthfulness does not depend on the opinion or consensus of the community of mathematicians. Although Penrose clearly acknowledges the subjective aspect of the *acceptance* of a given proof, which is treated as valid once the community of mathematicians finds it convincing (e.g. Davis and Hersh, 1981, pp. 39–40; Harel and Sowder, 2007), he regards each proven theorem as objectively true and belonging to the Platonic world regardless of any attempt of demonstration. In justifying this inference, Penrose might be running into circularity for he evidently lacks here an independent condition allowing for an access to mathematical truth. This condition becomes available through Penrose's controversial interpretation of the Gödel theorems (Penrose, 1989, pp. 99–148; 2005, pp. 374–378).

As the next source of support for the objectivity of mathematics Penrose indicates the richness of the mathematical structures despite of their extremely simple definition. The Mandelbrot set is most frequently quoted by him to show that the intrinsic structure of this set is so rich that it could not possibly be the invention or design of any human mind (Penrose, 1989, pp. 92–98; 1994 2005, pp. 15–17). The objectivity of the set becomes manifest when its complicated and elaborate structure reveals itself as unchangeably the same regardless of any scientific method aimed at deciphering its nature. This means that the structural details as well as those of any mathematical structures are timeless and their only fitting mode of existence is in the atemporal Platonic world of mathematical forms. This argument

is additionally corroborated by the fact that most of the mathematical structures that have been carefully investigated by the mathematicians do not find their physical application (Penrose, 2005, p. 18).

With the issue of the objectivity of mathematics being addressed, Penrose develops his line of argumentation to substantiate the thesis that the entire physical world is governed according to mathematical laws. Although he calls it his prejudice, the entire voluminous work entitled *The Road to Reality* is devoted to the justification of this tenet. Penrose's argumentation rests on two fundamental pillars: (1) the extraordinary precision of the scientific theories formulated in the language of mathematics and (2) the dependence of the precision of physical theories on the sophistication of the mathematical formalism used. Penrose states the following (Penrose, 2005, pp. 27–28):

An important point to be made about these physical theories (general relativity, quantum electrodynamics, and the more general gauge theories describing the operation of the strong and weak forces of particle physics) is that they are not just enormously precise, but depend upon mathematics of very considerable sophistication. It would be a mistake to think of the role of mathematics in basic physical theory as simply of an organizational character, where the entities which constitute the world just behave in one way or another, and our theories represent merely our attempts (sometimes very successful, nevertheless) to make some kind of sense of what is going on around us.

It seems quite obvious that in the excerpt just quoted Penrose intimates his fundamental disagreement with the instrumentalism and antirealism of Hawking (e.g. Hawking and Penrose, 1996, pp. 3–4). More importantly, however, Penrose makes ample use of a his favorite category pertaining to the specificity of the mathematical struc-

tures, namely, that of *sophistication*. This notion seems somewhat intuitive and fuzzy at the first glance but Penrose equips it with meaning that more precisely relates it to the properties of mathematical formalisms. He explicitly states that the first sixteen chapters of *The Road to Reality* are devoted to demonstrate the essence of mathematical sophistication (Penrose, 2005, p. xix). A careful glance through these chapters easily leads to an inference that a given mathematical structure is sophisticated when it exhibits a marked inner complexity, ordering and richness.

The fundamental connection between mathematics itself and its function in the governance of the workings of the Universe comes from the fact that the successful, that is, the empirically adequate theories involve formalisms with the high degree of sophistication. The increasing complexity of a given physical problem demands mathematical structures of greater sophistication for the problem's proper description leading to a concomitant increase in the precision of a given theory (Penrose, 1997, pp. 50–52). The comparison of the Newtonian dynamics with the general theory of relativity yields a fitting example in this regard where the elaborate tools of the differential geometry needed to be employed to reflect the complexity of physics of the gravitational field represented by the Einstein's field equation. Much greater sophistication of mathematical structures is anticipated in the future theory of quantum gravity (Penrose, 2005, pp. 958–1009).

4. The complex sophistication and the holomorphic philosophy

Penrose's understanding of the sophistication of mathematical structures is more precisely revealed in his account of the nature of the complex numbers (structures) which, as it has been indicated in the introduction to this study, are considered by him as the primary fabric of the Universe. First and foremost, Penrose uses this designation in regards to the mathematical structure of his main research focus in quantum gravity and lifetime project, namely, the *twistor theory* (Penrose, 1967). The main idea that Penrose articulates concerning the complex structures is that the results that require arduous computations with the use of the of the real structures are obtained "for free" as the complex structures come into play. As it has been the case with the Mandelbrot set, sophistication of a mathematical structure means that a simple formula unveils an extraordinary richness of structure covering a wide variety of detailed applications. Interestingly enough, this idea seems to be related to the Einsteinian demand of the simplicity as a guide to the choice of a good theory (Einstein, autobiographical notes). After all, in his controversy with Hawking, Penrose has been always likened to Einstein while Hawking to Bohr (Hawking and Penrose, 1996, pp. vii, 134–135). The adequacy of this match has been confirmed with some qualifications in a detailed analysis carried out by (Grygiel, 2014, pp. 328–336). However, the assessment to what degree Penrose's sophistication matches Einstein's simplicity would require a separate detailed conceptual study.

Before one delves into Penrose's survey of the properties of the complex numbers as presented in *The Road to Reality*, it is worthwhile to signal a considerable level of his infatuation with them re-

sulting in statements as suggestive and rhetorical as ‘the magic of the complex numbers’. Penrose does not hesitate to push this magic to the extreme as he openly states:

Nature herself is as impressed by the scope and the consistency of the complex-number system as we ourselves, and has entrusted to these numbers the precise operations of her world at its minutest scales (Penrose, 2005, p. 73).

As the first illustration of this magic Penrose brings forth the well known example of the solutions of the polynomial equations which are soluble in set of the complex numbers following the introduction of the imaginary factor i . This is the *fundamental theorem of algebra* (Penrose, 2005, p. 75). The “for free” strategy is clear: a simple formula unveils the richness of its internal structure yielding a whole array of possible solutions unobtainable with the use of the real numbers.

The most important testimony of the ‘magic of the complex numbers’, however, appears in the complex number analysis in regards to the differentiation of the complex functions (Penrose, 2005, pp. 122–134). In particular this concerns one of the mathematical concepts especially celebrated by Penrose, namely, that of a *holomorphic function*. Physicists particularly appreciate the so called *smooth functions* which are differentiable unlimited number of times and form a class of real functions denoted as C^∞ . The reason for this is that most of the laws describing the dynamics of the physical systems appear in the form of the differential equations. The existence of the higher order derivatives assures that any quantities expressed as rates of changes of other quantities will retain their physical meaning regardless of the order of the derivative.

It turns out that the notion of smoothness can be enhanced by the so called *analyticity* of a function. A function is analytic at a given

point p if it can be expressed as a Taylor series in a neighborhood of p . Analyticity improves smoothness in that it makes “gluing” together two different analytic functions. The class of “smoother” analytic functions is denoted as C^ω . The real gain in smoothness, however, occurs for the complex functions that fulfill certain conditions of regularity and the Cauchy-Riemann equations. Such functions do have a complex derivative and they bear the name of the *holomorphic functions*. In contradistinction to the real functions, the existence of the first complex derivative implies the existence of the derivatives of all higher orders “for free” and the analyticity of a given function (Penrose, 2005, pp. 122–123). Further manifestations of the sophistication of the holomorphic functions involve the property of the *analytic continuation*.

Penrose’s particular focus on the sophisticated complex structures involves also a marked geometrical aspect. In general, geometrical representations of the mathematical structures constitute an essential element of his intellectual discipline. This brings onto the scene another key mathematical concept, namely, that of *conformal transformations* which Penrose meticulously illustrates with the Escher diagrams (Penrose, 2005, pp. 33–37). In a nutshell, conformal transformations are such that preserve the angles and their orientations. It turns out that holomorphic functions can be represented as conformal transformations. Penrose considers the *Riemann sphere* as the fundamental geometrical object to represent the holomorphic structures (Penrose, 2005, pp. 142–152). This sphere is a complex projective plane CP^1 , the simplest of the compact Riemann surfaces. Penrose uses the Riemann sphere to illustrate two other manifestations of the sophistication (and ‘magic’) of the complex structures: the Fourier series and the hyper-functions. In order to additionally substantiate the unique properties of these structures Penrose compares them with

quaternions to conclude that quaternions do not exhibit any of the sophistication comparable to that of the complex structures (Penrose, 2005, pp. 193 sqq). The demonstration of the uniquely sophisticated character of the complex structures yields an *a priori* argument on the privileged mathematical character of these structures referred to by Penrose as the *holomorphic philosophy* (Penrose, 2005, pp. 994, 1034, 1056).

5. In harmony with nature

Parallel to this, Penrose undertakes the effort to show that the complex structures do indeed seem to accord in an exceptional way with the regularities according to which the Universe operates. As the first instance of such harmony Penrose singles out quantum mechanics in which a quantum state is given by a linear superposition of eigenstates of a quantum operator with the complex coefficients. Their complex character is fundamental for the occurrence of the quantum effects. In particular, for a simple two spin particle, its state is given by a linear combination of two spin eigenstates. This situation can be easily mapped on a Riemann sphere which represents all possible states of the particle (Penrose, 2005, pp. 553–559). In giving this situation a geometrical interpretation, Penrose makes a remarkable comment by asserting that the representation the quantum states on this sphere offers a unique connection between the mathematical properties of these states and the ordinary directions in space. What seemed abstract so far, is now given a sense of tangibility. This inference will turn out to be relevant for the assessment of the adequacy of designating Penrose as a complex Pythagorean.

The next confirmation of the suitability of the complex structures to fit the constitution of the physical reality comes from the special relativity theory. In particular, these structures harmonize greatly with the transformation properties of the Minkowski space-time, namely, the Lorentz symmetry group. Penrose begins his clarification of this issue to by firstly referring to a visual experience of two observers who register the patterns of the stellar constellations (Penrose, 2005, pp. 428–431). The patterns registered by the observer at rest and the observer in motion correlate with each other via the conformal Möbius map. The conformal maps in general form a group of automorphisms preserving the complex structure of the Riemann sphere. Consequently, this sphere maps the Lorentz group of the special relativity and all the light rays crossing at a given point in space-time are equivalent to the Riemann sphere. The observer's field of vision, that is the celestial sphere, naturally maps onto the Riemann sphere thereby demonstrating its deep ties with the complex structures that are believed to constitute the stuff of the Universe. The possibility of a direct spatial representation of these structures seems to reach its most clear expression as he comments on the patterns of stars registered by observers that move with respect to each other (Penrose, 2005, pp. 430):

This suggests a convenient labeling of the stars in the sky might be to assign a complex number to each (allowing also ∞)! I am not aware that such a proposal has been taken up in astronomy, but the use of such a complex parameter, called a 'stereographic coordinate', related to standard spherical polar angles by the formula $\zeta = e^{i\varphi} \operatorname{ctg}(\frac{1}{2}\Theta)$ in general relativity theory.

Furthermore, the harmony of the complex structures with the physical reality becomes manifest in the quantum field theory which

arises from the unification of quantum mechanics and the special relativity. The Riemann sphere represents a suitable mathematical object to represent the splitting of a complex periodic function into the negative and positive frequency components as holomorphic extensions into the northern and southern hemispheres (Penrose, 2005, pp. 161–164). This unique property allows for assigning a precise geometrical sense to the positive energy condition that is central for the stability of a given quantum system (Penrose, 2005, pp. 612–613). Also, this geometrical representation facilitates the distinction between the particle creation and particle annihilation processes and enhances the clarity of the physical interpretation of the antiparticles (Penrose, 2005, pp. 663).

The argument of the harmony of the complex structures with the physical reality is most applicable in support of the *twistor theory* as the theoretical framework with which Penrose wishes to achieve the unification of the quantum and gravitational phenomena (Penrose, 2005, pp. 958–1009). Due to the extremely abstract and sophisticated character of the structures involved (e.g., *cohomologies*), only a simple example of this harmony will be mentioned. A concise account of all other more sophisticated examples attesting to the harmony of the twistor spaces with the workings of the Universe has been provided elsewhere by Grygiel (2014, p. 265). In regards to the simple example of the spacetime of special relativity as represented with a twistor space Penrose concludes the following:

Indeed, the fact that the Riemann sphere plays an important role as the celestial sphere in relativity theory requires spacetime to be 4-dimensional and Lorentzian, in stark contrast with the underlying ideas of string theory and other Kaluza-Klein-type schemes. The full complex magic of twistor theory proper is very specific to the 4-dimensional spacetime geom-

etry of ordinary (special) relativity theory, and does not have the same close relationship to the ‘spacetime geometry’ of higher dimensions (Penrose, 2005, pp. 967).

6. A Platonist or a Pythagorean?

The detailed survey of Penrose’s argumentation on the status of mathematics and its role in shaping the fabric of the Universe has confirmed that he subscribes to a separate mode of objective existence of the mathematical structures in the atemporal Platonic world of mathematical forms and in parallel to the physical world where mathematics incarnated as complex structures refracts the patterns of the nature’s behavior. In addition to this, however, Penrose claims that the world of mathematics is the most primitive, that is, ontologically most fundamental in regards to the world of physics and to the world of the mental as usually depicted in his scheme of the three worlds – three mysteries: “mathematics is a kind of necessity virtually conjuring its very self into existence through logic alone” (Penrose, 2005, pp. 1029). Since the mathematical structures are the *raison d’être* of the physical structures, that is, physics is contingent upon mathematics in its existence and operation, Penrose’s position in this regard seems to reflect that of Speusippus. On this view, mathematical structures constitute the source of harmony of the different disparate entities comprising the stuff of the Universe and not the “stuff”, that is, the ontology itself. At this point it appears rational to suggest that Penrose is not a committed supporter of the mathematicity of the Universe in the strong ontological sense for he clearly states: “I might balk at actually attempting to identify physical reality within the abstract reality of the Plato’s world” (Penrose, 2005, pp. 1029) or

“though I have strong sympathy with this idea of actually identifying these two worlds, there must be more to the issue than just that” (Penrose, 1989, p. 430). Penrose always refers to mathematical structures as rather providing a pattern according to which nature operates and not being the fabric that nature is made out of. Consequently, in his ontological views Penrose does seem to follow neither in the footsteps of Xenocrates nor the contemporary adherents of the mathematicity of the Universe. Although just qualified as a dualist “Speussipian”, Penrose evidently blurs this dualism by pointing to a smooth transition between the world of mathematics and physics (Penrose, 1997, p. 3):

The more we understand about the physical world, and the deeper we probe into the laws of nature, the more it seems as though the physical world almost evaporates and we are left only with mathematics.

By looking at the above quote one is undoubtedly left with the question: what is the stuff of the Universe? What is that “evaporates” as one leaves the realm of physicality? These questions are left unanswered by Penrose but he does every right to do so as he has explicitly warned of his proposals being rather mysteries and conjectures than proven theorems. Be that as it may, at this point it is worthwhile asking how much of a Pythagorean Penrose really appears to be. The final verdict will certainly depend on the interpretation of pythagoreanism assumed. As is has been already signaled above, Penrose’s designation as a complex Pythagorean echoes most likely the more prevalent textbook interpretation claiming the ontology of the natural numbers combined with his great emphasis on the role of the complex numbers in the account of the workings of the Universe. In view of the newer interpretation of the Pythagorean doctrine put forward

by Dembiński, however, the designation thus conceived fails on two counts because neither the Pythagoreans nor Penrose qualify as adherents of the mathematicity of the Universe. As a result, it bears only a rhetorical value and might be actually misleading by labeling Penrose with positions he would never subscribe to.

The adequacy of designating Penrose as a complex Pythagorean slightly improves as one reconsiders it in line with Dembiński's rendition of the Pythagorean doctrine. On this reading, mathematics pertains only to the patterns or regularities observed in nature and not to its underlying ontology. And this is indeed as far as Penrose's pythagoreanism can be advanced for while for the Pythagoreans mathematics plays only a descriptive role, for Penrose mathematics constitutes the ontic foundation of the patterns according to which the Universe operates and justifies the extraordinary precision of these operations. Evidently, the improvement is not great but at least it singles one aspect in which to designate Penrose as a complex Pythagorean is not a mere figure of speech. However, taking into account rather low significance of this aspect in comparison to the dominating Platonic component in Penrose's ontology, this designation should be considered as of very little hermeneutic value.

Since Penrose articulates his philosophical positions from the point of view of a contemporary theoretical physicist, his perspective involves an immensely greater insight into the workings of the Universe achieved by means the modern scientific method. In particular, this regards experimentation leading to the discovery of patterns governing levels of physical reality below the surface of the unaided sensorial observation. This concerns both the levels of the atomic phenomena as well as those at the large scale of the Universe where abstract mathematical structures, e.g., the complex structures, have to be used to for the description of these phenomena. As metaphysical

objects, however, these structures do not come into the direct contact with the human sensorial apparatus meaning that they could manifest themselves to this apparatus only through a suitable representation. Penrose achieves this effect with the use of the Riemann sphere which allows for the spatial representation of the abstract complex structures. Since this is merely a representation that is sensorially perceived, the knowledge of these structures is not exhaustive but is obtained through certain likeness only. Consequently, it is necessary to impose an additional the adequacy of the designation of Roger Penrose as a complex Pythagorean with the qualification that, unlike the natural numbers for the Pythagoreans, the complex structures can be sensorially accessed indirectly as *mediated* through the representation on the Riemann sphere. Such a modification of the Pythagorean stance seems to be inevitable in regards to all contemporary physical theories due to the highly abstract character of their mathematical formalisms.

Based on the nature of arguments in favor of the privileged status of the complex structures one could have a justified impression that Penrose turns this argumentation into ideology. As it was clearly demonstrated, he does not abstain from the use of such rhetorical formulations as the holomorphic philosophy suggesting that the complex numbers indeed might constitute a metaphysical necessity. Despite of this persuasive character of his discourse which definitely enriches his literary style, Penrose is far too well versed both in science in philosophy not to realize that his being ostensibly infatuation with the magic of the complex numbers is mainly rhetorical and nostalgic. The articulated ontological thesis bears the status of a mere hypothesis which he deeply believed (and most likely still does) to be conceptually promising in the search for the yet unknown theory of quantum gravity. The following quote clearly attests to Penrose's

correct understanding of the relation between the context of discovery and the context of justification with the holomorphic philosophy evidently belonging to the first (Hawking and Penrose, 1996, p. 119):

From the point of view of the complex-holomorphic ideology of twistor theory, a big bang with $k < 0$, leading to an open universe, is to be preferred (Stephen prefers a closed one). The reason is that only in a $k < 0$ universe is the symmetry group of the initial singularity a holomorphic group, namely just the Möbius group of holomorphic self-transformations of the Riemann sphere CP^1 (the restricted Lorentz group). This is the same group that twistor theory off in the first place – so for twistor-ideological reasons, I certainly prefer $k < 0$. Since this is based only on ideology I can, of course, withdraw it in future if I am wrong and the universe is, in fact, found to be closed!

Bibliography

- Changeux, J.-P. and Connes, A., 1995. *Conversations on Mind, Matter, and Mathematics* (M.B. DeBevoise. Trans.). OCLC: 797718446. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- Copleston, F., 1994. *A History of Philosophy. Vol. 1: Greece and Rome [from the Pre-Socratics to Plotinus]*. OCLC: 832513079. New York – London – Toronto – Sydney – Auckland: Image Books, Doubleday.
- Davis, P.J. and Hersh, R., 1981. *The Mathematical Experience*. New York: Viking Penguin Inc.
- Demiński, B., 1997. *Teoria idei: ewolucja myśli Platońskiej, Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach nr 1663*. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.
- Demiński, B., 2001. Dianoia. In: Krapiec, M.A., Maryniarczyk, A. and Czachorowski, M. eds. *Powszechna Encyklopedia Filozofii*. Vol. 2. Lublin: Polskie Towarzystwo Tomasza z Akwinu, pp.571–573.

- Dembiński, B., 2003. *Późna nauka Platona: związki ontologii i matematyki, Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach* nr 2143. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.
- Dembiński, B., 2010. *Późny Platon i Stara Akademia, Fundamenta: Studia z Historii Filozofii* t. 63. Kęty: Wydawnictwo Marek Derewiecki.
- Dembiński, B., 2015. O niektórych aspektach platońskiej filozofii matematyki. *Philosophical Problems in Science (Zagadnienia Filozoficzne w Nauce)* [Online], (58), pp.45–61. Available at: <<http://zfn.edu.pl/index.php/zfn/article/view/7>>.
- Ghyka, M.C., 2001. *Złota liczba: rytuały i rytmy pitagorejskie w rozwoju cywilizacji zachodniej* (I. Kania. Trans.). Kraków: Towarzystwo Autorów i Wydawców Prac Naukowych Universitas.
- Grygiel, W.P., 2014. *Stephena Hawkinga i Rogera Penrose’a spór o rzeczywistość*. Kraków: Copernicus Center Press.
- Grygiel, W.P. and Hohol, M., 2009. Rogera Penrose’a kwantowanie umysłu. *Filozofia Nauki*, 17(3(67)), pp.5–31.
- Harel, G. and Sowder, L., 2007. Toward a comprehensive perspective on proof. In: Lester, F.K. ed. *Second Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning: A Project of the National Council of Teachers of Mathematics*. Google-Books-ID: B_onDwAAQBAJ. Charlotte, NC: Information Age Publishing, pp.805–842.
- Hawking, S.W. and Penrose, R., 1996. *The Nature of Space and Time, The Isaac Newton Institute Series of Lectures*. Princeton: Princeton University Press.
- Heller, M., 2006. Co to jest matematyka? *Filozofia i wszechświat: wybór pism*. Kraków: TAIWPN Universitas, pp.71–81.
- Heller, M., 2010. Co to znaczy, że przyroda jest matematyczna? In: Życkiński, J. and Heller, M. eds. *Matematyczność przyrody*. Kraków: Wydawnictwo Petrus, pp.7–18.
- Hohol, M., 2009. Roger Penrose – pitagorejczyk zespolony? *Semina Scientiarum*, 8, pp.79–90.

- Krajewski, S., 2011. Neopitagoreizm współczesny: uwagi o żywotności pitagoreizmu. *Czy matematyka jest nauką humanistyczną?* Kraków: Copernicus Center Press – Konsorcjum Akademickie. Wydawnictwo, pp.77–88.
- Penrose, R., 1967. Twistor Algebra. *Journal of Mathematical Physics* [Online], 8(2), pp.345–366. Available at: <https://doi.org/10.1063/1.1705200> [Accessed 1 December 2018].
- Penrose, R., 1989. *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics*. OCLC: 746855985. New York, NY: Penguin Books.
- Penrose, R., 1994. *Shadows of the Mind: a Search for the Missing Science of Consciousness*. OCLC: 899695006. Oxford; New York: Oxford University Press. [Accessed 1 December 2018].
- Penrose, R., 1997. *The Large, the Small, and the Human Mind*. Ed. by M.S. Longair. Cambridge: Cambridge University Press.
- Penrose, R., 2005. *The Road to Reality: a Complete Guide to the Laws of the Universe*. 1st American ed. New York: Alfred A. Knopf.
- Pritchard, P., 1995. *Plato's Philosophy of Mathematics, International Plato Studies* vol. 5. Sankt Augustin: Academia Verlag.
- Śleziński, K., 1999. *Elementy platonizmu u Rogera Penrose'a*. Kraków: Pańska Akademia Teologiczna.
- Tatarkiewicz, W., 1970. *Historia filozofii. T. 1: Filozofia starożytna i średniowieczna*. 7th ed. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Wójtowicz, K., 2002. *Platonizm matematyczny: studium filozofii matematyki Kurta Gödla*. Kraków – Tarnów: OBI – Biblos.
- Życiński, J., 2010. Jak rozumieć matematyczność przyrody? *Matematyczność przyrody*. Kraków: Wydawnictwo Petrus, pp.19–36.
- Życiński, J., 2013. *Świat matematyki i jej materialnych cieni*. 2nd ed. Kraków: Copernicus Center Press.

Artykuły

Articles

Negation in the language of theology – some issues*

Adam Olszewski

Pontifical University of John Paul II in Kraków, Faculty of Philosophy

Abstract

The paper consists of two parts. In the first one I present some general remarks regarding the history of negation and attempt to answer the philosophical question concerning the essence of negation. In the second part I resume the theological teaching on the degrees of certainty (*notae theologice*) and point to five forms of negation – known from other areas of research – as applied in the framework of theological investigations.

Keywords

logic, theology, negation, difference, negation-as-failure, strong negation, imperative negation, *notae theologice*.

o. Introduction

The year 2016 marks the 80th anniversary of the establishment of the so-called Cracow Circle which took place in Cracow on August 26, 1936. A meeting of a group of scientists, initiated by Fr. Konstanty Michalski who was the rector of Jagiellonian University, was

* Work done within the framework of John Templeton Foundation grant “The Limits of Scientific Explanation”. This paper is a slight modification of my paper in Polish: (Olszewski, 2016)

held in connection with the Third Polish Philosophy Congress which was also held in Cracow at that time (Wolak, 2005, p. 97). Attendants included: Fr. Joseph Maria Bocheński, Jan Franciszek Drewnowski, Fr. Jan Salamucha, Bolesław Sobociński, and Jan Łukasiewicz. The first four became the founders and first members of the Circle. The main interest of the Circle was the methodology of philosophy and theology (Wolak, 2005, pp. 97–98). One of the program's goals was to prove the possibility of logically analyzing some of the issues of Christian philosophy and theology. Theology and Thomistic philosophy played a significant role in this program, as the aim was to restore them to their former glory by use of the latest tools of contemporary logic. Interestingly, it is speculated that the Circle was intended to be the Christian response to the activities of the Vienna Circle. This paper intends to pay tribute to the members of the Cracow Circle and the anniversary of its creation, as well as to present a small contribution, if any, to the development of the Circle's program assumptions, namely the last one of the aforementioned goals.

As the title of this paper suggests, this contribution intends to address the question of how to use negation within the context of theology. The understanding of theology is limited so as to avoid issues irrelevant to the considerations. Firstly, I assume theology as Catholic theology here, and secondly, I assume that as a methodical, rational, and purposeful reflection on divine Revelation, it is an academic discipline.¹ The more sophisticated understanding of theology, which is irrelevant for further deliberations, is omitted. The term here implies practicing theology in connection with faith in God's Revelation.² Theology has a very complex structure, which would require

¹ The study of theology is controversial for certain philosophical or scientific circles.

² This is a contentious issue. I will not consider the issue of a theologian's faith, as it would go beyond the framework of this work.

a separate study.³ For the purposes of this work, let us assume only that it is divided into different sub-categories, the most important of which are the following disciplines: Biblical (e.g. the exegesis of the Bible), historical (history of the Church, history of dogmas), systematic (e.g. dogmatic and fundamental theology), and practical (e.g. pastoral theology, homiletics).⁴ The considerations will mainly concern and be a part of the framework of Catholic systematic theology. They will particularly refer to negative theology as a theological system, which is distinguished by certain methodological assumptions connected with negation.⁵ The main issue of this work concerns certain ways of understanding and using negation in theology. To achieve this goal, I will begin my reflection with a very general presentation of the philosophical approaches to negation⁶, from which I shall move on to some of the approaches to logical negations, especially those used in real theological research. Due to the assumption regarding natural theology, we assume that classical metaphysics ends with proof of God's existence, thus giving rise to theology as an *ancilla teologiae*.⁷

³ At the end of the work, some observations will be made on this subject.

⁴ As different religions and faiths are known, one can speak of different theologies shaped in different religions.

⁵ This system is called otherwise apophatic theology or *via negativa*, and is contrasted with cataphatic theology – *via positiva*.

⁶ Comprehensive elaboration on this issue would require a very comprehensive study. I use, to a large extent, the following monumental work on negation (Horn, 2001) – most of the historical findings come from this work, unless indicated otherwise.

⁷ The very concept of the proof of the existence of God is quite controversial. Also controversial are the logical problems related to the term "God", concerning e.g. its syntactic category.

1. Part I

The concept of negation stems from a certain kind of ontological relation, and for this reason its linguistic expression is, firstly, a term-negation, and, secondly, a proposition-negation. One of the first philosophers to consider the notion of negation was Parmenides (about 540-470 BC). Starting from the analysis of the concept of being as-is, with the Eleatic School, he arrived at opposing being with non-being.⁸ Early Buddhism (cf. Horn, 2001, p. 1) and all major philosophers of ancient Greece (cf. *Sophist* 245 E) were independently concerned with the relationship between being and non-being, before and after Plato. Plato himself (in the *Sophist*) also dealt with this issue, while also speaking about negation. While for Parmenides there was no non-being, and it was consistently 'something'⁹, for Plato, in fact, for cognitive and linguistic reasons, the negation of being – non-being was ontical (*Sophist* 255-258). For him, negation was some form of 'otherness', and it was a form of being, or 'something'. This position from the *Sophist* is not his only one in terms of negation. A slightly different, though similar, view was presented by Parmenides, where he implicitly used three types of negation: simple negation (currently called classical), global negation of predic-

⁸ He is assigned the following sentence: '*Being* alone is and *nothing* is altogether not.'. Plato, in the *Sophist*, quotes Parmenides: 'Because it will never prevail that they are also non-existent. Always keep your thoughts away from this path' (*Sophist* 237 A and 258 D). See below.

⁹ This is a simplification and a serious issue for historians of ancient philosophy. To put it a little more precisely, though simplified still: "τὸ ὄν" means *being* and "ἔστιν" means *is* (inf. "εἶναι"). I quote Parmenides via (Diels and Kranz, 1906); 28B 6,1-2: "Χρή τὸ λέγειν τε νοεῖν τ' ἐὸν ἔμμεναι· ἔστι γὰρ εἶναι μηδὲν δ' οὐκ ἔστιν· τὰ σ' ἐγὼ φράζεσθαι ἄνωγα." ("It must be that what can be thought and spoken of is; for it is possible for it to be, and it is not possible for what is nothing to be.") I owe these comments to Father Konrad Rycyk OFM.

tions, and local negation of certain predictions (Król, 2013, p. 123ff). Other authors, e.g. Stróżewski, distinguish two types of ontological negation: discriminating (platonian) and crossing (parmenidian). The derivatives of these two negations are the two main problems related to negation being considered in ontology: *non-being* and *negative states of affairs*.

Plato's position on negation is mainly ontological, but it is possible to find reflections on the linguistic expression of negation even in his work. Aristotle's position is different in the sense that he reformulated the concept of negation in linguistic and logical terms. In the *Categories*, he introduced four types of oppositions (scholastic: *oppositis*) of expressions, ordered from strongest to weakest:¹⁰

- contradiction (*contradictio*) – for example “He sits” vs. “He does not sit”;
- privation (*privatio*) – e.g. “sighted” vs. “blind”;
- contrariety (*contrarietas*) – e.g. “good” vs. “bad”;
- correlation (*oppositio relativa*) – e.g. “double” vs. “half”; “father” vs. “son”.¹¹

The distinction between affirmative and negative categorical sentences seems to originate from Stagirite. Out of the above oppositions, the contradiction is the only one to refer to sentences (propositions) and only in the case of the contradiction “it is necessary for

¹⁰ The treatise *De quatuor oppositis* by St. Thomas Aquinas concerns this issue. Thomas's authorship of the treatise is strongly questioned.

¹¹ In scholastic philosophy, the opposite of the generally understood (*oppositio*) is understood as the relationship between objects that are not concordant in the same thing and from the same point of view (*A Scholastic List of Definitions for Philosophical Terms*, n.d.). Some also distinguish the polar opposite from the relative opposite (*oppositio relativa*), an example of which can be shown in the following pair: “man” vs “woman”. Polarity refers to a certain scale.

the one to be true and the other false” (Horn, 2001, p. 8).¹² Aristotle distinguished two negations, depending on the placement of the negation in the sentence.¹³ Therefore (Horn, 2001, p. 15):

(S1) Socrates [is not] ill.

(S2) Socrates is not-ill.

These sentences differ in terms of truth conditions: truthfulness depends on whether Socrates exists or does not exist. If he does not exist, the sentence (S1) is true, and (S2) is false. On this basis, one can build a peculiar logical square with the following vertices: S is P, S is not-P, S is not not-P, S is not P. There is a contradiction (*contradictio*) between the first and fourth as well as the second and third ones; a contrariety (*contrarietas*) between the first and second, and a subcontrariety (*subcontrarietas*) between the third and fourth. This has consequences also for negative theology, as similarly to the above example, opinions about God may differ in their logical values depending on the presupposition of God’s existence. If negative theology, in its epistemological thesis (ENT), is actually neutral towards the problem of negation, then each of the detailed theses (SNT) is no longer neutral because it concerns language. Take, for example, the sentences “God is not limited” and “God is unlimited”; they have different meanings, as Aristotle already pointed out, because only the first one is a negation of the sentence “God is limited” (Horn, 2001,

¹² These considerations have become the basis for the creation of a logical square in various versions, including the modal one. It is also interesting to note that Aristotle was already considering something in the shape of what is now understood as a presupposition, because the logical value of contradictory sentences depended on their form and the assumption of the existence of the subject of the sentence (Horn, 2001, p. 9).

¹³ Cf. above.

p. 16). Any sentence in which the scope of negation does not apply to the whole sentence is therefore “somehow affirmative” (Horn, 2001, p. 18). The Stoics, on the other hand, distinguished the following:

- denial – “Nobody goes”.
- privation – e.g. “This man is unpleasant”.
- negation (*apophatikon* from Gk. ἀπόφασις) – “Not: Socrates is ill”.¹⁴

The last of these negations, *apophatikon*, is, in its full meaning, an external negation. Both of the Stagirite negations mentioned above are internal. The Stoics’ *apophatikon* has the widest scope, because it pertains to the whole sentence and contains a negation of the particle “is,” as well as a denial of the predicate. The Stoics formulated the law of double negation, i.e. the law which states that the negation of a negation of a sentence is equivalent to that sentence. Aristotle in *Metaphysics* (b. I, 986 a) mentioned how some of the Pythagoreans had created a table of ten opposing pairs of terms considered as the principles of things. These are: “(1.) Limit and the Unlimited; (2.) Odd and Even; (3.) Unity and Plurality; (4.) Right and Left; (5.) Male and Female; (6.) Rest and Motion; (7.) Straight and Crooked; (8.) Light and Darkness; (9.) Good and Evil; (10.) Square and Oblong”. Heraclitus also discussed the opposite of unity being the driving force behind the development of the universe, as referred to later by Hegel. On the other hand, John Scotus Eriugena returned to the concept of Platonic negation in the form of a discriminatory negation, indicating in his hierarchy of entities that the negation of a lower being in a hierarchy is the affirmation of a higher being. It accepts only three of the four opposites of St. Thomas, and the contradiction is

¹⁴ This kind of negation is closest to the negation we encounter in Frege as well as in contemporary logic.

replaced by nothingness. Bergson recognized the subjective concept of negation, where the last one concerned the psychological attitude of the subject.¹⁵ Frege questioned the division of judgments (as well as sentences or thoughts) into affirmative and negative, considering that the division was not logical. This was his example (Horn, 2001, p. 32):

- Christ is immortal,
- Christ lives forever,
- Christ is not immortal,
- Christ is mortal,
- Christ does not live forever.

The philosophical problem with the distinction between affirmative and negative sentences is fundamental. Multiple philosophers questioned this distinction, such as Peirce and Frege himself (Horn, 2001, p. 32ff). To sum up via Horn: “the fact that no clear criteria have been adduced for defining a class of negative propositions has not deterred centuries of scholars from debating the true nature of the negative proposition. Nor did the one-to-one correspondence between affirmative and negative propositions (or sentences?) stipulated by Aristotle, Royce and Wittgenstein [...] dissuade their contemporaries [...] from taking negatives to be inherently asymmetrical with, and in some sense inferior to, their affirmative counterparts.”(Horn, 2001, p. 35)¹⁶. This puts apophatic theology in a particularly difficult position, as it is based on this very distinction. One could also approach this issue

¹⁵ The distinction for objective and subjective conceptions of negation can be found in (Kowalski, 1998). For historical issues in this section see (Stróżewski, 1967).

¹⁶ Compare this to the detailed research on negation, especially the negation of expressions that give attributes to people, which is relevant for us, in (Maciuszek, 2006). An interesting discussion of this problem can be found in (Kowalski, 1998).

in a simplified way, and demand that a negative sentence with some established understanding of negation should be negative, or that the occurrence of an agreed understanding of negation should result in a negative sentence. However, such an attempt to solve the problem seems artificial and inadequate in relation to language rules.¹⁷ A very extensive logical study is being carried out concerning negation. However, as Sylvan points out, the general logical definition of negation corresponding to linguistic use is very complex, if at all possible (cf. Sylvan, 1999).¹⁸ One of the reasons is that it is possible to formally distinguish (perhaps infinitely) many meanings of negation. On the basis of this primer on negation, one can develop a view on what its philosophical essence is: it is the *otherness*, i.e. the difference between the two. If T is an expression of a language, then non-T is an opposing expression to T, expressing this *otherness*.¹⁹ From a logical point of view, this *otherness* should be semantic or pragmatic in character, because the syntactic aspect alone is not enough. In addition, constructive logic requires that non-A should be some kind of *rejection* of A.

¹⁷ There is another problem with apophatic theology, which is alleged to be contradictory. However, there are known and likely effective attempts to solve it, consisting of the use of other types of negations (Rojek, 2012). Cf. also (Król, 2013) whose considerations are similar, but concern a fragment of Plato's *Parmenides* dialogue, which cannot be understood consistently with the exclusive use of classical negation.

¹⁸ See also the other papers contained in (Gabbay and Wansing, 1999). Cf. also (Béziau, 2001).

¹⁹ Referring to Strózewski's distinction, this *otherness* can be understood as having its own extremum in the form of a *crossing* (nothingness).

2. Part II

Let us move on to more detailed considerations regarding the main issue. First, we will quote five understandings of negation, and then show that they actually are, in a particular sense, used in theology. Let us now agree that A will be a sentence, and the mentioned examples of negation are:

1. non1-A means: A is false; classical negation (symbolically: $\neg A$);²⁰
2. non2-A means: it is not known that A; negation-as-failure;²¹
3. non3-A means: counter-example for A; Nelson's strong negation;²²
4. non4-A means: A is forbidden; imperative negation;
5. non5-A means: A; paraconsistent negation.²³

The ways of understanding the negation of sentences presented above are similar in that they are formulated in an intuitive way, aside from the paraconsistent negation. Their formalization is not purely a syntactic (formal) game, but is either based on actual use in natural

²⁰ Classical negation is a clear term. Usually $\neg A$ is interpreted as "A is false", or "It is not true that A". However, classical negation is an idealization of the inner negation, e.g. "Ann does not have a cat" and is idealized classically as "It is not true that Ann has a cat." Some people say that classical negation is not an idealization of the negation of natural language (vernacular negation), but an idealization of the negation of the language of mathematics (Béziau, 2001, pp. 5–6).

²¹ This way of understanding negation is derived from so-called logic programming, where: if it has not been proven that A, this means that: non-A. It differs from the other four negations considered, because it can be cancelled.

²² The strong negation of the Nelson non3-A sentence A, in the intuitive approach, means that there is a counter-example for the sentence A.

²³ Intuitive understanding of paraconsistent negation is not clear (cf. Béziau, 2001). However, it is different from classical negation in the sense that it does not satisfy, as a precondition, the *ex contradictione quodlibet* rule.

language, or concerns certain areas of the language used in specific fields. These examples also show that although the natural language forms a whole, there are special logic rules or different logics in its specific areas. This difference of logics is traditionally expressed by what is usually referred to as the term non-classical logics. Based on modern knowledge, one can speak of classically non-classical logics, i.e. those whose structural rules are the same as those of classical logic (in other words, the operator of consequences has classical properties), e.g. multi-valued, relevant, or modal logics, as well as non-classically non-classical logics, i.e. such whose structural rules are different from the classical ones, e.g. non-monotonic logics. This raises the question of the methodological uniformity of individual scientific disciplines, particularly the theological disciplines. They can be formulated as follows: does a practicing scientist in a given discipline use a single logic or different ones? This question is related to another question, namely whether there is one or more than one concept of truth in use within the given discipline.²⁴ In the case of sciences, it is assumed that only the classic, correspondence theory of truth is used. This is certainly true of the natural scientific theory and the empirical data acquisition field. On the other hand, it seems that, considering the context of the discovery, each of these sciences, at some stage, must refer e.g. to hypotheses or assumptions, etc. This means that a different logic must be applied in this area. Referring to these remarks specifically in the context of theology, one can say that in theology, at least three concepts of truth are applied: classical, coherence, and personal. The first two concepts are well-known to philosophers, while the third is almost completely unknown. The basis for its formulation are the biblical quotations: «I am the way,

²⁴ This is either a concept of truth or a criterion of truth. The case is complex and requires a separate analysis and, above all, data relating to specific domains.

the truth and the life» (Jn 16:4); then God said, “Let there be light!” (Gen 1:3). As I did not encounter any discussion regarding this personal concept of truth in philosophical literature, I will describe it very briefly, as such a presentation would require more extensive research. Truth is the same as a Person – God. According to Revelation, when God speaks something in indicative form, something becomes reality. On the basis of the Bible, we can say that God’s words become real as if they were automatic – *per se*.²⁵ The only equivalent philosophical concept that I know of is the performatives of Austin, where a given statement becomes true by the very expression of e.g. “I baptize you”; because in some sense it creates reality. To make this concept of truth more familiar, one can refer to an argument from authority: if person X claims that A, then A is true. After the term “God” is used for X, we have; if God claims that A, so A. These three concepts (theories) of truth in theology have different uses:

- Correspondence theory is used in considerations concerning the material world and everyday life;
- Coherence theory is used for the accommodation of new theological research results;
- The third concept is applied, i. a. when justifying moral norms (e.g. commandments) and teleological sentences.

Consequently, there are three types of negations used in the aforementioned areas. In the case of language to which the classical concept of truth is applied, negation is understood in the classical sense, that is, “non1-A” means: A is false. In this case the matter is quite simple. In turn, when using a coherence concept or a criterion of truth, another negation is used. This situation arises when we are dealing

²⁵ There are, of course, problems with understanding this issue. But the Bible itself explains this matter.

with a new statement or theological interpretation. Let it be expressed in the form of sentence A. The Magisterium of the Church usually takes a stand against A using the following rule expressed in the *Catechism of the Catholic Church* (p. 90): “The mutual relationships and coherence of dogmas can be found in the entirety of the Revelation of the mystery of Christ. “The diversity of these relationships with the fundamentals of Christian faith determines an order, the «hierarchy» of catholic truths.” The theology therefore distinguishes in its corpus the doctrine of theological certainty arranged relative to the decreasing degree of their certainty, written below in bold (cf. Ott, 1974, pp. 9–10):²⁶

1. *De fide divina definita* – God’s revelations with the highest degree of certainty found infallibly as the Revelation of God.
2. *De fide divina et ecclesiastica* – Teachings of the Church definitively proclaimed by the Magisterium in an infallible manner (dogma).
3. *De fide divina* – Truth revealed by God, although the Church did not speak dogmatically on the subject,
4. *Sententia fidei proxima* – Church teachings, generally accepted as God’s Revelation, but not – as such – defined by the Magisterium.
5. *Sententia certa* – Church teachings which the Church defined as infallible, having an inner connection with the revealed doctrine, although not announced as such.
6. *Sentia communis* – Teachings which are often (or almost universally) recognized in the field of free theological research.

²⁶ For the sake of clarity, it should be noted that theologians very rarely use these degrees of certainty to limit the number of degrees, and that the study of censures is very rarely maintained.

7. *Sententia probabilis* – Teachings which are probable, with a low level of certainty, as it is not apparent or necessary from the revealed premises.
8. *Sentia bene fundata* – Well-founded teachings, which, however, have not been proclaimed probable. In accordance with the ‘spirit’ of faith.
9. *Opinio tolerate* – Opinions tolerated within the Catholic Church, but not supported.

The Church, based on the necessity of retaining the purity of faith, has constructed certain measures for this purpose. They are called censorship, or condemnation. These are statements referring to certain theological claims that are at any of the above degrees of certainty, in which the Church declares the inconsistency of or at least their doubt concerning the claims, with respect to the truths of faith (cf. Ott, 1974, p. 10). The types of such statements are as follows (cf. Ott, 1974, p. 10):²⁷

- a. *Propositio haeretica* – when the theorem is contradictory to a statement explicitly defined by the Church as belonging to Revelation (1);
- b. *Propositio haeresi proxima* – when the theorem is contrary to a statement not explicitly proclaimed by the Church as belonging to Revelation, but considered by theologians as such (2);
- c. *Propositio haeresim sapiens* – when the theorem is contradictory to a claim which is not considered infallible, but is recognized by theologians (3);

²⁷ The right-hand side of censorship contains, in brackets, the numbers of theological certainty levels to which the censorship refers to.

- d. *Propositio theologice erronea* – when the theorem is not contrary to a claim made directly by the Church, but to a logical conclusion of the Church’s teachings (4,5);
- e. *Propositio temeraria* – when a claim made in an unfounded manner (simplified or reckless) contradicts a commonly accepted view (6).

The theological truths of items 5-8 above must be 'reconciled' with the truths of items 1-4, which cannot be altered. During this reconciliation process, in which the criterion of coherence plays a key role, theology (a theologian) makes use of at least two non-classical types of negation. (ad. 1) In the first case, "non1-A" will mean: "A is rejected by the Magisterium because it leads to contradictions." Such is the case, for example, when A is considered *propositio theologice erronea*, because it leads to conclusions contrary to the truth taught by the Church. This is how classical negation works. A similar condition is fulfilled by intuitionistic negation. However, intuitionistic negation is not used in theology, because in this science there is no concept of construction in the intuitionistic sense. Instead, in theology, one can find the following reasoning: if 'it is absurd to recognize the non-existence of God', then 'God exists'. The allegation of the reasoning that it is impossible to identify God (constructively) has a provenance which seems intuitionistic. In apologetics, there is a certain tradition, in which a specific 'construction' of God (the concept of God), is based on observations of the world. This follows Saint Thomas' *viae*, where we find such 'constructions' of God as the First Cause or others.²⁸ In addition, as a curiosity, let us cite, for example, the view of St. Thomas Aquinas, who, due to his views on animation theory, which he acquired from St. Albert the Great, considered the

²⁸ This issue is interesting and requires separate consideration.

doctrine of the Immaculate Conception of the Blessed Virgin Mary to be dangerous to the faith, because it implied a conclusion contradictory to the animation theory (Sum. Theol. III, q. 27, art. 2-5). (ad. 2) One use of non-classical negation is the case where non2-A means, just like negation-as-failure, “it is not known that A”. Examples of such denials are situations regarding Marian dogmas: the dogma of the Assumption of Mary (1950) and the dogma of the Immaculate Conception of the Blessed Virgin Mary (1854). Before the proclamation of these dogmas, non2-A was accepted, where A was the content of the judgements, but after A was announced, these phrases were re-located in the aforementioned list of theological truths to Group 2.²⁹ Another example of such use of negation in theology is the canonization process of a non-martyr. Once the heroic virtues of person N. are established, it is assumed, for example, that: “Person N. is not holy”, which should be understood as: “It is not known that the person N. is holy”. Only after it is discovered that a miraculous event took place through the intercession of this person, the person can be considered a saint. (ad. 3) The canonization or beatification process has a specific legal institution called *advocatus diaboli* (the Devil’s Advocate). The task of such a theologian in the context of this process is to prove that the examined person does not possess the characteristics of heroic virtues. The third type of negation non3-A is used because the *advocatus diaboli* must find a counter-example for the sentence “Person N. fulfills the condition of having heroic virtues” (cf. Vakarelov, 2006, p. 109). Markov, one of the discoverers of Nelson’s strong negation,

²⁹ The formalization of this negation is the so-called autoepistemic logic. The semantics for such a logic are based on the concept of expanding theories, which is exactly what happens in the case of theological research. It is worth remembering that this type of negation, expressed in logic by an appropriate rule, results in non-monotonicity. In this case, it means that if new information appears, non2-A will be revised.

spoke of the counter-example construction as an intuitive interpretation for the strong negation. For a theologian, this construction consists of finding evidence for the lack of heroism.³⁰ (ad. 4) Due to the personal concept of truth and the role of God in theological deliberations, an important area of their field, we have to deal with imperative sentences from God or from the Church in the form of commandments. Some of them have a positive form (e.g. Honor thy father and thy mother), while some have a negative form (e.g. Thou shalt not steal). Such negation concerns imperative sentences, and such sentences undoubtedly exist within the theology.³¹ From a philosophical and logical point of view, two kinds of negation are distinguished concerning imperative sentences. It is believed that imperatives have the following form: [modal element][radical] – symbolically: $I(x)$ There are two types of negation depending on where the negation occurs or denies a modal element – symbolically $I(x)$, or where it negates the core – symbolically $I(x)$.³² The first negation is called an external negation, while the second one is called an internal negation.³³ At least one of these negations is certainly used in theology, e.g. in the reasoning concerning the commandments. (ad. 5) The last one is paraconsistent negation, which occupies an important place in a specific area of theology, namely negative theology. Although there is a dispute about what paraconsistent logic is and, subsequently, what negation in such logic is, the fact remains that paraconsistent nega-

³⁰ Curry (1963, p. 261) considers five meanings of negation: simple rejection (minimal negation), intuitionistic negation, strong negation (Nelson), classical rejection, and classical negation. Curry's work is one of the few to include a comprehensive study of logical negation.

³¹ Formalizing these intuitions would require more time and work. I think this is an interesting challenge for further research.

³² Dashes representing the negation of the relevant part of an expression appear here under the expressions, whereas they usually appear above them.

³³ (Žarnić, 2012, pp. 1–2) contains a comprehensive discussion of this situation.

tion is used in theology, as there are areas of theological research in which there is a clash in the classical sense. Examples of such areas include negative theology, or even Scripture studies. However, paraconsistent negation is associated with a serious problem, namely that it does not have a clear intuitive meaning, as previously mentioned. This results in accusations of the artificiality of paraconsistent logic, or even of the fact that this negation is not a negation at all (cf. Béziau, 2001).

3. Conclusion

Theology, understood as science, has a very complicated structure. Theologians themselves are rarely methodologists or logicians, hence the weakness of this side of theological research. As has been shown, negation appears in various areas of theology. It should be noted that such uses of negation are often not conscious on the part of the theologians, but are logical in nature. In the field of theological research, formalization is rarely applied, which further weakens the ability of theologians to be aware of the nature of the negation used. However, assuming the sense of the examples given, sentences containing such negations are used in the reasoning used in the theological debates. This results in theologians using rules derived from non-classical logic in their reasoning. From a formal point of view, theology corresponds to a formal system in which there are five negations. This, in turn, proves that the technical side of theology is very complicated. Building such a hybrid is a surmountable challenge for logicians. There are known systems with more than one negation.³⁴

³⁴ An example is the Rasiowa system described in (Vakarelov, 2006) where we can concurrently find intuitionistic negation and Nelson's strong negation.

In other words, theologians can be considered multilogical, which seems surprising, as they usually use such negations in an intuitive way. The theologian's nature of multilogicality can be explained by referring to the philosophy of the subject as follows. A theologian is an agent of cognition, thinking, and acting. David Hilbert included the following in his Axiom of the Subject: "I think," and some logic is always connected with thinking. It is usually believed that there is only one such logic, especially when thinking concerns a specific area. A theologian uses several logics. The philosophically important question in this context seems to be the following: does such a state of affairs indicate any uniqueness of theology? Well, the answer is yes. This situation is special, because e.g. due to the use of negation-as-failure in theology, we are dealing with a non-monotonic logic. This means that theology in some cases revises its theses. However, it does so in a way that is different than empirical teachings, where we encounter a different kind of revision, one also encountered in a paradigm change. Theology is not strictly a cumulative science, unlike e.g. formal sciences, although while some of its theses, depending on the degree of certainty, can never be revised, others can be.³⁵ Secondly, fundamentally, there is usually no imperative negation in science, and this is common within theology. Thirdly, the five kinds of negations which occur in theology, as I have attempted to present, rarely appear in a science simultaneously. Each of these five negations, however, is individually known, at an intuitive level, in some specific sciences. In addition, it can be assumed that some of the aforementioned negations are used in the context of justification, while others are used in the context of discovery.³⁶ The issue pre-

³⁵ This problem needs to be addressed separately.

³⁶ I do not want to concern myself with this issue here, as it would require more discussion.

sented in this paper reflects the very complicated structure of theology. Catholic theology ultimately concerns one object, which is the Revelation of God. From a methodological point of view, it is treated as a kind of empirical data. The task of the theological sciences is firstly to define one's subject, and then to read the message contained in it and draw conclusions from it. Another important reason for using several negations is, as mentioned above, the different kinds of the understanding of truth in certain areas of theology.

Bibliography

- A Scholastic List of Definitions for Philosophical Terms*, n.d. [Online]. Available at: <<http://www.catholicapologetics.info/catholicteaching/philosophy/definitions.htm>> [Accessed 30 November 2018].
- Béziau, J.-Y., 2001. *Are paraconsistent negations negations?* [Online]. Available at: <<http://www.jyb-logic.org/papers12-11/paraconsistent%20negations.pdf>>.
- Curry, H.B., 1963. *Foundations of Mathematical Logic*. en. OCLC: 186198020. New York: McGraw-Hill.
- Diels, H. and Kranz, W., 1906. *Die Fragmente der Vorsokratiker griechisch und deutsch, Die Fragmente der Vorsokratiker griechisch und deutsch*. Weidmannsche Buchhandlung.
- Gabbay, D.M. and Wansing, H., eds., 1999. *What Is Negation?* OCLC: 470600953. Dordrecht – Boston – London: Kluwer Academic Publishers.
- Horn, L.R., 2001. *A Natural History of Negation*. OCLC: 802024686. Stanford: CSLI.
- Kowalski, Z., 1998. Filozoficzne teorie negacji. *Koncepcje negatywnych stanów rzeczy, Stany Rzeczy, Sytuacje, Zdarzenia* 4. Lublin: Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, pp.13–39.

- Król, Z., 2013. The implicit logic of Plato's Parmenides. *Filozofia Nauki* [Online], 21(1), pp.121–135. Available at: <<https://www.fn.uw.edu.pl/index.php/fn/article/view/709>> [Accessed 29 November 2018].
- Maciuszek, J., 2006. *Negacja w języku i komunikacji: o przetwarzaniu negacji w kontekście opisu cech ludzi*. Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego.
- Olszewski, A., 2016. Negacja w języku teologii. *Analecta Cracoviensia*, 48, pp.279–294. Available at: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15633/acr.2027>.
- Ott, L., 1974. *Fundamentals of Catholic Dogma* (P. Lynch. Trans.). OCLC: 716284516. Charlotte, North Carolina: Tan Books.
- Rojek, P., 2012. Logika teologii negatywnej. *Pressje*, 29, pp.216–231.
- Stróżewski, W., 1967. Z historii problematyki negacji. Cz. 1: Ontologiczna problematyka negacji w 'De quatuor oppositis'. *Studia Mediewistyczne*, 8, pp.183–246.
- Sylvan, R., 1999. What is that item designated Negation? In: Gabbay, D.M. and Wansing, H. eds. *What Is Negation?* OCLC: 470600953. Dordrecht – Boston – London: Kluwer Academic Publishers, pp.299–324.
- Vakarelov, D., 2006. Non-classical negation in the works of Helena Rasiowa and their impact on the theory of negation. *Studia Logica* [Online], 84(1), pp.105–127. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11225-006-9004-y>.
- Wolak, Z., 2005. Naukowa filozofia Koła Krakowskiego. *Philosophical Problems in Science (Zagadnienia Filozoficzne w Nauce)*, (36), pp.97–122.
- Žarnić, B., 2012. Is unsaying polite? In: Trobok, M., Mišćević, N. and Žarnić, B. eds. *Between Logic and Reality* [Online]. Dordrecht: Springer Netherlands, pp.201–224. Available at: https://doi.org/10.1007/978-94-007-2390-0_11.

Z prac Komisji Filozofii Nauk PAU

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

Czy możemy wykazać istnienie zjawisk całkowicie przypadkowych?

Marek Kuś

Międzynarodowe Centrum Ontologii Formalnej,
Wydział Administracji i Nauk Społecznych Politechniki Warszawskiej;
Centrum Fizyki Teoretycznej PAN

Can we prove existence of completely random events?

Abstract

I show how classical and quantum physics approach the problem of randomness and probability. Contrary to popular opinions, neither we can prove that classical mechanics is a deterministic theory, nor that quantum mechanics is a nondeterministic one. In other words it is not possible to show that randomness in classical mechanics has a purely epistemic character and that of quantum mechanics an ontic one. Nevertheless, recent developments of quantum theory and increasing experimental possibilities to check its predictions call for returning to the problem of comparing possibilities given by classical and quantum physics to accommodate and prove the existence of a ‘genuine randomness’. Recent results concerning ‘amplification of randomness’ show that, in certain sense, quantum physics is in fact ‘more random’ than classical and outperforms it in producing a ‘truly random process’.

Keywords

randomness, ontic and epistemic randomness, randomness in classical and quantum physics, amplification of randomness.

1. Przypadkowość epistemiczna i ontyczna

Problem natury przypadkowości obecny jest w filozofii europejskiej od czasów przedsokratejskich. Dwa przeciwstawne stanowiska wczesnych atomistów: „epistemiczne” Leukipposa i Demokryta oraz „ontyczne” Epikura wyznaczały i nadal wyznaczają problematykę dyskursu. „Nic nie dzieje się bez przyczyny, lecz wszystko pod naciskiem konieczności” (Diels, 1906, s. 350; Freeman, 1948, s. 140, fr. 2), „Wszystko dzieje się wskutek konieczności” (Diogenes Laertius, 2008, 1982, s. IX, 45), „Ludzie z przypadku uczynili bożka, dla usprawiedliwienia swej własnej bezradności (głupoty)” (Diels, 1906, s. 407; Freeman, 1948, s. 158, fr. 119) – we współczesnym sformułowaniu stwierdzenia te mówią, że jedynym sposobem, w jaki przypadkowe zachowania wymagają opisu probabilistycznego jest brak dostatecznej wiedzy. Zwykle taka niewiedza dotyczy warunków początkowych lub szczegółów przebiegu zjawiska, przypadkowość ma tu charakter epistemiczny – nie jesteśmy w stanie poznać do końca natury procesu, z uwagi na nasze ograniczenia poznawcze. Sto lat później Epikur starał się nadać przypadkowości fundamentalny, ontyczny charakter. Deterministyczny ruch atomów miałby być przerywany, bez przyczyny, przez gwałtowne odchylenia od „naturalnej”, deterministycznej trajektorii. Cynceron, w *De natura deorum*, opisał epikurejskie podejście tak oto: „Epikur – zdając sobie sprawę, że gdyby atomy spadały z góry na dół pod wpływem swej

własnej ciężkości, to ponieważ ruch ich byłby dokładnie oznaczony i konieczny, nic nie zostawałoby w naszej mocy – wynalazł sposób uniknięcia tej konieczności, na który nie wpadł był jeszcze Demokryt. Powiada mianowicie, że atom, gdy pod wpływem swej ciężkości i wagi spada w prostym kierunku z góry na dół, zbacza nieco ze swojej drogi” (Cicero, 1933, s. I, XXV)¹. Tak więc przypadkowość miałyby być wewnętrzną, immanentną przypadłością otaczającego nas świata, niezależną od naszych zdolności i mocy poznawczych.

Rozstrzygnięcie filozoficznego problemu statusu przypadkowości (losowości) miałyby, wbrew pozorom, niebagatelne znaczenie praktyczne. Losowość jest podstawowym „zasobem” w różnych zastosowaniach technicznych. Tak więc, na przykład, dowody niemożliwości pokonania pewnych systemów kryptograficznych oparte są na założeniu, że jesteśmy zdolni do tworzenia idealnie losowych, nieskorelowanych sekwencji cyfr. Często w praktyce takie łańcuchy są generowane przez wyspecjalizowane programy komputerowe. Otrzymane ciągi nie są tak naprawdę losowe, są bowiem uzyskiwane przez uruchomienie całkowicie deterministycznego programu komputerowego. Ich „losowość” jest potwierdzona przez przeprowadzenie tzw. „testów losowości” sprawdzających stopień, w jakim przypominają one procesy rzeczywiście przypadkowe (Knuth, 1969). Niezawod-

¹ „Velut Epicurus, cum videret, si atomi ferrentur in locum inferiorem suo pte pondere, nihil fore in nostra potestate, quod esset earum motus certus et necessarius, invenit, quo modo necessitatem effugeret, quod videlicet Democritum fugerat: ait atomum, cum pondere et gravitate directo deorsus feratur, declinare paululum”.

Warto dodać, że Ciceron uważa pomysł Epikura za niedobry. W dalszej części cytowanego powyżej tekstu stwierdza: „Ale tego rodzaju obrona przynosi większy wstyd niż niemożność obrony własnego zdania” („Hoc dicere turpius est quam illud, quod vult, non posse defendere”), a w *De finibus bonorum et malorum*: „[...] w fizyce [...], gdy próbuje coś poprawić wydaje się tylko psuć” („[...] in physicis [...] quae corrigere vult, mihi quidem depravare videatur”) (Cicero, 1873, przekład polski: Cicero, 1961).

ność generatorów liczb losowych zależy głównie od mocy zastosowanych algorytmów, niemniej jednak może być zdegradowana przez awarie urządzeń, czy też ataki przeciwników dysponujących większą mocą obliczeniową. Byłoby zatem pożądane zaprojektowanie generatora liczb losowych wykorzystującego całkowicie nieprzewidywalny (przypadkowy) proces fizyczny i niewymagającego dodatkowego założenia dotyczącego wewnętrznej struktury używanego urządzenia. Innymi słowy, zadaniem jest znalezienie procesu losowego, którego przypadkowość ma charakter wewnętrzny, ontyczny, a nie będąca wynikiem tego, że nie mamy dość informacji na temat jego przebiegu, lub szczegółów algorytmu (w szerokim sensie tego pojęcia, tzn. algorytmu komputerowego, czy też „fizycznego”) użytego do jego generacji. Jeśli taki proces nie istnieje, tzn. w naturze nie ma „prawdziwej przypadkowości” to, teoretycznie, luki w naszej (lub naszych przeciwników) wiedzy mogą być w zasadzie zamknięte przez bardziej szczegółowe pomiary lub zwiększenie mocy obliczeniowej.

Ogólnie rzecz biorąc, pokazanie, że świat jest (nie)deterministyczny, wydaje się być zadaniem beznadziejnym. Trudno nawet wyobrazić sobie, jak zaatakować taki problem. Jednak powszechne jest przekonanie, że pewne teorie fizyczne opisują świat w sposób deterministyczny (mechanika klasyczna), a inne (mechanika kwantowa) w sposób niedeterministyczny. W tym drugim wypadku zmuszeni jesteśmy do rozumowań w terminach rozkładów prawdopodobieństwa, wartości średnich, fluktuacji i dyspersji. Dotyczy to nie tylko mechaniki kwantowej, ale także klasycznej fizyki statystycznej, będącej podstawą termodynamiki. Fakt, że używamy w opisie zjawisk koncepcji probabilistycznych nie przesądza jednak, że w przyrodzie istotnie istnieje przypadkowość (tzn., że obserwowana przypadkowość ma charakter ontyczny), gdyż może się okazać, że jest ona tylko przejawem naszej niemożności dokładnego poznania „para-

metrów ukrytych”. Na czym więc polega fundamentalna, jak się wydaje, różnica między mechaniką klasyczną i kwantową w ich traktowaniu przypadku i prawdopodobieństwa i na ile trafne jest więc stwierdzenie, że przypadkowość ma inny charakter w obu tych teoriach? Rozważmy więc dwa problemy: czy mechanika klasyczna jest rzeczywiście deterministyczna i czy mechanika kwantowa jest rzeczywiście niedeterministyczna. Jeśli nawet nie będziemy w stanie udzielić ostatecznych odpowiedzi na te pytania, to warto krytycznie rozważyć wszystkie argumenty i zobaczyć, czy różnice między mechaniką klasyczną i kwantową w podejściu do przypadkowości mogą mieć konsekwencje nie tylko filozoficzne, ale i praktyczne (np. we wspomnianych problemach kryptograficznych).

2. Czy mechanika klasyczna jest deterministyczna?

Powszechnie uważa się (a przynajmniej, powiedziałbym, że jest to pogląd ortodoksyjny wśród fizyków), że mechanika klasyczna jest teorią deterministyczną, w której przypadkowość ma charakter epistemiczny, tzn. przyjmuje się (czasami milcząc), że pozornie losowy proces jest w rzeczywistości całkowicie określony i można przewidzieć jego przebieg czasowy z pożądaną dokładnością, gdy tylko poprawimy nasze urządzenia pomiarowe i zwiększymy moc obliczeniową naszych komputerów². Ponieważ nie jest to łatwe, mu-

² Laplace jest autorem tego oto, prawdopodobnie najlepiej znanego i najczęściej w tym kontekście cytowanego opisu pełnego determinizmu: „Intelekt, który w danej chwili czasu znałby wszystkie siły poruszające przyrodę oraz położenia wszystkich ciał, które się na nią składają i był wystarczająco niezmierny, aby objąć analizą te wszystkie dane, byłby w stanie ująć w jednej formule ruchy, zarówno największych ciał we wszechświecie, jak i najmniejszych atomów; dla takiego intelektu nic nie

simy uciekać się do opisu statystycznego, np. za pomocą rozkładów prawdopodobieństwa, wartości średnich, fluktuacji. Znakomitym przykładem teorii fizycznej opartej na takich zasadach jest fizyka statystyczna, gdzie mierzalne wielkości takie jak ciśnienie lub temperatura są określane przez średnie wartości mikroskopowych „zmiennych ukrytych” – w tym wypadku położeń i pędów cząstek gazu. Te ukryte zmienne są jednak całkowicie określone w każdej chwili czasu i ewoluują zgodnie z prawami mechaniki klasycznej. Zasadniczo, pomijając względy praktyczne, można zmierzyć ich wartości z dowolną dokładnością i zastosować prawa mikroskopowe w celu uzyskania kompletnej wiedzy o układzie i jego przyszłych losach. Jednak to właśnie owe „względy praktyczne” powodują, że proces jawi się jako przypadkowy. W tym wypadku, przyczyną jest duża liczba zmiennych ukrytych, których wartości musielibyśmy znać. Co więcej, „względy praktyczne” mogą nabrać charakteru fundamentalnego. Jeśli bowiem do bezbłędnych przewidywań przebiegu będziemy potrzebowali dokładnej znajomości początkowych położeń i pędów wszystkich cząstek we wszechświecie, to powstaje problem zapisania całej tej informacji, niezbędnego dla jej dalszego wykorzystania i przetwarzania. Jasne jest więc, że potrzebujemy drugiego wszechświata, w którym mogłaby ona być zapisana. Jeśli drugi wszechświat byłby izolowany od pierwszego, to zapisana w nim informacja stałaby się bezużyteczna, jeśli oba wszechświaty w jakiś sposób ze sobą oddziałują, to stajemy tylko przed problemem, naj-

byłoby nieprzewidywalne, zarówno przyszłość, jak i przeszłość stałyby przed jego oczami” („Une intelligence qui, pour un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée, et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvemens des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome: rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir comme le passé, serait présent à ses yeux”) (Laplace, 1814, s. 4).

prawdopodobniej trudniejszym niż wyjściowy. Musimy teraz opisać dokładnie ewolucję jeszcze większego układu składającego się z obu wszechświatów.

Co więcej, jak wiadomo, do utraty kontroli nad ewolucją układu fizycznego nie potrzebna jest wcale duża liczba zmiennych dynamicznych, które w poprzednim przykładzie grały rolę parametrów ukrytych. Wystarczy, że równania rządzące dynamiką układu są wystarczająco skomplikowane (nieliniowe). Prognozowanie przyszłych stanów układu może być praktycznie niemożliwe z powodu wrażliwej zależności trajektorii od warunków początkowych. Niedokładności w określeniu stanu początkowego przekładają się na rosnące wykładniczo w czasie niedokładności w określeniu stanów późniejszych. W układzie takim obserwujemy tzw. chaos deterministyczny.

Oba powyżej opisane typy zjawisk mogą być używane jako argumenty za istnieniem przypadkowości w mechanice klasycznej³, jed-

³ Por. Henri Poincaré: „pierwszym przykładem, który możemy wybrać jest równowaga niestabilna, jak w wypadku stożka ustawionego na jego wierzchołku; wiemy, że się przewróci, lecz nie wiemy, na którą stronę. Wydaje się, że tylko przypadek będzie o tym decydował” („Le premier exemple que nous allons choisir est celui de l'équilibre instable; si un cône repose sur sa pointe, nous savons bien qu'il va tomber, mais nous ne savons pas de quel côté; il nous semble que le hasard seul va en décider”). (Poincaré, 1912, s. 4). Podobnie pisał także Marian Smoluchowski: „[...] zasadnicza cecha tego, co w życiu potocznym albo w naszej nauce oznacza się jako przypadek . . . dałaby się krotko ująć w słowa: mała przyczyna – duży skutek” („[...] ein ganz wesentliches Merkmal desjenigen, was man im gewöhnlichen Leben oder in unserer Wissenschaft als Zufall bezeichnet . . . läßt sich . . . kurz in die Worte fassen: kleine Ursache – große Wirkung”) (Smoluchowski, 1918, s. 255, tłum. polskie 1923, por. także 2017).

Należy jednak podkreślić, że Poincaré zdawał sobie sprawę, że przypadkowość ma nie tylko charakter epistemiczny: „Przypadek musi być czymś innym niż tylko nazwą, którą nadajemy naszej niewiedzy” („Il faut donc bien que hasard soit autre chose que le nom que nous donnons à notre ignorance”) (Poincaré, 1912, s. 3).

nak w oczywisty sposób przypadkowość spowodowana jest ograniczonością naszego poznania rzeczywistości, a nie jest immanentną własnością rozważanych zjawisk.

Pojęcia, których użyłem powyżej do opisu układów, w których obserwujemy zachowanie przypadkowe, same mają pewne obciążenie epistemiczne. Odwołałem się bowiem do kryterium przewidywalności jako sprawdzianu przypadkowości⁴. W konsekwencji układy deterministyczne mogą przejawiać zachowanie przypadkowe. Jeśli tak się dzieje, to mamy do czynienia z przypadkowością epistemiczną. Czym więc jest przypadkowość ontyczna? Aby precyzyjnie ją zdefiniować bez odwoływania się do pojęć epistemicznych takich jak możliwość przewidywania, zdefiniujmy, co rozumiemy przez układ (nie)deterministyczny. Zagadnienie to było szeroko dyskutowane w literaturze (zob. np. Earman, 1986). Na potrzeby dalszych rozważań przyjmijmy definicję stosunkowo prostą i naturalną. Układ nazywamy deterministycznym, jeśli każdemu jego stanowi w chwili t odpowiada dokładnie jeden jego stan w każdej późniejszej chwili t' ⁵. W przeciwnym wypadku układ jest niedeterministyczny. Na pierwszy rzut oka warto byłoby wprowadzić pojęcia (nie)deterministycznego świata i opisującej go (nie)deterministycznej teorii. W takim to świecie, z kolei, występowałyby (nie)deterministyczne układy. Wówczas można byłoby doprecyzować, co oznacza, że późniejszy stan układu „odpowiada” wcześniejszemu, a mianowicie, że stan późniejszy powstał z wcze-

⁴ Szczegółową i wyczerpującą analizę zależności między ontycznymi i epistemicznymi aspektami determinizmu, przewidywaniem, przewidywalnością i chaosem deterministycznym w mechanice klasycznej przedstawia (Koleżyński, 2007).

⁵ Dopuszczenie w definicji chwil t' wcześniejszych od t , tzn. postulowanie, że również przeszłość jest jednoznacznie wyznaczona przez stan obecny, jest zazwyczaj nieszkodliwe, a może być korzystne, jednak nie gra to roli z punktu widzenia dalszych rozważań.

śniejszego na skutek ewolucji zgodnej z prawami dynamiki obowiązującymi w danym świecie, opisywanymi w ramach danej teorii. Sądzę jednak, że taka pedanteria nie jest niezbędna w dalszych wywodach i kiedy stwierdzamy, że jakaś teoria jest deterministyczna, oznacza to, że wszystkie przez nią opisywane układy są deterministyczne w podanym powyżej sensie.

Tak zdefiniowane pojęcie determinizmu jest pozbawione obciążeń epistemicznych, o których wspominałem powyżej⁶. W świetle powyższej definicji, przypadkowość ontyczna może się, oczywiście, pojawiać wyłącznie w teoriach, które nie są deterministyczne. Wróćmy więc do pytania, czy mechanika klasyczna jest teorią deterministyczną.

Determinizm mechaniki klasycznej można „zadekretować”. Jest to podejście przyjmowane z reguły wówczas, gdy traktujemy ją jako zamkniętą teorię dedukcyjną – tzn. w zasadzie jako pewną część matematyki. Tak np. Arnold, po przyjęciu opisanej powyżej definicji determinizmu, stwierdza: „Na przykład, mechanika klasyczna rozważa ruch systemów, których przeszłość i przyszłość są jednoznacznie określone przez początkowe pozycje i prędkości wszystkich punktów układu” (Arnold, 1975, s. 11). Podobną tezę można znaleźć w innej jego książce „[...] mechanika klasyczna rozpatruje ruch układów,

⁶ Porównajmy je z opisem „naukowego determinizmu” zaproponowanym przez Poppera: „Doktryna determinizmu «naukowego» głosi, że stan dowolnego zamkniętego systemu fizycznego w dowolnym przyszłym momencie czasu może być przewidziany nawet od wewnątrz tego systemu z dowolnym określonym stopniem ścisłości, za pomocą przewidywań z teorii, w koniunkcji z warunkami początkowymi, których wymagany stopień ścisłości można zawsze wyliczyć” („The doctrine of ‘scientific’ determinism is the doctrine that the state of any closed physical system at any given future instant of time can be predicted, even from within the system, with any specified degree of precision, by deducing the prediction from theories, in conjunction with initial conditions whose required degree of precision can always be calculated.”) (Popper, 1988, s. 36). Stanowisko to przedstawia wyraźne epistemiczne obciążenie wynikające z odwołania się do przewidywalności.

których przyszłość i przeszłość jest jednoznacznie określona przez początkowe położenia i początkowe prędkości wszystkich punktów układu” (Arnold, 1981, s. 13). Tutaj jednak pojawia się głębsza motywacja: „Trudno w to wątpić, ponieważ uczyliśmy się go bardzo wcześnie”. Wydaje się jednak, że znaczenie tego zastrzeżenia jest raczej skromne, o czym świadczy dalsza część tekstu: „Można sobie wyobrazić świat, w którym należy określić przyszłość systemu, należy również znać przyspieszenie w początkowej fazie, ale doświadczenie pokazuje nam, że nasz świat taki nie jest”, stwierdzająca jedynie, że nic więcej poza położeniami i pędami nie jest potrzebne do określenia stanu układu⁷.

Powyższe sformułowania korespondują z ich matematycznym odpowiednikiem w postaci praw Newtona, przy dodatkowym założeniu, że równania różniczkowe łączące siły i przyspieszenia w ramach drugiej zasady dynamiki mają jednoznaczne rozwiązania dla zadanych warunków początkowych. Z czysto technicznego punktu widzenia, taką jednoznaczność zapewniają pewne dodatkowe warunki (np. warunek Lipschitza) nałożone na siły działające w układzie. Złamanie tych warunków może prowadzić do sytuacji, w których dla pewnych początkowych wartości położenia i pędów trajektoria w późniejszych chwilach czasu nie jest jednoznacznie określona, tzn. tym warunkom początkowym odpowiada, zgodnie z prawami rządzącymi ewolucją, więcej niż jeden stan układu w danej chwili w przyszłości. Zgodnie z przyjętą powyżej definicją taki układ mechaniczny nie jest więc deterministyczny.

⁷ Bardzo podobne stwierdzenia można znaleźć w podręczniku Landaua i Lifszycy: „Z doświadczenia wynika, że jednoznaczna znajomość wszystkich współrzędnych i prędkości całkowicie określa stan układu i w zasadzie pozwala przewidzieć dalszy jego ruch” (Landau i Lifszyc, 1961, s. 13).

Prosty i realistyczny układ mechaniczny opisywany równaniami Newtona posiadającymi niejednoznaczne rozwiązania został podany przez Nortona (2007, 2008)⁸. W oryginalnym sformułowaniu problem dotyczy ruchu cząstki po powierzchni kopuły o określonym kształcie i sprowadza się do jednowymiarowego zagadnienia ruchu w potencjale $V = h - \frac{2}{3}r^{\frac{3}{2}}$, gdzie h jest dowolną stałą. Druga zasada dynamiki przyjmuje tu postać:

$$\frac{d^2r}{dr^2} = \frac{-dV}{dr} = r^{\frac{1}{2}}.$$

Funkcja $r^{\frac{1}{2}}$ występująca po prawej stronie równania nie spełnia warunków zapewniających istnienie jednoznacznych rozwiązań (warunku Lipschitza). W rezultacie, równanie drugiej zasady dynamiki, dla warunków początkowych $r(0) = 0$, $\frac{dr}{dt}(0) = 0$, opisujących cząstkę spoczywającą na wierzchołku kopuły o wysokości h , ma, oprócz oczywistego rozwiązania $r(t) = 0$ opisującego dalsze pozostawanie w bezruchu, także rodzinę rozwiązań:

$$r = \begin{cases} \frac{1}{144}(t - T)^2 & \text{dla } t > T \\ 0 & \text{dla } t \leq T \end{cases},$$

gdzie T jest dowolnym parametrem. Interpretacja takich rozwiązań jest oczywista. Cząstka pozostaje w spoczynku do chwili T (dowolnej, niewyznaczonej przez żadne parametry układu), po czym bez przyczyny rozpoczyna w tej chwili ruch przyspieszony.

Przykład Nortona wywołał trwającą do dziś dyskusję (zob. np. Fletcher, 2012, oraz literatura tam cytowana). Jako jeden z głównych argumentów przeciwko jego istotności dla problemu determinizmu podniesiono jego idealizacyjny charakter (punkt materialny,

⁸ Oczywiście, twierdzenie o jednoznaczności rozwiązań i skutki niespełniania jego założeń były znane już w wieku XIX, jednak dopiero przykład Nortona, właśnie przez swoją prostotę, wywołał dyskusję dotyczącą determinizmu w mechanice klasycznej układów niespełniających założeń zapewniających jednoznaczność trajektorii.

idealnie gładka powierzchnia kopuły, itp.). Ten zarzut jednak nie jest istotny z punktu widzenia naszych rozważań. Podobne układy (np. ruch po kopule półkulistej) są znakomicie obejmowane przez mechanikę klasyczną mimo identycznych założeń idealizacyjnych. Problem sprowadza się do tego, czy mechanika klasyczna opisuje układy, dla których równania drugiej zasady dynamiki nie mają jednoznacznych rozwiązań. Wydaje się, że postulat, iż układy, dla których nie jest spełniony warunek Lipschitza, nie są „prawdziwymi” układami mechanicznymi, ma charakter *ad hoc*. Tym bardziej, że warunek Lipschitza jest warunkiem dostatecznym jednoznaczności rozwiązań, ale niekoniecznym; taki postulat byłby więc zbyt radykalny, gdyż eliminowałby zbyt wiele „zdrowych” (tzn. poprawnie opisywanych w ramach mechaniki klasycznej) układów.

Eliminacji z obszaru mechaniki klasycznej układów podobnych do kopuły Nortona można dokonać w sposób nieco bardziej przemyślany i nieodwołujący się do szczegółów technicznych o charakterze matematycznym. *Prima facie*, pierwsza zasada dynamiki: „Każde ciało zachowuje swój stan spoczynku lub ruchu jednostajnego wydłuż linii prostej, chyba że jest zmuszone do zmiany tego stanu przez przyłożenie do niego siły”⁹, wydaje się wynikać z zasady drugiej, sformułowanej w postaci równania $\frac{d^2r}{dt^2} = F(r)$. Istotnie: dla znikającej siły, $F(r) = 0$, otrzymujemy rozwiązanie $r(t) = r(0) + vt$, a więc ruch jednostajny, prostoliniowy. Nie jest więc jasne, dlaczego pierwsza zasada miałaby grać jakąkolwiek niezależną rolę w sformułowaniu mechaniki klasycznej. Sprawa ta ma wiele aspektów (Nagel, 1961, rozdz. 7; zob. np. Earman i Friedman, 1973), tu ograniczymy się do obserwacji, że można zasadę pierwszą potraktować jako nie-

⁹ „Corpus omne perseverare in slatu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur stalum suum mutare” (Newton, 1687, przekł. polski 2011).

zależną od zasady drugiej (zob. np. w kontekście kopuły Nortona: Zimba, 2008; Zinkernagel, 2010). Tak więc, cząstka umieszczona w spoczynku na szczycie kopuły Nortona będzie tam pozostawać, gdyż nigdy nie działa na nią żadna siła. Eliminujemy więc z obszaru mechaniki nie tyle konkretne układy, ale raczej pewne, „niewygodne” rozwiązania, ratując w ten sposób determinizm. Czy jest to metodologicznie uzasadnione, pozostaje kwestią dyskusji. Niezależnie jednak od tego, czy relegujemy z mechaniki kwantowej pewne (proste!) układy, czy tylko pewne trajektorie (procesy) za pomocą mniej lub bardziej wyrafinowanych argumentów, nie otrzymujemy gwarancji, że wyeliminowaliśmy już wszelkie „niedeterministyczne” patologie, takie jak np. ucieczka układu do nieskończoności w skończonym czasie (Laraudogoitia, 1997; Mather i McGehee, 1975).

Konieczność eliminacji z obszaru mechaniki klasycznej pewnych układów, lub pewnych procesów (ewolucji) wskazuje raczej na niekompletność teorii niż brak determinizmu. Możemy próbować uzupełnić mechanikę klasyczną o dodatkowe prawa, które pozwalałyby określić przyszłe losy układu na podstawie danych początkowych, jednak nie bardzo wiadomo, jak takich praw poszukiwać. Co więcej, te dodatkowe prawa mogą mieć zarówno charakter deterministyczny, jak i probabilistyczny. W tym drugim wypadku należałoby zastąpić pojedyncze trajektorie ewolucją odpowiednich gęstości prawdopodobieństwa (Weinan i Vanden-Eijnden, 2003). Dodatkowym argumentem za potraktowaniem mechaniki klasycznej jako teorii niekompletnej jest fakt, iż w ramach teorii bardziej fundamentalnej, jaką jest mechanika kwantowa, można (choć też nie zawsze – metoda nie działa w wypadku wspomnianych powyżej problemów z ucieczką do nieskończoności w skończonym czasie – i w ramach innych ograniczeń stwarzanych przez mechanikę kwantową) ewolucję ujednoznaczyć (Earman, 2008, 2009).

„Patologiczne” wypadki niejednoznaczności rozwiązań nie umknęły uwadze dziewiętnastowiecznych matematyków i fizyków. Joseph Boussinesq – badacz o wielkich zasługach w obszarze hydrodynamiki i równań różniczkowych – dostrzegł już wówczas możliwości, jakie istnienie tzw. „całek osobliwych”, tzn. w tym wypadku, właśnie dodatkowych rozwiązań równań różniczkowych, stwarza dla zrozumienia przypadkowego zachowania się trajektorii. W barokowo zatytułowanym memoriale dla Akademii Nauk Moralnych i Politycznych, w którym argumentował za pogodzeniem problemu wolnej woli z zasadami mechaniki, pisał:

Zjawiska ruchu powinny być więc podzielone na dwie klasy. Pierwsza obejmuje te, dla których prawa mechaniki w postaci równań różniczkowych wyznaczają, same przez się, sekwencje stanów, przez które układ będzie przechodził. Siły fizykochemiczne nie pozostawiają tu roli żadnym innym przyczynom. Do drugiej klasy zaliczymy te ruchy, dla których równania dopuszczają rozwiązania osobliwe, i dla których potrzebna będzie przyczyna różna od sił fizykochemicznych, interweniująca, od czasu do czasu lub w sposób ciągły, bez pośrednictwa jakiegokolwiek oddziaływania mechanicznego, tylko po to, aby, po prostu, kierować układem w każdym takim punkcie bifurkacji, który się pojawi¹⁰.

¹⁰ „[...] les phénomènes de mouvement doivent se diviser en deux grandes classes. La première comprendre ceux où les lois mécaniques exprimées par les équations différentielles détermineront à elles seules la suite des états par lesquels passera le système, et où, par conséquent, les forces physico-chimiques ne laisseront aucun rôle disponible à des causes d'une autre nature. Dans la seconde classe se rangeront, au contraire, les mouvements dont les équations admettront des intégrales singulières, et dans lesquels il faudra qu'une cause distincte des forces physico-chimiques intervienne, de temps en temps ou d'une manière continue, sans d'ailleurs apporter aucune part d'action mécanique, mais simplement pour diriger le système à chaque bifurcation d'intégrales qui se présentera” (Boussinesq, 1878).

Z oczywistych względów rozwiązanie postawionego przez autora problemu nie jest zbyt zadowalające. Dopóki nie określimy natury owych dodatkowych przyczyn, które rządzą wyborem konkretnego rozwiązania w punkcie osobliwym, nie posuniemy się w zrozumieniu przyczynowości mechaniki klasycznej. W przytoczonym fragmencie Boussinesq *explicite* wyklucza spośród nich oddziaływania fizyczne („siły fizyko-chemiczne”), wykraczając poza ramy czystego fizykalizmu. Choć jest to akceptowalne (w konsekwencji musimy wówczas zrezygnować z fizykalnego zrozumienia wolnej woli), wykracza poza zakres dyskusji tego artykułu. Interesująca natomiast jest koncepcja wprowadzenia dwóch rodzajów ruchu w celu pogodzenia determinizmu praw mechaniki klasycznej z ewolucją niedeterministyczną. Jest to bowiem, *mutatis mutandis*, założenie leżące u podstaw wszelkich ortodoksyjnych interpretacji mechaniki kwantowej, gdzie jedynym elementem dynamiki wprowadzającym przypadkowość do całkowicie deterministycznej ewolucji schrödingerskiej są akty pomiaru.

3. Czy mechanika kwantowa jest niedeterministyczna?

Wraz z pojawieniem się teorii kwantowej stało się jasne, że możemy liczyć tylko na probabilistyczny opis rzeczywistości, ale początkowo nie było żadnych powodów, aby przejść z pozycji demokrytejskiej (przypadkowość epistemiczna) na epikurejską (przypadkowość ontyczna). Mogło się bowiem wydawać, że zostaliśmy tylko skonfrontowani z jeszcze jedną, niepełną teorią podobną do termodynamiki,

czy fizyki statystycznej, której wyniki są jednoznacznie określone przez wartości deterministycznych „parametrów ukrytych”, niemierzalnych z bardziej lub mniej fundamentalnych powodów.

Twierdzenie Bella (Bell, 1964) pokazało jednak, że sprawa nie może być prosta. Istotnym wynikiem prac Bella jest nierówność ograniczająca wartości pomiarów wielkości „makroskopowych”¹¹, (a w zasadzie, pewnych funkcji tych wartości, zob. niżej). Wielkości „makroskopowe” otrzymujemy przez uśrednienie po rozkładzie zmiennych ukrytych, ponieważ nie mamy możliwości dokładnego wyznaczenia tych ostatnich. Nierówność Bella¹² musi być spełniona dla wszystkich teorii operujących zmiennymi ukrytymi z szerokiej i ważnej klasy takich parametrów, obejmującej zmienne ukryte tego typu, co w klasycznej fizyce statystycznej. Jeśli w doświadczeniu okaże się, że jakaś z nierówności Bella jest złamana, to wykluczy to istnienie parametrów ukrytych z tej szerokiej klasy, a więc, przede wszystkim, zmienne ukryte znane z teorii klasycznych. Nie oznacza to niemożliwości skonstruowania mechaniki kwantowej jako teorii opartej na zmiennych ukrytych. Musimy jednak wtedy pogodzić się z pewnymi „egzotycznymi” własnościami tych zmiennych. Tak np. w podejściu Bohma (Bohm, 1952) zarówno funkcja falowa, określona na przestrzeni konfiguracyjnej wszystkich cząstek, jak i położenia tych cząstek, grające rolę zmiennych ukrytych, ewoluują deterministycznie. Jednak ruch pojedynczej cząstki zależy od stanu wszyst-

¹¹ Używam cudzysłowu, aby uniknąć złego skojarzenia – w mechanice kwantowej są to wielkości mogące dotyczyć pojedynczych cząstek elementarnych, a więc raczej „mikroskopowe”. Jednak, gdyby udało się te wielkości wyznaczyć za pomocą zmiennych ukrytych, to byłyby one „makroskopowe” z punktu widzenia „mikroskopowych” zmiennych ukrytych, tak jak temperatura jest wielkością makroskopową z punktu widzenia energii poszczególnych cząstek gazu.

¹² Można wyprowadzić wiele nierówności tego typu. Przyjęło się nazywać je wszystkie nierównościami Bella, stąd niekiedy będzie się w tekście pojawiała liczba mnoga.

kich innych cząstek w tej samej chwili czasu, tzn. wartości zmiennych ukrytych uzgadniane są natychmiastowo, co czyni teorię nieintuicyjnie nielokalną¹³.

Nierówności Bella dotyczą wspólnych rozkładów prawdopodobieństwa mierzonych wielkości. Przypuśćmy, że dokonujemy pomiaru na układzie N obiektów (cząstek). Na każdym z nich możemy wykonać pomiar pewnej wielkości (obserwabli), otrzymując w wyniku tego pomiaru jedną z możliwych wartości tej obserwabli. Naturalnym opisem otrzymanych wyników jest wspólny rozkład prawdopodobieństwa $P(a_1, \dots, a_N | x_1, \dots, x_N)$ otrzymania wyniku a_1 przy pomiarze obserwabli x_1 na pierwszej cząstce, wyniku a_2 przy pomiarze obserwabli x_2 na drugiej cząstce itd. W dalszym ciągu ograniczymy się do dwóch podukładów (dwóch cząstek), $P(a, b | x, y)$, co upraszcza zapis i rozumowanie, a jest wystarczające dla dalszej argumentacji. Prawdopodobieństwa pojawiają się tu, gdyż każdy pomiar jest obciążony przypadkowością (ontyczną lub epistemiczną). Załóżmy teraz, że otrzymane wyniki dają się opisać w ramach pewnej teorii zmiennych ukrytych, które oznaczymy za pomocą symbolu λ (może to być wiele zmiennych). Oznacza to, że prawdopodobieństwa $P(a, b | x, y)$ są przez wartości zmiennych $p(\lambda)$ wyznaczone, co ujmiemy *explicite* w zapisie w postaci $P(a, b | x, y; \lambda)$. Zmienne ukryte λ mają rozkład prawdopodobieństwa $p(\lambda)$ i to właśnie ten rozkład określa prawdopodobieństwa wszelkich wyników pomiarów poprzez uśrednienie po nim (taka jest właśnie rola parametrów ukrytych). Oznacza to, że $P(a, b | x, y) = \int_{\Lambda}^x d\lambda P(a, b | x, y; \lambda)$, gdzie całkowanie (uśrednianie) wykonane jest

¹³ Interpretacja Everetta (Everett III, 1957) oferuje również całkowicie deterministyczny obraz, w którym wszystkie możliwości współistnieją. Nastęrcza to fundamentalnych problemów w mówieniu o prawdopodobieństwie, zob. np. artykuły w cz. II i IV zbioru (Saunders i in., 2010).

po całym zbiorze dopuszczalnych wartości zmiennych ukrytych b_n . O zmiennych ukrytych zakładamy, że są to zmienne lokalne. Oznacza to, że $P(a, b | x, y; \lambda) = p(\lambda) P(a | x; \lambda) P(b | y; \lambda)$. Interpretacja tego warunku jest dość oczywista: wspólne prawdopodobieństwo otrzymania wyników a i b zależą tylko od pomiarów wykonywanych oddzielnie na cząstce pierwszej i na cząstce drugiej oraz, oczywiście, wartości zmiennych ukrytych, które są za otrzymane wyniki odpowiedzialne^{14 15}. Nierówności Bella spełniane są w każdym modelu zmiennych lokalnych i mają one postać:

$$\sum_{a,b,x,y} c_{ab}^{xy} P(a, b | x, y) \leq S,$$

gdzie c_{ab}^{xy} są pewnymi współczynnikami zależnymi od wyników pomiarów i mierzonych obserwabli, a S pewną stałą. Przykładem takiej nierówności jest tzw. nierówność CHSH¹⁶. Dotyczy ona sytuacji, w której mamy do wyboru dwie obserwable dla każdej cząstki (tzn. zarówno x jak i y możemy wybrać ze zbioru dwuelementowego, możemy więc zmiennym x i y nadać wartość 0 lub 1, w zależności od wyboru jednej z dwóch obserwabli) oraz każdy pomiar może

¹⁴ Najłatwiej można zrozumieć znaczenie warunku lokalności poprzez wyobrażenie sobie, że pomiarów dotyczących pierwszej dokonujemy w laboratorium bardzo odległym od drugiego, w którym przeprowadzamy w tym samym czasie pomiary drugiej cząstki. Duża odległość uniemożliwia wymianę informacji między laboratoriami, a ewentualne korelacje (wynikające np. ze wspólnej przeszłości obu cząstek, jak to ma miejsce, gdy obie są produktami rozpadu jakiejś cząstki) są zakodowane w zmiennych ukrytych określających w każdej chwili stan całego układu obu cząstek.

¹⁵ Jeśli chcemy, żeby cały model był deterministyczny (to również rola, którą mają grać zmienne ukryte), to konkretny wynik a pomiaru obserwabli x musi być jednoznacznie wyznaczony przez aktualne wartości zmiennych ukrytych λ , innymi słowy, że dla danego λ $P(a | x; \lambda)$ jest równe albo 0 albo 1. Model zmiennych ukrytych spełniających te warunki nazywamy *deterministycznym lokalnym modelem zmiennych ukrytych*.

¹⁶ Nazwa pochodzi od pierwszych liter nazwisk autorów artykułu (Clauser i in., 1969).

dać w wyniku jedną z dwóch dopuszczalnych wartości (dla uproszczenia przyjmijmy, że są to wartości $+1$ i -1 (taka sytuacja zachodzi np. przy pomiarze rzutu spinu na określony kierunek dla cząstek o całkowitym spinie $\frac{1}{2}$, lub stanów polaryzacyjnych fotonów, oczywiście po unormowaniu wyników do wartości ± 1). Poprzez wykonanie wielu pomiarów jesteśmy w stanie określić wartość średnią (zwaną też wartością oczekiwaną) iloczynu wyniku pomiarów, którą oznaczymy $\langle a_x b_y \rangle$, a mianowicie:

$$\langle a_x b_y \rangle = \sum_{ab} a \cdot b \cdot P(a, b | x, y).$$

Nietrudno pokazać, że

$$|\langle a_0 b_0 \rangle + \langle a_0 b_1 \rangle + \langle a_1 b_0 \rangle - \langle a_1 b_1 \rangle| \leq 2.$$

Jest to właśnie nierówność CHSH będąca szczególnym przypadkiem ogólnej nierówności Bella wypisanej poprzednio.

We wspomnianych wypadkach cząstek o spinie $\frac{1}{2}$ lub fotonów kombinację wartości oczekiwanych występującą po lewej stronie nierówności można łatwo policzyć w ramach mechaniki kwantowej w konkretnym stanie całego układu. Okazuje się, że można tak wybrać obserwable (sprowadza się to do wyboru kierunków pomiaru rzutu spinu lub polaryzacji) i stan układu, żeby lewa strona przyjmowała wartość większą niż 2 w sprzeczności z nierównością Bella¹⁷. Na poziomie obliczeniowym wynika to z faktu, że w mechanice kwantowej wartości oczekiwane liczone są w inny sposób niż w klasycznym rachunku prawdopodobieństwa (wróć do tego problemu poniżej). Jeśli wynik ten udałoby się potwierdzić doświadczalnie, to

¹⁷ W mechanice kwantowej wielkość ta może osiągnąć maksymalną wartość $2\sqrt{2}$. Tak więc w mechanice kwantowej możliwe korelacje również podlegają pewnym ograniczeniom, zwanym nierównościami Tsirelsona.

wykluczylibyśmy możliwość opisu mechaniki kwantowej za pomocą lokalnych zmiennych ukrytych, w szczególności w ramach modelu deterministycznych lokalnych zmiennych ukrytych, a więc przypadkowość nie mogłaby pochodzić wyłącznie z nieznaności dokładnych wartości jakichś całkowicie deterministycznych zmiennych, co z kolei wskazywałoby na ontyczny jej charakter.

Pierwsze tego typu doświadczenia zostały przeprowadzone przez Alaina Aspecta już w latach 80. zeszłego wieku (Aspect, Grangier i Roger, 1982) i istotnie wykazały one łamanie nierówności Bella, a więc wykluczyły istnienie lokalnych zmiennych ukrytych. Jednak dopiero w ostatnich latach wykonano eksperymenty, w których udało się w przekonujący sposób pokonać wszelkie trudności związane z niedoskonałością i innymi szczegółami technicznymi pomiarów, co pozwoliło zamknąć wszystkie luki w poprzednich eksperymentach (Giustina i in., 2015; Hensen i in., 2015; Shalm i in., 2015).

Wydawałoby się więc, że osiągnęliśmy zamierzony cel. Wykazaliśmy, przez doświadczalne złamanie nierówności Bella, że mechanika kwantowa jest teorią niedeterministyczną, a przynajmniej, że nie dopuszcza zmiennych ukrytych takich, jakie znamy z teorii klasycznych. Niestety, sprawa nie jest aż tak prosta. Otóż w doświadczeniach, o których mowa, trzeba dokonać wielu pomiarów rzutu spinu, lub polaryzacji na przypadkowo wybrane kierunki. Innymi słowy musimy mieć możliwość całkowicie przypadkowego wyboru ustawień przyrządów pomiarowych. Warunek ten nazywany jest niekiedy postulatem „wolnej woli” – eksperymentator powinien mieć całkowitą, niczym nieograniczoną swobodę wyboru ustawień. Wybór ten musi być całkowicie przypadkowy i niezależny od stanów mierzonego układu (w szczególności od wartości ewentualnych zmiennych ukrytych określających ten stan). Oba te wymagania są istotne. Zarówno zależność wyboru od stanu układu (parametrów ukrytych) (Brans,

1988), jak i niedoskonałości w przypadkowości wyboru ustawień (Hall, 2010; Koh i in., 2012) pozwalałyby na deterministyczny opis wyników.

W konkretnych doświadczeniach realizowane jest to przez wykorzystanie do tego wyboru niezależnego generatora liczb losowych. Jest też propozycja, aby w eksperymencie (w tym wypadku dotyczącym fotonów) zastosować fotony przychodzące do laboratorium z nieskorelowanych odległych od siebie źródeł kosmicznych (np. kwazarów) (Gallicchio, Friedman i Kaiser, 2014). Jednak, jak widać, zawsze pojawia się *circulus vitiosus* niszczący nasze nadzieje na wykazanie istnienia „prawdziwej” przypadkowości. Aby takie istnienie wykazać, musimy bowiem założyć, że istnieje proces stochastyczny (przypadkowy), pozwalający na sterowanie ustawieniami. Ucieczka z tego koła jest niemożliwa z powodów fundamentalnych, niezwiązanych nawet z konkretnymi rozwiązaniami doświadczalnymi. W końcu radykalny fatalizm („wszystko jest raz na zawsze zeterminowane”), nie jest wewnętrznie sprzeczny, a tylko niezgodny z naszymi intuicjami.

Mimo tego warto podkreślić, że mechanika klasyczna i kwantowa różnią się radykalnie w swoim stosunku do prawdopodobieństwa. Na poziomie formalnym oznacza to inne reguły obliczania prawdopodobieństwa, co często w literaturze przedmiotu jest opisywane stwierdzeniem, że teoria prawdopodobieństwa kwantowego nie jest klasyczną teorią prawdopodobieństwa. U podstaw tej różnicy leży zasada nieoznaczoności, która od początków rozwoju mechaniki kwantowej była uważana za przyczynę indeterminizmu mechaniki kwantowej. Przypomnijmy, że stwierdza ona, iż dla każdego układu fizycznego istnieje para obserwabli, których nie można jednocześnie jednoznacznie zmierzyć. Innymi słowy, w żadnym stanie układu nie można z dowolną dokładnością zmierzyć wartości wszyst-

kich obserwabli. Tak więc, w najprostszym wypadku, położenie i pęd pojedynczej cząstki obarczone są nieokreślonościami (mierzonymi dyspersjami wokół wartości średniej), których iloczyn nie może być mniejszy od pewnej stałej. Fakt ten może być wykorzystany do „podniesienia statusu” klasycznej przypadkowości związanej z chaosem deterministycznym z czysto epistemicznego do ontycznego, bowiem nieokreśloność wynikająca z zasady nieoznaczoności nie jest wynikiem naszego poznania, ale wynika z immanentnej struktury wszechświata. Tak więc, ponieważ warunki początkowe nigdy nie są określone z dowolną dokładnością, układ może się zachowywać w sposób chaotyczny i nasze wysiłki aby tego uniknąć spełzną na niczym. Nie jestem do końca przekonany do siły tego argumentu za istnieniem przypadkowości ontycznej, przede wszystkim z powodów metodologicznych. Otóż miesza on dwa poziomy wyjaśniania – klasyczny i kwantowy, bez uzasadnienia, że takie podejście jest prawomocne. Tym bardziej, że chaos w rozumieniu klasycznym nie istnieje (lub przynajmniej przejawia się w całkowicie inny sposób) na poziomie kwantowym (Haake, 2013; Haake, Gnutzmann i Kuś, 2018).

Można jednak spojrzeć na zasadę nieoznaczoności z nieco innego punktu widzenia. Otóż wynika z niej, że pewne pytania dotyczące wyników doświadczeń, takie jak np. pytanie o jednoczesne wartości położenia i pędu, nie mogą być w mechanice kwantowej zadawane, nie mają bowiem żadnego sensu, właśnie ze względu na zasadę nieoznaczoności. W konsekwencji, w przeciwieństwie do tego, do czego jesteśmy przyzwyczajeni w fizyce klasycznej, nie możemy, zasadniczo, przypisać obiektom kwantowym (np. elektronom) konkretnych wartości obserwabli, które potem zostaną ujawnione w wyniku pomiaru. Obiekt kwantowy zatem nie „niesie ze sobą” wartości tych obserwabli; zostaną one (oczywiście w sposób zależny od kwantowego stanu obiektu) „ukonkretnione” w trakcie pomiaru. Mó-

wimy, że mechanika kwantowa nie spełnia warunku „lokalnego realizmu”¹⁸. Łamanie lokalnego realizmu przekłada się na inny sposób liczenia prawdopodobieństw, a to z kolei, jak już wspomniano powyżej, na łamanie nierówności Bella, a także na tzw. „kontekstualność” mechaniki kwantowej – wynik pomiaru obserwabli zależy od tego, jakie inne obserwabli mierzymy jednocześnie (tzn. „w jakim kontekście” dokonujemy pomiarów), co pokazali Kochen i Specker (Kochen i Specker, 1967).

Niemożliwość zadawania pewnych pytań w mechanice kwantowej wynika z faktu, że pytania mogące znaleźć odpowiedź za pomocą doświadczeń zadajemy tu w odmienny sposób niż ma to miejsce w mechanice klasycznej. Klasyczne pytania są postaci: „Czy współrzędne opisujące dany stan układu są w konkretnym obszarze przestrzeni fazowej”. Pytania można łączyć za pomocą spójników logicznych „i”, co odpowiada części wspólnej dwu obszarów w przestrzeni fazowej, „lub”, co odpowiada sumie teoriomnościowej obszarów, „jeśli to”, co odpowiada zawieraniu się jednego obszaru w drugim („jeśli współrzędne znajdują się w obszarze A , a obszar A zawiera się w obszarze B , to współrzędne znajdują się w obszarze B ”). Można też zadać pytanie przeciwne, tzn. o pozostawanie poza danym obszarem, co odpowiada dopełnieniu danego obszaru do całej przestrzeni fazowej. Struktury pytań i odpowiednich obszarów przestrzeni fazowej są izomorficzne – obie te struktury są izomorficznymi algebraми Boole’a. Na strukturze algebry Boole’a podzbiorów (mierzalnych, ale to szczegół techniczny z punktu widzenia naszych rozważań) oparta jest klasyczna teoria prawdopodobieństwa Kołmogorowa. Zgodnie z twierdzeniem Stone’a (Stone, 1936), każda algebra Bo-

¹⁸ Lokalny realizm teorii to właśnie ta cecha, że wartości wszystkich obserwabli „tkwią” w każdym opisywanym przez nią obiekcie, niezależnie od tego, czy dokonujemy jakichkolwiek pomiarów.

ole'a (a więc struktura zbioru pytań w teorii klasycznej) ma reprezentacje w postaci algebry podzbiorów pewnego zbioru, a więc zawsze w teorii klasycznej prawdopodobieństwo będzie miało charakter kołmogorowski.

W teorii kwantowej zadawane pytania doświadczalne nie dotyczą obszarów przestrzeni fazowej (nie istnieje ona w teorii kwantowej), ale przynależności wektora falowego (funkcji falowej) opisującego stan kwantowy układu do określonej domkniętej podprzestrzeni liniowej przestrzeni Hilberta funkcji falowych. Podprzestrzenie te są przestrzeniami własnymi operatorów liniowych reprezentujących obserwabla. O ile połączeniu dwóch pytań spójnikiem „i” odpowiada nadal przecięcie podprzestrzeni, to alternatywie („lub”) nie odpowiada suma teoriomnogościowa dwóch podprzestrzeni, która zazwyczaj sama nie jest domkniętą podprzestrzenią, ale najmniejszą domkniętą podprzestrzenią całej przestrzeni Hilberta zawierającą obie podprzestrzenie. Implikacji odpowiada inkluzja odpowiednich podprzestrzeni, a negacji domknięcie podprzestrzeni dopełniającej daną podprzestrzeń do całej przestrzeni Hilberta. Struktura zbioru pytań nie jest już algebrą Boole'a, ale ogólniejszą strukturą algebraiczną, tzw. kratą, odpowiadającą wprowadzonej przez Birkhoffa i von Neumanna „logice mechaniki kwantowej” (Birkhoff i Neumann, 1936). Dla takich logik istnieje twierdzenie analogiczne do twierdzenia Stone'a dla algebr Boole'a. Wszystkie takie logiki można zaprezentować właśnie za pomocą rzutów na domknięte podprzestrzenie w pewnej przestrzeni Hilberta (Solèr, 1995). Z kolei twierdzenie Gleasona (Gleason, 1957) określa jednoznacznie możliwą postać miar prawdopodobieństwa¹⁹, która okazuje się być zgodna z tym, co znamy z mechaniki kwantowej. Tak więc w mechanice kwantowej skazani jesteśmy zawsze na obliczanie wartości oczekiwanych za pomocą

¹⁹ Jeśli tylko wymiar przestrzeni Hilberta jest większy niż 2.

ślądu iloczynu operatora gęstości i mierzonej obserwabli, co prowadzi, w pewnych stanach i dla odpowiedniego doboru obserwabli, do złamania nierówności Bella. W ten sposób, różnice charakterów przypadkowości w mechanice klasycznej i kwantowej sprowadziliśmy do różnicy logik tych teorii (tzn. struktur logicznych możliwych do zadania pytań doświadczalnych).

Można zadać zasadne pytanie, czy istnieją inne alternatywne teorie pretendujące do opisu rzeczywistości fizycznej, w których prawdopodobieństwo obliczane byłoby w sposób odmienny od opisanych wyżej wypadków (klasycznego i kwantowego). Punktem wyjścia może być tu analiza nierówności CHSH. Ograniczenie po prawej stronie ma wartość 2 w wypadku klasycznym i $2\sqrt{2}$ w wypadku kwantowym. Łatwo zauważyć, że każdy ze składników po lewej stronie ma, zgodnie z ich definicją, wartość bezwzględną nie większą niż 1, ich suma nie może przekroczyć 4. Popescu i Rohrlich zauważyli, że osiągnięcie tej maksymalnej wartości jest możliwe (Popescu i Rohrlich, 1994). Skonstruowali oni model, w którym zachowana jest elementarna forma przyczynowości (niemożliwe jest natychmiastowe przekazanie informacji między oddalonymi od siebie laboratoriami, w których dokonujemy pomiarów), a lewa strona nierówności CHSH przyjmuje maksymalną możliwą wartość 4. Teraz również można zadać pytanie o strukturę logiczną zbioru pytań doświadczalnych oraz wynikającą z niej odpowiednią teorię prawdopodobieństwa. Jak należało oczekiwać, zarówno struktura logiczna zbioru pytań, jak i teoria prawdopodobieństwa są różne zarówno od ich odpowiedników klasycznych, jak i kwantowych (Tylec i Kuś, 2015, 2018).

Logiczna struktura zbioru pytań determinuje także status zasady nieoznaczoności konkretnej teorii. Otóż gdy struktura jest tzw. „logiką konkretną”, zasada nieoznaczoności nie obowiązuje. Istnieją

stany bezdyspersyjne, tzn. takie, dla których jednocześnie określone są dokładne wartości wszystkich obserwabli (w mechanice klasycznej jest to stan znajdowania się układu w konkretnym pojedynczym punkcie przestrzeni fazowej). Jak łatwo się domyślić, algebry Boole'a są logikami konkretnymi (w fizyce klasycznej nie ma zasady nieoznaczoności), logika mechaniki kwantowej nie jest logiką konkretną, nie istnieją stany bezdyspersyjne, obowiązuje zasada nieoznaczoności. Co ciekawe, mechanika kwantowa ma pod tym względem charakter wyjątkowy. Okazuje się, że logika modelu Popescu-Rorhlicha jest logiką konkretną, więc nie obowiązuje w niej zasada nieoznaczoności, a sam model jest z tego punktu widzenia „bardziej klasyczny” niż mechanika kwantowa, mimo że łamie nierówność Bella w sposób bardziej radykalny niż ona (Tylec i Kuś, 2015). Ponownie więc wróciliśmy do logicznego uzasadnienia zasady nieoznaczoności, w większym nieco kontekście teorii bardziej ogólnych niż mechanika klasyczna i kwantowa.

Podsumowując należałoby stwierdzić, że żaden z opisów zjawisk przypadkowych proponowanych przez mechanikę klasyczną i kwantową (a także inne teorie, np. model Popescu-Rohrlicha), nie może służyć za podstawę do udzielenia ostatecznej odpowiedzi na postawione w tytule pytanie²⁰. Jednak z praktycznego punktu widzenia, np. dla potrzeb generowania „prawdziwie przypadkowych” ciągów losowych, ważnych, o czym wspomniałem na wstępie, w kryptografii i ochronie danych, różnice między przypadkowością klasyczną i kwantową mogą mieć istotne znaczenie. Otóż przypadkowość kwantowa może być „wzmacniana”, w odróżnieniu od przypadkowości klasycznej. Aby zrozumieć na czym polega wzmacnianie przypadkowości rozważmy abstrakcyjny model generowania se-

²⁰ Christian Wüthrich ujął to w dosadnym stwierdzeniu: „Kant's Third Antinomy is still alive and kicking” (Wüthrich, 2010).

kwencji liczb przypadkowych b_1, b_2, \dots , przyjmując dla uproszczenia, że przybierać mogą one tylko wartości 0 lub 1. Kolejne generowane liczby mogą zależeć od poprzednio wygenerowanych elementów i wszelkich innych warunków zewnętrznych, powiedzmy więc, że w chwili generowania kolejnego, b_n , elementu ciągu dostępna jest cała informacja o dotychczasowym przebiegu procesu i stanie wszystkich układów w całym wszechświecie, mogących mieć wpływ na wynik generacji. Załóżmy jednak, że pozostaje jednak jakiś element przypadkowości w akcie generowania, tzn., że prawdopodobieństwo, że wygenerowane b_n będzie równe 0 spełnia warunek:

$$\frac{1}{2} - \varepsilon \leq P(b_n = 0 | \Lambda) \leq \frac{1}{2} + \varepsilon.$$

$P(b_n = 0 | \Lambda)$ jest tu właśnie tym prawdopodobieństwem warunkowym tego, że b_n przyjmie wartość zero, w sytuacji, gdy zachodzi Λ (opisana przez konkretne wartości „zmiennych ukrytych” określających stany pozostałych wszystkich układów, dotychczasowy przebieg procesu itd.), natomiast ε charakteryzuje przypadkowość procesu generowania. Gdy $\varepsilon = 0$ proces ten jest całkowicie przypadkowy, $P(b_n = 0 | \Lambda) = \frac{1}{2}$, i wygenerowanie wartości 0 jest takie samo jak dla wartości 1. Dla $\varepsilon = \frac{1}{2}$ wypisana nierówność spełniona jest trywialnie dla dowolnego rozkładu prawdopodobieństwa. Wzmacnianie przypadkowości polegałoby na wystartowaniu procesu z pewną wartością $\varepsilon > 0$, a następnie użyciu otrzymanych wyników do takiego pokierowania procesem, aby zmniejszyć wartość ε , tzn. przybliżyć go do procesu całkowicie przypadkowego. Santha i Vazirani (1984) wykazali, że jest to niemożliwe na poziomie klasycznym (tzn. w standardowej teorii prawdopodobieństwa), natomiast Colbeck i Renner (2012) pokazali, jak takiego wzmocnienia można dokonać na gruncie mechaniki kwantowej. Na podstawie tych wyników można więc argumentować, że mechanika kwantowa jest „bar-

dziej przypadkowa” niż klasyczna w wydaniu statystycznym. Mechanika kwantowa orzeka bowiem, jak wynika z opisanych tu rezultatów, iż albo wszystkie procesy są całkowicie zdeterminowane, albo możliwy jest proces całkowicie przypadkowy ($\varepsilon = 0$).

Na zakończenie jeszcze jedna, dość prosta, uwaga dotycząca poruszonych powyżej praktycznych aspektów przypadkowości. Otóż niezależnie od interpretacji mechaniki kwantowej (wszystkie te interpretacje muszą się zgadzać co do otrzymywanych wyników doświadczalnych, a więc, jak dotychczas zgodnych ze zwykłą, kopenhaską interpretacją mechaniki kwantowej), nie widać też sposobu obalenia istnienia zjawisk przypadkowych w przyrodzie, gdyż wszystkie wyniki doświadczalne mechaniki kwantowej są z takim istnieniem zgodne. Jeśli jednak przewidywania konkurencyjnych teorii lub interpretacji niedopuszczających przypadkowości, zostaną potwierdzone doświadczalnie i zaprzeczą ortodoksyjnej mechanice kwantowej, to sprawę trzeba będzie przemyśleć na nowo.

Bibliografia

- Arnold, V.I., 1975. *Równania różniczkowe zwyczajne*. OCLC: 51730371. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Arnold, V.I., 1981. *Metody matematyczne mechaniki klasycznej* (P. Kucharczyk. Tłum.). OCLC: 749654534. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Aspect, A., Grangier, P. i Roger, G., 1982. Experimental realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedankenexperiment: a new violation of Bell's inequalities. *Physical Review Letters*, 49(2), ss. 91–94.
- Bell, J.S., 1964. On the Einstein-Podolsky-Rosen paradox. *Physics*, 1, ss. 195–200.
- Birkhoff, G. i Neumann, J. von, 1936. The logic of quantum mechanics. *Annals of Mathematics*, ss. 823–843.

- Bohm, D., 1952. A suggested interpretation of the quantum theory in terms of “hidden” variables. I,II. *Physical Review*, 85(2), ss. 166–193.
- Boussinesq, J., 1878. *Conciliation du véritable déterminisme mécanique avec l’existence de la vie et de la liberté morale*. Paris: Gauthier-Villars.
- Brans, C.H., 1988. Bell’s theorem does not eliminate fully causal hidden variables. *International Journal of Theoretical Physics*, 27(2), ss. 219–226.
- Cicero, M.T., 1873. *De finibus bonorum et malorum libri V*. OCLC: 27662383. Leipzig: Teubner.
- Cicero, M.T., 1933. *De natura deorum*. OCLC: 980733812. Leipzig: Teubner.
- Cicero, M.T., 1961. O najwyższym dobru i zlu. *Pisma filozoficzne, Tom III* (W. Kornatowski. Tłum.). Warszawa: PWN.
- Clauser, J.F., Horne, M.A., Shimony, A. i Holt, R.A., 1969. Proposed experiment to test local hidden-variable theories. *Physical Review Letters*, 23(15), ss. 880–884.
- Colbeck, R. i Renner, R., 2012. Free randomness can be amplified. *Nature Physics* [Online], 8(6), ss. 450–453. Dostępne na: <https://doi.org/10.1038/nphys2300> [ostatni dostęp: 22 września 2018].
- Diels, H., 1906. *Die Fragmente der Vorsokratiker*. OCLC: 475717745. Berlin: Weidmannsche Buchhandlung.
- Diogenes Laertius, 1982. *Żywoty i poglądy słynnych filozofów* (I. Krońska, K. Leśniak i W. Olszewski. Tłum.). OCLC: 749216090. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Diogenes Laertius, 2008. *Diogenis Laertii Vitae philosophorum*. OCLC: 298213277. Berlin: Walter de Gruyter.
- Earman, J., 1986. *A Primer on Determinism*. OCLC: 230835201. Dordrecht: Reidel.
- Earman, J., 2008. How determinism can fail in classical physics and how quantum physics can (sometimes) provide a cure. *Philosophy of Science*, 75(5), ss. 817–829.
- Earman, J., 2009. Essential self-adjointness: implications for determinism and the classical–quantum correspondence. *Synthese*, 169(1), ss. 27–50.

- Earman, J. i Friedman, M., 1973. The meaning and status of Newton's law of inertia and the nature of gravitational forces. *Philosophy of Science*, 40(3), ss. 329–359.
- Everett III, H., 1957. "Relative state" formulation of quantum mechanics. *Reviews of Modern Physics*, 29(3), s. 454.
- Fletcher, S.C., 2012. What counts as a Newtonian system? The view from Norton's dome. *European Journal for Philosophy of Science*, 2(3), ss. 275–297.
- Freeman, K., 1948. *Ancilla to the Pre-Socratic Philosophers: a Complete Translation of the Fragment in Diels, Fragmente der Vorsokratiker* [Online]. OCLC: 706866300. Cambridge: Harvard University Press. Dostępne na: <<http://catalog.hathitrust.org/api/volumes/oclc/928305.html>> [ostatni dostęp: 21 września 2018].
- Gallicchio, J., Friedman, A.S. i Kaiser, D.I., 2014. Testing Bell's inequality with cosmic photons: closing the setting-independence loophole. *Physical Review Letters*, 112(11), s. 110405.
- Giustina, M. i in., 2015. Significant-loophole-free test of Bell's theorem with entangled photons. *Physical Review Letters*, 115(25), s. 250401.
- Gleason, A.M., 1957. Measures on the closed subspaces of a Hilbert space. *Journal of Mathematics and Mechanics*, 6, ss. 885–893.
- Haake, F., 2013. *Quantum Signatures of Chaos*. 3 wyd. T. 54. Berlin: Springer Science & Business Media.
- Haake, F., Gnutzmann, S. i Kuś, M., 2018. *Quantum Signatures of Chaos*. 3 wyd. T. 54, *Springer Series in Synergetics*. Berlin: Springer.
- Hall, M.J., 2010. Local deterministic model of singlet state correlations based on relaxing measurement independence. *Physical Review Letters*, 105(25), s. 250404.
- Hensen, B. i in., 2015. Loophole-free Bell inequality violation using electron spins separated by 1.3 kilometres. *Nature*, 526(7575), ss. 682–686.
- Knuth, D.E., 1969. *The Art of Computer Programming. Seminumerical Algorithms 2*. OCLC: 929240123. Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- Kochen, S. i Specker, E.P., 1967. The problem of hidden variables in quantum mechanics. *Journal of Mathematics and Mechanics*, 17, ss. 59–87. [Ostatni dostęp: 22 września 2018].

- Koh, D.E. i in., 2012. Effects of reduced measurement independence on Bell-based randomness expansion. *Physical Review Letters*, 109(16), s. 160404.
- Koleżyński, A., 2007. Determinizm Laplace'a w świetle teorii fizycznych mechaniki klasycznej. *Philosophical Problems in Science (Zagadnienia Filozoficzne w Nauce)*, (40), ss. 59–75. [Ostatni dostęp: 22 września 2018].
- Landau, L.D. i Lifszyc, J.M., 1961. *Mechanika* (S.L. Bazański. Tłum.), ser. *Fizyka teoretyczna*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Laplace, P.S.d., 1814. *Essai philosophique sur les probabilités*. Google-Books-ID: rDUJAAAAIAAJ. Paris: Mme. Ve. Courcier.
- Laraudogoitia, J.P., 1997. Classical particle dynamics, indeterminism and a supertask. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 48(1), ss. 49–54.
- Mather, J.N. i McGehee, R., 1975. Solutions of the collinear four body problem which become unbounded in finite time. *Dynamical Systems, Theory and Applications*. New York: Springer, ss. 573–597.
- Nagel, E., 1961. *The Structure of Science: Problems in the Logic of Scientific Explanation*. OCLC: 231599. New York: Harcourt, Brace & World.
- Newton, I., 1687. *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. Londini; [London]: J. Societatis Regiæ ac Typis J. Streater.
- Newton, I., 2011. *Matematyczne zasady filozofii przyrody* (J. Wawrzycki. Tłum.). Kraków – Rzeszów: Copernicus Center Press – Konsorcjum Akademickie.
- Norton, J., 2007. Causation as folk science. *Causation, Physics, and the Constitution of Reality: Russells Republic Revisited*. Oxford: Oxford University Press, ss. 11–44.
- Norton, J.D., 2008. The dome: an unexpectedly simple failure of determinism. *Philosophy of Science*, 75(5), ss. 786–798.
- Poincaré, H., 1912. *Calcul des probabilités*. 2 éd., revue et augmentée par l'auteur. OCLC: 440694386. Paris: Gauthier-Villars.
- Popescu, S. i Rohrlich, D., 1994. Quantum nonlocality as an axiom. *Foundations of Physics*, 24(3), ss. 379–385.

- Popper, K.R., 1988. *The Open Universe: an Argument for Indeterminism*. Psychology Press.
- Santha, M. i Vazirani, U.V., 1984. Generating quasi-random sequences from slightly-random sources. *Foundations of Computer Science 1984, 25th Annual Symposium on IEEE*, ss. 434–440.
- Saunders, S., Barrett, J., Kent, A. i Wallace, D., red., 2010. *Many Worlds?: Everett, Quantum Theory, & Reality*. Oxford: Oxford University Press.
- Shalm, L.K. i in., 2015. Strong loophole-free test of local realism. *Physical Review Letters*, 115(25), s. 250402.
- Smoluchowski, M., 1918. Über den Begriff des Zufalls und den Ursprung der Wahrscheinlichkeitsgesetze in der Physik. *Die Naturwissenschaften*, 17, ss. 253–263.
- Smoluchowski, M., 1923. O pojęciu przypadku i pochodzeniu praw fizyki opartych na prawdopodobieństwie. *Wiadomości Matematyczne*, XXVII, z. 2, ss. 27–52.
- Smoluchowski, M., 2017. Uwagi o roli przypadku we fizyce. *Philosophical Problems in Science (Zagadnienia Filozoficzne w Nauce)* [Online], (62), ss. 277–302. Dostępne na: <<http://zfn.edu.pl/index.php/zfn/article/view/403>>.
- Solèr, M.P., 1995. Characterization of Hilbert spaces by orthomodular spaces. *Communications in Algebra*, 23(1), ss. 219–243.
- Stone, M.H., 1936. The theory of representation for Boolean algebras. *Transactions of the American Mathematical Society*, 40(1), ss. 37–111.
- Tylec, T.I. i Kuś, M., 2015. Non-signaling boxes and quantum logics. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical* [Online], 48(50), s. 505303. Dostępne na: <https://doi.org/10.1088/1751-8113/48/50/505303> [ostatni dostęp: 22 września 2018].
- Tylec, T.I. i Kuś, M., 2018. Ignorance is a bliss: mathematical structure of many-box models. *Journal of Mathematical Physics* [Online], 59(3), s. 032202. Dostępne na: <https://doi.org/10.1063/1.5027205> [ostatni dostęp: 22 września 2018].
- Weinan, E. i Vanden-Eijnden, E., 2003. A note on generalized flows. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 183(3–4), ss. 159–174.

- Wüthrich, C., 2010. Can the world be shown to be indeterministic after all? W: Beisbart, C. i Hartmann, S. red. *Probabilities in Physics*. Oxford: Oxford University Press, ss. 365–389.
- Zimba, J., 2008. Inertia and determinism. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 59(3), ss. 417–428.
- Zinkernagel, H., 2010. Causal fundamentalism in physics. W: Suárez, M., Dorato, M. i Rédei, M. red. *EPSA Philosophical Issues in the Sciences*. Dordrecht: Springer, ss. 311–322.

Ewolucja człowieka jako seria dodatnich sprzężeń zwrotnych

Jan Kozłowski

Instytut Nauk o Środowisku Uniwersytetu Jagiellońskiego;
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Tarnowie

Human evolution as a series of positive feedbacks

Abstract

Perhaps in last few centuries not any big theory has resulted in so much opposition as Darwinian theory of evolution. Within this theory, claim that *Homo sapiens* evolved from animal ancestors, namely apes, is undoubtedly the most controversial issue. Long tradition of teaching by Church that a pair of first people was created in short time in Eden Garden is in contradiction to discoveries of biology, including paleontology. If God exists, which is not the research subject of science, he created human beings by a long process of biological Darwinian evolution followed by shorter process of non-Darwinian cultural evolution. Biologist must treat *Homo sapiens* as just one more species with long phylogeny, albeit special species characterized by brains of enormous size, with well-developed neocortex and very special mental traits being the consequence of such brain. The paper considers selection forces toward increase of this extremely expensive organ, draining at least 20% of energy. The main idea is that a series of positive feedbacks were responsible for the development of brain, correlated increase of intelligence and development of culture. Although no great breakthrough is required for such mode of

evolution, energetic constrain limiting brain size was present through large part of our evolution, which was first broken by using primitive tools for cutting meat and grinding down seeds, then by thermal processing of food. The new constrain on skull size, and correlated brain size, that is the danger of death of both mother and child during childbirth, has been partly relieved by shifting large part of brain development to postnatal period. Resulting very long childhood was a prerequisite to cultural development of our species.

Keywords

human evolution, fire and brain evolution, evolution of language, social evolution, roots of mathematics, constraints on brain size.

1. Wstęp

Karol Darwin jako pierwszy odważył się stwierdzić, że człowiek ma wspólnego przodka z małpami człekokształtnymi i powstał drogą ewolucji, opartej na losowej zmienności i doborze naturalnym, podobnie jak inne gatunki. Te poglądy przysporzyły mu więcej wrogów niż samo sformułowanie teorii ewolucji opartej na koncepcji doboru naturalnego. Warto podkreślić, że brak powszechnej akceptacji darwinowskiego modelu ewolucji, której wytworem jest też człowiek, nie wynika jedynie z pozornego konfliktu między tą teorią i religią. Opublikowana niedawno książka Jerrego Fodora i Massimo Plattelli-Palmariniego (2010, tłum. polskie 2018), deklarujących ateizm, atakuje bardzo ostro darwinowską teorię doboru naturalnego poprzez konfrontację z osiągnięciami współczesnej biologii. Obaj autorzy, niebędący biologami (Fodor był filozofem i psy-

chologiem, Plattelli-Palmarini jest kognitywistą), nie dostrzegają, że odkrycia biologii nie tylko nie stoją w sprzeczności z opartą na darwinizmie teorią ewolucji, ale przyczyniły się do jej głębszego zrozumienia i uszczegółowienia. Stawianie zarzutów zarówno Darwinowi jak i ewolucjonistom pierwszej połowy XX wieku (przed odkryciem kodu genetycznego), że ich poglądy są niekompatybilne ze współczesnymi osiągnięciami biologii, to tak, jakby stwierdzić, że teoria Kopernika jest fałszywa, gdyż nie przewiduje istnienia czarnych dziur.

To, że także ateści buntują się przeciwko darwinowskiej teorii ewolucji, nie zmienia faktu, że najpoważniejsza krytyka wynika z przesłanek religijnych. Stosunek Kościoła katolickiego do darwinowskiej teorii ewolucji ulegał stopniowym zmianom, by nie powiedzieć, ewolucji. Papież Pius XII w encyklice *Humani generis* (1950) stwierdził, że teoria ewolucji jest poważną hipotezą, która może być rozważana, ale nieprzekraczalną granicę stanowi wiara w pochodzenie wszystkich ludzi od jednej pary. Chociaż współczesne badania genetyczne wskazują na istnienie w przeszłości tzw. wąskiego gardła, pochodzenie naszego gatunku od jednej pary jest w świetle obecnej wiedzy wysoce nieprawdopodobne. Według danych molekularnych liczebność populacji *Homo sapiens* spadła lub kilkukrotnie spadała do kilku tysięcy, ale nie kilku osobników (np. Hawks i in., 2000). Papież Jan Paweł II w sławnym liście do Papieskiej Akademii Nauk z 22 października 1996 r. wyjaśnił, że prawdy religijne nie mogą zaprzeczać empirycznym badaniom naukowym, a teoria ewolucji jest czymś więcej niż hipotezą, jest poważną teorią, przy czym wyjaśnił dość precyzyjnie, czym jest hipoteza i teoria w sensie naukowym (w odróżnieniu od sensu potocznego, w którym „teoria” to coś niesprawdzonego, historyjka, przypuszczenie). Stworzenie w sensie nadprzyrodzonym rezerwuje dla ducha: „W konsekwencji, te teorie ewolucji, które inspirując się określoną filozofią uważają,

że duch jest wytworem sił materii ożywionej lub prostym epifenomenem tejże materii, są nie do pogodzenia z prawdą o człowieku” (Jan Paweł II, 1996). Znowu postawiona jest bariera, jak się wydaje nie do utrzymania w miarę rozwoju psychologii i nauki o mózgu. Zamiast powoli oddawać pole, bezpieczniej byłoby od razu uznać, że tylko dusza nieśmiertelna jest bezpośrednio stworzona przez Boga, bo jej istnienie leży poza zakresem badań przyrodniczych, nie stanowi więc pola do konfrontacji – jest kwestią indywidualnych przekonań, wiary. Również papież Benedykt XVI uważał, że alternatywa „uznawanie realności ewolucji lub wiara w Boga” jest fałszywa. Papież Franciszek mówi ciepło o ewolucji, unikając jednak szczegółowego odnośnienia się do najbardziej kontrowersyjnej kwestii ewolucji człowieka, a przede wszystkim jego duchowości.

Religie chrześcijańskie tradycyjnie traktują stworzenie człowieka jako pojedynczy akt. W rezultacie nawet akceptując ewolucyjne pochodzenie człowieka, poszukuje się wtedy wielkiego przełomu, który jeszcze-nie-człowieka przekształcił w człowieka. Celem tej pracy jest pokazanie, że w ewolucji człowieka nie było gwałtownych przełomów. Ewolucja ta z punktu widzenia biologicznego to przede wszystkim stopniowe powiększanie mózgu, ściślej – kory nowej, a jeszcze ściślej – przede wszystkim płatów czołowych. Jej siłą napędową był szereg dodatnich sprzężeń zwrotnych. Od pewnego etapu ewolucja biologiczna została zdominowana przez ewolucję kulturową, również napędzaną dodatnimi sprzężeniami zwrotnymi. Proces trwał długo, tak więc ludzie wierzący mogą mówić raczej o stwarzaniu człowieka niż o jego stworzeniu. Oczywiście stwarzaniu poprzez prawa natury, bo jak stwierdził papież Franciszek (2014): „Gdy czytamy o stworzeniu w Księdze Rodzaju, ulegamy pokusie wyobrażenia sobie Boga jako magika z czarodziejską różdżką zdolnego do zrobienia wszystkiego. Ale tak nie jest. On stworzył istoty ludzkie

i pozwolił im się rozwijać zgodnie z wewnętrznymi prawami...” – stwierdził też, jak sądzę mając na myśli prawa przyrody¹. Dla ludzi niewierzących człowiek jest jednym z gatunków zamieszkujących Ziemię, choć gatunkiem wyjątkowym i, jak się okazało, niebezpiecznym dla całej biosfery.

2. Ewolucja w kierunku zwiększania mózgu

Najbliższym żyjącym krewnym człowieka jest szympan, z którym mamy nie mniej niż 94% wspólnych genów (Demuth i in., 2006)². Drogi ewolucyjne tych dwóch gatunków rozeszły się według badań molekularnych około 7 mln lat temu. Potwierdzają to dane paleontologiczne, bo mniej więcej wtedy pojawiają się w Afryce pierwsze małpy, które przynajmniej część czasu spędzały na otwartej sawannie (Gamble, Gowlett i Dunbar, 2014, tłum. polskie 2017). Przyczyną stopniowego zasiedlania sawanny przez małpy człekokształtne były zmiany klimatyczne w późnym miocenie, które spowodowały kurczenie się lasów tropikalnych. Drzewo rodowe tych sawannowych naczelnych, od czasu oddzielenia się linii prowadzących do szympana i do współczesnego człowieka jest dość rozgałęzione, a dalsze odkrycia szczątków, niestety rzadko znajdowanych, gdyż sawanna nie jest środowiskiem sprzyjającym fosylizacji, będą przyczyną po-

¹ Słowa skierowane do członków Papieskiej Akademii Nauk 27 października 2014 r. Tłumaczenie własne.

² Wcześniejsze oszacowania mówiły o 98% wspólnych genów. Sprawa nie jest prosta. Podobieństwo wspólnych genów jest rzeczywiście ogromne, rzędu 98,5%. Wiele genów jest jednak zduplikowanych. Od chwili rozdzielenia się linii filogenetycznych z szympansem człowiek zyskał 689 i stracił 86 duplikacji, a szympan stracił 729 kopii. Autorzy uważają, że „evolucja mogła eksperymentować” z dodatkowymi kopiami zachowując funkcjonalność starych, co może tłumaczyć tak duże różnice między tymi dwoma gatunkami.

wstawiania nowych rozgałęzień. Nie jest celem tego artykułu omawianie drzewa rodowego, dlatego koncentrować się będą przede wszystkim na zaledwie kilku gatunkach, które leżą blisko linii prowadzącej do *Homo sapiens*: są to w kolejności chronologicznej *Australopithecus afarensis*, *Homo habilis* i *Homo erectus*. W toku ewolucji następowała stopniowo pionizacja i przejście do pełnej dwunożności, połączone z zanikiem chwytności stóp umożliwiającej sprawne poruszanie się na drzewach. Drugi proces, to stopniowe zmniejszanie kłów, a trzeci, najważniejszy, to powiększanie mózgu. Ponieważ to właśnie posiadanie ogromnego mózgu z dobrze rozwiniętą korą nową odróżnia *Homo sapiens* od zwierzęcych i praludzkich przodków, zajmę się siłami selekcji i ograniczeniami, które decydowały o stopniowym powiększaniu się tego organu.

Przejście do życia na otwartej przestrzeni sawanny, bardzo ubogiej w drzewa, wymagało szeregu nowych adaptacji. Jednym z wyzwania była wysoka temperatura powietrza przy bezpośredniej operacji słońca. Ponieważ promienie słońca padają w tropikach pionowo lub niemal pionowo, dwunożność zmniejszyła ilość dochodzącego ciepła do mniej więcej 1/3 w stosunku do pozycji czworonożnej. Konieczne było też wytworzenie wydajnego chłodzenia poprzez parowanie potu i duża wytrzymałość na brak wody. Kolejnym wyzwaniem była zmiana diety. Sawanna jest uboga w owoce, pokarmem musiały być zatem nasiona, owady, padlina i mięso upolowanych zwierząt. Największym problemem było jednak zagrożenie przez drapieżniki, odpędzenie innych zwierząt od padliny i obrona upolowanej zdobyczy przed zjedzeniem przez mięsożerne ssaki i ptaki. Z powodu braku zwartych drzew, na które można uciec lub zawlec upolowaną zdobycz, jedynym dostępnym mechanizmem było od-

straszanie poprzez grupową skoordynowaną akcję. Zatem liczebność grupy i jej zdolność do podejmowania skoordynowanych akcji decydowała zapewne o sukcesie.

Dwunożność miała między innymi dwa pozytywne skutki uboczne. Pierwszym jest poszerzenie horyzontu poprzez wyprostowaną postawę, a więc wcześniejsze dostrzeżenie drapieżników i potencjalnych ofiar. Drugim, uwolnienie rąk, co umożliwiło noszenie broni w postaci kija czy kamienia, lub transport upolowanej zdobyczy. Szympansy używają wprawdzie prostych narzędzi, ale ich ze sobą nie noszą – musiałyby je nosić w zębach, gdyż potrzebują wszystkich kończyn do sprawnego poruszania się. Wprawdzie wszystkie małe człokształtne potrafią poruszać się na dwóch nogach, ale czynią to niezdarnie i z dużym nakładem energii, zatem taki sposób przemieszczania się jest możliwy tylko na krótkim dystansie. Dopiero stopniowe przekształcanie kończyn dolnych i pasa biodrowego stworzyło doskonałego długodystansowego piechura jakim jest człowiek. Mamy tu zatem do czynienia z dodatnim sprzężeniem zwrotnym: początek pionizacji – możliwość pokonywania większego dystansu na dwóch nogach – nacisk selekcji na dalszą pionizację – możliwość pokonywania jeszcze większych dystansów itd. Tak najprawdopodobniej odbywało się stopniowe oddalanie od lasu tropikalnego w kierunku otwartej przestrzeni sawanny, wspomagane możliwością przenoszenia prostej broni niezbędnej na tym niebezpiecznym obszarze.

Najważniejszy był jednak nacisk selekcji na zwiększanie liczebności grupy. Łączenie się w stada jest powszechnym w przyrodzie sposobem zmniejszania presji drapieżników. Drapieżnikom trudniej jest odszukać skupione w stada ofiary, gdyż większość przestrzeni jest pusta. Nawet jeśli wytropią stado, ryzyko śmierci rozkłada się na wiele osobników i prawdopodobieństwo śmierci każdego z nich jest

niewielkie. To jest przyczyną, że planktonożerne ryby tworzą najczęściej ławice, gawrony zbierają się w stada przed odlotem na noclegowisko, a szpaki przed odlotem na południe. W takich dużych stadach nie jest konieczna osobista znajomość osobników, nie występuje zatem ograniczenie wielkości stada. Nieuniknione straty powodowane przez drapieżniki są niwelowane przez szybkie dojrzewanie i intensywne rozmnażanie.

Mały człekokszałtne, które żyły na sawannie, nie mogły tworzyć takich wielkich anonimowych stad, gdyż nie znalazłyby dostatecznie dużo pożywienia. Ponadto nie były dostatecznie płodne, a ich wzrost i dojrzewanie przebiegały zbyt wolno, by uzupełnić zadawane przez drapieżniki straty. Konieczne było zbiorowe odstraszenie i obrona, co wymaga koordynacji i wzajemnego zaufania, a zatem także osobistej znajomości poszczególnych osobników. Jak twierdzi Robin Dunbar, liczebność tego rodzaju grup jest ściśle skorelowana z wielkością mózgu, a zwłaszcza kory nowej (Dunbar, 1996, tłum. polskie 2017) lub jej płatów czołowych (Dunbar, 2014, tłum. polskie 2016). *Australopithecus afarensis* żyjący 4,2 – 3,0 mln lat temu, miał mózg o objętości 460 (przedział ufności 335 – 580) cm^3 , niewiele większy niż u szympansa (Robson i Wood, 2008). Według Dunbara (Dunbar 1996, 2016) australopiteki mogły tworzyć grupy nieprzekraczające 60 osobników, gdyż na tyle pozwalała „moc obliczeniowa” ich mózgow. Człowiek zręczny *Homo habilis*, żyjący 2,5 – 1,5 mln lat temu, miał mózg nieco większy, 609 (544 – 674) cm^3 (Robson i Wood, 2008) i mógł tworzyć grupy złożone z 70 – 80 osób (Dunbar 1996, 2016). Wielkość mózgu *Homo erectus*, który pojawił się najprawdopodobniej około 1,9 mln lat temu, zmieniała się w trakcie trwającej około 1,7 mln lat ewolucji (De Miguel i Henneberg, 2001), od 600 – 800 cm^3 do około 1000 cm^3 , co według Dunbara koreluje

z liczebnością grupy od 90 do 110 osób. Sławna liczba Dunbara, to przeciętna liczebność grupy współczesnego człowieka – około 150 osób.

Skoro większy mózg to większe bezpieczeństwo, a zatem i większy sukces reprodukcyjny, to co ograniczało powiększanie tego organu na wcześniejszych etapach ewolucji? Dlaczego większość ssaków ma małe mózgi w stosunku do wielkości ciała? Odpowiedź jest prosta: mózg jest bardzo kosztownym organem. Mózg stanowi zaledwie 2% masy dorosłego człowieka. Kuzawa i współautorzy wykazali, używając nowoczesnych metod badawczych, że mózg pochłania u nastolatka i zapewne także dorosłego około 20%, a u 5–6 latka nawet 40% energii zużywanej w ciągu dnia; w czasie spoczynku mózg dziecka może pochłaniać nawet do 60% energii (Kuzawa i in., 2014). Ewolucyjne powiększanie mózgu jest więc ograniczone dostępnością energii. Pozornie mogłoby się wydawać, że rozwiązaniem byłoby synchroniczne zwiększanie dostarczającego energii układu trawiennego. Jednak koszty utrzymania tego układu są też bardzo wysokie, byłaby to zatem droga donikąd. Jedynym rozwiązaniem była zmiana diety na lepiej przyswajalną. *Homo habilis* produkował proste narzędzia kamienne, umożliwiające rozdrabnianie mięsa i rozcieranie nasion, co zwiększyło przyswajalność pokarmu i umożliwiło umiarkowane powiększenie mózgu (Zink i Lieberman, 2016). Bez obróbki termicznej pokarmu dalsze powiększanie mózgu byłoby niemożliwe. Opanowanie ognia przypisywane jest *Homo erectus* i było zapewne procesem stopniowym. Ogień był i jest zjawiskiem naturalnym na sawannie. Dla większości zwierząt pojawienie się ognia bywa śmiertelnym zagrożeniem. Wyobraźmy sobie grupę osobników *Homo erectus*, której dzięki inteligencji udało się ująć z życiem z pożaru i poszukuje pokarmu na spalonej sawannie. Znajdują tam szczątki upieczonych zwierząt, które miały mniej szczęścia i upie-

czone bulwy roślin. Nie mając nic innego do dyspozycji, próbują tego pokarmu i odkrywają, że jest on nawet lepszy od pokarmu świeżego. Ogień stałby się już nie wrogiem, a przyjacielem. Pierwszym etapem mogło być poszukiwanie terenów wypalonych. Drugim podtrzymywanie ognia, co wymagało najprawdopodobniej podziału pracy – jedna grupa pilnowała ognia, druga zajmowała się zdobywaniem pokarmu, a także planowania z wyprzedzeniem działań, takich jak przygotowywanie paliwa na noc. Kolejny etap to zdobycie umiejętności rozpalania ognia, co wymagało już sporej inteligencji. Należało zaobserwować, że tarcie powoduje wydzielanie ciepła, skojarzyć ciepło z ogniem, dobrać odpowiednie drewno i nauczyć się kolektywnego działania – do dziś przy rozpalaniu ognia poprzez szybkie rotowanie patyka opartego na kawałku drewna osoby rozpalające „dają sobie zmianę”, gdyż jest to zbyt ciężka praca, by mógł ją wykonać pojedynczy człowiek³. Nic dziwnego, że stopniowe opanowywanie ognia zajęło około miliona lat: ślady wykorzystywania ognia pojawiają się około 1,5 mln lat temu (James, 1989), a ślady powszechnego używania ognia, co wskazuje na umiejętność jego rozpalania, datowane są na 350 tys. lat temu, być może nawet 500 tys. lat (Shimelmitz i in., 2014).

Opanowanie ognia pozwoliło na wykarmienie powiększającego się ewolucyjnie mózgu nie tylko poprzez obróbkę termiczną pokarmu, ale także poprzez oszczędzanie energii niezbędnej dla termoregulacji podczas zimnej nawet na sawannie nocy. Zwiększyło się też bezpieczeństwo, gdyż drapieżniki boją się ognia. Być może najważniejszy był jednak wpływ ognia na rozwój życia społecznego (Fodor i Piatelli-Palmarini, 2010). Noc w tropikach trwa około 12 godzin, a człowiek potrzebuje około 8 godzin snu. Pozostają więc cztery godziny, wcześniej bezużyteczne, a po opanowaniu ognia poświęcane

³ Obserwacja własna z wioski Masajów w Tanzanii.

na kultywację interakcji społecznych – do dziś zabawy przy ognisku są naszym ulubionym zajęciem. Rozwój życia społecznego stwarzał kolejną presję selekcyjną na wzrost inteligencji poprzez rozwój mózgu.

Warto wspomnieć, że gatunek *Homo erectus* osiągnął niebywały sukces dzięki rozwojowi życia społecznego. Zapewne jego liczebność wzrosła tak radykalnie, że już nie drapieżniki były głównym zagrożeniem, ale obecność sąsiadujących i konkurujących o przestrzeń grup. Pierwszy exodus z Afryki dotyczył tego właśnie gatunku; *Homo erectus* zajął ogromne obszary Eurazji. Jak się wydaje nastąpiło to około 1,9 mln lat temu, a więc jeszcze przed opanowaniem ognia (Carotenutoa i in., 2016). Wprawdzie czas wyjścia z Afryki pokrywa się z początkiem występowania tego gatunku, ale należy pamiętać o małej precyzji datowania, więc w rzeczywistości ten exodus mógł być nieco później. Jest jednak prawdopodobne, że wzrost zagęszczenia, będący bodźcem do wędrówki, trwał zaledwie kilkadziesiąt tysięcy lat. Podobnie według danych molekularnych pierwsza fala migracji z Afryki *Homo sapiens* nastąpiła nie później niż kilkadziesiąt tysięcy lat od powstania naszego gatunku, co nastąpiło około 300 tys. lat temu (259–315 tys. wg Hershkovitz, Weber i Quam, 2018; 350–260 tys. wg Schlebusch, Malmstrom i Gunther, 2017), chociaż aktualne dane paleontologiczne przesunęły tę migrację wstecz „zaledwie” do około 175 tys. lat temu (Hershkovitz, Weber i Quam, 2018).

Dalsze powiększanie mózgu natrafiło na kolejną barierę, tym razem anatomiczną. Człowiek, podobnie jak inne ssaki, ma zamkniętą miednicę ograniczającą wielkość kanału rodnego. Powiększenie kanału rodnego wymagałoby powiększenia miednicy, co z kolei upośledziłoby poruszanie się na dwóch kończynach. Wielkość kanału rodnego ogranicza dopuszczalny rozmiar puszeki mózgowej nowo-

rodka. U innych małp człekokształtnych puszcza mózgowa przechodzi bez trudu przez kanał rodny. U naszych przodków nacisk selekcji na zwiększanie mózgu (pociągające za sobą zwiększanie puszczy mózgowej) był tak silny, przy równoczesnej niemożności ewolucyjnego poszerzenia tego kanału ze względu na dwunożność, że najczęściej główka niemowlęcia jest nieco większa od kanału rodnego, przez co poród jest trudny⁴ i niebezpieczny (Rosenberg i Trevathan, 1995). Gdy wyjdzie już z łona matki główka dziecka, dalszy poród jest błyskawiczny. Do chwili wynalezienia, a właściwie udoskonalenia cesarskiego cięcia, poród często kończył się śmiercią matki, śmiercią dziecka lub – częściej – i matki i dziecka, a kończyłyby się śmiercią jeszcze częściej, gdyby nie pomoc innych (Trevathan, 2015). Wielkość noworodka, silnie skorelowana z wielkością czaszki, jest podawana w podręcznikach jako przykład selekcji stabilizującej, czyli preferującej wartości przeciętne: mniejsze od średniej noworodki miały w przeszłości niższe szanse przeżycia po urodzeniu, a większe od średniej noworodki mniejsze szanse przeżycia porodu (np. Futuyma, 2013).

Gdyby powyższe ograniczenie nie zostało przełamane, zapewne nie wyewoluowałby nasz gatunek. Sposobem na dalsze zwiększanie rozmiaru mózgu stało się przeniesienie większej części rozwoju tego organu do życia postnatalnego. Człowiek rodzi się ze znacznie mniej rozwiniętym mózgiem niż inne małpy człekokształtne, jest mniej samodzielny, rośnie wolniej i wymaga znacznie dłuższej opieki niż nasz najbliższy krewniak – szympan. Młode szympanse pomagają w opiece nad innymi młodymi już w wieku 10 miesięcy (Lawick-Goodall, 1971, tłum. polskie 1974), a rodzą pierwsze młode już w wieku średnio 11,5 (8,5–13,5) lat (Walker i in., 2018).

⁴ „Odtąd w bólu rodzić będziesz”, jak według Księgi Rodzaju usłyszał człowiek wypędzany z raj.

Powolny wzrost somatyczny człowieka wynika z braku dostatecznej ilości energii, drenowanej intensywnie przez mózg (Kuzawa i in., 2014). Ryzyko śmierci przed późnym uzyskiwaniem dojrzałości musiało być dawniej ogromne, co wskazuje, jak wielki zysk wynikał z posiadania większego mózgu.

Opóźnienie rozwoju, obarczone niewątpliwie kosztem ryzyka śmierci bez pozostawienia potomka i wielkim wysiłkiem rodziców, miało jednak także zalety: dłuższy był okres nauki, przede wszystkim zdobywania doświadczenia społecznego. Już sześćo- siedmioletki mogły uczestniczyć w sprawnym zbieraniu pokarmu; we wczesnym kapitalizmie takie dzieci szły często do pracy (np. Humphries, 2013). Nastolatki mogły uczestniczyć w polowaniu. Potrzeba było jednak szeregu lat do uzyskania dojrzałości społecznej. Podobnie jak dziś staramy się ograniczać pracę dzieci, by dać im szansę pełnego rozwoju umysłowego i społecznego, przedłużone dzieciństwo w przeszłości było zapewne motorem rozwoju społecznego.

Podsumowując, ciągła presja selekcji na zwiększanie grupy i komplikację interakcji społecznych przekładała się na selekcję w kierunku zwiększania mózgu, a więc idące za tym zwiększanie inteligencji. Mamy więc do czynienia z potężnym dodatnim sprzężeniem zwrotnym: większy mózg – wyższa inteligencja – bardziej wartościowy pokarm – możliwość utrzymania jeszcze większego mózgu – itd. Ważnym etapem tego procesu było opanowanie obróbki termicznej pokarmu. Problemy przy porodzie noworodków z dużą czaszką spowodowały przenoszenie coraz większej części osobniczego rozwoju mózgu na okres postnatalny, otwierając kolejne sprzężenie zwrotne: dłuższe dzieciństwo – wyższa inteligencja – komplikacja życia społecznego – nacisk na dalsze przedłużanie dzieciństwa. Wydaje się, że ten proces trwa do dziś, jeśli słowo „dzieciństwo” zamienimy na „zależność od rodziców”. Czy ten ostatni etap ewolucji

człowieka byłyby możliwe, gdyby nie powstał język? Duży i sprawny mózg połączony z długim dzieciństwem umożliwił też niebywałą sprawność manualną i emisję głosu, wymagającą dobrej koordynacji układu nerwowego i mięśniowego.

3. Język i myślenie

Nie jest moim zamiarem definiowanie, czym jest język. Wystarczy stwierdzenie, że język to coś więcej niż sposób porozumiewania się występujący u wielu gatunków zwierząt. Zapewne jeszcze przed powstaniem języka nasi przodkowie porozumiewali się przy pomocy gestów i dźwięków symbolizujących konkretne pojęcia. Język, ze swoim bogatym słownictwem i charakterystyczną strukturą gramatyczną jest czymś znacznie więcej. Nie ma w tej chwili w miarę zbliżonych poglądów ani co do etapów pośrednich, ani sił selekcji prowadzących do jego powstania. Przedstawione dalej poglądy mają charakter subiektywny, bez ambicji przedstawienia wyczerpującego przeglądu.

Moim zdaniem język mógł wyewoluować ze śpiewu (Kozłowski i Czarnołęski, 2016). O takiej możliwości wspomina już Darwin w swoim dziele *O pochodzeniu człowieka* (Darwin, 1871). Jeśli taki pogląd okazałby się słuszny, to nie Louis Armstrong byłby wynalazcą śpiewu bez słów (podobno zastosował ten rodzaj sztuki muzycznej, gdy upadły mu nuty z tekstem, a potem to się w jazzie przyjęło), ale nasi odlegli przodkowie. Śpiew, zwłaszcza zbiorowy, wymaga zachowania rytmu, a w tym człowiek jest mistrzem w świecie zwierząt (Gardenfors, 2010)⁵. Odstraszanie atakującego drapieżnika

⁵ Cytuję tutaj jedynie polską wersję, gdyż została ona w uzgodnieniu z autorem nieco zmieniona w stosunku do szwedzkiego oryginału.

mogło być pierwszym etapem. A potem, jak zwykle, seria dodatnich sprzężeń zwrotnych. Wyobraźmy sobie matkę zbierającą owoce, nasiona czy owady i jej nieco podrośnięte dziecko, niekoniecznie starające się już mieć matkę w polu widzenia przez cały czas. Jeśli matka śpiewa, dziecko zna jej pozycję i czuje się bezpiecznie. Jeśli dziecko śpiewa razem z nią, matka wie, gdzie jest dziecko i że jest w danej chwili bezpieczne. Skoro śpiew daje poczucie bezpieczeństwa, dlaczego nie próbować uspić dziecka przy pomocy kołysanki? Wspomnienie śpiewu dającego poczucie bezpieczeństwa towarzyszyło zapewne okresowi dojrzewania i dojrzałości. Dlaczego nie użyć takiego narzędzia w uwodzeniu? Przecież najpewniej także u partnera śpiew kojarzy się pozytywnie. Dlaczego nie przekazać w śpiewie informacji, najpierw prostych, z czasem coraz bardziej złożonych? Spory, czy śpiew powstał jako narzędzie uwodzenia, czy do usypiania dzieci, czy w jeszcze innym celu, np. koordynacji wspólnych działań (szanty), wydają mi się jałowe – jeśli śpiew powstał w swojej pierwotnej postaci i zaczął sprawiać przyjemność, mógł się już tylko udoskonalać ze wszystkich wymienionych i innych niewymienionych powodów. A wplatanie w śpiew informacji przetrwało do dziś podczas polowań z nagonką Pigmejów: gdy słucha się nagrania, nie ulega wątpliwości, że główną rolą śpiewu jest pozycjonowanie poszczególnych uczestników, ale co pewien czas ta monotonia jest przerywana śpiewnymi okrzykami mniejszych grup, zapewne informujących o napotkanych zwierzętach. Także dziś emisja głosu jest łatwiejsza w formie śpiewu niż mowy. Jeśli zdenerwowany jąkała nie może wypowiedzieć swej kwestii, najlepiej poprosić go, by ją wyśpiewał. Osoba jąkająca się może nawet profesjonalnie zajmować się śpiewem, czego przykładem jest jeden z braci Golców. Další rozwój języka polegał głównie na tworzeniu metafor z istniejących pojęć i relacji, następnie wchłanianiu przez język takich me-

tafor jako kolejnych pojęć, tworzenie dalszych metafor itd. (Smith i Hoffer, 2015). Mamy tu zatem kolejne sprzężenie zwrotne dodatnie, tyle, że dotyczące już ewolucji kulturowej.

Kiedy mogła powstać mowa? Robin Dunbar, wnioskując na podstawie niezbędnych do tego zmian w szkielecie, takich jak odpowiednie ukształtowanie kręgów piersiowych, kanału nerwu podjęzykowego i kości gnykowej, umieszcza powstanie mowy mniej więcej 500 tys. lat temu, u naszego najprawdopodobniej bezpośredniego przodka *Homo heidelbergensis* (Dunbar, 2014). Zatem byłby tej zdolności pozbawiony wcześniejszy *Homo erectus*. Jednak Rappaport i Corbally (Rappaport i Corbally, 2016) uważają, że przynajmniej prajęzykiem musiał posługiwać się już *Homo erectus*. Moim zdaniem za taką hipotezą przemawia ogromny sukces ewolucyjny tego gatunku, który wywędrował z Afryki, jak pisałem wcześniej. Trudno wyobrazić sobie taki sukces bez w miarę sprawnego porozumiewania się.

Dlaczego wyewoluował język, to kolejne pytanie. Robin Dunbar (2014) dokonuje przeglądu najczęstszych hipotez. Choć nikt nie wątpi, że język służy wymianie informacji, istnieją spory, czy ważniejsza jest wiedza instrumentalna, czy społeczna. Przeważa pogląd, że społeczna, czego dowodem ma być to, że informacje o charakterze społecznym są dla większości ludzi łatwiejsze do zapamiętania. Najczęściej przytaczane wersje hipotezy społecznej to: wymiana informacji na temat relacji społecznych; czynienie formalnych ustaleń i obwieszczeń społecznych; przywabianie i utrzymywania przy sobie partnerów. Podobnie jak w przypadku ewolucji śpiewu, tego rodzaju spory wydają się jałowe jeśli przyjmiemy, że język rozwijał się dzięki dodatnim sprzężeniom zwrotnym. Już prajęzyk służył zapewne po trochu wszystkim tym celom, stwarzając presję selekcyjną na dalszy rozwój języka.

Niewiele wiemy o tym, w jaki sposób myślą zwierzęta podejmując decyzje. Nie wiemy też do końca, jak my podejmujemy proste decyzje, na zasadzie impulsu. Jednak bardziej skomplikowane myślenie odbywa się bez wątpienia z pomocą języka. Dla optymalizacji wykonywania różnorodnych zadań istotne jest planowanie. Wydaje się, że w miarę rozwoju myślenia coraz ważniejsze było rozpatrywanie i porównywanie różnych scenariuszy, czyli tworzenie nieistniejących jeszcze potencjalnych historii. Jeśli chodziło na przykład o wybranie miejsca na polowanie, wystarczała wiedza o otaczającym świecie, miejscu występowania zwierząt, ich zachowaniu, zagrożeniach dla łowcy itp. Jeśli jednak chodziło o interakcje społeczne, konieczne było przewidywanie reakcji innych ludzi. Rozwinać się musiała zdolność zwana w psychologii teorią umysłu. Jej pierwszy stopień to „ja myślę...”, drugi, „ja myślę, że on myśli...”, trzeci, „ja myślę, że on myśli, że ja myślę...” i tak dalej, u małp do drugiego stopnia, u ludzi przeciętnie do piątego. Tak dobrze rozwinięta teoria umysłu pozwala już nie tylko na empatię (wystarczy drugi stopień), ale na stosowanie coraz bardziej skomplikowanej manipulacji innymi, i co ważniejsze, rozpoznawanie takiej manipulacji, gdy jest stosowana w stosunku do nas. Łatwo sobie wyobrazić istnienie swobodnego „ewolucyjnego wyścigu zbrojeń”, znów opartego na dodatnim sprzężeniu zwrotnym: coraz lepsze metody manipulowania – coraz lepsze metody rozpoznawania manipulacji – coraz lepsze metody manipulowania... Doniesienia, że w ostatnich latach informacje z Facebooka zostały użyte do manipulowania wynikami wyborów w kilku krajach, w tym USA, z zastosowaniem sztucznej inteligencji do badania lęków ludzi, co z kolei pozwoliło formułować odpowiednie hasła wyborcze, wskazują, że ewolucja już wprawdzie nie biologiczna, ale kulturowa, wcale się nie zakończyła.

Nie rodzimy się z umiejętnością mówienia. Początki są trudne i powolne. Dziecko żmudnie buduje swój wewnętrzny obraz świata, nazwijmy go modelem świata, poprzez własne zmysłowe doznania i ich porządkowanie. Niewiele wiemy o tym skomplikowanym procesie. W pewnym momencie dziecko potrafi już zadawać pytania i uzgadniać swój model rzeczywistości z modelami innych ludzi. Proces uczenia nabiera wtedy ogromnego przyspieszenia, a mózg pochłania ogromne ilości energii, jak pisałem wcześniej. Co ciekawe, rozwój programów opartych na sztucznej inteligencji oparty był początkowo na naśladowaniu tego drugiego okresu: tzw. sieć neuronowa (jako biolog wolę używać terminu „neuropodobna”) była trenowana. Obecnie sztuczna inteligencja w coraz większym stopniu przypomina ten pierwszy okres rozwoju osobniczego: dostatecznie złożonej sieci neuropodobnej dostarcza się dużej ilości informacji i pewnych ogólnych wskazówek, a sieć sama się uczy poprzez poszukiwanie reguł w morzu informacji. Te ogólne wskazówki odpowiadają w naszych mózgach temu, co z angielska nazywa się *hardware*, z czym już się rodzimy – nikt już chyba nie wierzy w mózg jako *tabula rasa*.

Dla sprawnego poruszania się w świecie niezbędne jest posiadanie w miarę poprawnego modelu tegoż świata oraz zdolność do generowania scenariuszy działania i możliwość w miarę bezbłędnego ich oceniania. Wewnętrzny model świata powinien być w miarę kompletny i spójny. Ponieważ zawsze brakuje nam pewnych informacji, wyewoluowała zdolność do wypełniania braków, nie zawsze w sposób w pełni racjonalny. Tak rodziły się osobiste przesady, które dzięki mowie i umiejętności opowiadania historyjek przekształcały się w mity. Mity całej wspólnoty mogły ją spajać, a więc proces samonapędzał się (znów dodatnie sprzężenie zwrotne: mity – większa spójność grupy – bardziej rozwinięte mity – jeszcze większa

spójność grupy itd.). Niewątpliwie rozmowy przy ognisku sprzyjały wypracowywaniu wspólnych poglądów, w tym przesądów i mitów, a czasem poprawnego modelu świata.

4. Trwanie w genach już nie wystarcza

Jedną z przyczyn tego, że wielu ludziom jest tak trudno zrozumieć darwinowską teorię ewolucji jest to, że losy pojedynczego osobnika są z punktu widzenia ewolucji zupełnie nieistotne. Liczy się przekazywanie genów, a każdy wariant genu znajduje się w populacji w bardzo wielu kopiach, z wyjątkiem sytuacji, gdy dany wariant powstał *de novo*. Cóż z tego, że miliony nasion brzozy nie wykiełkują, albo zginą siewki czy młode drzewka przed rozpoczęciem owocowania, jeśli jednemu uda się przetrwać i wydać plon milionkrotny? Istotne jest jedynie to, że nosiciele jednej wersji genu mają średnio tylko odrobinę większy sukces niż nosiciele innej wersji. Nieśmiertelność genów jest istotna, umieranie osobników nie ma znaczenia. W przypadku brzozy, trudno wyobrazić sobie lęk przed śmiercią. Większość zwierząt stara się uniknąć śmierci, co jest zrozumiałe – śmierć to utrata szansy na rozprzestrzenianie genów, ale tylko tyle, nie mają one żadnych jak się wydaje lęków egzystencjalnych. Są gatunki, u których śmierć jest zaprogramowana, na przykład ciało matki musi się rozerwać by uwolnić potomstwo lub rozwijające się potomstwo zjada matkę od środka. W takich sytuacjach matka, rzecz oczywista, nie będzie unikać śmierci. W miarę ewolucji naszego gatunku rosła jednak świadomość własnego „ja”, świadomość własnej unikalności, bo nie ma przecież dwóch identycznych ludzi. Choć realizowane poprzez posiadanie dzieci trwanie w genach było ciągle ważne, musiały pojawić się lęk przed zakończeniem własnego istnienia nawet wtedy,

gdzie rodzenie lub płodzenie potomstwa ze względu na wiek było już niemożliwe. Ważnym celem pierwotnych religii było zapewne łągodzenie takich lęków. Wprawdzie duchy przodków mogą dokuczać, ale ich istnienie gwarantuje, że ze śmiercią nie wszystko się kończy – można stać się takim właśnie duchem. Do dziś w religiach szamańskich osobiste nieszczęścia, takie jak choroba, głód czy śmierć bliskich, są tłumaczone ingerencją duchów, które trzeba obłaskawiać, a na pewno nie drażnić. Niewidzialny świat duchów doskonale nadawał się też do tworzenia mitów wyjaśniających zjawiska, których na tamtym etapie rozwoju ludzie nie umieli wyjaśnić racjonalnie (np. wschody i zachody słońca). Jak pisałem wcześniej, spójność i kompletność modelu świata wydaje się ważniejsza niż racjonalność.

Co ciekawe, pierwotne religie nie zajmowały się zasadami moralnymi (Noreazyan, 2013). Zapewne w stosunkowo małych grupach relacje opierały się na altruizmie krewniaczym i odwzajemnionym plus kilka tabu i wspólnie wypracowanych i zaakceptowanych reguł. Ponieważ wszyscy się znali, nie groziło niebezpieczeństwo wniknięcia do grupy tzw. jeźdźców na gapę (*free riders*) eksploatujących grupę. Dopiero rozrost społeczeństw wymusił wprowadzenie do wierzeń religijnych zasad moralnych i przypisanie bogu lub bogom funkcji wszechpotężnej kamery monitoringu („Bóg wszystko widzi”), by wymuszać, mniej lub bardziej skutecznie, przestrzeganie reguł społecznych przez poszczególne jednostki (Noreazyan, 2013). Interes całej społeczności jest przecież często sprzeczny z interesem jednostki.

Świadomość własnej indywidualności może prowadzić do decyzji nieoptymalnych z punktu widzenia rozprzestrzeniania genów. Wyobraźmy sobie dwie konkurujące strategie. Strategia A daje 20 potomków z prawdopodobieństwem 0,2, co oznacza, że 80% nosicieli tej strategii poniesie klęskę, ale średnio będzie wyprodukowanych czterech potomków. Strategia B daje 6 potomków z prawdo-

podobieństwem 50%, co oznacza, że tylko 50% nosicielei poniesie klęskę, ale średnio będzie produkowanych tylko trzech potomków. Powinna rozprzestrzeniać się w populacji strategia A jako bardziej skuteczna, i zapewne tak byłoby u prostych zwierząt. Jest jednak wysoce prawdopodobne, że ludzie będą chętniej wybierać strategię B, gdyż minimalizuje ona szansę indywidualnej przegranej (Kozłowski i Czarnołęski, 2016).

Powyższy przykład powinien uświadomić, że nasze mózgi nie są komputerami wyliczającymi optymalny sposób zachowania. W mózgach istnieje prosty mechanizm nagrody i kary. Nie uprawiamy seksu, by świadomie rozprzestrzeniać geny, lecz dlatego, że seks sprawia przyjemność. Nie jemy, by uniknąć śmierci, lecz dlatego, że głód sprawia dyskomfort lub ból, a sytość – uczucie przyjemności. Proste reakcje są wrodzone, co może prowadzić do ewolucyjnych pułapek. Dla naszych przodków cukier był pożyteczną rzadkością, spotykaną w niewielkiej ilości w owocach, dlatego jedzenie słodkich rzeczy sprawiało przyjemność. Dalej większość ludzi lubi słodkie, ale cukru jest pod dostatkiem i nadmiar może nam szkodzić. Podobnie z tłuszczem – mięso dzikich zwierząt jest bardzo chude, tłuszcz był więc słusznie pożądanym. Dziś jego nadmiar może szkodzić, a i tak lubimy jeść tłusto (Konarzewski, 2015). Opisane reakcje są wrodzone, ale układ nagrody i kary można też trenować, niestety zarówno w dobrym jak i złym kierunku⁶.

⁶ W fantastyczno-naukowej książce A. Huxleya *Nowy wspaniały świat* klonowane dzieci wychowywane na robotników były rażone prądem, gdy pokazywano im rzeczy piękne, na przykład kwiaty. W ten sposób zabijano w nich wrażliwość na piękno. Trochę mniej drastyczne zjawiska zdarzają się niestety przy wychowywaniu dzieci także w realnym świecie.

5. Wielki wynalazek ewolucyjny – plemię

Według Robina Dunbara (2014) hierarchia kształtowała się w pierwotnych grupach ludzkich następująco: (1) grupa wsparcia (*support clique*), zapewne najczęściej rodzina – przeciętnie około 5 osób, (2) grupa przyjaciół (*sympathy group*), zapewne najczęściej poszerzona rodzina – około 15 osób, (3) zespół lub grupa wspólnie nocująca (*band or overnight camp*) – około 50 osób, (4) klan – około 150 osób, megazespół (*megaband*) – około 500 osób, plemię (*tribe*) – około 1500 osób. Taka struktura wynika z potrzeby tworzenia koalicji i sojuszy. Grupa (2) to grupa przyjaciół, na których można liczyć, że w sytuacji konfliktowej przyjdą z pomocą. Podczas zbierania pokarmu grupy (2) przemieszczały się razem, choć kobiety miały tendencję do łączenia się w większe grupy, co wiadomo z obserwacji nielicznych do dziś lub niedawna żyjących plemion zbieracko-łowieckich. Przeciętnie trzy takie grupy łączyły się ze sobą, by spędzić noc, co zapewniało bezpieczeństwo i swobodne interakcje przy ognisku. Grupy wspólnie nocujące były dość labilne, ich składowe wymieniały się (Dunbar, 2014).

Klanowi przypisuje się różnorodne funkcje, przy czym najważniejszą wydaje się być obrona terytorium przed innymi grupami. Moim zdaniem klany odgrywały także pierwszorzędną rolę przy zawieraniu małżeństw, czym Dunbar się w sposób szczególny nie zajmuje. U wszystkich zwierząt socjalnych istnieje problem unikania *inbredu*, czyli chowu wsobnego, ze względu na jego genetyczną szkodliwość. Najczęstszym rozwiązaniem jest opuszczanie grupy przez osobniki jednej płci, przeważnie samce, choć u naszego najbliższego krewnego szympansa – samice (Pusey, 1990), z chwilą dochodzenia do dojrzałości. Skoro w liczbie siła, jest to ogromna strata dla grupy. Znacznie lepszym rozwiązaniem byłoby unikanie inbredu bez opusz-

czania grupy przez jedną z płci. Gdyby kojarzenie było losowe, grupa musiałaby liczyć około 500 osobników. Jednak w grupach ludzkich i praludzkich genealogia była znana, można więc było unikać kojarzenia w pokrewieństwie. Istnieje wręcz tabu kazirodztwa we wszystkich kulturach, choć nie jest w stu procentach skuteczne. Wydaje się, że przy takich warunkach grupa 150 osób jest wystarczająca dla wymiany partnerów bez ryzyka upośledzenia genetycznego z powodu chowu wsobnego.

Tworzenie większych grup (plemię i większe społeczności, takie jak organizmy państwowe) było i jest ograniczone do naszego gatunku. Musimy pamiętać, że po eksplozji demograficznej, która nastąpiła około 100 tys. lat temu, walki terytorialne musiały być intensywne. Prawdopodobnie przetrwały tylko te grupy ludzkie, które potrafiły wytworzyć plemiona. Plemię zajmuje duży teren, posiada wspólny język, wspólne mity i obyczaje. Spójność plemienia zapewniały święta, podczas których spotykali się przedstawiciele różnych klanów. Ponieważ przeciętne pokrewieństwo w obrębie plemienia jest niskie i nie mógł działać altruizm krewniaczy, zapewne zawierano też umowy regulujące stosunki pomiędzy poszczególnymi klanami, w tym dotyczące korzystania z zasobów. Najważniejszym zadaniem plemienia była wspólna obrona, nie w sytuacji drobnych konfliktów, bo wtedy siła klanu była wystarczająca, ale podczas wojen o terytoria z innymi plemionami.

6. W drodze ku globalizacji

Dlaczego mamy dziś do czynienia z tak szybkim postępem technicznym, a w przeszłości postęp ten był powolny lub niesłychanie powolny? Wszelkie uzdolnienia mają z grubsza rozkład normalny.

Oznacza to, że osoby bardzo zdolne w jakimś konkretnym kierunku w małych grupach pojawiały się bardzo rzadko. W dodatku takie osoby mają często deficyty w innym kierunku, mogą być nie najlepiej przystosowane do codziennego życia. Małe grupy nie były w stanie utrzymać „dziwaków”, ciągle wymyślających coś nowego, zamiast stosowania istniejących technologii.

Prawdziwy postęp wymaga wymiany myśli. Jak pisał John Ziman (1972), Robinson Crusoe mógł na bezludnej wyspie uprawiać sztukę lub religię, ale nie naukę. Szansa, że w małej grupie pojawi się równocześnie kilka osób uzdolnionych w tym samym kierunku, mogących wymieniać się myślami i pomysłami, jest praktycznie równa zero. Tak więc dla postępu, który można by już nazwać nauką, potrzebne były wielkie grupy, już nie plemiona, lecz państwa. W XX wieku nauka stała się aktywnością globalną. Nie powinniśmy się zatem dziwić, że jej rozwój tak drastycznie przyspieszył. Nie powinniśmy się też dziwić, że nasze ukształtowane w paleolicie mózgi nie zawsze nadążają za rozwojem nauki i techniki. Media społecznościowe są wykwitem postępu naukowego, ale ich popularność wynika stąd, że nasze paleolityczne mózgi są nastawione przede wszystkim na relacje socjalne.

Postęp naukowo-techniczny był też od pewnego momentu uzależniony od rozwoju matematyki. Jej powstanie i rozwój to kolejna zagadka ewolucji naszego gatunku, omówiona bardzo pobieżnie w następnym rozdziale.

7. Skąd się wzięła matematyka?

Zdolność człowieka do tworzenia matematyki to wielka ewolucyjna zagadka. Matematyka ma niewątpliwie coś wspólnego zarówno

z muzyką⁷⁸ jak i mową, gdyż matematyka jest specyficznym językiem. W tych trzech dziedzinach kreowane są potencjalnie nieskończone łańcuchy złożone z niewielu prostych symboli, możliwe do odczytania i powtórzenia przez odbiorcę. Jest wysoce prawdopodobne, że te trzy rodzaje aktywności są obsługiwane przez te same lub zbliżone obszary mózgu (Hauser i Watumull, 2016). Jeśli zwierzęta potrafią określać liczebność obiektów, to zapewne nie więcej niż do czterech, gdyż przeciętny człowiek potrafi bez liczenia intuicyjnie powiedzieć, czy mamy do czynienia z jednym, dwoma, trzema czy czterema obiektami, powyżej tej liczby zaczyna objekty zliczać używając innych metod. Jest też w stanie śledzić niezależnie do czterech obiektów. To jeszcze nie matematyka, ale jakiś początek. Liczenie obiektów mogło mieć znaczenie przy uczciwym dzieleniu na przykład znalezionych przez grupę orzechów na wszystkich jej członków. Mogły tak być też odkryte liczby pierwsze – pewna liczba orzechów mogła być podzielona uczciwie tylko wtedy, gdy wielkość grupy była taka sama jak liczba orzechów (każdy dostawał po jednym, czyli liczba była podzielna przez 1 i siebie). Może nawet ułamki powstawały przy podziale zdobyczy? Przecież nie zawsze liczba orzechów była podzielna przez liczbę ludzi. Porównywanie liczebności zbioru

⁷ Można znaleźć bardzo wiele artykułów na temat związków między muzyką i matematyką.

⁸ Studia nad związkami muzyki i matematyki prowadzone były już w starożytnych kulturach. W myśli zachodnioeuropejskiej znaczący wpływ na rozumienie związków matematyki i muzyki wywarły koncepcje wytworzone w szkole pitagorejskiej. Średniowiecze przejęło w dużej mierze starożytne podejście, czego zinstytucjonalizowanym wyrazem stało *quadrivium* traktowane jako zespół czterech nauk matematycznych, a wchodząca w ich skład muzyka była nauką o liczbach odnajdywanych w dźwiękach (Kasjodor, Izydor z Sewilli). Studia nad związkami muzyki i matematyki rozwinęły się znacząco w XX wieku pod wpływem rozwoju teorii muzyki jak i samej koncepcji nowej muzyki (zob. np. Brożek, 2002). Istnieje nawet czasopismo *Journal of Mathematics and Music* odnotowane m.in. na wysokiej pozycji w rankingu naukowych czasopism z zakresu muzyki bazy Scopus (przyp. red.).

rów mogło być pomocne przy ocenianiu szans w walce. Proste pojęcia geometryczne, być może nawet nie do końca uświadomione, pomagają w orientacji przestrzennej. Na przykład okrąg wyznaczać może to, do czego możemy sięgnąć ręką, albo okrąg światła ogniska. Prosta, to kierunek na przykład od domu do drzewa, a odcinek, to część tej prostej. Przyszłe badania wykażą zapewne, w jakim stopniu zwierzęta mają rozwinięty zmysł geometryczny, bo przecież doskonale orientują się w terenie: pies „zna” zapewne twierdzenie, że suma przyprostokątnych jest dłuższa niż przeciwprostokątna, bo zawsze ciągnie nas na skróty. W przypadku ludzi tabliczki z napisem „szanuj zieleni” nie zapobiegają wydeptywaniu ścieżek na skróty, bo czujemy dyskomfort nakładając drogi.

Tzw. kość z Ishango znajdująca się obecnie w Muséum des sciences naturelles w Brukseli, pochodzi sprzed co najmniej 22 000 lat (Brooks i Smith, 1987). Są na niej trzy kolumny nacięć. Pierwsza zawiera nacięcia będące liczbami pierwszymi 11, 13, 17, 19. Druga zawiera reguły mnożenia przez dwa: 3 i 6, 4 i 8, 10 i dwa razy 5. Czwarta zawiera zaś liczby 10+1, 10-1, 20+1, 20-1.

Matematyka rozwijała się wolno, krok po kroku, często te same odkrycia dokonywane były niezależnie w różnych kulturach. Jako przykład może służyć dodanie zera do zbioru liczb naturalnych. Nowe koncepcje matematyczne dodawane są jakby na szczycie piramidy utworzonej już wcześniej, co jest analogią do rozwoju języka poprzez metafory. Nie wydaje się, by do tworzenia i rozumienia matematyki potrzebne były inne struktury mózgu, jak te służące muzyce i mowie. Niezbędny jest jednak trening, przy czym nie da się

przeskakiwać etapów⁹. Trening ten, odbywający się w procesie edukacji, jest połączony z dużym wysiłkiem i nie każdemu wystarcza zdolności, motywacji i uporów, by wspiąć się na szczyt. Jest to zrozumiałe, gdyż matematyka przechodzi stopniowo od prostych relacji, dla których łatwo jest znaleźć odniesienia w realnym świecie, do coraz bardziej abstrakcyjnych pojęć. Indywidualne uczenie się matematyki jest w znacznym stopniu rekapitulacją historii matematyki.

Poza rozróżnianiem zbiorów kilkuelementowych i jakąś prymitywną geometrią zapisaną w naszych mózgach, matematyka jest wytworem kultury, nie biologii. Bez rozwoju matematyki nie rozwijałyby się cywilizacje, a postęp techniczny zatrzymałby się na niskim poziomie, albo był niezwykle powolny. Nie ma skuteczniejszego języka do opisywania skomplikowanych zależności niż język matematyki.

8. Konkluzja

W ewolucyjnej historii człowieka, od australopiteków do *Homo sapiens*, nie było gwałtownych przełomów. Prawdopodobnie stosunkowo szybko środowisko społeczne stało się ważniejsze niż środowisko przyrodnicze. Ewolucyjny rozwój praludzi, a potem ludzi, był napędzany przez szereg dodatnich sprzężeń zwrotnych. Najważniejszym z nich było sprzężenie: większy mózg – bardziej skomplikowane życie społeczne – nacisk selekcji na jeszcze większy mózg. Wzrastająca „moc obliczeniowa” mózgu umożliwiła powsta-

⁹ W naszym szkolnictwie nie powtarza się pierwszych klas. Może to być jedną z przyczyn postępującego analfabetyzmu matematycznego: gdy dziecko przejdzie do drugiej klasy nie opanowawszy materiału z matematyki z klasy pierwszej, może już dalej niewiele rozumieć. Rozwiązaniem byłaby indywidualizacja zajęć z matematyki.

nie i stopniowy rozwój języka, co spowodowało, że ewolucja kulturowa, oparta na niedarwinowskim mechanizmie, coraz bardziej dominowała nad ewolucją biologiczną. Obecny niesłychanie szybki rozwój naukowo-techniczny zawdzięczamy globalizacji nauki oraz wspomagananiu naszych mózłów przez komputery, w coraz większym stopniu posługujące się sztuczną inteligencją. Lepsze niż obecnie zrozumienie interakcji między ewolucją biologiczną i kulturową jest jednak niezbędne do wyjaśnienia „niesamowitych właściwości człowieka jako gatunku” (Bielicki, 2004).

Podziękowania Dziękuję dwóm anonimowym recenzentom za cenne uwagi do wcześniejszej wersji maszynopisu, jednak za wszelkie niedociągnięcia w obecnej wersji odpowiadam sam.

Bibliografia

- Bielicki, T., 2004. O pewnych niesamowitych właściwościach człowieka jako gatunku. *Nauka*, (1), ss. 57–63.
- Brooks, A. i Smith, C., 1987. Ishango revisited: new age determinations and cultural interpretations. *The African Archaeological Review*, 5, ss. 65–67.
- Brożek, A., 2002. Rozwój nauki a filozofia nowej muzyki. *Semina Scientiarum*, 1, ss. 43–51.
- Carotenuto, F. i in., 2016. Venturing out safely: the biogeography of *Homo erectus* dispersal out of Africa. *Journal of Human Evolution*, 95, 1–12.
- Darwin, C., 1871. *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*. London: J. Murray.
- De Miguel, C. i Henneberg, M., 2001. Variation in hominid brain size: how much is due to method? *HOMO – Journal of Comparative Human Biology*, 52, ss. 3–58.

- Demuth, J. i in., 2006. The evolution of mammalina gene families. *PloS One*, 1, s. 85.
- Dunbar, R., 1996. *Grooming, Gossip and the Evolution of Language*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Dunbar, R., 2014. *Human Evolution*. London: Penguin Books, Ltd.
- Dunbar, R., 2016. *Człowiek. Biografia* (Ł. Lamża. Tłum.). Kraków: Copernicus Center Press.
- Dunbar, R., 2017. *Pchły, plotki a ewolucja języka* (T. Pańkowski. Tłum.). Kraków: Copernicus Center Press.
- Fodor, J. i Piatelli-Palmarini, M., 2010. *What Darwin Got Wrong*. New York: Picador.
- Fodor, J. i Piatelli-Palmarini, M., 2018. *Błąd Darwina* (M. Gokieli. Tłum.). Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Francis, 2014. *Address of His Holiness Pope Francis on the Occasion of the Inauguration of the Bust in Honour of Pope Benedict XVI (Plenary Session of the Pontifical Academy of Sciences)* [Online]. Dostępne na: <http://w2.vatican.va/content/francesco/en/speeches/2014/october/documents/papa-francesco_20141027_plenaria-academia-scienze.pdf> [ostatni dostęp: 7 grudnia 2018].
- Futuyma, D., 2013. *Evolution*. 3 wyd. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc.
- Gamble, C., Gowlett, J.A.J. i Dunbar, R.I.M., 2014. *Thinking Big: How the Evolution of Social Life Shaped the Human Mind*. OCLC: 880685676. London: Thames & Hudson.
- Gamble, C., Gowlett, J.A.J. i Dunbar, R.I.M., 2017. *Potęga mózgu: jak ewolucja życia społecznego kształtowała ludzki umysł* (R. Kosarzycki. Tłum.). Kraków: Copernicus Center Press.
- Gardenfors, P., 2010. *Jak Homo stał się sapiens* (T. Pańkowski. Tłum.). Warszawa: Wydawnictwo Czarna Owca.
- Hauser, M.D. i Watumull, J., 2016. The Universal Generative Faculty: The source of our expressive power in language, mathematics, morality, and music. *Journal of Neurolinguistics* [Online], 43, ss. 78–94. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2016.10.005> [ostatni dostęp: 7 grudnia 2018].

- Hawks, J., Hunley, K., Lee, S.-H. i Wolpoff, M., 2000. Population bottlenecks and Pleistocene human evolution. *Molecular Biology and Evolution*, 17, ss. 2–22.
- Hershkovitz, I., Weber, G. i Quam, R., 2018. The earliest modern humans outside Africa. *Science*, 359, ss. 456–459.
- Humphries, J., 2013. Childhood and child labour in the British industrial revolution. *The Economic History Review* [Online], 66(2), ss. 395–418. Dostępne na: <https://doi.org/10.1111/j.1468-0289.2012.00651.x> [ostatni dostęp: 7 grudnia 2018].
- James, S., 1989. Hominid use of fire in the Lower and Middle Pleistocene: a review of the evidence. *Current Anthropology*, 30, ss. 1–26.
- Jan Paweł II, 1996. *Message du Saint-Père Jean-Paul II aux membres de l'Assemblée plénière de l'Académie Pontificale des Sciences* [Online]. Dostępne na: https://w2.vatican.va/content/john-paul-ii/fr/messages/pont_messages/1996/documents/hf_jp-ii_mes_19961022_evoluzione.html.
- Konarzewski, M., 2015. *Na początku był głód*, Warszawa: Państwowy Instytut Wydawniczy.
- Kozłowski, J. i Czarnołęski, M., 2016. From ape to Einstein: some speculations on the evolution of morality, mind, and cooperation in humans. W: Stelmach, J., Brożek, B. i Kwiatek, Ł. red. *The Normative Mind*. Kraków: Copernicus Center Press.
- Kuzawa, C., Chugani, H., Grossman, L. i Lipovich, L., 2014. Metabolic costs and evolutionary implications of human brain development. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111, ss. 13010–13015.
- Lawick-Goodall, J., 1971. *In the Shadow of Man*. London: Collins.
- Lawick-Goodall, J., 1974. *W cieniu człowieka* (G. Bujalska-Grüm i L. Grüm. Tłum.), seria: *Biblioteka Problemów*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Noreazyan, A., 2013. *Big Gods: How Religion Transformed Cooperation and Conflict*. Princeton: Princeton University Press.

- Pius XII, 1950. *Humani generis* [Online]. Dostępne na: <http://w2.vatican.va/content/pius-xii/en/encyclicals/documents/hf_p-xii_enc_12081950_humani-generis.html>.
- Pusey, A.E., 1990. Behavioural changes at adolescence in chimpanzees. *Behaviour*, 115(3), ss. 203–246.
- Rappaport, M. i Corbally, C., 2016. Did morality first evolve in *Homo erectus*? *Philosophical Problems in Science (Zagadnienia Filozoficzne w Nauce)*, 61, ss. 105–131.
- Robson, S.L. i Wood, B., 2008. Hominin life history: reconstruction and evolution. *Journal of Anatomy*, 212(4), ss. 394–425.
- Rosenberg, K. i Trevathan, W., 1995. Bipedalism and human birth: the obstetrical dilemma revisited. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 4(5), ss. 161–168.
- Schlebusch, C., Malmstrom, H. i Gunther, T., 2017. Southern African ancient genomes estimate modern human divergence to 350,000 to 260,000 years ago. *Science*, 358, ss. 652–655.
- Shimelmitz, R. i in., 2014. ‘Fire at will’: the emergence of habitual fire use 350,000 years ago. *Journal of Human Evolution* [Online], 77, ss. 196–203. Dostępne na: <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2014.07.005> [ostatni dostęp: 7 grudnia 2018].
- Smith, A. i Hofler, S., 2015. The pivotal role of metaphor in the evolution of human language. W: Vera, J. red. *Metaphor and Metonymy across Time and Cultures: Perspectives on the Sociohistorical Linguistics of Figurative Language*. Berlin: de Gruyter Mouton.
- Trevathan, W., 2015. Primate pelvic anatomy and implications for birth. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 370, s. 20140065.
- Walker, K., Walker, C., Goodall, J. i Pusey, A., 2018. Maturation is prolonged and variable in female chimpanzees. *Journal of Human Evolution*, 114, ss. 131–140.
- Ziman, J., 1972. *Spółczesność nauki. seria: Biblioteka Myśli Współczesnej* (E. Krasieńska. Tłum.). Warszawa: Państwowy Instytut Wydawniczy.

Zink, K.D. i Lieberman, D.E., 2016. Impact of meat and Lower Palaeolithic food processing techniques on chewing in humans. *Nature* [Online], 531(7595), ss. 500–503. Dostępne na: <https://doi.org/10.1038/nature16990>.

Aktualne problemy medycyny – technika czy etyka?

Wojciech Płazak

Klinika Chorób Serca i Naczyń, Collegium Medicum,
Uniwersytet Jagielloński

Contemporary problems in medicine – technique or ethics?

Abstract

Technical and pharmacological revolution in contemporary medicine has not resolved the ethical problems that seem to be more relevant today than ever before. Most of the papers that concern medical ethics focus on ‘great’ problems, such as human genome sequencing, organisms cloning and quantitative or qualitative interference with life creation. This article, however, describes practical ethical problems that the doctors face in every-day practice. First of all, the problem of how the standards of prophylaxis and treatment should be established when the costs exceed financial possibilities of a health system. Secondly, how to face the problem of rare diseases when the cost of a single patient treatment may be equal to the whole medical department budget. Thirdly, how to proceed with elderly patients with multiple diseases qualified for invasive procedures. All of these examples share the common base: in these cases the technical equipment is at our disposal, yet we cannot or we do not want to use it.

Keywords

medical ethics, medical standards, medical financing, rare diseases, elderly patients.

Dynamiczny rozwój medycyny powoduje systematyczne wydłużanie czasu trwania ludzkiego życia oraz poprawę jego komfortu. Powstają nowe leki, stosujemy nowe procedury diagnostyczne i terapeutyczne, które umożliwiają skuteczniejsze leczenie chorób. Przykładem może być zawał serca. Przed 30 laty chory z rozpoznany świeżym zawałem serca był leczony farmakologicznie, następnie wdrażano długotrwałą rehabilitację. Stopień uszkodzenia serca, do którego dochodziło podczas zawału był duży, ilość zgonów wśród chorych przyjętych do szpitala – wysoka. Obecnie chory ze świeżym zawałem serca jest natychmiast po zgłoszeniu transportowany do najbliższego zakładu hemodynamiki (karetka pogotowia, śmigłowiec), gdzie wykonywany jest diagnostyczny zabieg koronarografii. Podczas tego zabiegu stwierdza się, które tętnice wieńcowe są zamknięte lub krytycznie zwężone, jednocześnie wykonuje się ich udrożnienie i poszerzenie. Zdarza się często, że zabieg wykonywany jest tak szybko od rozpoczęcia objawów zawału, że serce chorego nie jest uszkodzone, co wpływa na możliwość szybkiego wypisu ze szpitala (nawet następnego dnia), a rokowanie pacjenta z nieuszkodzonym sercem jest dobre.

Pomimo zdecydowanego postępu medycyny, szczególnie technik zabiegowych, ilość problemów powstających wokół ochrony zdrowia jest bardzo duża. Swoje niezadowolenie zgłaszają zarówno pacjenci, jak i lekarze. Poniżej postaram się przybliżyć podstawowe problemy, z którymi styka się lekarz w swojej codziennej praktyce. Moje spojrzenie jest praktyczne, jako lekarza, który od ponad 20 lat zajmuje się leczeniem pacjentów w dziedzinie chorób wewnętrznych, kardiologii oraz intensywnej terapii. Jak zobaczymy, praktyczne trudności wiążą się z koniecznością podejmowania decyzji o charakterze

etycznym. Nawet wówczas, gdy problemem jest niska dostępność sprzętu lub leków, jego podstawa leży w etycznej decyzji społeczeństwa o ilości środków przeznaczonych na ochronę zdrowia.

1. Problemy „wielkie”, problemy codzienne

Etyczne problemy medycyny, o których słyszymy w mediach, to przede wszystkim kwestie, które nazwałbym „wielkimi” problemami współczesnego człowieka. Sporo miejsca poświęca się sprawom sekwencjonowania genomu ludzkiego, klonowaniu organizmów czy ilościowej i jakościowej ingerencji w kreację życia. Etyczna waga tych problemów jest bardzo istotna, i to właśnie im poświęcone są publikacje zajmujące się etyką medyczną. Jednak w codziennej praktyce nie mają one znaczenia – lekarze praktykujący w ośrodkach uniwersyteckich, szpitalach miejskich czy poradniach nie prowadzą na co dzień terapii genetycznych i nie klonują organizmów. Nie na te tematy chciałbym zatem zwrócić uwagę. Pozwolę sobie jedynie na krótki komentarz. Często medialność problemu (czy sposób przedstawienia istotności problemu w środkach masowego przekazu) są większe, niż jego rzeczywista waga. Wiele na przykład pisano na temat przełomu, który nastąpi po zsekwencjonowaniu genomu ludzkiego. Genom zsekwencjonowano i medialna burza ucichła, bowiem nic szczególnie się nie zmieniło. Od otrzymania samej informacji o kolejności par zasad w DNA poszczególnych ludzi bardzo bowiem daleko do możliwości ingerencji genetycznej o znaczeniu klinicznym. Osoby pozostające pod wrażeniem faktu sklonowania owcy jako istotnego jakościowo przełomu w rozwoju ludzkości (tak w niektórych mediach było to przedstawiane) trzeba uświadomić, że klonowanie ssaków jest rzeczywiście pewnym osiągnięciem technicz-

nym, ontologicznie jednak nie ma w tym niczego nowego: klonami zawierającymi tę samą informację genetyczną są bliźnięta jednojajowe, których wiele szczęśliwie chodzi po świecie. Oczywiście wykorzystanie techniki klonowania do tworzenia kopii organizmów, czy wreszcie ingerencja jakościowa w kreację życia budzą uzasadniony sprzeciw. Bez względu na światopogląd musimy się zgodzić, że nie człowiek stworzył życie i – jak sądzę – w dalszym ciągu nie jest jego twórcą, a co najwyżej współtwórcą, zatem jakakolwiek ingerencja w tej dziedzinie musi być poprzedzona dogłębnym namysłem etycznym.

Pozostawiając wspomniane powyżej „wielkie” problemy etyki medycznej, chciałbym skupić się na tych, które wymagają od lekarza podejmowania decyzji w codziennej praktyce. Szczególnego miejsca wymagają: wybór sposobu diagnostyki i terapii wobec dostępnych środków oraz odstępianie od leczenia teoretycznie możliwego.

2. Konieczność wyboru terapii wobec dostępnych środków

Gdyby zapytać lekarzy i pacjentów, czy w medycynie brakuje obecnie środków finansowych, odpowiedź byłaby jednogłośnie: tak. Ilość środków przeznaczonych na ochronę zdrowia jest – w stosunku do potrzeb – zbyt niska. Zwiększenie nakładów spowodowałoby poprawę profilaktyki chorób, zwiększyłyby rozpoznawalność chorób i poprawiło wyniki ich leczenia. Rzeczywisty problem jednak jest głębszy. Trzeba zdać sobie sprawę z faktu, że środków finansowych w ochronie zdrowia zawsze będzie zbyt mało, niezależnie od nakładów. Jest tak w każdym kraju świata, niezależnie od sposobu finansowania ochrony zdrowia. Dlaczego?

Zacznijmy od profilaktyki. Zasady postępowania profilaktycznego obowiązujące u dzieci, następnie u pracowników zakładów pracy, a także zalecane sposoby wykonywania badań kontrolnych i przesiewowych w populacji ogólnej, są wynikiem analizy koszt-efektywność, są zatem wypadkową możliwości finansowych systemu opieki zdrowotnej oraz skuteczności tych metod. Dla przykładu, w ramach badań przesiewowych u osób dorosłych do niedawna powszechnie wykonywano w odstępach kilkuletnich zdjęcie radiologiczne klatki piersiowej. Obecnie takiej profilaktyki się szeroko nie stosuje: powodem jest niepełna skuteczność w wykrywaniu chorób nowotworowych płuc czy gruźlicy, narażenie (choć minimalne) na promieniowanie rentgenowskie, ale także koszty. Ze względu na koszty ilość badań laboratoryjnych wykonywanych systematycznie u pracowników zakładów pracy w ciągu ostatnich lat zdecydowanie się zmniejsza. Zwróćmy teraz uwagę na fakt powstania nowych możliwości diagnostycznych. Obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego jest, w przeciwieństwie do promieniowania rentgenowskiego, techniką bezpieczną dla organizmu, a przede wszystkim bardziej wydolną w wykrywaniu patologii w stosunku do klasycznych zdjęć radiologicznych. Z punktu widzenia korzyści w profilaktyce zdrowotnej okresowe (np. coroczne) wykonywanie badania MR całego ciała byłoby niezwykle cenne. Takie zalecenie jednak nie pojawia się, łatwo bowiem oszacować, że – wyceniając badanie na 700–800 zł – dla Polski koszt takiego przedsięwzięcia to około 30 miliardów złotych rocznie. Gdyby jednak środki finansowe się pojawiły, okresowe badanie MR mogłoby być równie często stosowane, jak np. kontrola stomatologiczna. Mamy jeszcze inne, skuteczniejsze metody diagnostyki. W zakresie chorób nowotworowych jest taką metodą pozytronowa tomografia emisyjna (PET). To technika jeszcze droższa od rezonansu magnetycznego. Gdyby tylko zwiększyć

odpowiednio nakłady na ochronę zdrowia, okresowe populacyjne badania PET mogłyby drastycznie obniżyć ilość zbyt późno rozpoznanych chorób nowotworowych. Zwiększenie nakładów na obrazowe badania profilaktyczne przyniosłoby dodatkowe obciążenie dla budżetu: zwiększona ilość rozpoznawanych chorób spowodowałaby wzrost środków koniecznych dla ich leczenia. Profilaktyczne badania obrazowe to tylko przykład możliwych do wprowadzenia sposobów poprawy wczesnej wykrywalności chorób. Jak widać, korzyści z takich zmian byłyby olbrzymie, ale konieczne do poniesienia koszty zbyt duże. Wniosek jest jeden: niezależnie od ilości dostępnych środków, problem konieczności wyboru metod profilaktyki i terapii będzie istniał. Ograniczeniem nie są tu możliwości techniczne. Dostępne metody nie mogą i nie będą mogły być nigdy w pełni wykorzystane. Decyzją natury etycznej pozostanie, zarówno w przypadku indywidualnego kontaktu lekarz-pacjent, jak i na poziomie prawodawczym, jakie sposoby profilaktyki będą stosowane.

Ograniczona ilość środków w ochronie zdrowia jest także przyczyną konieczności wyboru terapii, którą możemy zastosować u danego chorego. Jest to, w porównaniu do profilaktyki, o tyle naglące i moralnie angażujące, że oto stoi przed nami chory człowiek. Podjęcie szybkiej decyzji ma istotne dla jego rokowania znaczenie.

Konieczność wyboru sposobu terapii dotyczy nie tylko decyzji indywidualnych, ale także ogólnych zasad kwalifikacji chorych do procedur leczniczych. Większość chorych konsultowanych przez lekarzy ma schorzenia typowe, leczenie jest łatwo dostępne i stosunkowo tanie. Istnieją jednak przypadki, gdy lekarz rozpozna chorobę, której leczenie jest bardzo drogie. Dotyczy to przede wszystkim tzw. chorób rzadkich, o częstości występowania poniżej 5 na 100 000 osób. Choć każda z chorób rzadkich występuje sporadycznie, olbrzymia ilość ich rodzajów (5856 chorób aktualnie wymienionych

w bazie internetowej Orphanet) powoduje, że ilość chorych w tej grupie jest duża. Tabela 1 obrazuje przykłady częstości występowania wybranych chorób i rocznych kosztów leczenia jednego pacjenta w Wielkiej Brytanii.

Choroba	Ilość chorych	Średni roczny koszt leczenia jednego chorego w funtach angielskich
nadciśnienie tętnicze	16 000 000	70
astma oskrzelowa	5 100 000	80
schizofrenia	260 000	1 200
hemofilia A	5 000	35 000
przewlekła białaczka szpikowa	2 600	25 000
choroba Gauchera	270	100 000
choroba Fabry'ego	100	120 000
mukopolisacharydoza typ 1	130	360 000

Tabela 1: Częstość występowania wybranych chorób i roczny koszt leczenia jednego pacjenta w Wielkiej Brytanii (*NICE Citizens Council Report. Ultra Orfan Drugs*, 2004).

Istnieją także choroby występujące bardzo często, dla których w ostatnich latach pojawiły się nowe – lecz drogie – metody leczenia. W tym przypadku olbrzymie społeczne koszty leczenia nie wynikają z ceny leku dla indywidualnego chorego, ale z dużej liczby chorych. Dobrym przykładem jest reumatoidalne zapalenia stawów. Choroba występuje u 0,5–1% populacji ogólnej. Wprowadzenie do leczenia tzw. leków biologicznych, których działanie oparte jest o mechanizm

immunologiczny, pozwala zdecydowanie zmniejszyć nasilenie objawów oraz stopień progresji choroby. Roczny koszt leczenia jednego chorego może sięgnąć 20.000 dolarów amerykańskich (Bonafede i in., 2015). Gdyby zatem chcieć zastosować to leczenie u wszystkich pacjentów w Polsce, koszt takiego przedsięwzięcia wyniósłby około 4 miliardy złotych. W Stanach Zjednoczonych Medicare wydaje rocznie na ten cel ponad 1 miliard dolarów (Yazdany i in., 2015). Ponieważ nie jest to wystarczające, średnia kwota dopłaty, które ponosi chory, wynosi ponad 800 dolarów miesięcznie. Co najmniej 1 na 6 chorych decyduje się przerwać terapię ze względu na wysoki koszt (Yazdany i in., 2015). Amerykańskie zalecenia dla lekarzy nakazują przeprowadzenie rozmowy z pacjentem chorym na reumatoidalne zapalenie stawów co do możliwości wdrożenia i stosowania terapii biologicznej. W Polsce leczenie biologiczne jest stosowane zaledwie u 1% chorych z reumatoidalnym zapaleniem stawów (Tłustochowicz, 2011).

Powyższe dane jasno dowodzą, że jednym z głównych problemów współczesnej medycyny jest konieczność wyboru sposobów terapii, którą możemy zastosować, wobec ograniczonej ilości środków. Oczywiście jest, że środków nie może przybyć „z zewnątrz”, możemy jedynie podejmować decyzje co do rozdziału środków dostępnych.

Rozważmy dla przykładu następującą kwestię. Jak widać z Tabeli 1, roczny koszt leczenia jednego chorego może sięgać 2 mln złotych. Jest to suma, która może wystarczyć na roczne funkcjonowanie oddziału onkologicznego. Czy wobec niedostatków opieki onkologicznej spowodowanych problemami finansowymi wolno nam wydać pieniądze na leczenie chorego z mukopolisacharydozą, podczas gdy moglibyśmy dzięki tym środkom leczyć w tym czasie dużą grupę chorych onkologicznie?

Dokonanie wyboru ma naturę etyczną. Wybór musi zostać dokonany, ale nie można nim obciążać indywidualnie ani lekarza leczącego chorego, ani dyrektora szpitala, ani ministra zdrowia. Dokonanie wyboru powinno być poprzedzone szeroką dyskusją społeczną. Niestety liczba osób świadomych konieczności takiej dyskusji jest mała. Nawet zawodowi etycy medyczni zajmują się głównie wspomnianymi na wstępie artykułu problemami genetyki czy kreacji życia, rzadko zabierając głos w sprawie finansowania opieki medycznej. W niektórych krajach zdano sobie sprawę z wagi problemu. Przykładem może być Wielka Brytania. Utworzono tu NICE (National Institute for Clinical Excellence) – ciało doradcze wchodzące w skład systemu opieki zdrowotnej służące profesjonalistom medycznym radą w trudnych kwestiach natury etycznej (*NICE Citizens Council Report. Ultra Orfan Drugs*, 2004). Co pouczające, w skład instytutu wchodzi nie lekarze, ekonomiści, prawnicy czy ministrowie: instytut utworzony jest z losowo wybranych obywateli (dla przykładu zawody pierwszych na liście członków: elektryk, śpiewak, inżynier, pracownik sklepu). Członkowie instytutu otrzymują merytoryczne informacje dotyczące diskutowanego problemu, a następnie kwestia poddawana jest głosowaniu.

W aspekcie finansowania bardzo drogich w leczeniu chorób NICE wyraża następujące opinie (*NICE Citizens Council Report. Ultra Orfan Drugs*, 2004):

- częstość występowania choroby nie powinna mieć wpływu na podejmowanie decyzji o finansowaniu leczenia,
- najważniejsza jest efektywność możliwego do zastosowania leczenia; im spodziewany efekt lepszy, tym więcej możemy zapłacić za leczenie,

- finansowanie bardzo drogich w leczeniu chorób powinno być centralne i niezależne od lokalnych budżetów szpitalnych,
- górna granica kwoty, którą możemy wydać na leczenie pojedynczego człowieka nie może być sztywno ustalona i koniecznie wymaga stałej dyskusji społecznej.

Zastanówmy się teraz, według jakich zasad ogólnych możemy decydować o rozdziale środków. Gdyby za punkt wyjścia uznać libertarianizm i stworzyć w pełni wolny rynek usług medycznych, żadna z osób chorych na drogą w leczeniu chorobę nie mogłaby sobie na to leczenie pozwolić, a zatem nie byłaby leczona. Zasady utilitaryzmu, mające na celu zwiększenie ogólnego, a nie indywidualnego dobra, także nie pozwalają na leczenie takich chorób: wydatki są duże, a efekt leczenia na tle ogólnych potrzeb znikomy. Wydaje się, że dominujące w sposobie rozumienia sprawiedliwego rozdziału środków w opiece medycznej są obecnie zasady egalitaryzmu, a zatem równego traktowania wszystkich ludzi. Co jednak to w praktyce oznacza? W życiu codziennym nie oznacza to równego rozdysponowania środków na ochronę zdrowia na wszystkich obywateli, bo bardziej chory człowiek otrzymuje więcej środków. Leczy się kolejnych zgłaszających się do lekarzy pacjentów. Kolejnych chorych, wobec niewystarczających środków, umieszcza się na liście oczekujących, czyli w kolejce. Tak przyzwyczailiśmy się do kolejek pacjentów oczekujących na leczenie (operacji stawu biodrowego, zaćmy, wszczepienia rozrusznika serca etc.), że trudno jest obiektywnie spojrzeć na etyczną ocenę tego stanu rzeczy. Wydaje się, że trudno zaproponować lepsze rozwiązanie, choć trzeba sobie zdawać sprawę z poważnych wad tego systemu. Jasno trzeba zdać sobie sprawę, że stan części chorych oczekujących na leczenie może ulegać stopniowemu pogorszeniu, natomiast część chorych oczekujących w kolejce

może umrzeć z przyczyn bezpośrednio związanych z chorobą (np. zatrzymanie krążenia u chorego oczekującego na implantację kardio-stymulatora) lub związanych z chorobą pośrednio (np. zapalenie płuc zakończone zgonem u starszej osoby unieruchomionej z powodu dysfunkcji stawu biodrowego). W nurcie egalitaryzmu – obok teorii kolejek – rozwinięta została także teoria loterii. W loterii każdy obywatel przed losowaniem ma także równe szanse. Nie wspominam tutaj o loterii dlatego, bym sądził, że może stać się podstawą decydowania o dostępności do usług medycznych. Loteria zastosowana w ten sposób budzi uzasadniony sprzeciw. Chciałbym jednak zasugerować porównanie loterii z kolejkami po to, by pokreślić raz jeszcze, że decydowanie o dostępności do usług medycznych w oparciu o kolejki nie jest rozwiązaniem dobrym. Przykładem niech będzie leczenie onkologiczne. Mimo podejmowanych wysiłków finansowych i organizacyjnych, czas oczekiwania na leczenie onkologiczne od momentu rozpoznania choroby jest zbyt długi. U chorych oczekujących w kolejkach choroba postępuje, a zatem wyniki leczenia podjętego później są gorsze. Gdyby zastosować w praktyce teorię loterii, część chorych, która wylosowała leczenie, może być leczona natychmiast. Wyniki w tej grupie byłyby lepsze, więcej byłoby wyleczeń. Ci, którzy leczenia nie wylosowali, byłiby natomiast w sytuacji złej. Powyższy przykład podaję po to, by zwrócić uwagę na wady systemu kolejek i możliwe zalety tak skrajnych (i etycznie, jak sądzę, nie do przyjęcia) systemów, jak loteria. Modyfikacją zasad egalitaryzmu mogą być zasady priorytetyzacji, a zatem stworzenia listy osób, które mogą mieć łatwiejszą dostępność do usług medycznych. Taka priorytetyzacja jest stosowana: dotyczy przede wszystkim stanów nagłych, zagrażających życiu. Wymaga jednak stałej społecznej dyskusji kwestia

innych grup, które mogłyby otrzymywać leczenie bez kolejek, dla przykładu dzieci, pacjenci z chorobami zakaźnymi, onkologicznymi itp.

Patrząc na opiekę medyczną jako praktyk muszę stwierdzić, że warta przeanalizowania jest możliwość zwiększenia dostępności usług medycznych poprzez wprowadzenie dopłat, które pacjent oczekujący szybszej procedury medycznej lub procedury na poziomie ponadstandardowym, byłby zobligowany uiścić. Jest bardzo wielu pacjentów, którzy dysponując środkami finansowymi chcieliby otrzymać pomoc szybciej, nie mogą jednak w obecnym systemie tego zrealizować. Sądzę, że zgoda na możliwość współfinansowania leczenia przez pacjenta odciążałaby system ochrony zdrowia, nie wpływając na pogorszenie dostępności do procedur dla tych osób, które oczekują na leczenie bez współfinansowania. Przykładem, że żadnego systemu ochrony zdrowia nie stać na pełne konieczne finansowanie, jest omówiona powyżej sytuacja leczenia reumatoidalnego zapalenia stawów lekami biologicznymi. Podczas gdy w USA chorzy współfinansują swoje leczenie (30% chorych z r.z.s. jest leczonych biologicznie) (Yazdany i in., 2015), w Polsce brak współfinansowania jest jedną z przyczyn, dla której liczba leczonych jest skrajnie niska (1%).

3. Odstąpienie od leczenia teoretycznie możliwego

Wydłużenie średniego czasu trwania życia powoduje, że wiek chorych zgłaszających się z chorobami wymagającymi przeprowadzenia procedur inwazyjnych bardzo wzrasta. Przed dwudziestu laty średnia wieku pacjentów operowanych z powodu chorób serca w ośrodku, w którym pracuję, wynosiła około 50 lat. Obecnie biorę udział

w kwalifikacjach do zabiegów i zdarza się, że zgłaszani do dużych zabiegów kardiochirurgicznych są chorzy w wieku ponad 90 lat, a często podczas kwalifikacji wszyscy omawiani pacjenci są w wieku ponad 70 lat. To kolejny przykład sytuacji, gdy decyzja, którą należy podjąć, nie wynika z możliwości technicznych medycyny (takie istnieją i są dostępne), a jest podejmowana po rozważeniu korzyści dla pacjenta. To także decyzja natury etycznej.

Przyjrzyjmy się tej kwestii nieco bardziej szczegółowo na wybranym przykładzie. Zgłasza się chory lat 85, który od kilku lat wymaga stałej opieki osób drugich, nie jest bowiem samodzielny, prowadzi leżący tryb życia. Zazwyczaj jest zorientowany co do własnej osoby i co do miejsca, w którym się znajduje, choć zdarzają się dni, gdy kontakt słowny jest utrudniony. Choruje na niewydolność serca, został przyjęty do szpitala z powodu typowych objawów zaostrenia tej choroby: duszności i obrzęków nóg. Zastosowałem farmakoterapię, uzyskałem poprawę stanu pacjenta – nie ma duszności spoczynkowej, obrzęki są znacznie mniejsze. Mogę wypisać go do domu. Wiem jednak, że w jego chorobie (obok możliwości zaostrenia, które właśnie opanowałem lekami) istnieje ryzyko nagłego zatrzymania krążenia. Jedynym sposobem wydłużenia życia jest implantacja kardiowertera-defibrylatora, czyli specjalnego typu rozrusznika serca, który w przypadku zatrzymania krążenia jest w stanie przywrócić właściwy rytm serca. Pacjent spełnia kryteria wskazań do implantacji, które podane są w międzynarodowych standardach medycznych. Co powinienem zrobić? Jeśli chory spełnia kryteria wskazań do implantacji i nie ma przeciwwskazań, mogę kwalifikować go do zabiegu. Jest jednak inna strona tej kwestii. Po pierwsze, obraz starości, którego zapewne byśmy sobie sami życzyli, to obraz spokoju, domu i kontaktu z osobami bliskimi. Kwalifikowanie osób starszych do inwazyjnych procedur (implantacja kardiowertera-

defibrylatora wiąże się z koniecznością znieczulenia ogólnego, ponieważ podczas zabiegu wywołuje się celowo krótkotrwałe zatrzymanie krążenia; po zabiegu istnieje możliwość nieuzasadnionych wyładowań – defibrylacji u przytomnego człowieka), która jest większym obciążeniem fizycznym i psychicznym, niż dla osób młodych. Wiemy, że już sama hospitalizacja starszej osoby dość często powoduje zaburzenia psychiczne z psychozą włącznie. Po drugie, aktualnie (w momencie pisania tego artykułu) termin oczekiwania na planowe wszczepienie kardiowertera-defibrylatora wynosi 2,5 roku. W kolejce oczekuje wiele aktywnych osób młodych. Trzeba jasno zdawać sobie sprawę, że wśród osób oczekujących na zabieg zdarzają się zgony, których dałoby się uniknąć wcześniejszym wykonaniem zabiegu implantacji. Zatem kwalifikując analizowanego pacjenta na listę oczekujących na zabieg listę tę wydłużam, zmniejszając szansę przeżycia kolejnych zakwalifikowanych chorych. Jak widać, podjęcie decyzji nie jest łatwe. Często zapytujemy w takich sytuacjach sami siebie, jak postąpilibyśmy z członkami własnej rodziny. Osobiście osoby najbliższej, która znalazłaby się w omówionej sytuacji, nie kwalifikowałbym do zabiegu. Postąpiłaby tak spora ilość moich kolegów lekarzy. Inni jednak kwalifikują wszystkich chorych, którzy spełniają kryteria kwalifikacyjne i nie mają przeciwwskazań. Oczywiście tam gdzie to możliwe decyzja jest uzgadniana z chorym lub jego rodziną. Technicyzacja medycyny i wieloaspektowość zagadnień medycznych jest jednak tak duża, że zazwyczaj nie da się wprowadzić pacjenta, zwłaszcza starszego, na tyle głęboko w zagadnienie, by mógł w pełni świadomie pomóc nam w podjęciu decyzji. To zatem lekarz musi ją podjąć. Kwalifikowanie do inwazyjnych procedur każdego pacjenta, który nie ma bezwzględnych przeciwwskazań, ma także inny podtekst. Lekarze mają obawę, że zdyskwalifikowanie chorego od inwazyjnej interwencji może w przyszłości

spowodować, że chory lub jego rodzina będzie na drodze sądowej starała się wyjaśnić, dlaczego lekarz nie wykorzystał wszystkich istniejących teoretycznie możliwości terapii. Nawet jeśli nie dojdzie do procesu sądowego, sama informacja o złożeniu doniesienia o możliwości popełnienia przestępstwa czy kontakt z prokuraturą celem złożenia wyjaśnień są (psychicznym i czasowym) obciążeniem dla lekarza. Lekarz zatem kwalifikuje chorego do możliwych do wykonania procedur, mimo że członków własnej rodziny pozostawiłby bez zabiegu. Czasami rodzina nalega na wykonanie zabiegu sądząc, że wykonanie procedury przywróci sprawność fizyczną czy psychiczną osoby starszej i chorej.

Przy kwalifikacji do zabiegów chirurgicznych szczególną wagę powinno przywiązywać się do stanu mentalnego chorego, tzw. zespołu kruchości oraz możliwości rehabilitacji i opieki, którą chory będzie mógł otrzymać po zabiegu. Istnieje wiele skal oceny stanu mentalnego chorego, ale najprostsza ocena orientacji autopsychicznej (co do własnej osoby) oraz allopsychicznej (co do otoczenia) jest kluczowa (oczywiście zaburzenia w tym zakresie nie dyskwalifikują chorych, jeśli są wynikiem patologii, które mamy leczyć, np. nie dyskwalifikujemy chorego nieprzytomnego od leczenia udaru mózgu, który tę nieprzytomność spowodował). Kruchość układu kostnego oraz ograniczone możliwości rehabilitacji poważnie pogarszają rokowanie po zabiegach. Rodzina chorego nalegająca na wykonanie zabiegu często nie zdaje sobie sprawy, że ciężar rehabilitacji i opieki nad chorym w długim okresie rekonwalescencji pozabiegowej będzie spoczywał na niej, i że poprawa wydolności chorego w stosunku do stanu aktualnego będzie możliwa po długim okresie pozabiegowym, kiedy ta wydolność będzie mniejsza.

Nie ulega wątpliwości, że rozwój medycyny umożliwia wykonywanie coraz bardziej złożonych procedur medycznych u coraz star-

szych pacjentów, obciążonych dużą ilością schorzeń współistniejących. Możliwość ich zastosowania wydłuża życie i poprawia jego komfort. Konieczne jest zatem korzystanie z tego rozwoju i nowe podejście do leczenia osób, które nie tak dawno nie miałyby możliwości uzyskania pomocy. Należy jednak także pamiętać, że nie wolno ślepo oddawać się nowoczesnej technicyzacji i w pogoni za możliwością przeprowadzenia nowych, skomplikowanych zabiegów zapomnieć o konieczności bezpośredniego kontaktu ze starszym, chorym człowiekiem, dla którego spokój i pobyt w domu wśród członków rodziny może być ważniejszy niż zakończenie życia wśród ponawianych prób zastosowania nowych możliwości terapii inwazyjnej w warunkach szpitalnych.

4. Podsumowanie

Poniżej przedstawiam przesłanie, które kieruję do lekarzy. Niech służy czytelnikom, którzy lekarzami nie są, jako punkt wyjścia dalszych rozważań oraz zachęta do wzięcia udziału w dyskusji, której członkami muszą być nie tylko lekarze, ale wszyscy czujący odpowiedzialność za kondycję człowieka.

- Nie myśl, że zwiększenie nakładów finansowych na służbę zdrowia zlikwiduje problem konieczności wyboru metod profilaktyki i leczenia.
- Pamiętaj, że znanych jest wiele skutecznych leków czy technik zabiegowych, które nie są i nie będą w pełni wykorzystywane.
- Pamiętaj, że jeśli wywalczyłeś środki na leczenie Twojego pacjenta, zabrano je ze wspólnej puli i dla innych będzie mniej.

- Pamiętaj, że standardy mają status uogólniających zaleceń; działaj tak, jak w Twojej ocenie jest najlepiej dla indywidualnego chorego.
- W przypadku ciężko chorych ludzi z wieloma schorzeniami towarzyszącymi, szczególnie starszych, to Ty zazwyczaj decydujesz, czy lepiej jest skierować ich na długą i uciążliwą drogę specjalistycznej diagnostyki i terapii, czy zastosować środki mniej inwazyjne.
- Widzisz zatem, Twoje codzienne wybory są natury etycznej.
- Masz prawo żądać, by proces Twojego kształcenia adekwatnie obejmował problemy etyki.

Bibliografia

- Bonafede, M. i in., 2015. Cost per patient-year in response using a claims-based algorithm for the 2 years following biologic initiation in patients with rheumatoid arthritis. *Journal of Medical Economics*, 18(5), ss. 376–389. Dostępne na: <https://doi.org/10.3111/13696998.2014.1001849>.
- NICE Citizens Council Report. *Ultra Orfan Drugs*, 2004. CorporatePage. Dostępne na: <<https://www.nice.org.uk/>> [ostatni dostęp: 21 listopada 2018].
- Thustochowicz, W., 2011. *Potrzebna terapia lekami biologicznymi [Rozmowa z prof. Witoldem Thustochowiczem, konsultantem krajowym w dziedzinie reumatologii.]* [Online]. Dostępne na: <<https://www.rp.pl/artukul/631692-Potrzebna-terapia--lekami-biologicznymi.html>> [ostatni dostęp: 21 listopada 2018].
- Yazdany, J. i in., 2015. Coverage for high cost specialty drugs for rheumatoid arthritis in medicare part D. *Arthritis & Rheumatology* [Online], 67(6), ss. 1474–1480. Dostępne na: <https://doi.org/10.1002/art.39079> [ostatni dostęp: 21 listopada 2018].

Recenzje

Book reviews

Postnaturalizm w narracjach dwóch kultur, czyli dlaczego kryzys cywilizacji jest nieuchronny

Ewa Bińczyk, *Epoka człowieka.
Retoryka i marazm antropocenu*,
Wydawnictwo Naukowe PWN,
Warszawa 2018, ss. 325.

Zaintrygowała mnie książka, z geologicznym terminem w tytule, ale napisana przez filozofkę, a nie geologa. Nieostrożnie zacząłem czytać od Wstępu i mało brakowało, a na tym bym poprzestał: na kilku stronach kilkanaście razy słowo „narracja”, które (w takim zagęszczeniu) bardziej mi się kojarzy z niemieckim *narren*, niż z łacińskim *narrare*, w całym tekście

pełno słowotwórczych potworków, z preferencją do przedrostka „post” („postprzyroda”, „postśrodkowo”, „postantropocentryzm”, „posthumanizm”) i wiele innych („kapitalocen” i „chthulucen”); naukowa nazwa człowieka zawsze małymi literami („*homo sapiens*”), co sygnalizuje ignorancję biologiczną na poziomie gimnazjalnym¹; cytowane źródła od Sasa do Lasa: książki z różnych dziedzin, czasopisma naukowe z wysokim *Impact Factor* obok pogadanek TED i tekstów z prasy codziennej. Zwykle takie symptomy w tekstach pretendujących do kategorii naukowych wystarczą, żebym zajął się czymś innym.

Na szczęście, ciekawość zwyciężyła, bo dalsza lektura okazała się niezwykle interesująca, nieporozumienia semantyczne możliwe do pokonania, a estetyka języka

¹ Łacińska nazwa gatunku biologicznego składa się z dwóch słów, pierwsze oznacza rodzaj, drugie precyzuje gatunek; rodzaj zawsze piszemy wielką literą, oba słowa pisane są kursywą. Wszystko jedno, czy *Homo sapiens*, czy np. *Pediculus humanus*. Z doświadczenia wiem, że nazwa gatunku *Homo sapiens* wydrukowana małą literą najczęściej jest skutkiem uporu korektorów, którzy zawsze wiedzą lepiej i mają ostatnie słowo. Owszem, w innej niż przyrodnicza narracji czasem się używa łacińskich wyrażeń aby, na przykład, porównywać postawy osób ludzkich: *homo faber* vs. *homo ludens*, albo *homo sapiens* vs. *homo narrans*, biorąc dosłownie znaczenie łacińskich imiesłowów przymiotnikowych czynnych, dodanych do rzeczownika *homo*. Ale gatunek ssaka, zwany po polsku człowiekiem, w taksonomii nosi nazwę *Homo sapiens*, i należy do tego samego biologicznego rodzaju *Homo* co gatunki *H. neanderthalensis*, *H. habilis* i *H. erectus* (zatem: jest z nimi najbliższymi spokrewnionymi ewolucyjnie). Znaczenie łacińskich rzeczowników, imiesłowów czy przymiotników jest tu nieistotne.

nie taka ważna. Mój odruch niechęci egzemplifikował wyraźnie to, o co właśnie chodzi w tej książce: groźne skutki braku porozumienia w obszarach działalności poznawczej człowieka, z fatalnymi konsekwencjami dla praktyki. J.P. Snow już w 1959 r. pisał o podziale nauk na „dwie kultury”, zwracając uwagę na ich nieproporcjonalny wpływ na opinię publiczną. Ale tu nie chodzi o zainicjowane przez Snowa i trwające do dziś wzajemne idiosynkrazje, podszyte obustronnymi kompleksami, tylko o dwie – niech już będzie – narracje: humanistyki i nauk...no właśnie, jakich? W języku polskim szczególnie trudno jednym słowem nazwać to, co po angielsku i po francusku nazywa się *science*, a po niemiecku *Naturwissenschaften*². Nauki przyrodnicze? W potocznej polszczyźnie taka nazwa kojarzy się z naukami o życiu (czy astronom to przyrodnik?). Nauki ścisłe? Do tych w języku polskim odruchowo zaliczymy matematykę, która nauką w znaczeniu *science* nie jest, a np. geologii już nie. Nauki eksperymentalne? Empiryczne? Takie określenia również zawężają zakres znaczeniowy desygnatu. A chodzi

o ten obszar nauki, która zajmuje się przyrodą w szerokim sensie, posługując się swoistą metodologią i pragmatyką. Autorka omawianej książki również ma kłopot z nazwaniem tej domeny po polsku, stosuje różne złożone określenia („nauki laboratoryjne”, „przyrodoznawstwo empiryczne”, „naturalistyczna narracja przyrodoznawców”). Aby uniknąć nieporozumień i nadmiaru słów, w dalszym tekście będę używał skrótów: nauka *sensu science* (s.s.) i nauka *sensu humanities* (s.h.). Jako przedstawiciel nauki s.s., dotknięty wtórnym analfabetyzmem i pierwotną ignorancją w zakresie humanistyki, czytając wstęp do *Epoki człowieka* uległem złudzeniu, że rozumiem tekst z domeny nauk s.h., zirytowała mnie nieprecyzyjna terminologia i na tej podstawie dokonałem osądu wartościującego. Dopiero dłuższa lektura (wymagająca sporego wysiłku), przekonała mnie, że nie miałem racji, oraz że, zapewne, nadal czegoś nie rozumiem. Z drugiej strony, Autorka włożyła ogrom pracy, aby pokonać barierę między narracjami nauk s.s. i s.h., ze skutkiem imponującym, ale też niedoskonałym.

² Formalny podział dziedzin i dyscyplin naukowych, tworzony dla celów administracyjnych, nie ma tutaj zastosowania.

W kolejnych dziewięciu rozdziałach Ewa Bińczyk opisuje permanentną niemożność porozumienia pomiędzy naukami przyrodniczymi a refleksją humanistyczną, i jeszcze głębszą przepaść dzielącą nauki (obojga kultur) od możliwości ich zrozumienia przez większość z siedmiu i pół miliarda obywateli naszej planety, co będzie miało fatalne skutki dla przyszłości cywilizacji. Rozdział 1 („Zmiana klimatu – ignorowane wyzwanie”) definiuje problem zmian parametrów funkcjonowania biosfery (skupiając się na zmianach klimatu), od razu konfrontując wyniki nauki (s.s.) z reakcjami polityków i powszechną ignorancją. W rozdziale 2 („Epoka marazmu”) pisze o podejmowanych działaniach w kierunku zapobieżenia katastrofie cywilizacyjnej, zderzających się ze świadomymi i skutecznymi próbami zaprzeczenia wyników badań naukowych (s.s.) i ewidentnej bezradności nauki (s.s.) wobec tego sabotażu, nazwanego tu „denializmem”. W rozdziale 3 („Początek debaty na temat antropocenu”) Autorka wraca do historii rozpoznania globalnych zmian w funkcjonowaniu biosfery i zrozumienia ich antropogenicznego charakteru, czego

emblematem stała się niedawno zaproponowana nowa jednostka stratygraficzna: antropocen.

Rozdziały 4 („Kształtowanie się słownika epoki człowieka”) i 5 („Różne oblicza antropocenu”) poświęcone są różności wypowiedzi na temat systemu Ziemi, o ich wielkim wpływie na refleksje humanistyczne, politykę i opinię publiczną, ale o niewielkim związku z nauką (s.s.), ukazując przy tym immanentną niemożność komunikacji pomiędzy nauką (s.s.) i całą resztą. Rozdział 6 („Deficyty refleksji środowiskowej antropocenu”) ocenia sens i bezsens prób praktycznego działania, promuje wybrany przez Autorkę system wartości, postulując działania w kierunku „ekologizowania humanistyki” (w sensie: przybliżenia humanistom nauk s.s.) i „polityki natury” – przejścia do praktycznego zarządzania systemem Ziemi. Realizacja obu tych postulatów natrafia na aktywny opór, polegający na deprecjonowaniu nauki, do czego Autorka wraca w Rozdziale 7 („Retoryka dezinformacji”). Dwa ostatnie rozdziały referują mniej lub bardziej fantastyczne projekty zarządzania biosferą (Rozdział 8: „Plany awaryjne antropocenu”) i ich trzeźwą kry-

tykę (Rozdział 9: „Retoryczne pułki technooptymizmu”). Podsumowanie („Zakończenie”) podkreśla wyjątkową nośność hasła „antropocen” w publicznej debacie, z czego nie wynika jednak motywacja do działań praktycznych, tylko zrezygnowana obojętność – tytułowy „marazm”.

Autorkę niepokoi to, że realne zagrożenie cywilizacji, o którym donoszą nauki s.s., nie tylko nie powoduje energicznych działań w celu zapobieżenia katastrofie, ale nie przebija się do świadomości większości mieszkańców Ziemi, w tym także do przedstawicieli nauk innych niż s.s. Jest paradoksem, że zdefiniowanie nowej jednostki stratygraficznej znalazło ogromny oddźwięk medialny – i niewiele działań praktycznych. Próbując dociec, co stoi za „marazmem” antropocenu, zagłębia się w niesłychanie obfitą twórczość rozmaitych autorów z przeróżnych dziedzin (pełne pomieszczenie twórczości medialnych publicystów, twórców z różnych domen humanistyki i wypowiedzi przyrodników – zarówno ich prywatnych opinii, jak i profesjonalnych doniesień naukowych s.s.). Gigantyczna praca, która wymagała przeczytania tysięcy stron tekstów, w większości zapewne bardzo trudnych

do przebrnięcia, i pracowita próba obiektywnego, chłodnym okiem, zbadania, co z tych tekstów wynika, budzi podziw, ale i frustrację – bo to nie jest książka z *happy endem*.

W obrębie nauk s.s. wyodrębnienie nowej epoki geologicznej – antropocenu – nie ma wielkiego znaczenia. Jak każda inna jednostka stratygraficzna jest to termin ułatwiający komunikowanie się w obrębie nauk zajmujących się geologią i historią życia na Ziemi. Spory na temat ścisłego zdefiniowania początku tej epoki (z dokładnością do daty kalendarzowej!) mogą tylko budzić wesołość. W naukach s.s. ważne jest ustalanie faktów, tworzenie i testowanie hipotez wyjaśniających ich związki przyczynowo-skutkowe, a terminologia i klasyfikacja mają tylko znaczenie pomocnicze. Nauki s.s. co najmniej pół wieku przed wymyśleniem terminu antropocen donosiły o zmianach w funkcjonowaniu biosfery, ich rozmaitych przyczynach, w tym działalności człowieka. Wnioski z tych badań, wprowadzone na podstawie skrupulatnie zbieranych i krytycznie uwiarygodnianych danych oraz testowania konkurencyjnych hipotez wyjaśniających, dziś osiągnęły konsensus. Jeszcze 20 lat temu oszacowany bilans węgla w biosferze miał

dość szeroki margines błędu, dziś – domyka się prawie dokładnie, dlatego wniosek o udziale człowieka w obiegu węgla jest poza dyskusją. Jeszcze do niedawna trwał spór dotyczący wiarygodności wszystkich danych użytych w modelowaniu mechanizmów zmian klimatu, ale od 10 lat zweryfikowane dane nie budzą już wątpliwości. To ośmiela do stawiania prognoz, które mają status nieprzetestowanych hipotez, ale ostrzegają przed nadciągającą katastrofą cywilizacji.

W skali czasowej historii biosfery to epizod, krótkotrwała zmiana parametrów, którą za milion lat trudno będzie dostrzec. Życie na Ziemi będzie nadal trwało, bez wielu gatunków, które dziś tu są, z wieloma innymi, których ewolucja już trwa, chociaż nam trudno to zauważyć. Przyrodniczy, którzy zaproponowali tę nową jednostkę stratygraficzną, oprócz własnej medialnej sławy, osiągnęli coś znacznie ważniejszego: kolejny bodziec do zainteresowania gatunku *Homo sapiens* jego własną przyszłością, przede wszystkim, przyszłością obecnej cywilizacji. To dlatego termin „antropocen” zrobił oszałamiającą karierę poza obszarem nauk s.s. Jak długo potrwa mobilizacja opinii publicznej tym hasłem – zobaczymy. W epoce an-

tropocenu już wielokrotnie z obszaru nauk (s.s.) przenikały informacje, przekuwane na nośne hasła: „milcząca wiosna” (Rachel Carson, 1962), „bomba populacyjna” (P.R. Ehrlich, 1968), „tragedia wspólnoty” (*Tragedy of the commons*, Garret Harding, 1968), „granice wzrostu” (Klub Rzymski, 1972), z których żadne nie straciło aktualności, ale już nie pojawiają się w nagłówkach gazet. Co ciekawe, aktywistów ochrony środowiska wciąż jeszcze inspirują wylansowane kiedyś pozanaukowe mitologie, w rodzaju New Age (lata 60.) czy „teorii Gai” (lata 80. XX w.).

Brak zrozumienia tego, co się aktualnie dzieje na Ziemi i czym to grozi wynika z rozmaitych przyczyn. Za jedną z najważniejszych Ewa Bińczyk wymienia brak porozumienia pomiędzy przedstawicielami owych „dwóch kultur” Snowa. Nauki s.h. mają ogromną przewagę nad naukami s.s. w komunikowaniu nie tylko o wynikach badań s.s., ale przede wszystkim o ich znaczeniu – czyli o wartościach; humaniści mogą oddziaływać na inne obszary wrażliwości odbiorców, niż mogłyby nawet podręcznikowo spopularyzowane wyniki nauk s.s. Ale przedtem sami musieliby zadać sobie trud zrozumienia tego, o czym donoszą na

uki s.s. i poddać tę wiedzę własnej krytycznej refleksji. Autorka przekonująco pokazuje, jak fatalnie nauki s.h. wywiązują się z tego zadania, przytacza mnóstwo cytatów z tekstów pretendujących do miana naukowych lub publicystycznych, z których wynika ignorancja autorów, zupełne oderwanie od realiów i snucie rozważań pozbawionych jakiegokolwiek znaczenia (przynajmniej dla czytelnika przyzwyczajonego do tekstów naukowych s.s.). Autorka krytykuje „posthumanizm” i przytacza przykłady, które nieprzygotowanego czytelnika wprowadzają w osłupienie: czy w ogóle takie teksty zasługują na polemikę i krytykę w naukowej (s.h.) książce? Ewa Bińczyk wyraźnie się tutaj opowiada po stronie nauk s.s., ale używając języka bardzo trudnego dla przyrodnika: „[...] ekomodernistyczna narracja dobrego antropocenu i poglądy transhumanistów [...]”.

Podstawową przyczyną trudności komunikacyjnych jest oczywiście hermetyczność nauk s.s. i – czego sam doświadczyłem czytając *Epokę człowieka* – nieprzystępność retoryki nauk s.h. Decyzje polityczne, ekonomiczne, a także indywidualne wybory codzienne powinny się opierać na znajomości faktów i przede wszystkim – zna-

jomości związków przyczynowych. Ale dziś codzienne decyzje dotyczą spraw, których zrozumienie wymaga znajomości biologii, chemii i fizyki na poziomie, który nie jest dostępny większości obywateli. I nie może być dostępny, bo „głowa za mała” (fizycy też nie są biologami, a biolodzy fizykami).

Oczywistym remedium wydaje się popularyzacja. W naukach s.s. godną zaufania popularyzację stanowią podręczniki akademickie. Przekazanie odpowiednich treści w łatwiejszych tekstach zawodzi. Na przykład, aby zrozumieć mechanizm globalnego ocieplenia trzeba by poznać zasady biogeochemii, fizyki atmosfery, aktynometrii, termodynamiki, matematycznego modelowania, a żeby zaufać podawanym danym trzeba by jeszcze znać metody ich zdobywania i statystycznego uwiarygodniania. Żeby nie było wątpliwości: bynajmniej nie sugeruję, że ja – biolog-ekolog – to wszystko wiem i rozumiem. Ale jako zawodowy przyrodnik mam zaufanie do nauki s.s. i potrafię odróżnić rzetelne źródła informacji od niepewnych (co jest umiejętnością niezbędną w naukach s.s., ze wszech miar godną upowszechnienia). Dlatego nie próbuję poznać i zrozumieć wszystkiego, co skłoniło specjalistów do sformułowania

uogólnionych wniosków – wierzę im. Ewa Bińczyk też ufa opublikowanym wynikom badań naukowych s.s. i doskonale zdaje sobie sprawę ze znaczenia, jakie ma zaufanie do nauk s.s. dla uniknięcia cywilizacyjnej katastrofy – dlatego przecież napisała tę książkę. Przeciętny obywatel zaatakowany bełkotem mediów (społecznościowych) jest bezradny i nie ma żadnych przesłanek dla odróżnienia prawdy od fałszu, obiektywnych ustaleń nauki od argumentów dotyczących hierarchii wartości. Minęła epoka oświeceniowego zaufania do nauki, które polegało nie tylko na przekazywaniu naukowej wiedzy, ale przede wszystkim konstituowało wysoki autorytet nauki (s.s.), dzięki czemu elementarny podręcznik czy popularnonaukowy artykuł w encyklopedii mógł przekonać do tego, co mówi nauka. Dziś ten autorytet czeźnie. O nadejściu epoki „postilluminizmu” szkoda marzyć.

Wypowiedzi nauki (s.s.) są dezawuowane nie tylko w przedmiocie antropocenu, ale w każdym innym, wystarczy przypomnieć ruch antyszczepionkowy, zwalczanie GMO, a nawet kwestionowanie paradygmatycznej dla nauk s.s. teorii ewolucji. Zaufanie do nauki jest aktywnie i skutecznie podważane, w obronie utylitarnych war-

tości, przez grupy interesów (ekonomicznych, politycznych), a także grupy wyznawców rozmaitych ideologii i przesądów, uznawanych przez znaczną część populacji za wartości autoteliczne. Świadomy sabotaż skierowany przeciw nauce s.s. Ewa Bińczyk nazywa „denializmem”. Co ciekawe, po stronie denialistów występują niektórzy utytułowani naukowcy s.s., (ale ich „eksperckie” wypowiedzi to nie publikacje naukowe s.s., czego czytelnicy spoza obszaru nauki s.s. nie rozpoznają). W *Epoce człowieka* przytoczone są liczne przykłady ze świata, ale i my mamy się czym pochwalić: pewien radiolog i prestiżowe grono geologów kwestionujące ustalenia nauki na temat zmian klimatu, profesor medycyny zwalczająca szczepienia, uniwersytecki filozof otwarcie zaprzeczający teorii ewolucji – szkoda miejsca na szczególności i więcej przykładów.

Epoce człowieka to z jednej strony obiektywne studium przyczyn i skutków ograniczenia przepływu informacji na temat zmian w biosferze Ziemi, z drugiej – emocjonalna agitacja na rzecz zapobieżenia możliwym skutkom tych zmian – cywilizacyjnej katastrofie. Proponowane remedium to zaprężenie humanistów do pracy nad integracją wiedzy naukowej s.s.

z analizą systemów wartości, po to, by uzasadnić działania mogące zapobiec nieszczęściu. Autorka przytacza wiele argumentów, które wyjaśniają sens takich działań, ale – zachowując obiektywizm – jeszcze więcej informacji, które każą wątpić w sukces. Podzielałam przekonanie Ewy Bińczyk, że warunki życia ludzi na Ziemi ulegają tak głębokim i gwałtownym zmianom, że wkrótce będzie je można uznać za kryzys cywilizacji. Podziwiam trud, z jakim zestawiała argumenty, mające przekonać czytelnika o zagrożeniu, konieczności przeciwdziałania i roli humanistów. Ale sam dostrzegam jeszcze więcej niebezpieczeństw nie tylko w samych zmianach funkcjonowania biosfery, ale także – w trudności w zrealizowaniu postulatów Ewy Bińczyk, a nawet – skuteczności przekazania szerszej publiczności treści, które zawarte są w *Epoce człowieka*.

Po pierwsze, argumentacja w obronie nauk s.s., jeżeli ma odnieść skutek, musi być przekonująca. Nawet Ewie Bińczyk nie zawsze się to udaje. Postulat upowszechnienia wiedzy, współpracy obu kultur w celu zapobieżenia cywilizacyjnej katastrofie wymaga przede wszystkim ustalenia, o jaką

wiedzę tutaj chodzi. Wybór lektur, na podstawie których Autorka referuje problem antropocenu, zawęził jej pole widzenia do geologii i zmian klimatu. Cytowany bardzo obficie australijski uczony (s.h.) Clive Hamilton wręcz postuluje, by wszyscy humaniści zostali geofizykami. Nonsens. Cechą antropocenu są ilościowe zmiany parametrów funkcjonowania życia na Ziemi, czyli ekosystemu biosfery, spowodowane przez rozmaite oddziaływania ludzkiej cywilizacji, geofizyka rejestruje objawy tych zaburzeń. Owszem, bezpośrednią przyczyną zmian parametrów efektu cieplarnianego jest niewielki wzrost zawartości dwutlenku węgla i metanu w atmosferze Ziemi, skutkiem uwalniania tych gazów przez człowieka (użycie paliw kopalnych, produkcja cementu, uprawy ryżu, hodowla przeżuwaczy itd.). Ale skład atmosfery w znacznie większym stopniu zależy od innych organizmów: dzięki istnieniu życia na Ziemi trwa zamknięty obieg węgla, jego dwutlenek jest redukowany do związków organicznych przez rośliny, i uwalniany z powrotem do atmosfery przez utleniające go wszystkie żywe organizmy. Co roku żywe organizmy pobierają

i zwracają z powrotem do atmosfery około 200 mld ton węgla; spowodowane przez człowieka niedomykanie się tego bilansu wynosi ok. 4 mld ton/rok (niespełna 5%) i spowodowane jest nie tylko spalaniem paliw kopalnych, ale różnymi oddziaływaniami człowieka na żywą biosferę. Zagrożenie cywilizacji wynika nie tylko z ocieplenia klimatu, ale z wielu innych zmian wprowadzonych przez człowieka. Autorka o tym wie i w wielu miejscach napomyka o innych problemach – jak redukcja różnorodności gatunkowej biosfery, zmiany zasięgów gatunków i in., brakuje jednak uświadomienia czytelnikowi, że chodzi o cechy jednego, zintegrowanego systemu, jakim jest żywa biosfera Ziemi.

Popularyzacja nauki, zmierzająca do uświadomienia istoty zagrożeń cywilizacji, powinna zatem w większej mierze dotyczyć nauk biologicznych (nie chcę używać słowa „ekologia”, które w potocznej – i nie tylko potocznej – polszczyźnie utraciło pierwotne znaczenie i stało się jego karykaturą). To bardzo trudny temat. Paradygmatem biologii (w tym funkcjonalnej ekologii) jest teoria ewolucji, a ta napotyka na denializm szczególnie intensywny, w dodatku –

wbrew pozorom – wcale nie łatwo ją zrozumieć. Skutkiem jest nagminne mieszanie pojęcia systemu żywej biosfery i indywidualnego organizmu żywego, czego przykładem jest stworzona przez naukowców (s.s.!) nedorzeczna „hipoteza Gai”, o której w wielu miejscach jest mowa w tej książce. Koncepcja ta próbowała wyjaśnić funkcjonowanie biosfery jako układu nie tylko silnie zintegrowanego, ale obdarzonego celową samoregulacją. Wylansowana przez J.E. Lovelocka (chemika-wynalazcę, nie biologa) i skądinąd bardzo wybitną mikrobiolożkę Lynn Margulis, hipoteza ta była fundamentalnie błędna, obciążona ideologiczną argumentacją, nigdy nie została zaakceptowana przez naukę (s.s.). Zrobiła jednak medialną karierę, zwróciła uwagę na problem groźnych dla cywilizacji zmian w biosferze, budząc emocje i inicjując pozytywne działania, w tym również inspirując badaczy (s.s.) do badań biosfery jako zintegrowanego ekosystemu. Termin „Gaja” wszedł do języka potocznego, więc późniejsze uogólnienia, naukowo (s.s.) poprawne, dla zapewnienia medialnego sukcesu nazywano w sposób nawiązujący do tej nazwy („słaba hipoteza Gai” itp.). Utrudniło to tylko przekaz na-

ukowej wiedzy na temat funkcjonowania systemu Ziemi. Termin „antropocen” robi podobną karierę medialną jak kiedyś „Gaja” i trzeba uważać, by do niego też nie przylgnęła jakaś pseudonaukowa mitologia.

Ewa Bińczyk przedstawia wiele argumentów wspierających zaufanie do nauk s.s. Ale niektóre z tych argumentów (może to problem retoryczny) mogą czytelnika zbić z tropu, a ułatwić działanie denialistom. Jako jedno z głównych kryteriów wiarygodności wymieniane są anonimowe recenzje przed publikacją (i tylko jedno zdanie o tym, że kryterium stanowi również krytyczna dyskusja w czasopiśmie naukowych s.s. i na konferencjach). Ale obawiam się, że kto sam nie przeszedł kilkadziesiąt czy kilkaset razy przez czyściec *peer reviewing*, może nie zrozumieć, co ma na myśli Autorka (która oczywiście wie, o czym pisze). Samo słowo „recenzja” jest wieloznaczne. Ten sam badacz pisze zupełnie co innego, jeżeli ocenia dorobek kandydata do tytułu profesorskiego, kiedy recenzuje przeczytaną właśnie książkę, i kiedy sprawdza tekst pretendujący do opublikowania w czasopiśmie naukowym. *Peer reviewing* w liczących się czasopi-

smach nauk s.s. nie polega na arbitralnym opiniowaniu tekstu, tylko na skrupulatnej, ilościowej kontroli jakości, z głównym kryterium, jakim jest metodologia badań obowiązująca w naukach s.s. (nie ma tu miejsca na szczegółowy opis tej procedury). Ta selekcja powoduje, że do druku przedostaje się ułamek prac przygotowanych (kilka-kilkanaście procent). Ale na tym nie koniec, ważne wyniki badań natychmiast zostaną poddane weryfikacji przez inne zespoły badawcze. Uogólnienie wyników z jakiegoś obszaru nauk s.s. możliwie jest wtedy, gdy przejdą przez wielokrotne testy wykonywane przez różnych badaczy, przy czym nie chodzi tu o ustalenie „większością głosów” kto ma rację. Przytaczając wypowiedzi różnych autorów dotyczących wyników nauk s.s. nie można mylić pojęcia „badacz” i „ekspert” (ten drugi jest do wynajęcia; może działać uczciwie, ale ekspertyzy nie są publikowane w czasopiśmie naukowych s.s.).

Nauka to nie tylko, jak pisze Autorka omawiając poglądy Bruno Latoura, „praktyka laboratoryjna, w której dysponujemy jedynie solidnymi, interaktywnymi dopasowaniami naszych teorii do materiałów i danych empirycznych po-

chodzących z odpowiednio wykalibrowanej aparatury”, ale też wyciąganie wniosków – a to już polityka. Ten fragment może czytelnika wprowadzić w błąd: „wyciąganie wniosków”, czyli uogólnianie wyników badań (s.s.) i generowanie hipotez, mogących stanowić prognozy o praktycznym znaczeniu, również podlega rygorystycznym i maksymalnie zobiektywizowanym procedurom (poprawna metodologicznie logika projektu badań jest ważniejsza niż kalibracja aparatury). W nauce s.s. ogromne znaczenie ma określanie wiarygodności danych empirycznych i wyjaśniających hipotez, przez ilościowe oceny prawdopodobieństwa błędu i przedziału ufności; dziedzina bardzo trudna do referowania w popularnonaukowych tekstach; paradoksalnie, próba ich wyjaśnienia może u czytelnika wywołać wrażenie, że w nauce nie ma nic pewnego, więc nie można jej ufać.

Latour pisząc o „wnioskach” z badań naukowych ma zapewne na myśli „wnioski praktyczne”, czyli odniesienie obiektywnych ustaleń i hipotez nauki do wyboru wartości (bo na tym polega każde zastosowanie wyników badań naukowych). I to, oczywiście, może być „polityka”. A naprawdę – domena aksjologii. Prawdziwą plagą (która niejednemu już generowała kryzysy na-

szej cywilizacji) jest mieszanie nauki (s.s.) z dyskursem dotyczącym wyboru wartości. Zachowanie dyscypliny w odróżnieniu tych dwóch domen utrudnia fakt, że przedstawiciele nauk (s.s.), jak wszyscy ludzie, na codzień dokonują wyborów wartości i wypowiadają się na ten temat. Ale aksjologia, i szerzej – etyka – należą do domeny nauk s.h., a nie s.s.. Nauki s.s. mogą co najwyżej prognozować (z wysokim, ale ograniczonym prawdopodobieństwem) jakie skutki mogą mieć takie czy inne decyzje, podyktowane wybranym systemem wartości.

Skuteczności perswazji, zaadresowanej do czytelników *Epoki człowieka*, zagrażają również nieporozumienia terminologiczne. Owe trudności leksykalne i pojęciowe mogą spowodować, iż czytelnicy, którzy – w odróżnieniu od Autorki – sami nie pochłonęli ogromnej literatury z obu kultur, źle zrozumieją jej myśl. W *Epoce człowieka* termin „granice planetarne” (zapewne kalka z angielskiego „*planetary boundaries*”) pojawia się w kontekście rezultatów badań o systemie Ziemi, co wymaga ostrożności. Badaniem ekosystemu biosfery zajmuje biogeochemia, nauka s.s., której wyniki mają bardzo wysoką wiarygodność, gwarantującą również (w ograniczonym zakresie) wysokie prawdopodobieństwo genero-

wanych na ich podstawie prognoz. Natomiast *planetary boundaries* to pojęcie pochodzące z próby oszacowania zagrożenia ludzkiej cywilizacji i ustalenia warunków podtrzymania jej długotrwałego rozwoju, z dość arbitralnie wyznaczonymi wartościami parametrów, których przekroczenie miałyby mieć dramatyczne skutki (to są właśnie owe „granice planetarne”). Autorzy tej koncepcji są bardzo skrupulatni w referowaniu swoich hipotez, jasno stawiają sprawę, że chodzi o bardzo grube oszacowania i domysły, dlatego owych dywagacji nie należy mylić z wynikami badań s.s. Propagandowe znaczenie hipotez związanych z pojęciem *planetary boundaries* przyczyniło się do spopularyzowania tej nieco egzaltowanej terminologii, a jej dosłowne przetłumaczenie na język polski przynosi skutki tyleż zabawne, co irytujące.

Ewa Bińczyk ciągle pisze o „systemach planetarnych”, mając na myśli funkcje jednej konkretnej biosfery, na powierzchni jednej konkretnej planety, stąd enuncjacje takie, jak „człowiek zakłóca systemy planetarne, jest to po prostu faktem”, co – brane dosłownie oznaczałoby, że człowiek zmienia trajektorie planet w Układzie Słonecznym; przetłumaczone na nor-

malny język (człowiek zmienia parametry procesów przebiegających w biosferze Ziemi) jest oczywiście prawdziwe. W zwrocie „[...] możliwość wytrącenia systemów planetarnych ze stabilnej równowagi holocenu” zapewne chodzi o zmiany parametrów funkcjonalnych biosfery (jednej planety, a nie systemów planetarnych), bardziej intensywne niż w całym okresie holocenu (co więcej, brak szybkich zmian nie świadczy o „stabilności”, w odniesieniu do układów żywych pojęcie to implikuje regulację parametrów systemu na zadanym poziomie, co w przypadku biosfery sensu nie ma).

Drugi problem, który nasuwa się przy lekturze *Epoki człowieka* jest poważniejszy, dotyczy samego rozpoznania sytuacji w antropocenie – tego co się dzieje w systemie Ziemi, w konfrontacji ze sporem o wartości. Dla kogoś, kto dostrzega zagrożenie cywilizacji patrząc z perspektywy Europy czy USA, oczywistym remedium wydaje się ograniczenie rozwydrzonej konsumpcji „pierwszego świata”, stąd adresowane do obywateli tej części populacji gatunku *H. sapiens* teksty takie, jak cytowane przez Ewę Bińczyk (i ten przez nią napisany). Ale to nie takie proste. Większość obywateli Ziemi, nic nie wie-

dząc o antropocenie, dba o własne sprawy. Chodzi nie tylko o polityków i globalny biznes, czy żądnych luksusów mieszkańców krajów zamożnych (co sugeruje Autorka, pisząc, że antropocen spowodowali bogaci biali, najbardziej zmieniając środowisko, a nie ubodzy III świata, którzy teraz cierpią). Obywatele krajów III świata dążą przecież do elementarnej poprawy bytu. Stopa życiowa w krajach najludniejszych, dotąd stosunkowo mało przyczyniających się do zmian globalnych (Chiny, Indie i inne kraje Azji i Afryki) właśnie rośnie. Do niedawna znaczna frakcja populacji *H. sapiens* przetwarzała zewnętrzne źródła energii (pokarm, opał) z mocą niewiele większą od tempa metabolizmu organizmu człowieka, rzędu 1 kW/osobę (w krajach OECD strumień energii zużywanej przez jednego mieszkańca może być o rząd wielkości większy). Wystarczy, że trzem miliardom ludzi jakość życia nieco się poprawi, zużycie energii wzrośnie tylko dwukrotnie (powiedzmy do 2 kW/osobę), aby całkowita ilość uwalnianego do atmosfery dwutlenku węgla wzrosła o połowę, proporcjonalnie przyspieszając tempo zmian globalnych. A przecież ludzi

nadal przybywa, ostrożne prognozy demograficzne mówią o spowolnieniu tempa przyrostu (do niedawna – wykładniczego), ale nie o stabilizacji liczby ludności. Każdy nowy człowiek, to zwiększenie strumienia zużytej energii o kolejne 1–3 kW. Mieszkańcy krajów rozwijających nie mają czego ograniczać. W systemie wartości akceptowanym przez większość mieszkańców Ziemi konieczność podniesienia poziomu życia najuboższych obywateli świata jest czymś oczywistym. Ale prawa termodynamiki bezlitośnie przewidują, że to jeszcze przyspieszy zmiany globalne, które nieprędko (jeżeli w ogóle) da się zahamować. Pilniejsze od prób zapobiegania dalszym zmianom w biosferze byłoby więc zaplanowanie działań łagodzących ich skutki. Ewa Bińczyk dość zdawkowo pisze o tym w rozdziale 3., w kontekście rozważań nad sensem pojęcia antropocen, a chodzi tu przecież o problem fundamentalny. Chętnie bym się dowiedział, co na ten temat sądzą humaniści.

Trzecia ogólna refleksja, która się nasuwa przy lekturze *Epoki człowieka*, dotyczy pilnej potrzeby intensyfikacji badań podstawowych na temat gatunku *H. sapiens*, w ści-

słej współpracy nauk s.s. i s.h. Popularyzacja osiągnięć nauk s.s. i analiza ich retoryki przez nauki s.h. nie wystarczą: na umyśle 7,5 mld ludzi na Ziemi przede wszystkim działają emocje, a nie tylko argumenty racjonalne; sporo już o tym wiedzą badacze procesów decyzyjnych w ekonomii, praktyczną wiedzę mają firmy zajmujące się promocją polityków. Życie społeczne warunkowane jest oddziaływaniami kulturowymi (domena nauk s.h.), ale także biologicznymi atawizmami (domena nauk s.s.), które również miały wpływ na rozwój kultury. Tu otwiera się zadanie dla neurobiologii, biologii ewolucyjnej, biologicznej antropologii itd., ale również dziedzin takich jak psychologia i socjologia, które tradycyjnie zaliczane są do nauk humanistycznych, chociaż ich znaczne obszary należą do nauk s.s. W jaki sposób uodpornić nasze paleolityczne mózgi na subwersyjne manipulacje, które – jak uczy historia dawna i współczesna – zmieniają ustroje, powodują wojny, rujną cywilizacje? Badania trwają, ale wciąż za mało wiemy o naszych emocjonalnych motywach interpretacji świata, a to, co już wiemy, do optymizmu nie skłania. My wszyscy – także Autorka *Epoki czło-*

wieka i piszący te słowa – w swojej retoryce też odwołujemy się do emocji.

Ale może tak trzeba? Skoro popularyzacja nauki zawodzi, to może lepiej sięgać do innych sposobów przekonywania? Każdy, kto zastanawia się, jak 7,5 mld naukowych ignorantów przekonać do działań wymagających wysiłku i wyrzeczeń, w imię wspólnego dobra (i to nie na dziś, tylko na przyszłość), musi wziąć pod uwagę odwołanie się do irracjonalnych, działających emocjonalnie mitów i wierzeń, na przykład religijnych. Właśnie takie remedium na zagrożenie cywilizacji desperacko zaproponował jeden z autorów cytowanych przez Ewę Bińczyk, miałoby ono polegać na posługiwaniu się „sekularną, wielowymiarową ontologicznie metaforą Gai”, do czego naukowcy (s.s.) się już nie przydadzą. To bardzo ryzykowny pomysł. Kiedy dyskurs sprowadzi się do samej retoryki, denialści antropocenu mogą się okazać lepszymi mitotwórcami. Świadczy o tym skuteczność manipulowania podświadomymi decyzjami milionów ludzi przez ekspertów, wykorzystujących w tym celu sieć Internetu, zwłaszcza media społecznościowe. Najwyraźniej, praktyka wyprzedza tu osiągnięcia nauk aka-

demickich. Nie jest więc przypadkiem, że termin „retoryka” pojawia się w tytule i całym tekście *Epoki człowieka*, ale otwarta pozostaje kwestia, w jaki sposób to, co już wiemy, wykorzystać do zapobieżenia globalnej katastrofie. Czytelnik musi sobie zadać pytanie, czy w ogóle można.

Epoka człowieka Ewy Bińczyk to ważna książka, bodaj pierwsza w języku polskim próba pokazania kryzysu cywilizacji, powodowanego zmianami funkcjonowania systemu biosfery, łącząca informacje o faktach z domeny nauk przyrodniczych i argumenty na temat ich aksjologicznego znaczenia. Książka jest trudna w odbiorze, może dlatego, że nie ma pewności, do kogo jest zaadresowana: do twórców – humanistów, których agituje do zajęcia się naukami przyrodniczymi i działaniami na rzecz ratowania cywilizacji, czy szerszego ogółu czytelników, którym uprzęstępnia dorobek nauk s.s.? Jest chyba regułą, że dzieła z zakresu nauk s.h. trafiają do wielu czytelników niebędących naukowcami, zachęconych do lektury pozorną przystępnością tej narracji; w tym przypadku natrafiają na kłopoty ze zrozumieniem wątków z obu domen (s.s. i s.h),

stąd obawa, że ważne myśli Autorki mogą umknąć ich uwadze.

Na koniec, dla porządku, wymienię drobne pomyłki i wybrane przykłady nieporozumień pojęciowych, które same w sobie są mało ważne, jednak mogą zniekształcić przekaz i wyprowadzić czytelników na manowce. Może te uwagi przydadzą się w następnych wydaniach tej książki.

„Satelita”, wbrew pozorom, jest rzeczownikiem rodzaju męskiego (s. 43); freon (CFC) to *chlorofluorocarbon*, a nie *chlorofluorocarbon* (s. 42); człowiek nie „wytwarza azotu” – chodzi o nawozy azotowe (s. 87); nisza ekologiczna (cytat na s. 135) – rozumiana błędnie jako siedlisko (częsty błąd). *Stratospheric aerosol injection* objaśniano jako rozpylanie w stratosferze aerosoli absorbujących promieniowanie – naprawdę chodzi o odbicie, a nie absorpcję (s. 223). „Namnażanie w oceanach alg, które konsumowałyby nadmiar CO₂ [...]” nie należy do metod „solarnych”, bo nie ma nic wspólnego ze zwiększaniem albedo – polegać by miało na nawożeniu oceanu związkami żelaza, o czym Autorka szerzej pisze gdzie indziej.

Zdanie „[...] widmo katastrofy klimatycznej [...]” podważa

ideę dalszego postępu, przeczy intuicjom ewolucjonistycznym dotyczącym procesu ciągłego doskonalenia form, a nawet linearnej koncepcji czasu...” (s. 107) – dla prostego biologa zupełnie niezrozumiałe, w każdym razie z biologicznym ewolucjonizmem nic wspólnego to nie ma.

„Takie rzeki jak Kolorado, Rzeka Żółta, Ganges i Nil nie docierają już do oceanów w porze suchej [...]” (s. 110) – jakiś nonsens, obniżający wiarygodność następnego zdania, o faktycznym zagrożeniu zasobów wody pitnej dla *Homo sapiens*. Zapewne jest to przekreślony

komunikat z drugiej (trzeciej?) ręki na temat stopniowego, kilkuprocentowego spadku przepływu w szeregu wielkich rzek (oryginalne publikacje z lat 2009 i później).

Pogląd „posthumanistów”, przytoczony na s. 164 „Jeżeli bakterie i grzyby dokonują terraformowania oraz kompostowania na takich samych zasadach jak ludzie, a kompost udomawia człowieka, to kryzys antropocenu wydaje się naturalną konsekwencją procesów ewolucji” – to zdanie dla przyrodnika niepojęte.

JANUARY WEINER

Biologia to nie machanie rękami

J. Fodor, M. Piattelli-Palmarini, *Błąd Darwinia*, tłum. M. Gokieli, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2018, ss. 297.

Należy powiedzieć to wprost – jest to książka dziwna. Z jednej strony – wydana została przez jedno z wiodących polskich wydawnictw naukowych, w ramach wiele mówiącej serii „Myśleć”. Czytelnik przygotowuje się więc na intelektualną ucztę, a biolog ewolucyjny wręcz nie może doczekać się pointy książki. Pierwszy zgrzyt pojawia się wprawdzie jeszcze przed przewróceniem pierwszej strony: cytata na okładce wewnętrznej mówi „[...] nie wiemy, jak wygląda mechanizm ewolucji. Z tego, co nam wiadomo, nikt nie jest w stanie wyjaśnić, jak ewoluują fenotypy”. Mocne stwierdzenie biorąc pod uwagę nieprzebraną liczbę rygorystycznych, przemyślanych prac badawczych testujących przewidywania jedynej jak na razie z powodzeniem wyjaśniającej ewolucję teorii naukowej. Ale idźmy dalej – książki nie ocenia się w końcu po okładce. Co w takim razie serwują nam Fodor i Piattelli-Palmarini oraz – co jak za chwilę

stanie się jasne – polski wydawca książki?

Zacznijmy od samego stylu – tak oryginalnego tekstu, jak i tłumaczenia proponowanego nam przez polskiego wydawcę. Autorzy nie są biologami, Fodor jest filozofem i psychologiem, Piattelli-Palmarini – kognitywistą i językoznawcą. Dziwi w takiej sytuacji jakikolwiek brak biologicznego komentarza, konsultacji merytorycznej biologa ewolucyjnego na etapie tłumaczenia na język polski, czy choćby recenzji książki autorstwa biologa umieszczonej na tylnej okładce. Autorzy wielokrotnie w książce poruszają temat swojego niebiologicznego wykształcenia, poświęcają temu nawet spory podrozdział w części książki poświęconej odpowiedzi krytykom. Twierdzą tam, że wykształcenie biologiczne nie jest potrzebne do sprawnej i merytorycznej krytyki teorii ewolucji, głównie przez to, że poruszane przez nich zagadnienia mają szeroki, filozoficzny kontekst. Jakby usprawiedliwieniem tego poglądu jest rozdział 5 „Powrót praw formy”, który ma stanowić argument za nierealistycznością wyjaśnień biologicznych, ignorujących rzekomo prawa fizyki czy matematyki w formułowaniu tez ewolucyjnych (wróć do tego problemu

w dalszej części recenzji). Niestety, brak dobrego biologicznego warsztatu wychodzi na wierzch w każdym miejscu książki. Autorzy stosują w niej wybitnie selektywny przegląd literatury – wybierają pozycje faktycznie dające wrażenie jakiegoś „problemu” tkwiącego w teorii ewolucji. Pomijają jednocześnie ogromną liczbę publikacji, które jednoznacznie wskazują na metodologiczną poprawność neodarwinizmu w jego obecnym kształcie. Nawet w zagadnieniach, z których Autorzy czynią fundamentalne argumenty przeciwko mechanizmowi doboru naturalnego (biologia rozwojowa, plastyczność fenotypowa, epigenetyka) pominięte zostały kluczowe prace wyraźnie „niewygodne” z punktu widzenia forsowanej wizji świata (żeby nie szukać daleko: Botero i in., 2015; Gilbert, Bosch i Ledón-Rettig, 2015; Wada i Sewall, 2014; Wray i in., 2014; West-Eberhard, 2003). Czy tak powinna wyglądać dojrzała dyskusja naukowa? Chyba nie.

Dojrzałość dyskusji jest zresztą cechą, której w *Błędzie Darwinia* generalnie brakuje. Nadrzędnym środkiem mającym w określonych sytuacjach zdyskredytować niezgadających się z Autorami biologów ewolucyjnych jest specyficzna mieszanka sarkazmu, cy-

nizmu i arogancji. Matematyczne modelowanie procesów ewolucyjnych jest kwitowane określeniem „pozorowanej ścisłości”, która ma być jedynie fasadą realnej niewiedzy. Równania matematyczne są po to, by te pozory naukowości utrzymywać (s. 54). Określenie „genetyka fasolowa” (jednorazowo zacytowane z tekstu E. Mayra) z lubością wykorzystywane jest do degradowania roli genetyki klasycznej i ilościowej w ogóle (ss. 55–56, 85, 87). Laicy są tutaj bez ogródek określani jako „ciemnogród” (s. 95), a osiągnięcia neodarwinizmu są ironicznie określane jako „błyskotliwe” (s. 99). Wszyscy mający dość śmiałości, by z Autorami polemizować, wrzuceni zostają do bliżej nieokreślonej „Gildii Profesjonalnych Biologów” (s. 236). Jej członkowie nad wyraz często są „wściekli i strzelają na oślep” (s. 243) odpierając tezy Autorów. W końcu Autorzy konkludują, że martwi ich spora liczba krytyków „błędnie odczytujących” ich pracę (s. 252) – co jednak, oczywiście, w żadnym wypadku nie świadczy o niemerytoryczności samych twierdzeń.

Wszystko to byłoby pewnie do zaakceptowania, gdyby *stricte* merytoryczne twierdzenia Autorów broniły się w świetle aktualnego

stanu wiedzy na temat ewolucji biologicznej. Czytającym tekst biologom Autorzy bynajmniej nie ułatwiają zrozumienia swoich racji. Technicznym językiem filozofii i kognitywistyki opisują problemy teorii biologicznej w sposób mogący zniechęcić najwytrwalszego przyrodnika („Problemy selekcji ze-względu-na wymagają rozróżnienia między rolami kauzalnymi koekstensywnych predyktorów” (s. 164); „Tymczasem rozróżnienie między cechami, ze względu na które dokonała się selekcja, a tymi, które się pod nie podłączyły zależy od wartości logicznej odpowiednich okresów kontryfaktycznych” (s. 169)). Wyłuskajmy jednak z tego sam przekaz i zestaw twierdzeń. Krytyka doboru naturalnego, jakiej podejmują się badacze, rozbita została na dwa fronty. Narracja prowadzona jest tak, jakby pierwsza grupa zarzutów miała prowadzić do drugiej – trudno jednak znaleźć między nimi logiczne połączenie. Rozważmy je więc osobno.

Na przestrzeni rozdziałów 2, 3, 4 i 5 Autorzy budują wizerunek „nowej biologii”, mającej ewidentny problem z selekcją naturalną i wykajającej się wyjaśnieniom oferowanym przez współczesne modele mechanizmów mikroewolucyjnych.

Zagadnienia poruszane w tych rozdziałach to m.in. postępy ewolucyjnej biologii rozwoju (evo-devo), istnienie plastyczności fenotypowej i interakcji genotypów ze środowiskiem, ograniczenia fizykochemiczne jakim podlegają organizmy żywe i działająca na nie selekcja naturalna, czy wreszcie zagadnienia epigenetyki i wielopoziomowej selekcji naturalnej. Przeskakując z tematu na temat badacze popełniają wiele dość fundamentalnych błędów. Sugerują ignorancję neodarwinistów w stosunku do osiągnięć evo-devo (ss. 47–48, 51, 78), stawiają niezgodne z obecnym stanem wiedzy tezy dotyczące stałości tempa mutacji w różnych miejscach genomu i w różnych taksonach (s. 65), jednowymiarowości fenotypów – co zasadniczo ignoruje bogaty dorobek badań selekcji skorelowanej i ewolucji kompleksów cech ilościowych (ss. 54, 81, 82), czy wreszcie usilnie forsuje niezgodny z prawdą pogląd, według którego neodarwinizm zakłada wszechmoc i nieograniczoność selekcji naturalnej, nie limitowaną nawet ograniczeniami fizykochemicznymi organizmów (generalne przesłanie rozdziału 5). Biologiczne nieporozumienie goni w tej części książki nieporozumienie, na

każdym kroku pojawiają się nieścisłości, a dość często kategoryczne stwierdzenia pozostawiane są bez odniesień do literatury (których nie brakuje w innych fragmentach tekstu). Weźmy choćby kwestię plastyczności fenotypowej: Autorzy twierdzą w książce (s. 90nn, s. 105nn), że teoria selekcji naturalnej jest z gruntu sprzeczna z istnieniem i powszechnością plastyczności fenotypowej. W tekście brakuje jakiegokolwiek polemiki z przytłaczającą liczbą opublikowanych prac wskazujących nie tylko na pełną zgodność zjawisk związanych z plastycznością z neodarwinizmem, co wręcz na konieczność traktowania samej plastyczności jako odrębnej cechy, podlegającej tym samym prawom genetyki ilościowej i mikroewolucji, co izolowane cechy „prostsze” (Gienapp i Brommer, 2014; Via i Lande, 1985). Nic zresztą dziwnego: interakcje genów ze środowiskiem skwitowane są w książce jako tajemnicza grupa procesów, których jak na razie nikt nie potrafi badać – mimo tego, że mamy do dyspozycji świetne, zaawansowane metody analityczne pozwalające takie interakcje rozbić na czynniki pierwsze (Via i Lande, 1985).

Szczególne miejsce w książce zajmuje biologia rozwoju i evo-

-devo – procesy rozwojowe oraz fundamentalna wyjątkowość sterujących nimi mechanizmów stanowią dla Autorów koronny argument przeciwko teorii doboru naturalnego. Mikroewolucja nie potrafi odtworzyć wzorców makroewolucyjnych, które dominują w dziedzinie evo-devo – ergo selekcja naturalna musi być ideą błędną, konkludują Autorzy. Posuwają się tutaj nawet do mało etycznego przekręcenia i nadinterpretacji cytowanych opinii. Np. cytując przeglądowy tekst Pennisi *Evolutionary Biology. Evo-devo Enthusiasts Get Down to Details* (Pennisi, 2002) Autorzy sugerują, że środowisko biologów ewolucyjnych zaszokowane jest osiągnięciami evo-devo, oraz brzemiennymi skutkami tych osiągnięć dla poprawności samej teorii selekcji naturalnej. O ile pierwsza część takiego stwierdzenia jest do obrony (istotnie – biolodzy z coraz większym podziwem obserwują postęp w dziedzinie evo-devo, i nowe perspektywy, które on otwiera), druga część to absolutne odwrócenie tez tekstu E. Pennisi. W swoim przeglądzie pokazuje ona bowiem coś właśnie przeciwnego: zbiera w jednym miejscu wyniki badań spektakularnie wiążących procesy mikroewolucyjne i działające na poziomie pojedynczych genów z drastycznymi

zmianami w planie budowy ciała, znanymi ze skal bardziej makroewolucyjnych. Czy jest to wynik celowej manipulacji cytowanym tekstem, czy może wynik braku wykształcenia biologicznego Autorów – tego już z książki nie wywnioskujemy.

Przykłady krążące wokół tych kilku wspomnianych powyżej zagadnień można by mnożyć – warto jednak wspomnieć, że nie jest to jedyna oś ataku Autorów na selekcję naturalną. W rozdziałach 6 i 7 rozwijana jest argumentacja stanowiąca rdzeń całej książki. Tak naprawdę cały tekst mógłby zostać zredukowany do tych 2 rozdziałów – stanowią one najtrudniejszy technicznie fragment książki i jednocześnie najdonioślejszy według Autorów dyskwalifikujący neodarwinizm. Problem, jaki przedstawiany jest tutaj, to kwestia mocno filozoficzna: czy selekcja naturalna może być mechanizmem ewolucji, jeśli sama nie ma ona sposobu „zdecydowania” na jakiej cesze działa? Jest to nieco zmodyfikowana wersja często przytaczanej przez krytyków teorii ewolucji tautologii – teoria ewolucji jest błędna, bo opiera się na rozumowaniu okrężnym: najlepiej dostosowane organizmy przeżywają najlepiej, ponieważ są

najlepiej dostosowane, i jednocześnie najlepiej dostosowane są organizmy, które przeżywają najlepiej. W książce *Błąd Darwina* tautologia ta przyjmuje zmodyfikowaną wersję: cecha jest przyczyną sukcesu reprodukcyjnego organizmu, ponieważ jest przyczyną sukcesu reprodukcyjnego organizmu (s. 248). Błąd, jaki popełniają Autorzy, polega na niezrozumieniu, że nie potrzebna nam jest wiedza dotycząca tego, jak selekcja naturalna faktycznie działa (czyli np. jak dokonuje się „decyzja” co do tego, jaka konkretnie cecha ulega selekcji). To, co teorii ewolucji wystarcza, to umiejętność zaprojektowania eksperymentów w oparciu o przewidywania selekcji naturalnej, które następnie pozwalają nam empirycznie zweryfikować tożsamość cech podlegających selekcji. Oczywiście – nie zawsze jest to możliwe (ograniczenia logistyczne, skomplikowana biologia organizmu lub danej cechy, problemy mało precyzyjnej techniki, niemożność „cofnięcia się w czasie”, by zaobserwować organizm w jego przeszłym środowisku) – nie skreśla to jednak mechanizmu samego w sobie. Wskazuje tylko na nasze ograniczenia w jego empirycznym zbadaniu (potwórzę – w przypadku konkretnych

modeli; empirycznych prac testujących z powodzeniem przewidywania neodarwinizmu i selekcji naturalnej jest mnóstwo).

Czy to wszystko książkę *Błąd Darwina* dyskwalifikuje? Być może. Muszę przyznać, że dla biologa jest to pozycja będąca wyzwaniem – jej przeczytanie „od deski do deski” jest bardzo trudne ze względu na nadmiernie techniczny język, niską jakość tłumaczenia na język polski (*genetic rescue* to „genetyczne ratownictwo”; „konserwacja” zastępuje konserwatywność; „charaktery morfologiczne” to zapewne *morphological characters*; z kolei *triggers* stają się „cynglami”) oraz ogromną liczbę wątków niemających wiele wspólnego z główną tezą książki. Jedno jednak *Błędowi Darwina* należy przyznać: tytuł ten świetnie podsumowuje zestaw tematów napędzających debatę na temat neodarwinizmu, jaka obecnie toczy się w środowisku biologów. Wszystkie wymieniane przez Autorów „problemy” neodarwinizmu to potencjalnie zaczątki bardzo interesujących, fundamentalnych zmian w naszym rozumieniu życia. Nie stanowią one zagrożenia dla teorii ewolucji – co najwyżej mogą doprowadzić do jej niewielkich modyfikacji i rozszerzenia. Selekcja naturalna w dalszym ciągu

jednak pozostaje w centrum genetycznej teorii ewolucji. Na każdym kroku przekonuje nas o tym mocna, empiryczna biologia – i tego się trzymajmy.

SZYMON DROBNIAK

Bibliografia

- Botero, C.A., Weissing, F.J., Wright, J. i Rubenstein, D.R., 2015. Evolutionary tipping points in the capacity to adapt to environmental change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [Online], 112(1), ss. 184–189. Dostępne na: <https://doi.org/10.1073/pnas.1408589111> [ostatni dostęp: 28 listopada 2018].
- Gienapp, P. i Brommer, J.E., 2014. Evolutionary dynamics in response to climate change. W: Charmantier, A., Garant, D. i Kruuk, L.E.B. red. *Quantitative Genetics in the Wild* [Online]. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press, ss. 254–274. Dostępne na: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199674237.003.0015> [ostatni dostęp: 28 listopada 2018].
- Gilbert, S.F., Bosch, T.C.G. i Ledón-Rettig, C., 2015. Eco-Evo-Devo: developmental symbiosis and

- developmental plasticity as evolutionary agents. *Nature Reviews. Genetics*, 16(10), ss. 611–622. Dostępne na: <https://doi.org/10.1038/nrg3982>.
- Pennisi, E., 2002. Evo-devo enthusiasts get down to details. *Science* [Online], 298(5595), ss. 953–955. Dostępne na: <https://doi.org/10.1126/science.298.5595.953> [ostatni dostęp: 28 listopada 2018].
- Via, S. i Lande, R., 1985. Genotype-environment interaction and the evolution of phenotypic plasticity. *Evolution; International Journal of Organic Evolution*, 39(3), ss. 505–522. Dostępne na: <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1985.tb00391.x>.
- Wada, H. i Sewall, K.B., 2014. Introduction to the symposium-uniting evolutionary and physiological approaches to understanding phenotypic plasticity. *Integrative and Comparative Biology*, 54(5), ss. 774–782. Dostępne na: <https://doi.org/10.1093/icb/ucu097>.
- West-Eberhard, M.J., 2003. *Developmental Plasticity and Evolution*. Oxford – New York: Oxford University Press.
- Wray, G.A. i in., 2014. Does evolutionary theory need a rethink? – No, all is well. *Nature* [Online], 514(7521), ss. 161–164. Dostępne na: <https://doi.org/10.1038/514161a> [ostatni dostęp: 28 listopada 2018].

Odmienność zwierzęcej inteligencji

Frans de Waal, *Are We Smart Enough to Know How Smart Animals Are?*, W.W. Norton & Company, Inc., New York 2016, ss. 473; polskie wydanie¹: *Bystre zwierzę: czy jesteśmy dość mądrzy, aby zrozumieć mądrość zwierząt?* tłum. Ł. Lamża, Copernicus Center Press, Kraków 2016, ss. 438.

Przez wieki postrzeganie zwierząt jako obdarzonych niższą formą inteligencji, było wynikiem przyjmowania fałszywych założeń i dowodem ludzkiego egotyzmu. Jednym z największych błędów antropocentrycznego myślenia jest pogląd, że zdolności umysłowe człowieka powinny być uważane za jakościowo lepsze od tych, które obserwujemy u innych zwierząt. W ciągu ostatnich kilku dekad używaliśmy jednak dowody naukowe mówiące, że większość zwierząt to inteligentne, emocjonalne i głęboko społeczne stworzenia. Musimy w końcu przyznać, że rodzajów inteligencji jest dużo więcej, niż sobie wyobrażamy, a my sami jesteśmy zbyt mocno przywiązani

do naszego poczucia bycia wyjątkowymi.

W londyńskim zoo pokazywano małpy, które zostały nauczone używania misek, łyżeczek, filiżanek i dzbanków. Z biegiem czasu zachowanie małp stało się perfekcyjnie poprawne, lecz ich występy okazały się zbyt doskonałe dla angielskiej publiczności, dla której odpowiednie zachowanie przy popołudniowej herbacie stanowiło szczyt kulturalnego rozwoju. Przedstawienia małp zaczęły, najprościej mówiąc, zagrażać ludzkiemu ego. Małpy zostały zatem ponownie przeszkolone, by rozlewać herbatę, rzucać jedzeniem i pić z imbryków. Odwiedzającym zoo dużo bardziej podobały się dzikie i niegrzeczne małpy, które były tak głupie, jak sobie tego życzyli. Nikt nie zwracał uwagi na fakt, że ich umiejętność nauczenia się głupich zachowań była dodatkowym, chociaż przewrotnym dowodem inteligencji.

Frans de Waal jest prymatologiem i etologiem, który od 30 lat bada granicę między naszym gatunkiem i innymi zwierzętami. W swojej książce *Are We Smart Enough to Know How Smart Animals Are?* stara się wyjaśnić naturę zwierzę-

¹ Niniejsza recenzja opracowania została na podstawie angielskiego wydania książki.

cej inteligencji i przedstawia badania dowodzące, że wyspecjalizowane procesy poznawcze występują u różnych gatunków zwierząt. De Waal pełni funkcję profesora na Wydziale Psychologii Uniwersytetu Emory i dyrektora Living Links Center w Yerkes National Primate Research Center w Atlancie. Jest również długoletnim członkiem zarządu Chim Haven, National Chimpanzee Sanctuary, który zajmuje się wypuszczaniem na wolność laboratoryjnych szympansov. Pierwsza popularnonaukowa książka de Waala: *Chimpanzee Politics*, porównywała intrygi szympansov uczestniczących w walkach o władzę z politykami. Od tego czasu etolog rysuje podobieństwa między zachowaniami ludzi a innych naczelnymi.

Are We Smart Enough to Know How Smart Animals Are? składa się z dziewięciu rozdziałów, w których de Waal opisuje zwierzęce umiejętności wykorzystania narzędzi, współpracę, świadomość indywidualnej tożsamości, teorię umysłu, zdolność planowania, samopoznanie i percepcję czasu. Dowodzi w nich, że wszystkie te poznawcze umiejętności uważane za typowo ludzkie, mogą być przynajmniej również innym niż naczelnymi zwierzętom. W książce znajdujemy

dziesiątki opisów zachowań zwierząt i równie dużo objaśnień badań oraz odsyłaczy do eksperymentów. De Waal nie ogranicza się do teoretyzowania na temat inteligencji zwierząt, lecz w jasny sposób pokazuje na kolejnych przykładach, jak możemy ją analizować i opisywać.

Dla de Waala jednym z najważniejszych pojęć jest *Umwelt*, termin stworzony przez Jakoba von Uexküllę w celu opisania subiektywnego świata organizmu, który jest reprezentacją tylko poszczególnego ze wszystkich zwierzęcych światów. Przyjęcie istnienia zwierzęcej inteligencji wymaga przyznania, że każde zwierzę ma swój specyficzny *Umwelt* – spójny świat zmysłowych doświadczeń. Dowody przedstawione przez de Waala wskazują, że *Umwelty* zwierząt są równie bogate i złożone jak ludzki *Umwelt*. Autor wskazuje, że poza uznanymi za inteligentne ssakami, jak delfiny lub szympansy, często pomijamy niezwykle zdolności poznawcze innych zwierząt takich, jak chociażby ptaki lub gryzoni.

Badanie istniejących w królestwie zwierząt *Umweltów* ułatwiają nam badania etologiczne. Opisują one typowe dla gatunku zachowanie będące adaptacją do środowiska naturalnego. Oznacza to, że mu-

simy badać zwierzęta na ich własnych warunkach, bez wstępnego formowania własnych założeń dotyczących inteligentnego zachowania ani oczekiwań, że zwierzęta będą inteligentne według antropocentrycznych definicji. De Waal podkreśla, że ewolucja zwierząt przebiegała przez miliony lat w kierunku uwzględniającym oddziaływanie na środowisko naturalne i jeśli nie uwzględnimy relacji ciało-środowisko, nie będziemy w stanie właściwie zrozumieć, co, jak i dlaczego zwierzęta „robią”. W książce wyjaśnione też zostały kluczowe różnice między behawioryzmem a etologią, które pokazały, że perspektywa etologiczna jest prawdopodobnie najlepszym narzędziem do badania i modelowania *Umweltów* zwierząt. Im więcej światów zwierzęcych odkryjemy, tym bardziej pluralistyczna stanie się definicja inteligencji, która może zostać przedstawiona jako *continuum* naszego wspólnego dziedzictwa.

Autor *Are We Smart Enough to Know How Smart Animals Are?* uważa, że ludzie wpadają w pułapkę „neo-kreacjonistycznego” myślenia: akceptują ewolucję przy założeniu, że ta skończyła się wraz z pojawieniem gatunku *Homo sapiens* i wierzą, że ciało człowieka ewoluowało od małp, ale umysł jest

jego własnym fenomenalnym wynalazkiem. Tymczasem poznanie musi być rozumiane jako produkt ewolucji, tak jak każde inne zjawisko biologiczne. De Waal kwestionuje przekonanie, że ludzka inteligencja może być porównywana tylko z inteligencją innych naczelnych, dlatego że struktury ich mózgów są podobne do naszych. Autor powołuje się na ciekawą teorię fal mózgowych, która bazując na badaniu działania hipokampu wskazuje, że nie tylko u naczelnych, ale też u innych zwierząt jego struktura jest podobna. Hipokamp jest istotny dla pamięci, umiejętności planowania i odpowiada za orientację przestrzenną, a w jego obszarze odtwarzane są doświadczenia, do których mogą powracać wszystkie zwierzęta. Aktywność hipokampu pozwala na odniesienie się do przeszłości, teraźniejszości i przyszłości w sposób homologiczny u wszystkich gatunków.

Tym bardziej nieusprawiedliwione wydaje się założenie, że gryzoni, które nie potrafią liczyć, są uważane za pozbawione inteligencji. Dla wiewiórki rachowanie nie ma znaczenia, ponieważ sens dla niej ma jej życie i przetrwanie: zachowanie inteligentne polega na zapamiętywaniu, gdzie przechowywane są orzechy, a jej inteligencja

jest geoprzestrzenna. De Waal ubolewa, że istnieje wielu naukowców ignorujących tę prawdę. Badają np. zdolność szympanсів do rozpoznawania ludzkich twarzy, nie sprawdzając, czy szympanсы rozpoznają twarze innych szympanсов lub wykonują test lustra za pomocą zwierciadeł, których wielkość bądź właściwości są odpowiednie dla ludzkich oczu. Takie badania wskazują wyłącznie na brak empatii i nieumiejętność wyobrażenia sobie eksperymentu lub formy inteligencji, która jest testowana przynajmniej przy pomocy zwierzęcych narządów wzroku. De Waal porównuje te eksperymenty do wrzucania ryb i kotów do basenu w celu sprawdzania, które z nich potrafią pływać.

W książce szczególnie mocno podkreślana jest przewodnia myśl: inteligencja nie jest pojęciem jednolitym i nie można jej sprowadzić do zbioru ogólnych zasad. Każdy, kto chce ocenić, czy dowolne zachowanie lub przystosowanie jest inteligentne, musi być wrażliwy na warunki ekologiczne. Autor przekonuje, że jedynym sposobem mówienia o inteligencji jest uwzględnienie w narracji opisu działania biologicznych mechanizmów. Procesy umysłowe związane z powstawaniem inteligentnego zachowania u ludzi występują również u in-

nych gatunków. De Waal wskazuje, że wszystkie mózgi kręgowców są homologiczne. Liczy na to, że nauka w coraz większym stopniu będzie sprzyjać poszukiwaniom ciągłości międzygatunkowej. Prymatolog zwraca też uwagę na fakt, że porównania zachowań inteligentnych przestają dotyczyć tylko naczelnych, ale uwzględniają też inne ssaki i ptaki, chociażby z tego powodu, że mózgi ptaków okazują się bardziej podobne do ssaków, niż wcześniej sądzono.

De Waal przedstawia dowody na to, że różne gatunki zwierząt wykazują się posiadaniem właśnie tych zdolności, które tradycyjnie uważane są za wskaźniki inteligencji. Sugeruje, że robią to, co ludzie, ale w inny sposób. Badając zachowania zwierząt, odkryjemy, że uczciwa definicja inteligencji musi obejmować różnorodność jej naturalnych form. Wiele gatunków potrafi rozwiązywać problemy, używać narzędzi, budować skomplikowane hierarchie społeczne, przewidywać przyszłość i tworzyć epizodyczną pamięć. Głębokość i elastyczność, z jaką różne zwierzęta angażują się w te czynności, są interesujące i nie istnieje linia, który wytycza granice między inteligentnymi i nieinteligentnymi istotami. Dlatego też de Waal pyta „czy

zwierzę jest inteligentne?” zamienia na „w jaki sposób zwierzę osiąga swoje cele w określonych kontekstach środowiskowych i jaka jest jego zdolność do uczenia się i dostosowywania do nowych wyzwań?”.

Ciekawa jest myśl, która pojawia się w ostatnim rozdziale, a która sprawia, że zaczynamy się zastanawiać, czy trud autora przyniesie upragniony skutek. De Waal przekonując do zawieszenia przekonań o wyjątkowości człowieka twierdzi, że „Każdy gatunek ma inną historię do opowiedzenia. Każdy organizm ma swoją własną ekologię i styl życia, swój własny *Umwelt*, który dyktuje mu to, co musi wiedzieć, aby przeżyć”. Jednak w przypadku zwierząt, to opowiadanie historii jest prezentacją wrodzonego i wyuczonego zachowania, a jedynym zwierzęciem, które bada i przekazuje informacje o *innych gatunkach* jest człowiek. Jest to umiejętność, która jest ściśle związana z poznaniem w jego własnym ludzkim *Umwelcie* i utrudnia niejako ideę odrzucenia antropocentryzmu, którą to Autor stara się zakorzenić w swoim czytelniku.

Ta uwaga traci jednak na znaczeniu, gdy zauważymy, że Frans de Waal podjął się ważnej i żmudnej pracy uchylenia ludzkiego su-

biektywizmu, a jego książka jest poważnym osiągnięciem w kwestii wprowadzenia odkryć naukowych w sferę publiczną. Opisał przystępnie dobrze skonstruowane eksperymenty, które zostały dopasowane do temperamentu, zainteresowań, anatomii i zdolności sensorycznych zwierzęcia. Ponadto w książce pojawiają się liczne szkice i ilustracje, które uzupełniają narrację de Waala. Książka dostarcza interesujących przykładów, obejmujących olbrzymią różnorodność królestwa zwierząt. Jest to zarówno siłą jak i słabością *Are We Smart Enough to Know How Smart Animals Are?*. Autor przedstawia ogromną ilość faktów, dotyczących wielu różnorodnych gatunków zwierząt, więc czasami można odnieść wrażenie, że pewne wnioski wielokrotnie się powtarzają. Ten zabieg był jednak niezbędny, ponieważ celem de Waala było przedstawienie wielu eksperymentów i obserwacji, które miały przekonać do zasadności prowadzonych przez niego badań.

Autor przedstawił wnioski i pomysły, które mogą być niczym nowym dla osób zajmujących się najnowszymi badaniami etologicznymi, ale dla każdego innego czytelnika są zaskakujące. Potrzeba specjalizacji jest nieodzowną cechą przedsięwzięcia naukowego, jed-

nak społeczność naukowa w końcu stosuje taką narrację swoich odkryć, aby uczynić je dostępnymi dla tych, którzy nie są specjalistami. I tu właśnie de Waal okazuje się być mistrzem w opowiadaniu historii. Czyni to w ten sposób, że trudno się oderwać od jego książki.

Zmusza też do refleksji nad możliwościami człowieka poprzez tytułowe pytanie: czy jesteśmy wystarczająco sprytni, aby wiedzieć, jak inteligentne są zwierzęta? Myślę, że odpowiedź de Waala byłaby ostrożną afirmacją.

ANNA SAROSIEK

Opowieści niesamowite ze świata kruków

Bernd Heinrich, *Umysł kruka. Badania i przygody w świecie wilczych ptaków*, tłum. M. Szczubiałka, Wydawnictwo Czarne, Wołowiec 2018, ss. 504.

Kruki są fascynującym obiektem badań i niezwykle ważnymi zwierzętami pojawiającymi się w kulturach i tradycjach różnych społeczności. Ptaki te kojarzone są zazwyczaj z łowcami, takimi jak wilki i mężczyźni. To zestawienie dotyczące polowania jest niezwykle starym spojrzeniem na współdziałanie tych trzech gatunków. Często ptaki te przedstawiane są jako prorocy, oszuści, niszczycciele, twórcy lub błazny. Odyn, władca nordyckich bogów, trzymał dwa wilki u boku i kruka na każdym ramieniu, Wikingowie postrzegali kruki jako wróżbę zwycięstwa, a Inuici do dziś wierzą, że kruki pomagają im polować. Znanе są również dziwne zachowania tych ptaków, jak ślizganie się po śniegu, latanie do góry nogami, zwisanie z gałęzi, bitwy toczone przy użyciu wilczych ogonów i kamieni. Mark Pavelka, który badał kruki dla U.S. Fish and Wildlife Service, stwierdził, że możemy odrzucić 90 pro-

cent historii, które opisują zaskakujące zachowania zwierząt, lecz w przypadku kruków wszystko jest możliwe.

Po 19 latach od pierwszego wydania książki Berndta Heinricha *Mind of the Raven: Investigations and Adventures with Wolf-Birds* ukazało się jej polskie tłumaczenie. Pozycja ta zawiera w sobie opisy obserwacji i eksperymentów przeprowadzonych w celu zbadania sposobu myślenia i zachowania kruków zamieszkałych w stanach Maine i Vermont. W *Umyśle kruka*, w 29 rozdziałach, Autor przedstawia różnorodne zachowania tych ptaków i opowiada o nich, jako obdarzonych nieprzeciętną inteligencją, która mimo niemożliwości porównania jej z ludzką, pozostaje niepodważalna. Heinrich przedstawia kruki jako planujące i czujące istoty, które wykorzystują swoje zdolności umysłowe do osiągnięcia odległych celów.

Berndt Heinrich jest emerytowanym profesorem na wydziale biologii na Uniwersytecie w Vermont oraz autorem wielu książek na temat zachowań zwierząt, ekologii i ewolucji przyrody. Jego najważniejsze badania dotyczą fizjologii i zachowań owadów oraz ptaków. Napisał kilkanaście książek, związanych głównie z jego bada-

niami nad fizjologicznymi i behawioralnymi adaptacjami zwierząt do ich środowiska. Poza pozycjami naukowymi pisze także książki popularnonaukowe, które zawierają jego osobiste refleksje na temat zachowań kruków i owadów. Jest też autorem publikacji opisującej naturalną historię biegania, w której twierdzi, że zdolność człowieka do długodystansowych biegów jest adaptacją podobną do nabytych umiejętności biegania u innych zwierząt. Heinrich spędzał wiele czasu z krukami, starając się przedstawić możliwie pełny obraz życia i zachowań tych zwierząt. Prowadził badania ptaków przez 16 lat, ale już jako chłopiec opiekował się wroną, a jako student trzymał w mieszkaniu dwa oswojone kruki. Również później, w trakcie swojej pracy badawczej opiekował się ptakami, które wykradał z gniazd. Obserwował je zatem zarówno w sztucznym, jak i naturalnym środowisku, studiując ich codzienne czynności, a przy okazji malując żywy obraz ich świata.

Kruk zwyczajny, *Corvus corax*, jest największym przedstawicielem krukowatych na świecie. Jako jedyny ptak zamieszkuje niemalże wszystkie rejony kuli ziemskiej i wykazuje olbrzymią zdolność przystosowania się do środo-

wiska. Heinrich uważa, że kruki, podobnie jak ludzie, zachowują się spontanicznie a ich zachowanie rozwija się w miarę rozwiązywania kolejnych problemów. Autor *Umysłu kruka* postanowił sprawdzić ich inteligencję. Założył, że jeśli ptak zdoła wymyślić, jak zdobyć jedzenie w procesie składającym się z 10 kolejnych kroków, bez długiego okresu prób i błędów, może to wskazywać na jego inteligencję. Ten eksperyment pozwolił Heinrichowi ograniczyć możliwości powstania przypadkowej szansy na powodzenie testu lub zakodowania tego nienaturalnego zachowania. Szybko okazało się, że kruki są w stanie wykonać to działanie.

Heinrich podejrzewał, że zachowanie ptaków, które nie było poprzedzone próbami ani nauką, musiało być wynikiem umiejętności planowania. Doszedł do wniosku, że kruki bez wstępnego przygotowania potrafią sobie wyobrazić, jak inne zwierzęta i przedmioty będą reagować na ich działania. Potrafią schować jedzenie na później, lecz gdy zauważą, że inny ptak je obserwuje, udają, że ukrywają pokarm w innym miejscu. *Corvus corax* biorą pod uwagę to, że mogą być obserwowane, nawet jeśli nie widzą innych zwierząt, a jedynie je słyszą. Te rezultaty badań sugerują,

że kruki mogą uogólniać na podstawie własnych doświadczeń percepcyjnych, by wnioskować o możliwości bycia widzianymi.

W *Umyśle kruka* Autor stara się też rozwikłać zagadkę współwystępowania kruków i wilków. Heinrich uważa, że wilki mogą mieć wpływ na przetrwanie ptaków. Podczas wyprawy do parku w Yellowstone, biolog obserwował udział kruków w polowaniach wilków. Zauważył, że kruki przybywają na miejsce, gdzie zostało zabite zwierzę i natychmiast zaczynają żerować. Zaskakującym spostrzeżeniem jednak okazało się to, że nie pożywiają się tam, gdzie wilków nie ma. Heinrich zauważył, że tworzy to stały wzorzec – kruki wybierają przebywanie z wilkami. Wysznuł teorię, że ptaki te ewoluowały wraz z wilkami w mutualizmie, który zapewnia im specyficzne poczucie komfortu i bezpieczeństwa. Kruki, jak tłumaczy Autor, potrzebują wilków z powodu ich umiejętności zabijania większej zwierzyny oraz ich zręczności w otwieraniu zwłok, których ptaki nie są w stanie same rozerwać. Podobnie badający wilki zauważają, że ssaki te potrzebują kruków, które je informują o potencjalnych źródłach pokarmu i ostrzegają przed niebezpieczeństwem.

Kruki wykazują dużą elastyczność w koegzystencji z innymi gatunkami i współżyciu z nimi w zażyłych relacjach. W swojej książce Heinrich opisuje spotkania z osobami, które mieszkają z krukami. Okazuje się, że ptaki potrafią żyć w pełnej zgodzie z ludźmi, obdarzając ich czułością, jaką zazwyczaj wykazują w stosunku do bliskich ich przedstawicielom tego samego gatunku. Biologa mocno interesowały takie przypadki, ponieważ kruki są znane ze swoich niszczyielskich zachowań. Zwierzęta te są w stanie zniszczyć niemalże każdy przedmiot i znajdują w tym wielką przyjemność. Jedną z ciekawszych opowieści jest opis wizyty u niemieckiego lekarza i jego kruka Jakoba. Ten oswojony kruk żył bez klatki w mieszkaniu i mógł poruszać się po nim bez żadnych ograniczeń. Ku zaskoczeniu biologa, okazało się, że Jakob niszczy tylko podsunięte mu papierowe obiekty, jak kartony bądź gazety i pozostawia nietknięte przedmioty znajdujące się w mieszkaniu. Kruk spożywał posiłki z rodziną, oglądał z nią telewizję, kąpał się i domagał się pieszczot. Jego wyjątkową ciekawość budziły tylko przedmioty, których wcześniej nie znał (np. domagał się wiecznego pióra badacza).

Nie demolował mieszkania, ponieważ nie interesowały go rzeczy już znane. Heinrich podsumował to zachowanie twierdząc, że ciekawość drapieżnych ptaków jest „ich znakiem firmowym”, który prawdopodobnie jest źródłem ich olbrzymich możliwości rozwoju.

W książce opisanych jest wiele ciekawych relacji z obserwacji i eksperymentów. Mimo iż opowieść Heinricha rozwija się bardzo powoli, ponieważ Autor dokładnie przedstawia swoje wielogodzinne oczekiwania na to, aż coś się wydarzy, ostatecznie tworzy znakomicie skomponowaną całość. W zrównoważony sposób opisuje eksperymenty naukowe i liczne zabawne sytuacje związane z krukami. Czasami w trakcie lektury wydawało mi się, że kreowany anegdotyczny obraz ptaka podtrzymuje historyczny stereotyp przebiegłego i drapieżnego stworzenia. Na następnych stronach znajdowałam jednak metodyczny opis zachowań *Corvus corax*, poparty doświadczeniami i wnikliwymi obserwacjami. Najciekawsze rozważania znajdują się w ostatnich rozdziałach książki, gdy refleksje Autora stają się bardzo głębokie. Po starannym udokumentowaniu zachowań i inteligencji kruków w poprzednich częściach książki, zbiera swoje obser-

wacje i zastanawia się nad ewolucją, świadomością i inteligencją. Jednym z ostatnich opisanych zagadnień są rozważania Heinricha nad świadomością kruków, delfinów i małp, która wydaje mu się wyjątkowo podobna do ludzkiej. Badacz popiera te myśli argumentami o umiejętności przewidywania różnych sytuacji i możliwości „tworzenia wspomnień” przez te gatunki.

Czytelnik zainteresowany zachowaniem kruków jest zmuszony, by zastanawiać się, co dzieje się w głowach tych wspaniałych ptaków i czy można im przypisać zdolność do posiadania stanów mentalnych: wierzeń, intencji, pragnień bądź wiedzy, które są różne od jego własnych. Musi też przyjąć, że zachowania kruków nie są instynktowne czy przypadkowe. Kiedyś uważano, że rozmiar mózgu w stosunku do wielkości ciała jest najważniejszym czynnikiem wpływającym na inteligentne zachowania zwierząt. Ponadto ptaki nie posiadają neokorteksu (kory nowej), która u ssaków jest niezbędna dla zachowań poznawczych. W tej perspektywie inteligencja ptaków musiała budzić wątpliwość. Zakładano, że tylko ludzie są poznawczo i emocjonalnie zdolni do posiadania inteligentnych umysłów,

które są zwieńczeniem ewolucji. Jednak kruki są zaskakująco inteligentne: tworzą i używają narzędzi do zdobywania pożywienia; potrafią uchwycić abstrakcyjne pojęcia, wykorzystują wyobraźnię i układają strategiczne plany. Obecne badania nad zachowaniem kruków wskazują na ich świadome działania i odnajdywanie się w różnych sytuacjach społecznych.

Badania Heinricha pokazują, jak przemyślane mogą być eksperymenty i jak uważne obserwacje mogą rozszerzyć badanie umysłu i inteligencji na inne gatunki niż naczelnne. Uświadamiamy sobie, że stawianie ostrej granicy między ludźmi a innymi zwierzętami musi się skończyć, jeśli zbierane dane porównawcze dotyczące innych gatunków wskazują na wielką ilość podobieństw między nami. W badaniu inteligencji zwierząt nadaliliśmy przywileje naczelnym i zignorowaliśmy ptaki umieszczone na samym szczycie innego drzewa ewolucyjnego. Teraz odkrywamy, że kruki są bardziej inteligentne niż sądziliśmy. Wiemy też, że odczuwają emocje takie jak smutek bądź radość. Należy więc porzucić myśl o wyjątkowości inteligencji ludzi, opartą na uprzedzeniach, które w świetle nowoczesnych badań wydają się nieuzasadnione. Na-

leży się też zastanowić, czy sposób, w jaki traktujemy inne gatunki, jest usprawiedliwiony? Czy nie powinniśmy traktować inteligencji jako cechy wspólnej wszystkich zwierząt? Taka otwartość zapewne pozwoli zrozumieć nam nie tylko światy innych żyjących stworzeń, lecz prawdopodobnie również nas samych. Może uda się nam wyjaśnić pochodzenie naszej inteligencji, jej ograniczenia, rozwój, a może nawet kierunek, w którym ten rozwój zmierza.

Wiele się można nauczyć z tej książki. Nie tylko o krukach, lecz także o sposobach planowania i wykonywania eksperymentów. Autor dokładnie opisuje swoje działania. Momentami jednak jego intencje są trudne do odczytania, ponieważ stara się zbyt szczegółowo przybliżyć czytelnikowi swoje badania, co niekiedy jest zabiegiem zbyt technicznym i męczącym. Mimo tego, w przeważającej części, jego entuzjazm jest tak wielki, że nawet niezainteresowany ptakami czytelnik nie zostanie wobec tej książki obojętny. Osia *Umysłu kruka* jest miłość i szacunek Heinricha do tych skomplikowanych i fascynujących ptaków. Każde nowe odkrycie i wgląd w ich zachowanie jest ekscytujące i tak jak obiecuje tytuł, czytelnik otrzymuje wgląd w umysł

tych wspaniałych stworzeń. Bernd z naukowym opisem świata przy-
Heinrich łączy prozę opowieści rody.

ANNA SAROSIEK

Filozoficznie prowokująca teoria kategorii

Elaine Landry (red.), *Categories for the Working Philosopher*, Oxford University Press, Oxford 2017, ss. xiv+471.

Niewiele jest matematycznych teorii tak filozoficznie prowokujących jak teoria kategorii. Nie tylko stwarza ona nową perspektywę w spojrzeniu na matematykę, lecz również dostarcza skutecznych narzędzi, które aż proszą się, by je zastosować do szeregu filozoficznych zagadnień. Wiele cennych wyników, dotyczących tych zagadnień, jest rozproszonych po różnych czasopismach, często takich, które nie bywają regularnie nawiedzane przez filozofów. Dlatego wydanie tomu poświęconego wprost filozofii teorii kategorii przez Oxford University Press jest kolejnym wydawniczym „strzałem w dziesiątkę”. Tytuł w oczywisty sposób nawiązuje do znanej książki Soudersa Mac Lane’a *Categories for the Working Mathematician* i, podobnie jak ona, tom ten nie zniża się do poziomu łatwej popularyzacji, lecz stawia duże wymagania pod względem matema-

tycznego przygotowania czytelnika. Chcąc filozofom przybliżyć zawartość recenzowanego tomu, dokonam przeglądu jego treści na tyle dokładnego, na ile pozwalają rozmiary recenzji.

Teoria kategorii często jest uważana za główną rywalkę teorii mnogości w roli podstawowej teorii matematycznej, nic więc dziwnego, że tom rozpoczyna się od spojrzenia na rolę teorii mnogości w matematyce. Collin McLarty, w rozdziale 1. zatytułowanym *The Roles of Set Theories in Mathematics*, zwraca uwagę, że nie ma jednej teorii mnogości. Logicy zwykle za standardowe uważają ujęcie ZFC (Zermelo-Fraenkla z aksjomatem wyboru), ale ZFC nie jest po prostu synonimem teorii mnogości. W praktyce matematycznej (algebra, topologia, teoria homotopii...) za bardziej naturalne uważa się inne ujęcia, o aksjomatyce ZFC niekiedy w ogóle nie wspominając. To, co jest wspólne wszystkim tym ujęciom (i jeszcze więcej), łączy w sobie ETCS (*Elementary Theory of the Category of Sets*), po polsku zwykle zwana po prostu kategorią zbiorów. W pewnym sensie jednak ZFC mówi więcej o zbiorach niż ETCS, chociaż to „więcej” rzadko bywa używane w innych działach matematyki. Dzieje się tak dlatego,

że w ZFC wszystko daje się zredukować do zbiorów, podczas gdy dla ETCS niektóre ze struktur, które dla ZFC są zbiorami, muszą być traktowane w innych kategoriach. Nie ma oczywiście nic takiego, co dałoby się zrobić w ZFC, a czego nie dałoby się zrobić w ETCS lub innych kategoriach. Mc Larty utrzymuje, i pokazuje na przykładach, że wszystko, co matematycy z teorii mnogości wykorzystują w swoich pracach, lepiej ujmują ETCS.

Od siebie dodałbym jeszcze jedną „przewagę” ETCS nad ZFC. ETCS włącza teorię zbiorów w styl myślenia teorii kategorii, a jest to styl daleko bardziej perspektywiczny niż styl „zwykłej” teorii mnogości.

Teoria kategorii ma silny aspekt unifikujący: łączy ona algebrę, logikę i geometrię. David Cornfield (rozdział 2., *Reviving the Philosophy of Geometry*) zwraca uwagę na jej aspekt geometryczny. Podkreśla, że dominujący dotychczas kierunek w filozofii geometrii wyznaczały poglądy Koła Wiedeńskiego. Wedle tych poglądów, należy rozróżnić geometrię matematyczną i fizyczną. Pierwsza jest po prostu pewnym systemem aksjomatycznym, a druga jego interpretacją, określoną przez „reguły pomostowe” pomiędzy aksjomatyką

a wynikami eksperymentów. Zdaniami Cornfielda ta formalistyczna koncepcja odwróciła uwagę badaczy od bardziej zgodnej z praktyką matematyczną linii myślenia, reprezentowanej m.in. przez Weyla i Cassirera, którzy rozwijali matematyczną koncepcję przestrzeni w duchu dziewiętnastowiecznej tradycji, wywodzącą się bardziej „z wnętrza matematyki”. Cornfield uważa, że w pojęciowym środowisku teorii kategorii kultywuje się właśnie tę zaniedbaną linię myślenia. Prace Grothendiecka i jego szkoły dały potężny impuls temu kierunkowi. Jego przyszłość Cornfield wiąże z najnowszymi osiągnięciami w dziedzinie tzw. HOTT/UF (*Homotopy Type Theory and Univalent Foundations*). Programowi temu poświęcone są dwa następne rozdziały.

Michael Shulman, w rozdziale 3. *Homotopy Type Theory: A Synthetic Approach to Higher Equalities*, kreśli zarys programu HOTT/UF. Jego podstawą, podobnie jak teorii mnogości, jest pojęcie klasy lub zbioru składającego się z elementów, ale elementy te zachowują się inaczej niż w teorii mnogości. Mogą mianowicie być równe między sobą na różne sposoby (w teorii mnogości tylko na jeden sposób). To tworzy „sieć” roz-

maitych równości między elementami, co kreuje strukturę, zwaną w matematyce grupoidem. Ale różne sposoby, na jakie dwa elementy mogą być sobie równe, też mogą być ze sobą równe na różne sposoby, co również tworzy sieć i ta sieć także jest grupoidem (2-grupoidem). Możemy tak postępować w nieskończoność, otrzymując pojęcie ∞ -grupoidu. Już ta konstrukcja sugeruje, że matematyka, na jakiej oparty jest program HOTT/UF, nie jest prosta.

Druga część skrótu HOTT/UF (*Univalent Foundations*) odnosi się do pewnej wersji programu, w której istotną rolę odgrywa tzw. aksjomat uniwalencji (*Univalent Axiom*). Waga tego programu (oprócz tego, że stanowi on istotny postęp w teorii kategorii) polega na tym, iż proponuje on nową, atrakcyjną wersję podstaw matematyki. Zauważyć jednak wypada, że propozycja ta ciągle jeszcze znajduje się w stadium początkowym.

Program HOTT/UF ma także wymowę filozoficzną. Jeden z jego współtwórców, Steve Awodey (rozdział 4. *Structuralism, Invariance, and Univalence*), przekonuje czytelnika, iż program ten jest urzeczywistnieniem idei strukturalizmu.

Bezpośrednio zagadnieniu teorii kategorii i podstaw matematyki

poświęcony jest kolejny rozdział pt. *Category Theory and Foundations*. Michael Ernst skupia uwagę na ETCS i na kategorii wszystkich kategorii CCAF (*Category of Categories as a Foundation*) jako ewentualnych kandydatkach do zastąpienia ZFC w roli podstaw matematyki i dokonuje obszernego przeglądu polemik na ten temat. Strony przytaczają ważne argumenty na poparcie swojego stanowiska i przeciw stanowisku oponentów, ale wydaje się, że kategorijskie podstawy bardziej uzasadniają roboczą praktykę matematyków.

Równie ważne jak problem podstaw jest zagadnienie globalnego spojrzenia na matematykę. Temu poświęcony jest rozdział 6. *Canonical Maps*. Jean-Pierre Marquis omawia w nim rolę tak zwanych przez niego odwzorowań kanonicznych w teorii kategorii. Nie istnieje żadna formalna ich definicja (podobnie jak nie istniała formalna definicja przekształceń naturalnych przed powstaniem teorii kategorii), ale matematyk-ekspert natychmiast je rozpozna, gdy na nie natrafi. Ich charakterystyczną cechą jest to, że nie trzeba ich „wymyślać”; wymusza je sama konstrukcja danej struktury. Jako przykład może posłużyć odwzorowanie ze zbioru do zbioru jego klas abstrak-

cji (w tym przypadku oficjalnie nazywa się ono odwzorowaniem kanonicznym) lub jedyne odwzorowanie, jakie występuje przy definiowaniu dowolnych własności uniwersalnych w teorii kategorii.

Odwzorowania, które Marquis nazwał kanonicznymi, w zwykłej teorii mnogości nie wyróżniają się niczym szczególnym, natomiast w teorii kategorii odgrywają ważną rolę, stanowią jakby „mapę drogową”, po której podróżują pojęcia, ale, co więcej, „stanowią one rusztowanie, na którym inne pojęcia są konstruowane lub budowane” (s. 92). Odwzorowania kanoniczne powstają w sposób naturalny podczas konstruowania obiektów lub struktur, ale z chwilą gdy już raz zostaną powołane do życia, „matematyka rozwija się wokół nich w sposób całkowicie organiczny” (s. 93).

Odwzorowania kanoniczne dotychczas nie były przywoływane w dyskusjach na temat filozofii matematyki, ale na pewno warto im się przyjrzeć dokładniej pod kątem globalnych charakterystyk matematyki. Tworzą one – jak pisze Marquis – „architekturę matematyki” (s. 104). W filozofii nauki coraz częściej słyzy się głosy, że fundacjonizm (szukanie podstaw) należy porzucić na rzecz strukturalnego, globalnego ujęcia teorii na-

ukowych i nauki jako całości. Przy takim podejściu do filozofii matematyki rola teorii kategorii jest niekwestionowalna.

J.-P. Marquis jest także autorem rozdziału 8. *Unfolding FOLDS. A Foundational Framework for Abstract Mathematical Concepts*. Podejmuje w nim problem abstrakcyjnego charakteru współczesnej matematyki. W podejściu teoriomno-gościowym matematykę konstruuje się z czystych zbiorów. Znacząco z grubsza tyle, że konstrukcję matematyki zaczynamy od zbioru czystego $\{\emptyset\}$; następnie tworzymy zbiór $\{\{\emptyset\}, \{\emptyset, \{\emptyset\}\}$, który też jest zbiorem czystym; następnie konstruujemy... itd., itd. W efekcie potem każdy zbiór czysty możemy rozłożyć na rodzinę zbiorów czystych. Ale tak „skonstruowana” matematyka zatracą swój abstrakcyjny charakter. Jej podstawowe „cegiełki” są konkretami a nie abstrakcyjnymi zbiorami.

Pojęcia abstrakcyjne, w przeciwieństwie do konkretnych, po pierwsze, są dane przez przykłady i, po drugie, nie są dane indywidualnie lecz w powiązaniu z innymi. Próbę skonstruowania formalnej teorii, która realizowałaby tego rodzaju abstrakcyjne podejście do matematyki podjął M. Makkai. Jego system nazywa się FOLDS

(*First Order Logic with Dependent Sorts*)¹. Jest to hierarchiczny system kategorii, funktorów między kategoriami i naturalnych transformacji między funktorami, ale kategorie z wyższego poziomu (z odpowiadającymi im funktorami i transformacjami naturalnymi) są „bytami innego rodzaju” niż kategorie z niższego poziomu. Całemu systemowi FOLDS odpowiada pewien formalny język, ale charakter (sygnatura) tego języka zmienia się w zależności od „miejsca” w systemie. Odpowiada temu fakt, że pojęcie identyczności, które w teorii mnogości jest „sztywne” (raz na zawsze ustalone), tu zmienia się zależnie od tego „miejsca”. Jest to interesująca próba stworzenia ścisłych podstaw do ujęcia abstrakcyjnego charakteru matematyki. Marquis nie uważa jej za konkurencję w stosunku do teoriomnościowych podstaw matematyki. Po prostu ujmuje ona inne aspekty królowej nauk.

Niewątpliwie wielkie znaczenie filozoficzne teorii kategorii polega na jej związku z logiką. Ten właśnie aspekt wybrał John Bell za przedmiot swoich rozważań w rozdziale 7. pt. *Categorical Logic and*

Model Theory. Dokonał on wnikliwego przeglądu niektórych problemów z tej dziedziny, jakie powinny zainteresować filozofa. Celem „zachęty” zasygnalizuję tylko jeden fragment z rozdziału Bella. Rozważmy pewien język L i zwiążmy z nim kategorię C w następujący sposób: obiektami kategorii C niech będą zdania języka L . Jeżeli p i q są dwoma takimi obiektami (zdaniami), to strzałką między nimi niech będzie dedukcja q z p . Kategorię C nazywamy kategorią syntaktyczną języka L (została tu naszkicowana jedynie idea jej konstrukcji). Co więcej, jeżeli L jest językiem jakiegoś sformalizowanego systemu dedukcyjnego, to okazuje się, że nie tylko ten system dedukcyjny można przedstawić jako pewną kategorię, ale każda kategoria odpowiada pewnego rodzaju systemowi dedukcyjnemu.

Problem wzajemnego oddziaływania syntaktyki i semantyki podejmuje Kohei Kishida w rozdziale 9. *Categories and Modalities*. Jak wiadomo, logika modalna powstaje przez dodanie spójników modalnych (najczęściej „jest możliwe, że” i „jest konieczne, że”). Semantyką takiej logiki jest zwy-

¹ *The Theory of Abstract Sets Based on First-Order Logic with Dependent Types*, <http://www.math.mcgill.ca/makkai/Variou/MateFest2013.pdf>.

kle semantyka Kripkego (jest to semantyka na wzór semantyki Tarskiego, ale dla nieklasycznych logik, na przykład właśnie modalnych), lecz i tu perspektywa kategorijna istotnie wzbogaca problematykę. Ukazuje ona strukturalne własności wielu aspektów modalności. Czytelnikowi bez dobrego treningu w logice i teorii kategorii Autor nie daje szans.

Nie trzeba nikogo przekonywać, jak ważną rolę w matematyce odgrywają dowody. Teoria dowodów jest bardzo blisko podstaw matematyki. Właśnie tą problematyką zajęli się J.R.B. Cockett i R.A.G. Seeley w 10. rozdziale *Proof Theory of the Cut Rule*. Tytułowa *cut rule* jest pewną regułą z rachunku sekwentów. Autorzy na jej (bardzo rozbudowanym) przykładzie pokazują, w jaki sposób wykorzystuje się teorię kategorii w teorii dowodów. Jedną z ciekawych własności tego podejścia jest możliwość prezentowania skomplikowanych dowodów w postaci przejrzystych diagramów.

Rozdział 11. pióra Samsona Abramsky'ego pt. *Contextuality: At the Borders of Paradox* otwiera szereg rozdziałów poświęconych zastosowaniom teorii kategorii do różnych działów nauki. Abramsky zajął się pojęciem kontekstualności,

które pojawiło się w mechanice kwantowej w związku z problematyką nielokalności i stanów splątaných. Najogólniej mówiąc, kontekstualność występuje wówczas, gdy dysponujemy rodziną danych (wyników pomiarów), które lokalnie są konsystentne, ale globalnie nie. Autor formalizuje to pojęcie przy pomocy pojęć pochodzących z teorii kategorii (głównie pojęcie snopu Grothendiecka) i uważa, że jest to krok w kierunku stworzenia matematycznej teorii kontekstualności. Żmudne analizy, poparte wieloma przykładami, prowadzą Autora do wniosku, że niezwykle płodne obszary badawcze leżą na granicy niekonsystencji: „bogate pola zjawisk z logiki i teorii informacji, ściśle związane z kluczowymi zagadnieniami podstaw fizyki, powstają na granicach paradoksu” (s. 282).

Rozdział 12. *Categorical Quantum Mechanics I: Causal Quantum Processes*, autorstwa Boba Coecke i Aleksa Kissingera, jest pierwszą częścią zamierzonego cyklu trzech artykułów poświęconych „kategorialnej mechanice kwantowej”. Tak Autorzy nazywają swoją koncepcję reprezentacji mechaniki kwantowej przy pomocy diagramów oraz prostych reguł ich łączenia i przekształcania. Wiele podstawowych praw i twierdzeń (wraz z dowo-

dami) mechaniki kwantowej daje się przedstawić przy pomocy „gry diagramów”. Diagramy te tłumaczy się następnie na język teorii kategorii. Na przykład, standardowe ujęcie mechaniki kwantowej przy pomocy przestrzeni Hilberta przekłada się na symetryczne kategorie monoidalne. Niektóre skomplikowane dowody matematyczne stają się przejrzyste i znacznie prostsze, gdy się je przeprowadza, manipulując diagramami. Związek między metodą diagramów a teorią kategorii pozwala samo pojęcie kategorii zdefiniować w języku diagramów. Warto dodać, że – jak wyznają Autorzy – pomysł tej metody został zainspirowany ontologią procesu. Podstawowa konstrukcja diagramu miała stanowić jedną z możliwych formalizacji idei procesu.

Następne dwa rozdziały są poświęcone fizyce relatywistycznej. Rozdział 13. *Category Theory and the Foundations of Classical Space-Times Theories* napisał James Owen Weatherall. Zajmuje się w nim strukturami różnych czasoprzestrzeni. Istnieją prace Ehlersa i Trautmana z lat siedemdziesiątych ubiegłego stulecia (niewymienione w tym rozdziale) dotyczące porównywania struktur czasoprzestrzeni zakładanych przez różne teorie fizyczne. Wówczas

robiono to metodą konstrukcyjno-geometryczną. Weatherall, idąc za Johnem Baezem, zastosował metodę kategorijską: teorie fizyczne należy rozpatrywać jako kategorie i rozważać odpowiednie funktory między nimi. Metoda okazuje się skuteczna, a nawet pod niektórymi względami bardziej szczegółowa niż metoda klasyczna. Pozwala na przykład rozstrzygać, czy dana teoria dysponuje większą strukturą niż taką, która by wystarczyła do zrealizowania celu postawionego przed nią. Takie teorie „z nadmiarem” nazywają się teoriami cechowania (*gauge*).

Joachim Lambek jest autorem kolejnego rozdziału zatytułowanego *Six-Dimensional Lorentz Category*. W związku z badaniami dotyczącymi równania Diraca Autor wprowadza kategorię, którą nazywa kategorią Lorentza (ma ona trzy obiekty a morfizmy są macierzami). Ten krótki rozdział ma postać komunikatu w fachowym czasopiśmie. Autor zakłada, że czytelnik zna całe techniczne zaplecze. Z filozofią łączy się on o tyle, że czas w zaproponowanym modelu ma dwa wymiary, a – jak wiadomo – wszystko, co dotyczy czasu, winno interesować filozofa.

Andrée Ehresmann w rozdziale 15., noszącym tytuł *Applica-*

tions of Categories to Biology and Cognition, przechodzi do biologicznych zastosowań teorii kategorii. Konstruuje on szereg kategorii, których celem jest modelowanie procesów życiowych i poznawczych. Rozpoczyna od prostego modelu przedstawiającego ogólnie rozumianą ewolucję. Model ten składa się z następujących elementów konstrukcyjnych:

1. Interwał T prostej rzeczywistości – czas życia układu.
2. Dla każdej chwili t czasu T istnieje kategoria K_t – konfiguracja układu w chwili t .
3. Dla każdych dwu chwil t_1 i t_2 istnieje funktor (spełniający pewne proste warunki) – przejście układu od stanu K_{t_1} do stanu K_{t_2} .

Cały ten model jest szczególnym przypadkiem tzw. *semi-sheaf category*. Następnie Autor w szeregu kroków wzbogaca ten model, aby modelowane w ten sposób procesy coraz bardziej upodobnić do procesów życiowych. I tak najpierw wprowadza pewną hierarchiczność struktur, odpowiadającą przystosowaniu układów biologicznych do zmieniających się warunków otoczenia; dalej – strukturalne zmiany, odpowiadające wzrostowi złożoności, potem – elementy pamięci hi-

storii układu, i wreszcie – pewne integrujące cechy, mające modelować „układy neuronalne i mentalne”. Wszystko to jest definiowane przy pomocy teoriokategoryjnych pojęć.

Wynik swojej pracy Autor nazywa „raczej rozwijającą się metodologią niż modelem”. Metodologia ta wygląda imponująco, brak jedynie w całym rozdziale wzmianki o jej zgodności z rzeczywistymi procesami biologicznymi, czyli o przewidywaniach, które by z konstruowanych modeli wynikały i je uwiarygodniały.

Rolę tego rodzaju modeli (lub „metodologii”) trafnie wyjaśnia David I. Spivak we wstępie do następnego rozdziału *Categories as Mathematical Models*. U podstaw dobrze pracujących modeli matematycznych zawsze leży operowanie liczbami (np. w układach dynamicznych, statystyce itp.), natomiast w dziedzinach wiedzy, takich jak biologia, mamy również do czynienia ze zjawiskami, których nie dało się (jeszcze) sprowadzić do operowania liczbami. W takich przypadkach także usiłujemy tworzyć ich modele, ale pozostają one „na poziomie idei”. Do konstruowania tego rodzaju modeli doskonale nadaje się teoria kategorii, ale jest ona czymś znacznie więcej. Autor

stwierdza, że teorię kategorii należy traktować jako „matematyczny model matematycznego modelowania” (s. 385).

Rozdział 17. *Categories of Scientific Theories*, którego autorami są Hans Halvorson i Dimitris Tsementzis, podejmuje wątek – poruszony przez Johna Bella w rozdziale 7., a także przez Kohei Kishidę w rozdziale 8. – związku teorii kategorii z logiką, ale stosuje go do zupełnie innej dziedziny – do filozofii nauki. Jak wiadomo, w filozofii nauki istnieją dwie rodziny koncepcji teorii naukowych: koncepcje syntaktyczne i semantyczne. Pierwsze wywodzą się z pozytywizmu logicznego i przez kilka dekad były paradygmatem w filozofii nauki. Drugie powstały jako opozycja w stosunku do poprzednich i spór między nimi trwa do dziś. Autorzy tego rozdziału angażują teorię kategorii do jego rozstrzygnięcia. Jeżeli mamy sformalizowaną teorię T , to można skonstruować kategorię C_T (zwaną także kategorią syntaktyczną), której wewnętrzna logika dokładnie odpowiada logice teorii T . I odwrotnie, mając kategorię C można skonstruować odpowiadającą jej sformalizowaną teorię T (por. rozdział 7.). Pomię-

dzy tymi teoriami i kategoriami istnieje specyficzne sprzężenie, które można ściśle wyrazić przy pomocy pary sprzężonych funktorów (*adjoint functors*). Sprzężenie to wyraża oddziaływanie między syntaktyką i semantyką danej teorii T . Autorzy proponują zastosować te rozważania do filozofii nauki, by wykazać, że między syntaktyczną i semantyczną koncepcją teorii nie musi zachodzić wykluczanie. Oczywiście, żeby cały ten teorio-kategoryjny schemat działał, trzeba dopracować wiele szczegółów technicznych, co Autorzy starannie czynią.

W ostatnim rozdziale, zatytułowanym *Structural Realism and Category Mistakes*, autorka (równocześnie redaktorka całej książki), Elaine Landry, obszernie referuje spory, jakie toczą się wśród filozofów nauki na temat tzw. realizmu strukturalistycznego czyli poglądu, wedle którego realnie istnieją nie obiekty lecz struktury i – w mocniejszych wersjach – że struktury mogą istnieć bez obiektów. Niektórzy filozofowie wsparcia takiego poglądu poszukują w teorii kategorii. Autorka przekonuje, że teoria kategorii nie wnosi niczego istotnego do tej dyskusji. Teoria ta bo-

wiem rozgrywa się na poziomie konceptualnym s nie dotyczy realnie istniejących struktur.

Jak widać z tego przeglądu, otrzymaliśmy solidną porcję wiedzy i analiz z pobrzeży teorii kategorii i filozofii. Poruszając się po tych pobrzeżach, niekiedy zapuszczaliśmy się w głąb matematycznej teorii kategorii i wówczas gubiliśmy się nieco w zbyt technicznych analizach. Niekiedy wchodziłiśmy w bardziej filozoficzne obszary. Przeważnie były to obszary kontrolowane przez logikę lub filozofię nauki. Uprzywilejowany region stanowiła filozofia matematyki, rozumiana głównie jako podstawy matematyki, co jest rzeczą o tyle zrozumiałą, że teoria kategorii niemal od samego początku rościła sobie pretensje do odgrywania istotnej roli w tym regionie. Autorzy, występujący w tym tomie, unikali jednak choćby krótkich wycieczek w bardziej odległe dziedziny metafizyki lub onto-

logii. A szkoda, gdyż teoria kategorii i tu mogłaby wnieść świeży powiew. Choćby problem wielości logik, który z taką ostrością pojawia się w teorii kategorii. Czy więc istnieje jedna, „nadrzędna” logika, czy trzeba przyjąć logiczny pluralizm? Jakie miałyby to konsekwencje dla filozofii (ontologii, epistemologii), która prawie cała jest oparta na rozumowaniach wykorzystujących jedynie logikę klasyczną?

Po przeczytaniu ważnej książki, zwykle rodzą się w stosunku do niej pretensje – że zostało pominięte coś, czegośmy się po niej spodziewali. Tylko książki błahe odkłada się bez żalu. Książka zredagowana przez panią Elaine Landry jest książką ważną, choć trzeba niemało wysiłku, by przedrzeć się przez jej lekturę.

październik 2018

MICHAŁ HELLER

Uczniowie Platona

Bogdan Dembiński, *Stara Akademia Platona. W początkach epoki hellenistycznej (ostatni okres)*,
Wydawnictwo Marek Derewiecki,
Kęty 2018, ss. 183.

Podboje mogą być różne – wymuszone siłą i intelektualne. Wymuszone siłą są nietrwałe, intelektualne niekiedy trwają stulecia. Aleksander Macedoński (356–323 p.n.e.) podbił cały ówczesny świat, ale stworzone przez niego imperium uległo rozpadowi wraz z jego śmiercią. Wojska Aleksandra niosły również ze sobą elementy greckiej myśli i kultury. Okazały się one skuteczniejsze niż greccy hoplici. Rozpad macedońskiego imperium nie stał się dla nich przeszkodą lecz, przeciwnie, czynnikiem sprzyjającym myślowemu fermentowi, który zaczął stopniowo przetwarzać ówczesny świat. Dziś o dokonaniach Aleksandra pamiętają tylko podręczniki historii, natomiast myśli zasiane przez greckich filozofów nadal wydają owoce. Ale nie jest tak, że filozofia pozostaje nieczuła na polityczne przemiany. Gdy grecka filozofia zetknęła się z lokalnymi kulturami podbitych narodów, sama przyjęła niektóre ich aspekty. Stało się to możliwe

dzięki pewnemu uniwersalizmowi, który był jej charakterystyczną cechą.

Mówiąc o filozofii greckiej, nie sposób nie pomyśleć o Akademii Platońskiej. Po podbojach Aleksandra, Ateny straciły polityczną samodzielność, ale w nowej sytuacji nie przestały odgrywać swojej kulturalnej a nawet politycznej roli. Wraz ze śmiercią Aleksandra Wielkiego nie tylko świat śródziemnomorski wkroczył w hellenistyczną epokę, ale dobiegł także końca pewien etap rozwoju Akademii Platońskiej. W roku 315 p.n.e. umarł trzeci scholarcha Akademii, Ksenokrates i jej prowadzenie przejęli myśliciele, którzy nie byli bezpośrednimi uczniami Platona. Akademia Platońska, chcąc nie chcąc, uległa duchowi czasu – z helleńskiej stała się hellenistyczną.

Symbolem nowego świata stała się Filozoficzna Szkoła Aleksandryjska, ale znamienne jest to, że związki z Akademią Platońską i Arystotelesowskim Likeonem pozostały nadal żywe. Istnieją nawet podejrzenia, że myśl zorganizowania ośrodka naukowego w Aleksandrii posunął Ptolemeuszowi I uciekinier z Aten, Demetriusz z Falelonu.

Właśnie w tym dziejowym momencie rozpoczyna się akcja oma-

wianej książki. Jest ona kontynuacją monografii (Demiński, 2010) poświęconej późnemu Platonowi i Starej Akademii (tzn. bezpośrednio uczniom Platona)¹. Niniejsza książka analizuje przeobrażenia Akademii związane z tworzeniem się hellenistycznego świata i doprowadza ją do scholarchatu Arkezylaosa z Pitane, który zmarł w 241 roku p.n.e.

Jak pisze Bogdan Demiński, po podbojach Aleksandra „cały świat stanął szeroko otworem przed helleńskimi wpływami” (s. 23). Z tej konfrontacji helleńskich wpływów z resztą ówczesnego świata narodził się okres hellenistyczny. „Człowiek, reprezentujący najwyższy stopień złożoności świata, nie przestaje nigdy do świata tego należeć. Nie sposób traktować go jako autonomicznego bytu. Z drugiej strony, rozumienie świata jest zawsze dziełem podmiotu, i nie sposób nie uwzględnić jego podmiotowej natury” (s. 26). Następcy bezpośrednich uczniów Platona podtrzymywali tę tezę, ale kładli większy nacisk na jej antropologiczne niż kosmologiczne aspekty. Nic więc dziwnego, że etyka stała się przedmiotem ich zaintereso-

wań w stopniu większym niż do tychczas. Bogdan Demiński utrzymuje, że w tych poglądach leży źródło przekonania uczniów Platona, iż rozum powinien być przewodnikiem postępowania, a co za tym idzie zasadą etyki. Powodem tego był również, między innymi, wpływ stoików. Ta zmiana akcentów okazała się też zgodna z ogólnymi tendencjami: nowe ludy, które weszły w orbitę wpływów myśli greckiej, były bardziej zainteresowane sprawami człowieka niż kosmologicznymi spekulacjami.

Przyjrzyjmy się nieco dokładniej tej tak zwanej Starej Akademii Platońskiej. Jak wspomnieliśmy, główną trudnością jest ubóstwo źródeł. Dobrym tego przykładem są poglądy Polemona z Aten, który został scholarchą akademii w 315 roku p.n.e. po śmierci Ksenokratesa. Do naszych czasów nie dotarły żadne dzieła Polemona, jedynie nieliczne fragmenty jego wypowiedzi przechowały się u innych autorów. Demiński pisze: „Biorąc pod uwagę te ograniczenia, zdecydowałem się podjąć próbę rekonstrukcji jego myśli poprzez umieszczenie zachowanych wypowiedzi Polemona i opinii o jego filozo-

¹ Warto również wspomnieć dwie inne książki tego autora poświęcone Platonowi i jego Szkole (Demiński, 1997, 2003).

fii, w szerokim kontekście tradycji filozoficznej, która poprzedzała jego koncepcję, oraz w kontekście tych systemów, które z myśli tej się wyłoniły” (s. 80). Realizując przyjętą strategię, Bogdan Dembiński nie ma łatwego zadania, gdyż rekonstrukcję poglądów Polemona wysnuwa z czterech krótkich wypowiedzi i jednego zachowanego tytułu dzieła. Pierwszą wypowiedź znamy dzięki Stobajosowi: „Wszechświat jest boski i ma boską naturę” (s. 82), drugą wypowiedź relacjonuje Diogenes Laertios: „Polemon zwykł mawiać, iż należy się zaprawiać w czynach, a nie dialektycznych subtelnościach; kto by postępował inaczej, będzie podobny do człowieka, który się wyczyił z podręcznika zasad harmonii, ale nie umie grać, i potrafi tylko wysuwać godne podziwu problemy, sprzeczne z własną jego postawą moralną” (s. 95). Zachowany tytuł dzieła brzmi: *O życiu zgodnym z naturą*. Z tym tematem związane są dwie wypowiedzi, jedna przechowana przez Cyncyona: „najwyższym dobrem jest życie zgodne z naturą, tzn. korzystanie z pierwotnych darów natury, zgodnie z moralnymi zasadami” (s. 87) i druga, którą zawdzięczamy Klemensowi Aleksandryjskiemu: „Bez cnoty nie

ma szczęścia; ale też może wystarczy ona sama, bez cielesnych i wewnętrznych dóbr, cnota sama dla siebie wystarczająca do szczęścia” (s. 87).

Wychodząc z tych szczątkowych informacji i umieszczając je w kontekście poglądów poprzedników i następców, Dembiński rekonstruuje hipotetyczne poglądy Polemona z Aten na ponad dziesięć stronach. Pierwszy cytat otwiera szerokie pole domysłów, ponieważ temat boskości świata był szeroko eksploatowany w filozofii greckiej. Również problem życia zgodnego z naturą (z Logosem świata) ma głębokie zakorzenie w myśli greckiej, żeby wymienić choćby poglądy stoików. Z kolei zainteresowania Polemona dialektyką wydają się być „charakterystyczne dla koncepcji filozofii hellenistycznej, w której filozofia zaczęła być traktowana nie tylko jako koncept teoretyczny, ale przede wszystkim, jako działalność praktyczna, sztuka życia” (s. 93). Nie jest jasne, czy Polemon zrezygnował z dialektyki i przeszedł na pozycje czysto praktyczne, czy też podkreślał jedynie świadomość ograniczeń w stosowaniu metody dialektycznej.

Stosunki w Akademii były, można powiedzieć, przyjacielskie.

Następcą Polemona został Krates, jego uczeń i do końca życia bliski przyjaciel. Również jego uczniem był Krantor, przyjaciel kolejnego scholarchy, Arkezylaosa. Nie zachowały się żadne informacje dotyczące nauki Kratesa. Uzasadnione wydaje się przypuszczenie, iż „bliskość z Polemonem i obecność w Akademii może wskazywać, że jego poglądy zbliżone były do poglądów innych akademików” (s. 97). O Krantorze wiemy więcej. Diogenes Laertios informuje, że był on autorem licznych prac filozoficznych oraz komentarzy do innych filozofów, a całość jego pism obejmowała trzydzieści tysięcy wierszy. Z kolei Proklos i Plutarch przekazują informację, że Krantor pisał komentarze do dzieł Platona. Komentując *Timajosa*, w związku z koncepcją duszy świata, rozwinął teorię proporcji muzycznych.

W omawianym okresie Akademii Platońskiej nie zapomniano o wątku matematycznego przyrodoznawstwa. Jego przedstawicielami byli Euklides i Eratostenes. Wprawdzie obaj związali się ze Szkołą Aleksandryjską, ale obaj studiowali w Akademii Platońskiej i pozostawali pod wpływem platońskich idei. Proklos pisze wprost: „Euklides był platonikiem i kontynuował

prace nad tzw. bryłami platońskimi” (s. 114). Zdaniem Bogdana Dembińskiego, o platońskim kształcie *Elementów* Euklidesa zdecydowały trzy czynniki: po pierwsze; założenia filozoficzne, po drugie; założenia metodologiczne i po trzecie; „cała filozoficzna tradycja poprzedników, którzy zajmowali się podobną problematyką” (s. 116). Na temat różnych aspektów naukowego dorobku Euklidesa istnieje ogromna literatura. Nic więc dziwnego, że analizy Dembińskiego, chociaż dość obszerne, mają charakter wybiórczy.

Bogdan Dembiński z dziejami starszej Akademii Platońskiej wiąże także Eratostenesa z Cyreny. Mimo, iż urodził się on w roku 275 p.n.e., kiedy to okres Starej Akademii dobiegał końca, to – zdaniem Dembińskiego – należy „zaliczać go do kręgu myślicieli związanych ściśle z nauką późnej fazy Starej Akademii” (s. 135). Jest faktem historycznym, że Eratostenes był uczniem Arkezylaosa, na którym kończy się okres Starej Akademii i zaczyna się okres następny.

Eratostenes jest autorem komentarza do *Timajosa* i kontynuatorem idei matematycznego przyrodoznawstwa, tak charakterystycznej dla Akademii. Ideę tę związłe ujął Arystoteles: „matematyka bada

własności matematyczne bez odwoływania się do fizycznego świata, zaś nauki przyrodnicze badają fizyczność świata, korzystając z narzędzi matematycznych” (s. 135).

W roku 255 p.n.e. Eratostenes został zaproszony przez Ptolemeusza III do Aleksandrii, by objąć funkcję nauczyciela syna królewskiego, późniejszego Ptolemeusza IV; został także kierownikiem Biblioteki Aleksandryjskiej. Odtąd związał się na stałe ze Szkołą Aleksandryjską. Naukowe zainteresowania Eratostenesa były wszechstronne. Zajmował się matematyką, astronomią, geografiami, historią, a także filologią. Ta wszechstronność zjednała mu przydomek pięcioboisty. Zalicza się go do najwybitniejszych uczonych starożytnej Grecji, żeby wspomnieć tylko jego matematyczną teorię proporcji oraz niezwykle pomysłowy pomiar obwodu ziemi.

Mistrz Eratostenesa, Arkezylaos z Pitane był kolejnym scholarchą Akademii. Pod jego rządami Akademia powróciła do dawnej świetności i ponownie stała się wiodącą szkołą Aten. Zajmował się on szerokim wachlarzem zagadnień: od typowych dla Akademii rozważań ontologicznych i epistemologicznych po matematykę, muzykę i literaturę. Na podstawie za-

chowanych przekazów trudno jednoznacznie zinterpretować poglądy Arkezylaosa. Według jednych, był on sceptykiem bardziej radykalnym niż Pirron, według innych, używał argumentów sceptycznych jedynie po to, aby przy ich pomocy obronić naukę Platona. Według relacji Sykstusa Empiryka, Ariston miał o nim powiedzieć, że był „z przodu Platonem, Pirronem z tyłu, a w środku Diodorem, gdyż korzystał z dialektyki Diodora, a z wyznania był platonikiem” (s. 162), Dembiński skłania się do tej opinii, chociaż zauważa, że niejednoznaczność interpretacji doktryny Arkezylaosa „pozostanie jej trwałym składnikiem” (s. 160).

Arkezylaosa uważa się za ostatniego przedstawiciela Starej Akademii i założyciela Akademii średniego okresu.

Powoływanie się na Platona jest czymś nagminnym we współczesnej filozofii. Bardzo często jednak poglądy przypisywane Platonowi są, w gruncie rzeczy, poglądami niektórych jego późniejszych uczniów lub tylko luźno związanymi z tym, co Platon na prawdę głosił. Dlatego też opracowania Bogdana Dembińskiego zarówno dotyczące samego Platona, jak i przedstawicieli jego szkoły są niezwykle cenne i niemal unika-

towe w polskiej literaturze filozoficznej. Także i omawiana książka wypełnia lukę w naszej znajomości okresu dziejów Starszej Akademii Platońskiej. Jest to okres szczególnie ważny, gdyż pokrywa się z czasem przemian, które stworzyły epokę hellenistyczną. Jak widzieliśmy, filozofia tej epoki skierowała się bardziej w stronę filozofii człowieka, ale również tematyka kosmologii i matematycznego przyrodoznawstwa była w niej rozwijana, chociaż środek ciężkości tych zainteresowań przeniósł się z Akademii Platońskiej do Szkoły Aleksandryjskiej. Postaciami pomostowymi między tymi ośrodkami byli Euklides i Eratostenes.

Widzieliśmy również, że główną trudnością w opracowaniu tego okresu jest ubóstwo źródeł. Należy podziwiać zręczność Autora, który z kilku przechowanych cytatów potrafił wydobyć całe pokłady możliwych interpretacji. To ubóstwo źródeł stało się w pewnym sensie atutem książki. Poruszanie się bowiem wśród poglądów różnych autorów i szukanie między nimi powiązań, celem wydobycia głębszej myśli z jakiegoś resztkowego cytatu, pozwala lepiej uchwycić różne podskórne prądy epoki.

Pewien niedosyt sprawia brak wyraźnego zakończenia książki, na

przykład, jakiegoś podsumowania całości. Książka kończy się na poglądach Arkezylaosa, założyciela Średniej Akademii Platońskiej; chciałoby się o tym nowym etapie dziejów Akademii dowiedzieć czegoś więcej, choćby w wielkim skrócie. Chyba, że Autor planuje następną książkę...

Łeba, 7 września 2018 roku

MICHAŁ HELLER

JANUSZ MĄCZKA

Bibliografia

- Dembiński, B., 1997. *Teoria idei: ewolucja myśli Platońskiej, Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach* nr 1663. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.
- Dembiński, B., 2003. *Późna nauka Platona: związki ontologii i tematyki, Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach* nr 2143. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.
- Dembiński, B., 2010. *Późny Platon i Stara Akademia, Fundamenta: Studia z Historii Filozofii* t. 63. Kęty: Wydawnictwo Marek Derwiecki.

To be or not to be Yuval Noah Harari's *Homo Deus*

Yuval Noah Harari, *Homo Deus. A Brief History of Tomorrow*, Vintage, London 2017, pp. 512.

How one can write another review of the book that comes already with glowing praises from *The Observer* (“An exhilarating book...”), *The Guardian* (“Spellbinding...”), or *The Evening Standard* (“A brilliant original...”); the book written by an author that lectures at The University of Oxford, has sold over million copies and has been dubbed as “international phenomena”? It seems like a daunting task. But let me try.

The book *Homo Deus. A Brief History of Tomorrow* aims high. It “asks fundamental questions about us and our future”, “it explores the projects, dreams and nightmares that will shape the twenty-first century and beyond- from overcoming death to creating artificial life”, and “shows us where mankind is headed in an absolutely clear-sighed and accessible manner”. Wow. You may say. Finally there is someone who penetrated it all, who has answers

to our deepest existential worries and cures for our ills. The author spells out his goals clearly “(To understand) the real future... we need to go back and investigate who *Homo sapiens* really is, how humanism became the dominant world religion and why attempting to fulfill the humanist dream is likely to cause its disintegration. This is the basic plan of the book” (p.76).

The book of more than 500 pages is divided into three sections. Section one describes the nature of *Homo sapiens* and attempts to explain its success in dominating the world and other species of animals. Here we learn how during the history of humanity we (*Homo sapiens*) came to the civilization we are in today. How did we conquer calamities that haunted humanity since dawn of man like hunger, wars, and diseases – as, according to the author these are no longer our worries? How did we develop modern civilization where most of our past problems have been cured and solved and how did we eliminated (or nearly so) other species? Section two discusses myths and ideas that have ruled the mankind and shaped civilizations. Harari presents here his views on religions, politics, and history. He also presents his new vision of human-

ism as a modern covenant that would substitute for old folktales (like religion, or democracy). The Third section of the book is certainly the most imaginative. It is about the future so it is like a sci-fi piece. And it is. Writing anything about the future is an easy job if one has a vivid fantasy. Future is open (so some may think) and the most importantly by the time it comes, the author will be long gone; thus, he is safe from the critics and reality. Thus, it is safe to write whatever. Like other gurus of tomorrow *vide* Ray Kurtzweil or Isaac Asimov.

The book fuses facts and tidbits of information from biology, genetics, computing, biochemistry, anthropology, history into one story. And the story is well told and moves along fast. Harari spices the narrative with curiosities such as that the precursor to the Turing Test was the test applied to gay men in 1950s Britain (p. 140), or of course the stories of “the Clever Hans”, “Deep Blue” and Google’s AlphaGo. You cannot have a book on humanity’s past, present and future’s future without these ‘facts’.

To offer you a flavor of the book I quote some of the more intriguing passages. The author quotes Jeremy Bentham and John Steward Mills as gurus of happen-

ings “happiness is nothing but pleasure and freedom from pain, and beyond pleasure there is no good and no evil” (p. 41). The Bentham example as our guide to happiness is a bit disturbing if someone recalls that he was an author of the notorious Panopticon devised for the selected part of a population as a solution to social problems of the early capitalism. Hariri’s deep thought about happiness: “according to the life sciences” is that “happiness and suffering are nothing but different balances of bodily sensations” (p. 42). But it seems that Hariri is missing something from Mill “It is better to be a human being dissatisfied than a pig satisfied; better to be Socrates dissatisfied than a fool satisfied. And if the fool, or the pig, are a different opinion, it is because they only know their own side of the question”.

Another interesting insight offered by Hariri is about events from the history of 20th century, for some of us still vivid in our memories: “Twenty-century Russian history was largely shaped by the communist attempt to overcome inequality, but it did not succeed”. One may ask whether the Russian communism was really “an attempt to overcome inequality”? We would expect some better insights from

a book that is supposed to explain to us “all these things”.

One also may wonder at Hariri’s striking analogies like this one “Just like Elvis Presley, pharaoh too was a brand rather than a living organism” (p. 186). Yes, there are some analogies but there are differences that make these analogies quite meaningless, at least for me. Some may say it is so deep an insight to compare pharaoh with Elvis; I say, not at all.

The author has obviously decided to single out some religious dogmas and books as myths and phantasms. Thus, we have animism, Ancient Greek Gods, Christianity, Hinduism, Daoism, Buddhism, Islam, Bible, Vedas, Qur’an, referred to over and over again as fake truths. But it seems that some other important religions with their foundational books are missing from the list. You may wonder. Harari offers us a critique of a recent refugee crisis in Germany and Europe: “Does preserving polka, bratwurst and the German language justify leaving millions of refugees exposed to poverty and possibly even death?” (p. 293). But is “preserving polka and bratwurst” really the issue here? Again, one would expect a bit deeper insight than these platitudes from the lecturer at The Uni-

versity of Oxford. There are some a bit more disturbing “parables of sorts” that Harari offers us. You may check one on pages 212-213.

Harari’s book does give many insights like: “Since we do not know what the job market will look like in 2030 or 2040...we have no idea what to teach our kids” (p. 380). Or “The Romanian Communist Party successfully dominated the disorganized Romanian population” (p. 162). Or “*Homo sapiens* became the single most important agent of change in the global ecology”. Or “the single greatest constant of history is that everything changes” (p. 78). These are rather obvious, for an intelligent person at least. Thus, the question is what is new here? The list of these well-known truths that are supposed to be revelations is quite long.

So what is the overall impression that the book leaves you with? The book as I would presume is designed to shock you with these simple but profound truths about ourselves. It certainly does this. A plethora of (selective) facts, analogies, curiosities, quotations from famous authorities (again selective), quick summaries some of them well known, some less known, some unexpected and some unjust-

tified. The book is rather a curiosity shop than a well-balanced, well augmented exposure of who we are and what we will be doing in the future. Should you read it? Well, there is no book that would explain “all of this” in one volume, so do not expect this one to do it. But reading the book is certainly entertaining and may open your eyes to some problems that we as humanity are facing. Most people on Amazon.com gave it five or four stars (1117 reviews, 66% 5 stars, 16% four stars, 8% three stars, and 2 and 1 star each 5 %) so evidently they did enjoy reading it.

I wanted to leave you with some parting thoughts about humanity from Hariri’s work: “In

essence, we humans are not that different from rats, dogs, dolphins or chimpanzees. Like them, we too have no soul. Like us, they too have consciousness and a complex world of sensations and emotions” (p. 149). “The algorithms controlling vending machines work through mechanical gears and electric circuits. The algorithms controlling humans work through sensations, emotions and thoughts. And exactly the same kind of algorithms control pigs, baboons, otters, and chickens” (p. 99). These are some insights into our nature that will shape our future in incoming decades, according to Yuval Harari.

ROMAN KRZANOWSKI