



PRÓBA SZKICU „FILOZOFII PRZYPADKU” MICHAŁA HELLERA¹

Michał Heller należy do tych ludzi, których właściwie przedstawiać nie trzeba. Ale dla porządku przypomnę kilka kwestii z nim związanych – fizyk, kosmolog, filozof, teolog, katolicki prezbiter, autor kilkudziesięciu pozycji książkowych, jedyny w kraju nad Wisłą laureat prestiżowej Nagrody Templetona, pomysłodawca Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych z obecną siedzibą na Uniwersytecie Jagiellońskim².

Bardzo ważną książką w filozoficzno-naukowym dorobku Michała Hellera jest *Filozofia przypadku*³, której poświęcony będzie niniejszy tekst. Praca ta stanowi *opus* barwne i uporządkowane zarazem. Rozpisane jest ono na trzy części: „Preludium”, „Fugę” i „Kodę”. Poprzedza je obszerny



FOT. ADAM WALANUS

wstęp. „Jeśli miałbym tę książkę komuś zadeedykować” – pisze Autor we wstępie – „zadeedykowałbym ją Richardowi Dawkinsowi i Williamowi Dembskiemu”. Przypomnijmy, że pierwszy z wymienionych uważa, że przypadek w stu procentach wyjaśnia powstanie i charakter życia, stanowiąc tym samym jeden z filarów ostatecznej, scjentystycznej wizji świata⁴. Drugi zaś jest przekonany o tzw. nieredukowalnych złożonościach, z których wyprowadza przekonanie, że świat jest Inteligentnym Projektem⁵. Kto zetknął się z ideą Intelligentnego Projektu, łatwo dostrzeże w niej prostą antropomorfizację problemu pochodzenia Wszechświata, w której ktoś podobny do ludzi zaprojektował Przyrodę tak, jak ludzie projektują swoje wytwory – domy, telefony, samochody. W ostatniej części książki, zatytułowanej „Koda”, profesor Michał Heller

¹ Tekst jest obszernym omówieniem książki Michała Hellera, *Filozofia przypadku. Kosmiczna fuga z preludium i codą*, wyd. 3., Kraków 2016. Pierwodruk: M. Heller, *Filozofia przypadku – kosmiczna fuga z preludium i codą*, Kraków 2011, ss. 312.

² Niedawno ukazało się drugie wydanie książki, w której Michał Heller opowiada o swoim życiu i poglądach: *Wierzę, żeby rozumieć. Z Michałem Hellerem rozmawiają Wojciech Bonowicz, Bartosz Brożek i Zbigniew Liana*, Kraków 2021.

³ M. Heller, *Filozofia przypadku*, dz. cyt.

⁴ R. Dawkins, *Ślepy zegarmistrz, czyli jak ewolucja doprowadzi, że świat nie został zaplanowany*, wyd. 2., tłum. A. Hoffman, Warszawa 1997.

⁵ *Mere Creation: Science, Religion and Intelligent Design*, ed. W. A. Dembski, IVP Academic 1998.

proponuje spojrzenie na porządek Rzeczywistości jeszcze z innej, odległej od stanowisk obu adwersarzy, perspektywy. Jednak wspomnienie tej dyskusji można traktować wyłącznie jako zachętę dla tych Czytelników, których zainteresowanie ożywiają polemiki jako takie. W rzeczy samej dyskusję z obydwoma stanowiskami Autor – jak sam pisze – traktuje marginalnie, bowiem w książce interesuje go zasadniczo miejsce i rola przypadku w porządku praw rządzących całym Kosmosem, z dodatkowym uwzględnieniem perspektywy historycznej. W rezultacie otrzymujemy książkę, która stanowi niejako „panoramę z lotu ptaka” na naukowe pojęcia przypadku i losowości.

1. Zarys historii zmagania z pojęciem prawdopodobieństwa

Przytoczony w pierwszej części książki krótki zarys myśli starożytnej o przypadku mieści dwie ważne perspektywy. Pierwsza pochodziła od Arystotelesa (i była kontynuowana przez epikurejczyków). Filozof ten uważał, iż „nauka o przypadku jest niemożliwa”. Pogląd ten był związany z jego przekonaniem o przyczynowości praw Natury i wiarą, że przypadek takiej przyczynowości przeczy. Drugie podejście zakładało, że przypadek wynika z ludzkiej niewiedzy. W średniowieczu znakomicie uchwycił to – przywołany przez Autora, za Alistairem C. Crombie – św. Tomasz z Akwinu, piszący, że „im bardziej jakaś nauka zbliża się do rzeczy jednostkowych, [...] tym mniej może ona dawać pewności z powodu wielkiej liczby rzeczy jednostkowych, które muszą być brane pod uwagę”⁶.

W średniowieczu przypadek został zamieniony na przygodność, czyli niekonieczność. Zakładano, że Wszechświat jest niekonieczny: on sam i jego prawa mogłyby być inne, niż są, a są takie, jakie są tylko w wyniku decyzji Stworzyciela. Owo założenie przygodności, naturalne w kręgu chrześcijańskim, bardzo sprzyjało rozwojowi nowożytnych nauk empirycznych, zmuszając uczonych – jak Autor podkreśla – do prowadzenia eksperymentów, mających odpowiedzieć na pytanie o sposób funkcjonowania Przyrody. Wszak jeśli jest przygodna, to Jej praw nie można wydedukować, wymyślić – mogły przecież być zupełnie inne. Co więcej – podkreśla Michał Heller – w świecie przygodnym naturalne wydaje się oczekiwanie na zdarzenia, których nie można przewidzieć: świat taki jest „otwarty na prawdopodobieństwo”. Uważny Czytelnik dostrzeże tu niefortunny obrót spraw dla obu potencjalnych adwersarzy, Dawkinsa i Dembskiego – doświadczenie przygodności niesie intuicję o możliwości Wszechświata stworzonego, wbrew stanowisku pierwszego z nich, a na korzyść drugiego. Równocześnie w naturalny sposób pozostawia miejsce na przypadek, wobec czego pierwszy z oponentów miałby powody do satysfakcji, a drugi – wręcz przeciwnie.

Znakomitą lekcją – jak odległe mogą być inspiracje dla nauki od niej samej – jest fakt, że u podstaw nowożytnej teorii prawdopodobieństwa leżą teoretyczne analizy w kontekście zjawiska hazardu – gracze w naturalny sposób interesowali się strategiami maksymalizującymi wygraną. Dowiadujemy się, że Marek Aureliusz, który grał w kości, podróżował nawet ze służącym, pełniącym obowiązki kogoś w rodzaju krupiera. Wieki później Wielki Książę Toskanii postawił

⁶ Tomasz z Akwinu, *Expositio super librum Boethii De Trinitate*, cyt. za A. C. Combrie, *Style myśli naukowej w początkach nowożytnej Europy*, tłum. P. Salwa, Warszawa 1994, s. 86 oraz M. Heller, *Filozofia przypadku*, dz. cyt, s. 26.

pytanie, dlaczego w rzutach trzema kostkami częstości wypadania sum dziewięciu i dziesięciu oczek się różnią. Rozwiązanie podał nie byle kto, bo sam Galileusz, odwołując się do liczby możliwych sposobów powstawania owych zdarzeń – taką analizę nazywamy dziś metodą zdarzeń elementarnych. Hazardem interesowali się również Blaise Pascal i Pierre Fermat. Inspiratorem był Antoine Gombauda, który zapytał Pascala, jak należy podzielić zyski między graczy, po przerwaniu jakiejś gry w trakcie jej trwania. Korespondencja między uczonymi doprowadziła do sformułowania tego, co nazywamy dziś wartością oczekiwaną – ostatecznie dokonał tego Fermat. W *Filozofii przypadku* Michał Heller wnikliwie opisuje niuansy poszczególnych rozwiązań, proponowanych przez obu autorów.

Drugim biegunem, który przywołuje Autor, jest – rozumienie natury tego, co prawdopodobne z perspektywy teologicznej. Otóż, od czasów średniowiecznych rozważano problematykę tego, co należy czynić z moralnego punktu widzenia w sytuacji braku pewności co do stanu rzeczy. W takich wypadkach należy postępować według tego, co najbardziej prawdopodobne. Trzeba zatem jakoś to prawdopodobieństwo umieć oceniać. O ile rozstrzygnięcie zaproponowane przez Bartłomieja de Medinę dotyczyło prawdopodobieństwa trafności opinii (w oparciu o przekonanie, że uczeni mędrcy mają mniejsze szanse niż inni, aby się pomylić), o tyle Jakub Bernoulli – właściwy pionier naukowego rachunku prawdopodobieństwa – formułuje pojęcie „przekonania moralnie pewnego” w oparciu o intuicję matematyczną. Naturalne inspiracje religijne widać też w pracy popularnie zwanej *Logiką z Port Royal*, powstałej w środowisku

związanym z jezuickim klasztorem Port Royal o silnych wpływach jansenistycznych. Bardzo popularna monografia, traktująca o rozumowaniu logicznym, a także o podejmowaniu decyzji może być, między innymi, uważana za prekursorską wobec teorii tzw. wnioskowań niededukcyjnych. Michał Heller przypomina, że to w tej książce pojawiło się po raz pierwszy pojęcie prawdopodobieństwa jako czegoś, co można zmierzyć, tj. określić ilościowo. W taki oto sposób myślenie w kategoriach moralnych sprzyjało rozwojowi teorii prawdopodobieństwa. Mamy też i kierunek oddziaływania przeciwny, gdy teoria prawdopodobieństwa przychodzi w sukurs teologii – świadczy o tym opisany szczegółowo słynny zakład Pascala, przekonujący do sensowności wyboru wiary. Zakład ten, utrzymany w duchu teorii gier, stosował sugerowane wcześniej w *Logice z Port Royal* (prawdopodobnie pochodzące od samego Pascala, który z Port Royal był związany i który, być może, nawet pisał ostatni z jej rozdziałów) zalecenie, aby rozważyć proporcję między potencjalnym zyskiem i potencjalną stratą. Z książki dowiemy się o interesującej krytyce przesłanki rozumowania Pascala (założenia bardzo konkretnych konsekwencji wiary i niewiary), zapoznamy się także z ciekawymi rozważaniami na temat myśli Bernoulliego, ojca nowożytnej teorii prawdopodobieństwa, o tym, jak przekonania religijne mogły sprzyjać jego odkryciom.

Jakub Bernoulli był autorem, pierwszego w historii, prawa wielkich liczb. Prawa takie pojawiają się dziś powszechnie w rozmaitych zastosowaniach losowości, między innymi w kryptografii.

Zwróćmy tu uwagę, że prawo wielkich liczb jest ciekawym przypadkiem, gdy w odniesieniu do wielokrotnych prób, *mimo ich*

losowego charakteru, dochodzimy do prawa, które mówi o niemal całkowitej, *do woli dużej pewności*. Jest to pierwszy moment, gdy w historii nauki losowość obecna w przyrodzie ujawnia swoją *strukturę*. Otóż jednym z centralnych motywów malowniczej, a zarazem szalenie precyzyjnej gawędy – co w odniesieniu do tej i innych książek Michała Hellera nie stanowi oksymoronu – jest ukazanie w pełnej krasie prawdy, że świat prawdopodobieństwa ma swoje prawa, swoje ramy, którym podlega. Do tego wątku, jednego z centralnych – wrócimy za jakiś czas.

Czytelnik – zainteresowany śledzeniem barwnej historii myślenia o przypadku i jego zastosowaniach, zarówno w teorii gier, teologii, polityce i matematyce – otrzymuje w książce interesujące przykłady z dwóch kolejnych dziedzin: biologii i fizyki.

Pochodzący z rodziny kupieckiej Pierre L. M. de Maupertuis sformułował szczególną zasadę na gruncie obu tych dziedzin. Zajmował się teorią dziedziczenia i zwalczał pogląd, że gatunki w biologii powstawały celowo, utrzymując, iż były dziełem przypadku. Jednak, widząc różnorodność życia, podjął – mówiąc słowami Michała Hellera – „próbę wyjścia poza dysjunkcję, albo Racjonalny Stwórca albo działanie przypadku”⁷. Uważał, że przejawem Najwyższej Inteligencji jest to, że wszystkie organizmy powstają nie w ramach jednostkowego stwarzania, ale z pomocą jednej zasady stanowiącej kombinację przypadkowości oraz prymatu biologicznego zysku. Takie prawo stanowiłoby zasadę „najmniejszego działania” w odniesieniu do powstawania życia. Skojarzenie z teorią ewolucji jest tu jak najbardziej na miejscu: Darwin w jednej ze swoich

⁷ M. Heller, *Filozofia przypadku*, dz. cyt., s. 77.

do analizy Maupertuisa. Co ciekawe, ten ostatni sformułował analogiczną zasadę na gruncie deterministycznej teorii Newtona, której struktura w ogóle nie obejmuje pojęcia przypadku. W teorii Newtona (wyrażonej w języku Lagrange’a) zasada ta jest też nazywana zasadą najmniejszego działania (choć później, za sprawą Leibniza, *de facto* osiągnęła status zasady ekstremalnego działania). W skrócie rzecz ujmując, chodzi o to, że w dynamice klasycznej ruch ciał odbywa się tak, aby pewna wielkość matematyczna – owo działanie – osiągała ekstremum. Michał Heller w *Filozofii przypadku* omawia w przystępny sposób tę zasadę, a także jej historyczne losy.

2. Zdarzenie przypadkowe

czy zdeterminowane – struktury i pytania

Centralną częścią książki jest „Fuga”, w której na tle nowoczesnej fizyki zostaje zarysowana potężna struktura formalna teorii prawdopodobieństwa. Wiek XIX to czas rozwoju fizyki statystycznej. Wielkie zasługi dla jej rozkwitu położyli Ludwik Boltzmann i James Maxwell. Interesowały ich zachowania dużych zbiorów cząsteczek. Ludwik Boltzmann rozważał owe zachowania z punktu widzenia ewolucji w czasie. James Maxwell – jako przypadek ze zbioru tzw. *ansamble’u*. *Ansamble* (lub *ansambl*) to zbiór wielu kopii takiego samego układu z wszystkimi możliwymi warunkami początkowymi, z którego na chybił trafił wybieramy jedną kopię, której ewolucja „startuje” z konkretnego warunku początkowego. Podejście to miało kolosalne znaczenie dla fizyki statystycznej. Interesujące jest, że Maxwell uważał, iż prawa deterministyczne rządzące ruchem cząstek powinny być uzupełnione o pewne prawa losowe, dotyczące

właśnie warunków początkowych, choć w owym czasie nie istniały żadne prawa dynamiki, które nie byłyby w pełni deterministyczne (dopiero nadejście mechaniki kwantowej zmieniło tę sytuację).

U początku kolejnego wieku ów obrazek ansamblu dobrze odpowiadał opisowi procesu ruchów Browna. W emblematycznym przykładzie tego zjawiska grupy niewidocznych cząsteczek roztworu popychały losowo pyłek kwiatowy, właśnie dlatego, że ich warunki początkowe nie były zupełnie równomierne i symetryczne, lecz losowe. Prowadziło to do tak zwanych fluktuacji (w danym momencie mniej cząsteczek uderzało w pyłek z jednej strony niż z drugiej).

Autor *Filozofii przypadku* rozwija w dalszych częściach wątek warunków początkowych, pokazując, że w zasadzie każda teoria deterministyczna ma w sobie zarezerwowane miejsce na potencjalną losowość – owe warunki początkowe. Co więcej, dana teoria może wyglądać losowo właśnie dlatego, że nie znamy owych warunków początkowych i może przestać być taka, jeżeli poznamy mechanizmy rządzące owymi warunkami.

Jednak jeżeli się głębiej zastanowić, w dalszym ciągu prawdopodobieństwo znakomicie opisuje – dość paradoksalnie – pewne regularności nieprzewidywalności. Rzut monetą jest nieprzewidywalny, ale może być opisywany jako deterministyczny. W naturze fizyczno-biologicznej strony świata leży to, że w zasadzie orzeł i reszka padają „równie często” i fakt ten mówi coś głębokiego o Przyrodzie. Można powiedzieć, że opis probabilistyczny dokonuje tu pewnej kompresji – nie umiemy powiedzieć nic o konkretnym przypadku, bo mamy za mało danych, ale możemy powiedzieć coś klarownego o ogólnym obrazie wielu zdarzeń.

Warte rozważenia są jeszcze dwa inne przypadki. *Primo*: w teorii chaosu deterministycznego, gdzie zachowania są zdeterminowane, teoria prawdopodobieństwa (w nowoczesnym wydaniu tzw. teorii miary) znakomicie nadaje się do przewidywań praktycznych. Autor zaznacza, że taka skuteczność metod probabilistycznych na gruncie deterministycznym nie jest zupełnie oczywista – losowość i determinizm to dwa przeciwne bieguny. Zastrzega, że skuteczność owa wynika z topologii dostępnych w Przyrodzie warunków początkowych i „własności propagowania się zaburzeń”. *Secundo*: rozwinięcia dziesiętne liczb niewymiernych, takich jak liczba Pi, wyglądają zdumiewająco losowo i działają jak generatory liczb losowych. Michał Heller przywołuje za Andriejem Kołmogorowem wyjaśnienie, że ów zbieg okoliczności wynika z nieokreśloności matematycznego języka. Formalny, stworzony przez nas język, zbudowany w oparciu o dane pojęcia i aksjomaty, zawsze nadaje się do opisu nie tylko tego, co chcemy opisać, ale także czegoś innego, co może posiadać bardzo odmienne własności od tych przez nas oczekiwanych czy wręcz w procesie aksjomatyzacji zamierzonych. Taka ogólna konstatacja stanowi sens jednego z tzw. twierdzeń limitacyjnych (nawiasem mówiąc dość wstrząsający w swojej wymowie, jeżeli się nad nim chwilę zastanowić). Dla Michała Hellera ważne jest jednak pytanie, czy owa przypadkowo wyglądająca struktura – głęboko deterministycznych w swej naturze – rozwinięć liczb nie jest aby odbiciem czegoś głębszego, co – można by powiedzieć – wykracza poza dychotomie: wiedza – brak losowości, niewiedza – obraz losowy. Intuicja o losowych warunkach początkowych nie ma tu zastosowania, „chyba, żeby

i pod tym względem nasza wiedza była niepełna” – pisze Autor, ale podkreśla, że tak złożona teoria, jak teoria prawdopodobieństwa, może kryć w sobie zagadki.

W istocie, za powyższymi kwestiami kryje się meta-pytanie „wyższego rzędu” – dla czego twierdzenia limitacyjne na takie fenomeny matematyczne – przeciwne naszym najgłębszym intuicjom, dotyczącym tego, co przypadkowe i tego, co pewne – pozwalają?

Na kartach „Fugi” – ostatniej części książki – Michał Heller rysuje najpierw nowocześnie teorię prawdopodobieństwa mającą zastosowanie do świata klasycznego, nam znanego. Jest to teoria rachunku prawdopodobieństwa Andrieja Kołmogorowa, wyrażana w języku tak zwanej miary, a więc posiadająca pierwiastek ilościowy. Michał Heller wyjaśnia też, w jaki sposób teoria Kołmogorowa stanowiła etap osiągnięcia dojrzałości przez dział matematyki zajmujący się prawdopodobieństwem. W największym skrócie chodzi tu o moment, w którym uchwycona zostaje głęboka struktura formalna, oddzielona od interpretacji praktycznych czy, inaczej mówiąc, „reguł pomostowych”, wiążących ją z rzeczywistym światem.

Na kartach książki Michał Heller przedstawia też zasady kwantowej teorii prawdopodobieństwa w ujęciu Johna von Neumanna. Pomocny mu jest w tym, szczegółowo jak na książkę popularną omówiony, aparat matematyczny wyrażony w języku algebraicznym. Warto tu ostrzec Czytelnika, że ta część tekstu operuje zaawansowanymi terminami matematycznymi, poza zasięgiem osób, które nie przeszły treningu w zakresie matematyki wyższej. Przy okazji oferuje Czytelnikowi opis dość intrygującego pojęcia niezależności, który nie ma odpowiednika w klasycznym pojęciu zdarzeń losowo

niezależnych, czyli takich, których prawdopodobieństwa można mnożyć, jak np. prawdopodobieństwa pary wyników dwóch rzutów kośćmi przez dwie różne osoby, które jest iloczynem prawdopodobieństw tych wyników. Owa kwantowa wersja, pochodząca od Dana Voiculescu, bynajmniej nie należy – niech Czytelnicy uwierzą na słowo – do łatwych. Piszący te słowa znalazł w *Filozofii przypadku* najbardziej przystępne omówienie tego pojęcia, jakie kiedykolwiek spotkał w literaturze, zawarte – dodajmy – w formie tylko jednego akapitu.

Mechanika kwantowa jest teorią wyjątkową, ponieważ ma wbudowaną losowość „do wewnątrz” swojej struktury. Oczywiście istnieją jej deterministyczne interpretacje, ale wszystkie one mają jakąś wadę: albo wymagają olbrzymiej złożoności, albo nielokalności, gdzie wszystko oddziałuje ze wszystkim naraz. Przypomnijmy, że – co jeszcze bardziej frustrujące – wszystkie interpretacje mechaniki kwantowej do tej pory niesłychanie skutecznie opierają się jakiegokolwiek różnicującej falsyfikacji. Zagadnienie sposobu interpretacji mechaniki kwantowej jest od lat bardzo żywe w literaturze i wciąż poddawane dyskusji. Jedną z najbardziej spektakularnych prób podważenia tradycyjnego, losowego rozumienia mechaniki kwantowej jest, pochodząca z lat 50. XX wieku, tzw. teoria wielu światów Everetta⁸. Kilka lat temu Daniela Frauchinger i Renato Renner podjęli bardzo spektakularną próbę podważenia typowego rozumienia mechaniki kwantowej. Według autorów artykułu, *Quantum theory cannot consistently describe the use of itself*, kwantowe wyniki uzyskane przez różnych obserwatorów

⁸ H. Everett, „Relative State” Formulation of Quantum Mechanics, „Reviews of Modern Physics” 29, 454 (1957).

mogą prowadzić do obiektywnych sprzeczności. Pierwotna wersja artykułu kładła nacisk na fakt, że sprzeczność dotyczy interpretacji w ramach jednego świata, co mogłoby stanowić argument nie wprost na rzecz teorii Everetta. Głębsze analizy zagadnienia potwierdziły wcześniejsze intuicje, że istotą rozumowania autorów i źródłem paradoksu jest specyficzne założenie o obserwatorze⁹. Otóż w standardowym rozumieniu pełny kwantowy proces pomiaru kończy się procesem nieodwracalnym (o czym mówi ostatni z jej aksjomatów tzw. aksjomat von Neumanna): konkretny wynik zostaje w pełni zdeterminowany poprzez fakt zapisania go w „urządzeniu” makroskopowym np. na kartce. Jest to zgodne z naturalną intuicją, że wyniki eksperymentu muszą móc być współdzielone przez wiele podmiotów¹⁰ i przekazywane między nimi (także międzypokoleniowo). Pogląd ten na gruncie filozoficznym ściśle odpowiada podejściu Kazimierza Ajdukiewicza¹¹. Z kolei autorzy pracy *Quantum theory cannot consistently describe the use of itself* zakładali¹², że już we wstępnej fazie pomiaru (tj. na etapie wywołania specyficznych korelacji na linii układ – urządzenie mierzące) wynik może być świadomie rejestrowany przez obserwatora. Odpowiada to *de facto* założeniu, iż obserwator wraz ze swoją świadomością

i częścią otoczenia mogłby pozostawać w stanach kwantowego „niezdecydowania” (tj. stanach tak zwanej kwantowej superpozycji właściwej cząstkom mikroświata), a zatem – że zostałyby w pełni poddany prawom kwantowym. W ten sposób uzyskany paradoks okazał się kolejną, (poczynając od słynnego problemu kota Schrödingera), ilustracją niemożności spójnego włączenia obserwatora – tak jak go rozumiemy – w pełny opis kwantowy. Analiza nie przyniosła jednak żadnych rozstrzygających argumentów na rzecz interpretacji Everetta, na co liczyli niektórzy badacze.

Tak oto powyższa historia, pokazująca jak żywe jest zainteresowanie fundamentami mechaniki kwantowej, okazała się nową (i nieoczywistą) odsłoną starego i znanego problemu, z którym zmagał się Everett i inni: dlaczego mechanika kwantowa nie może uwzględnić w sposób pełny w swoim opisie obserwatora? Wydaje się, że owa niemożność mogłaby wiązać się w jakiś zagadkowy sposób z faktem, iż do prawidłowego funkcjonowania my, ludzie¹³ ostatecznie potrzebujemy wiedzy (pamięci?) o zdarzeniach, potrzebujemy pewności, że one zaszły. Dzięki temu jesteśmy w stanie identyfikować w Przyrodzie regularności, a wiedza o nich pozwala nam przeżyć. Podsumowując: być może potrzebujemy *determinizmu*, aby przeżyć i stąd nie możemy doświadczać indeterminizmu na poziomie fundamentalnym – jeżeli mechanika kwantowa „ma rację” i takowy istnieje – a jedynie na poziomie powierzchniowym (rozumianego jako chwilowy lub trwały brak wiedzy). Pojawia się otwarte pytanie,

⁹ Zob. M. Żukowski and M. Markiewicz, *Physics and Metaphysics of Wigner's Friends: Even Performed Premeasurements Have No Results*, „Physical Review Letters” 126, 130402 (2021).

¹⁰ Por. Horodecki R., Korbicz J. K., and Horodecki P., *Quantum origins of objectivity*, „Physical Review A” 91, 032122 (2015).

¹¹ K. Ajdukiewicz, *Zagadnienia i kierunki filozofii: teoria poznania, metafizyka*, Warszawa 1949; por. dyskusję: P. Mironowicz, J.K. Korbicz, and P. Horodecki, *Monitoring of the Process of System Information Broadcasting in Time*, „Physical Review Letters” 118, 150501 (2017).

¹² Por. D. Frauchinger i R. Renner, *Quantum theory cannot consistently describe the use of itself*, „Nature Communications” 9, 3711 (2018).

¹³ Dotyczy to także wszystkich innych żywych gatunków, które mogłyby pełnić rolę obserwatora. Pojawia się tu naturalnie pytanie o granicę skali, którym nie będziemy się tu zajmować.

którego analizę odłożymy poza ramy niniejszego tekstu: czy istnieją, poza intuicją fizyczną, fundamentalne powody, dla których jedno miałyby wykluczać drugie?

W powyższym kontekście jedno z centralnych pytań „Kody”: „Czy na fundamentalnym poziomie prawa Przyrody mają charakter przypadkowy?” – nabiera dodatkowej barwy. Sądzę osobiście, że być może owszem, tak jest. Być może kamień węgielny Przyrody mieści w sobie przypadek w sposób nieusuwalny, ale – kto wie – może w tę samą Przyrodę wbudowany jest bezpiecznik, który nigdy nie pozwoli nam o istnieniu tej przypadkowości się przekonać?

Omawiając powyższe teorie prawdopodobieństwa Michał Heller nie wyróżnia ich, ale podkreśla, że każda z nich jest głęboko zaksjomatyzowaną i uporządkowaną strukturą powiązaną z zachowaniem Przyrody na pewnym konkretnym poziomie. Więcej nawet – obraz świata jako wyłaniającego się z chaosu – obraz, powiedzielibyśmy dziś, cokolwiek starożytny (który doczekał się pewnych prób reaktywacji za sprawą Richarda Dawkinsa), wydaje się z tej perspektywy szalenie nieprzekonywujący. Nie ma powodu, dla którego ten, a nie inny rachunek prawdopodobieństwa, będący bardzo konkretną teorią matematyczną – jedną z wielu opisujących aspekty fizycznej rzeczywistości – miałby nagle urastać do rangi ontologii fundamentalnej. Michał Heller wspomina przy tej okazji o próbach wyjaśnienia własności Wszechświata z pomocą podobnych argumentów, ponownie wskazując na ich spekulatywny charakter, wyróżniający *ad hoc* jakąś konkretną teorię prawdopodobieństwa. W rzeczy samej, dlaczego konkretna matematyczna teoria, która opisuje jakiś wycinek rzeczywistości, ma nagle urastać do rangi

racji dostatecznej? W moim odczuciu jest to jeden z najpoważniejszych ciosów zadanych przez Autora szalenie rozpowszechnionej „metodologii” uzasadniania takiej, a nie innej natury naszego Wszechświata.

Z drugiej strony, Autor zwraca uwagę, że prawa prawdopodobieństwa, nawet jeżeli założyć, że są fundamentalnie losowe – co np. z przekonaniem „mówi” o swoich prawach mechanika kwantowa – to znakomicie „współpracują” z prawami deterministycznymi. Widać to na przykład na poziomie mutacji w świecie biologii, gdzie efekty kwantowe dochodzą do głosu. Przyroda może być opisywana jako obraz sieci powiązań, której niektóre węzły wydają się być rządzone losowo, a inne deterministycznie. Całość ma głęboko nietrywialną i wielce złożoną strukturę.

Warto podkreślić, że zupełnie nie umiemy powiedzieć, dlaczego owa kombinacja węzłów i powiązań jest taka, a nie inna, co stanowi znakomite odzwierciedlenie naszego doświadczenia przygodności praw Natury, o którym jest mowa we wcześniejszej części książki. Tytułem przykładu: na gruncie mechaniki kwantowej słynny związek spinu ze statystyką mówi, że cząstki, owszem, mogą się zachowywać bardzo losowo, ale *natura tej losowości nie jest dowolna*. Mamy tylko dwa jej typy, nie więcej (tzw. statystyka bozonowa i fermionowa, przy czym ta ostatnia odpowiada za stabilność materii, w tym np. za fakt, że, uderzając palcami w powierzchnię stołu, natrafiamy na opór). Zachodzi pytanie, czy Przyroda musiała „być zaprogramowana”, aby tak się zachowywać? Czy ten jej aspekt jest jakoś zdeterminowany? Piszącemu te słowa wydaje się, że wszelkie uzasadnienia dotyczące konkretnych splotów determinizmu i losowości,

zarówno obecnie i w przyszłości, będą miały charakter względny i będą opierały się na takich lub innych ogólnych zasadach, których wybór będzie zależał od naszej intuicji lub estetyki matematyczno-fizycznej. Niektórzy Czytelnicy z kręgu nauk ścisłych być może byłiby bardziej ukontentowani, gdyby mogli spotkać się na kartach książki z analizą większej liczby podobnych, szczegółowych splotów np. – na zasadzie pewnego kontrpunktu – z pogłębioną dyskusją na temat fenomenu stałych fizycznych, które z naszego punktu widzenia wyglądają na zdeterminowane. Z drugiej strony, nie sposób nie przyznać, że mogłoby to być trudne ze względu na mnogość wątków zawartych w książce i jej objętość. W *Filozofii przypadku* wspomniana powyżej zagadka tego, czy Przyroda musiała mieć takie, a nie inne prawa, jest podjęta szczególnie gruntownie w kontekście fenomenu emergencji, czyli pojawiania się nowych praw i jakości z praw bardziej podstawowych. Możliwość emergencji jest – jak pisze Autor – „bardzo delikatnie wkomponowana w prawa fizyki”, proponując w ramach ilustracji głęboki namysł nad fenomenem zjawisk biologicznych z perspektywy podstawowych praw fizycznych. Nie będziemy poruszać tego wątku w ramach niniejszego omówienia, zachęcając po prostu Czytelnika do lektury; pojawienie się życia jako stanu dalekiego od równowagi termodynamicznej to pasjonujący temat.

Na marginesie rozważań o prawach fizyki Michał Heller zwraca uwagę na interesujący fakt, który mówi sporo o psychologii rozumienia i doświadczania teorii naukowych. Oto w „tradycyjnej” mechanice kwantowej, teorii ontologicznie probabilistycznej, która leży u podstaw współczesnego opisu materii i światła, bardzo mało

mówi się o prawdopodobieństwie. Czytamy tu o dwóch powodach tego stanu rzeczy. Pierwszy – to pewne przyzwyczajenie; pojęcie prawdopodobieństwa znamy skądinąd, i dlatego nie odczuwamy jego dogłębnie wyjątkowego charakteru na gruncie mechaniki kwantowej. Drugi – to deterministyczny charakter ewolucji kwantowego prawdopodobieństwa; dopóki nie dokonamy pomiaru, informacja o naszym układzie fizycznym – funkcja falowa – zmienia się deterministycznie, podług deterministycznego równania – równania Schrödingera. Do tej listy pozwolę sobie dołączyć jeszcze jeden powód – praktyczny. Mechanika kwantowa służy nam świetnie w naukach technicznych, gdzie probabilistyczna natura *nie ujawnia się wprost, ale pośrednio* – poprzez szczególny charakter zdarzeń deterministycznych. Urządzenia takie jak fotokomórka, złącza półprzewodnikowe, np. w mikroelektronice, czy elementy techniczne zawierające ferromagnetyki – *działają z (niemal) stuprocentową pewnością*, bowiem w tym celu zostały zrobione (*sic*). Dopiero opisujące ich mechanizm działania matematyczne fundamenty i odpowiadające im „głębokie” mechanizmy fizyczne mają w sobie rys nieusuwalnie losowy. Równocześnie podkreślimy, że gdyby nie owe niewidoczne – zasadniczo losowe – fundamenty, urządzenia te nie działałyby tak, jak działają, tj. straciłyby swoją istotę. Fascynujący opis owych fundamentów, oparty na pojęciu nieprzeziębłości, znajdzie Czytelnik na łamach *Filozofii przypadku*.

Dodajmy tu jeszcze, że absolutnym wyjątkiem – dziedziną, w której na prawdopodobieństwo kwantowe zwraca się baczniejszą uwagę – jest względnie młody dział kwantowej teorii informacji. Dzieje się tak, ponieważ teoria

ta posługuje się analogiami z klasycznej teorii komunikacji Claude’a Shannona. W tej teorii statystyka znaków języka, w którym napisana jest wiadomość, ma kluczowe znaczenie dla kompresji i usuwania szumu, a ponadto prawdopodobieństwo podsłuchania wiadomości przez osobę niepowołaną jest jedną z centralnych wielkości tej teorii. Bardzo specyficzna, niemająca klasycznego odpowiednika, losowość, leżąca o podstaw fizyki kwantowej, pozwala mówić nie tylko o statystyce języka, ale w pewnych sytuacjach wymuszać dużo słabsze korelacje z otoczeniem. Słabsze korelacje z otoczeniem to mniejszy „wypływ” informacji do otoczenia, *ergo* gorsze warunki dla podsłuchu. Dlatego też prawdopodobieństwo skutecznego podsłuchu w kwantowej teorii informacji jest jedną z części obliczanych wielkości. Sytuacje, gdy jest ono bliskie zeru z *powodów zupełnie zasadniczych*, nie mają żadnego odpowiednika w klasycznej telekomunikacji i stanowią o istocie tzw. kwantowej kryptografii.

3. „Koda” – w kierunku metaanalizy

Ostatnia część książki – „Koda”, ma artystyczny rozmach niemal autonomicznego eseju. W warstwie krytycznej można ją odczytać jako głębokie ostrzeżenie przed Scyllą pychy scjentyzmu i Charybdą religijnego fundamentalizmu, przy czym tej ostatniej Autor poświęca więcej miejsca. Za św. Augustynem otrzymujemy zachętę do ciągłego korygowania języka mówiącego o sprawach transcendentnych, język ten używa bowiem mitycznych obrazów, a nauka niektóre z nich koryguje lub obala. Proces takiego oczyszczania teologii przez naukę jest bolesny, ale, jak stwierdza Michał Heller, jego „pozytywne skutki trudno przecenić”¹⁴. Oprócz

¹⁴ Por. H. Heller, *Filozofia przypadku*, dz. cyt., s. 258.

fazy krytycznej, mamy też fazę afirmatywną – głębokie studium złożoności natury praw fizycznych, widziane z perspektywy filozoficznej, gdzie konieczność i przypadek splatają się z sobą na podobieństwo niby powierzchniowej, a niezwykle głębokiej (od Arystotelesa pochodzącej) historyjki o człowieku, który wybrał się na rynek w jakimś celu, a przy okazji spotkał swojego wierzyiciela, choć wcale tego nie planował. Obraz praw fizyki widziany z tej perspektywy, niejako z lotu ptaka, jest na tyle przejmujący i ma w sobie tyle ostrości, że nie chcemy go tutaj szczegółowo omawiać, by nie zakłócać Czytelnikowi przeżycia i świeżości odbioru. Wspomnijmy tylko, że poruszane tu jest zagadnienie wolnej woli w owej „Wielkiej Matrycy Wszechświata”. Jeżeli wolna wola jest możliwa, to Matryca musi funkcjonować tak, aby pośród splotu przypadku i determinizmu znalazło się miejsce dla wolności człowieka.

Owa „Wielka Matryca” – utożsamiana z Einsteińskim „Zamysłem Boga” stanowi nieznaną nam, niezwykle, dodajmy tu – może nawet nieskończenie – złożoną całość, w której współlistnieją i zazębiają się wszystkie prawa rządzące Przyrodą. Jest ona podobna do sieci z wieloma wejściami i wyjściami w węzłach, ale jest też czymś dużo więcej.

Jest to struktura głęboko racjonalna, ale równocześnie niepoddająca się jakimkolwiek deterministycznym ramom. Więcej nawet, jakkolwiek nie rozumielibyśmy przypadku, jego brak, choćby w formie tak zwanych fluktuacji w tej strukturze, sprawiłby, że nasz świat – rezultat działania praw Wielkiej Matrycy – utraciłby źródło pewnych twórczych procesów, utraciłby źródło różnorodności. Autor wykazuje w rozdziałach pod przewrotnie brzmiącymi tytułami „Bóg prawdopodobieństw” oraz

„Inteligentny Projekt czy zamysł Boga”, dla którego hipoteza istnienia (lub nieistnienia) Boga jest z metodologicznego punktu widzenia (niektórzy odbiorą to jako drugoczną konkluzję) zupełnie niezależna od fenomenu prawdopodobieństwa jako takiego. Czytając pierwszy z rozdziałów doświadczamy wielkości pytania Leibniza: Daczego istnieje raczej coś niż nic? W przypadku próby usunięcia losowości za cenę istnienia zupełnie niewyobrażalnie bogatego Wieloświata, owo „coś” – jak pisze Autor – brzmi nawet bardziej filozoficznie niepokojąco. Pokazuje też – dodajmy tu – że prawdopodobnie całość Wielkiej Matrycy pozostanie na zawsze poza naszym zasięgiem. W drugim z wymienionych rozdziałów otrzymujemy panoramę zjawisk prowadzących do fenomenu życia z wbudowanym w owe zjawiska procesem emergencji, która naturalnie prowadzi do analogicznego pytania: Jeżeli nawet zaistniało „coś”, to czy emergencja musiała zaistnieć, czy „tkanka Matrycy musiała na nią pozwalać? W szczególności: Czy i w jaki sposób owa emergencja prowadzi do istnienia wolnej woli?

Przypomina się tutaj to, co George Ellis, słynny fizyk i myśliciel, gość krakowskiego Copernicus Festiwal,¹⁵ pisał swego czasu o przyczynowości od góry do dołu (ang. *top-down causation*): naciskając klawisz komputera, uruchamiamy procesy kwantowe w złączach mikroelektronicznych. Być może nasza wola, by klawisz nacisnąć lub nie – jest wolna, jako zjawisko emergentne, którego nie sposób zredukować do niższych poziomów rzeczywistości, takich jak poziom atomowy czy molekularny.

Michał Heller, fizyk, kosmolog, filozof, duchowny, obdarzony niezwykle rzetelną

umysłowością, która nie zadowala się drogami na skróty, przywołuje pochodzącą od Einsteina ideę „Zamysłu Boga”, komentując ją w dwóch ostatnich podrozdziałach. By przybliżyć się do atmosfery samego finału – podsumowania książki – oddajmy głos Autorowi:

Powyżej użyłem metafory „Wielkiej Matrycy Wszechświata”. Trochę dlatego, aby nie nadużywać Einsteińskiego powiedzenia o Bożym Zamysle, ale w gruncie rzeczy w obu metaforach chodzi o to samo. Niezależnie od tego, czy będziemy je interpretować w duchu religijnej wiary w Boga, czy w sensie zbioru (tylko czy to jest zbiór w technicznym sensie tego terminu?) prawidłowości, które rządzą wszystkim co jest, musimy się zgodzić z tym, że ta Matryca jest naprawdę Wielka. [...] ¹⁶

i dalej

[...] Przypadki nie są klęską Matrycy, lecz jej bardzo subtelną strategią. Siła Wielkiej Matrycy polega na tym, że każdy, kto chce wykazać, że jej nie ma, lub ograniczyć jej skuteczność, jeżeli tylko posługuje się racjonalnymi argumentami, sam korzysta ze środków, które dostarcza Matryca ¹⁷,

W rzeczy samej, trudno o trafniejsze ostrzeżenie przed szukaniem przewagi konkretnych naukowych teorii nad tajemnicami życia, świadomości, podmiotu, a przede wszystkim – samego istnienia świata...

Zarówno próby wywodzenia definitywnych negatywnych stwierdzeń na temat celowości z samego faktu istnienia prawdopodobieństwa (Dawkins), jak i próby

¹⁵ Copernicus Festival, Kraków, 19.05.2015.

¹⁶ M. Heller, *Filozofia przypadku*, dz. cyt. s. 314.

¹⁷ Tamże, s. 315–316.

wyprowadzania pozytywnych twierdzeń metafizycznych w oparciu o usuwanie „ad hoc” tegoż prawdopodobieństwa (Dembski), w takim czy innym sensie są elementem dopuszczalnym przez Matrycę, a nawet – zaryzykujemy – w jakimś sensie przez Nią „przewidzianym”. Są one zatem bezbronne wobec Tajemnicy istnienia Jej samej.

Filozofia przypadku nie jest bynajmniej sporem z obydwoma metodologicznie wątpliwymi stanowiskami. Wygrywa z nimi na argumenty niejako mimochodem. Jest raczej wskazaniem drogi, z której niczym z wysokiej górskiej grani, po której się stąpa, widać doliny niepełnych lub błędnych rozumowań, ale przede wszystkim – wysoko i daleko – widzi się lub przeczuwa niezmierzone horyzonty, dostępne wszystkim osobom rzetelnie myślącym. Jak pobieżna jest niniejsza próba omówienia pewnych aspektów tej bogatej książki, przekona się Czytelnik, który uważnie zapozna się z samą *Filozofią przypadku*.

4. Posłowie postkwantowe

Na koniec pozwólmy sobie na krótką wzmiankę w świetle ostatnich badań nad mechaniką kwantową. Otóż, współistnienie przypadku i determinizmu, o którym mówi Michał Heller, znajduje dobrą ilustrację w postaci koncepcji, próbujących częściowo tłumaczyć mechanikę kwantową deterministycznie. Istnieją bowiem takie kombinacje fundamentalnej losowości i determinizmu, które symulują mechanikę kwantową nieomal deterministycznie w jednostkowych przypadkach, pozwalając odtworzyć dużą dozę nieprzewidywalności w szczególnych, wielokrotnie przeprowadzonych eksperymentach. *Nota bene* tutaj logika jest – pozornie dodajmy i tylko na pierwszy rzut oka – jakby odwrotna w stosunku

do praw wielkich liczb, gdzie indywidualna losowość prowadzi do determinizmu w grupach zdarzeń. Badania tego typu, zainicjowane w zespole Renato Rennera z Politechniki w Zurichu¹⁸ (gdzie, nawiasem mówiąc pracował kiedyś Einstein), prowadzi się w kilku silnych ośrodkach na świecie, także w Polsce (przede wszystkim w Gdańsku¹⁹). Prace te mają za punkt wyjścia teorie probabilistyczne zgodnych rodzin rozkładów prawdopodobieństwa, pozwalające na ogłęd probabilistyki mechaniki kwantowej od zewnątrz, i dlatego czasem nazywane są teoriami lub modelami postkwantowymi²⁰.

Podkreślmy jednak, że jakakolwiek nietrywialna kombinacja losowości i determinizmu nie leżałaby u podstaw praw Natury, zaistnienie takiego, a nie innego *konkretnego* zdarzenia – pochodzącego z porządku losowego – pozostaje samo w sobie zagadką. Z punktu widzenia dowolnej teorii zawsze wybiega poza nią samą, niczym Kantowska „rzecz sama w sobie”. Rzymianie, niezbyt mocni w filozofii (z wyjątkiem teorii prawa), intuicyjnie doświadczając tej zagadki, powołali do życia boginię Fortunę. Myśli współczesnej raczej wypada się z nią mierzyć siłą namysłu i zadumy, które sondują różne perspektywy, budując coś na kształt topografii zagadki nie do rozwikłania. Jeszcze raz doświadczamy tego intelektualnego momentu, który jaskrawo wskazuje, że filozoficznie i matematycznie wszechobecna zagadka braku absolutnego punktu podparcia ma w teorii pojedynczych zdarzeń swój

¹⁸ R. Colbeck, R. Renner, *Free randomness can be amplified*, „Nature Physics” 2012, No. 8, p. 450–453.

¹⁹ Por. np. Brandão F. G. S. L., Ramanathan R., Grudka A., Horodecki K., Horodecki M., Horodecki P., Szarek T., and Wojewódka H., *Realistic noise-tolerant randomness amplification using finite number of devices*, „Nature Communications” 7, 11345 (2016).

²⁰ S. Popescu, D. Rohrlich, *Quantum nonlocality as an axiom*, „Foundations of Physics” 24, 379 (1994).

pasjonujący wariant. „O ile Wszechświat nie jest automatem ...”, chciałoby się zaraz powiedzieć, ale ta niepewność właśnie należy do wnętrza owej zagadki. Z naszej ludzkiej, ułomnej, ale jakże otwartej na wrażenia i refleksje, perspektywy powyższa kwestia pokazuje, jak wielka i niezwykła jest Matryca przywołana w *Filozofii przypadku* i jak daleko wszelkie próby jej badawczej rekonstrukcji muszą pozostać poza jakąkolwiek

odповідzią na pytanie siedemnastowiecznego filozofa, matematyka i dyplomaty z Lipska. Powtórzmy wszak, że nawet jeżeli danej tajemnicy nie da się zgłębić, rozwiązać, rozstrzygnąć, to można coraz wnikliwiej kontemplować jej istotę, jej „topografię” i – jakkolwiek paradoksalnie to brzmi – stanowi to trudny do zakwestionowania rodzaj postępu czy raczej wzrostu ludzkiej myśli i specyficznie ludzkiego doświadczenia.

BIBLIOGRAFIA

- Ajdukiewicz K., *Zagadnienia i kierunki filozofii: teoria poznania, metafizyka*, „Czytelnik”, Warszawa 1949.
- Brandão F. G. S. L., Ramanathan R., Grudka A., Horodecki K., Horodecki M., Horodecki P., Szarek T., and Wojewódka H., *Realistic noise-tolerant randomness amplification using finite number of devices*, „Nature Communications” 7, 11345 (2016).
- Colbeck R., Renner R., *Free randomness can be amplified*, „Nature Physics” 2012, No 8, p. 450–453.
- Combrie C.A., *Style myśli naukowej w początkach nowożytnej Europy*, tłum. P. Salwa, Wydawnictwo Instytutu Filozofii i Socjologii PAN, Warszawa 1994.
- Dawkins R., *Ślepy zegarmistrz, czyli jak ewolucja dowodzi, że świat nie został zaplanowany*, wyd. 2., tłum. A. Hoffman, Warszawa 1997.
- Everett H., „Relative State” *Formulation of Quantum Mechanics*, „Reviews of Modern Physics” 29, 454 (1957).
- Frauchinger D., Renner R., *Quantum theory cannot consistently describe the use of itself*, „Nature Communications” 9, 3711 (2018).
- Heller M., *Filozofia przypadku. Kosmiczna fuga z preludium i codą*, Copernicus Center Press, Kraków 2016.
- Horodecki R., Korbicz J. K., and Horodecki P., *Quantum origins of objectivity*, „Physical Review A” 91, 032122 (2015).
- Mere Creation: Science, Religion and Intelligent Design*, ed. W. A. Dembski, IVP Academic 1998.
- Mironowicz P., Korbicz J.K., Horodecki P., *Monitoring of the Process of System Information Broadcasting in Time*, „Physical Review Letters” 118, 150501 (2017).
- Popescu S., Rohrlich D., *Quantum nonlocality as an axiom*, „Foundations of Physics” 24, 379 (1994).
- Wierzę, żeby rozumieć. Z Michałem Hellerem rozmawiają Wojciech Bonowicz, Bartosz Brożek i Zbigniew Liana*, Znak, Kraków 2021.
- Żukowski M., Markiewicz M., *Physics and Metaphysics of Wigner’s Friends: Even Performed Premeasurements Have No Results*, „Physical Review Letters” 126, 130402 (2021).

An Introductory Sketch of Michał Heller’s „Philosophy of Chance”

(Summary)

Próba szkicu „filozofii przypadku” Michała Hellera

(Streszczenie)

In this review, we present selected threads of Michał Heller’s *Philosophy of Chance*. We are particularly interested in the historical evolution of the concept of chance and the physical perspective in which chance – however we understand it – is part of the structure of laws governing Nature.

W niniejszym omówieniu prezentujemy wybrane wątki *Filozofii przypadku* Michała Hellera. Szczególnie interesują nas ewolucja historyczna pojęcia przypadku oraz perspektywa fizyczna, w której przypadek – jakkolwiek byśmy go nie rozumieli – jest częścią struktury praw rządzących Naturą.

Key words: chance, randomness, determinism, laws of physics, biological evolution, cosmology

Słowa kluczowe: przypadek, losowość, determinizm, prawa fizyki, ewolucja biologiczna, kosmologia

PAWEŁ HORODECKI:

fizyk, prof. dr hab., jako nauczyciel akademicki związany z Politechniką Gdańską. Pracownik naukowy Międzynarodowego Centrum Teorii Technologii Kwantowych na Uniwersytecie Gdańskim. Naukowo zajmuje się kwantową teorią informacji i podstawami mechaniki kwantowej. Współtwórca, wraz z ojcem Ryszardem i bratem Michałem, zrębów teorii kwantowego

splątania. Należy do grona często cytowanych polskich naukowców (m. in. został wymieniony na międzynarodowej liście najbardziej wpływowych badaczy – TOP 2, opracowanej w 2020 roku przez wydawnictwo Elsevier i Uniwersytet Stanforda).

Adres e-mail: pawel.horodecki@pg.edu.pl