

**TYGODNIK
POWSZECHNY**

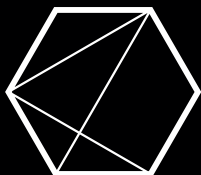
Nr 20/2026

**KATALOG
FESTIWALOWY**

ZŁOŻONOŚĆ

19–24 MAJA 2026

COPERNICUS FESTIVAL



NAUKA W NAJLEPSZEJ FORMIE



SZANOWNI PAŃSTWO,

Festiwal Copernicus od lat stawia pytania, które nie tracą na aktualności, choć zmieniają się konteksty, w jakich próbujemy na nie odpowiadać. Czym właściwie jest życie? Jak staliśmy się tym, kim jesteśmy? Po co nam dzisiaj filozofia? Czy rozumiemy świadomość? Jak badać mózg – i czy jego poznanie przybliży nas do zrozumienia samych siebie? To znaczące tematy wykładów, które znalazły się w tegorocznym programie Festiwalu.

Każda z dotychczasowych edycji skupiała się wokół jednego pojęcia – od Rewolucji, Geniuszu i Piękna, przez Emocje, Przypadek i Język, po Czas, Wyobraźnię, Informację, Kosmos, Maszynę

i Tajemnicę. Tegoroczna odsłona, poświęcona Złożoności, wpisuje się w ten katalog, a zarazem szczególnie mocno podkreśla wagę wyzwań współczesności.

Świat, który próbujemy zrozumieć, okazuje się siecią powiązań – między naukami, między poziomami rzeczywistości, między człowiekiem i technologią. Złożoność nie jest już tylko przedmiotem badań, lecz także doświadczeniem codzienności.

Ta edycja Festiwalu jest wyjątkowa również dlatego, że jeszcze wyraźniej niż poprzednie kieruje uwagę ku nauce – jej metodom, odkryciom i granicom. Do Krakowa przyjadą wybitni badacze i myśliciele z różnych dziedzin, by wspólnie zastanawiać się nad naturą świata i nad naszym miejscem w tym świecie.

Patron Festiwalu, Mikołaj Kopernik, przypomina, że odwaga w zadawaniu pytań i gotowość do zmiany perspektywy mogą prowadzić do przełomów. Dlatego zapraszam Państwa do wspólnego udziału w Festiwalu – do słuchania, zadawania pytań i rozmów. Do spotkań, które, mam nadzieję, zapamiętają Państwo na długo.

Aleksander Myszalski
Prezydent Miasta Krakowa



COPERNICUS FESTIVAL 2026 / ZŁOŻONOŚĆ

Cłość to coś więcej niż suma części, bo z wielu oddziałujących z sobą elementów wyłaniają się nowe jakości. Jeśli wierzyć w tę podstawową ideę paradygmatu złożoności, to tegoroczny Copernicus Festival jest nie tylko zbiorem dużej liczby pojedynczych wydarzeń.

Sam program festiwalu, o czym można się przekonać w środku tego katalogu, z pewnością jest złożony: to przeszło trzydzieści spotkań na głównej scenie w krakowskim Muzeum Inżynierii i Techniki, rozciągniętych na sześć dni (19-24 maja) i zorganizowanych w pięć pasm głównych, a także kilkadziesiąt wydarzeń dodatkowych, w tym cały dzień (piątek, 22 maja) pokazów, prelekcji i warsztatów na kampusie Uniwersytetu Jagiellońskiego zaprojektowanych dla dzieci i młodzieży, czy też wykłady i debaty eksperckie na drugiej festiwalowej scenie, adresowane do środowiska akademickiego.

Ale zgodnie z ideą złożoności w festiwalu ważny jest także układ i kontekst tych wydarzeń – powiązania tematyczne między nimi, profil zapraszanych przez nas gości i ich wkład w rozwój współczesnej nauki. W podejmowanych zagadnieniach odbijać się będzie echo najważniejszych współczesnych odkryć i debat naukowych. Nasz festiwal to także relacje: możliwość spotkania z innymi osobami zainteresowanymi współczesną nauką i jej miejscem w świecie, oraz z ludźmi, którzy tę naukę aktywnie tworzą.

Festiwal to zarówno omawiane przez autorów eksperymenty i przybliżane przez nich teorie, jak i pytania zadawane przez publiczność podczas wydarzeń, na czacie transmisji (dostępnej na [Youtube.com/CopernicusCenter](https://www.youtube.com/CopernicusCenter)) albo już

w kularach. Doświadczenie Copernicus Festival to musi być zatem coś więcej niż uczestnictwo w jednym czy drugim wykładzie – coś, co może nawet trudno opisać słowami.

W tym roku w programie debiutują dwa nowe pasma. Pierwszym jest „Rok w nauce”, w ramach którego cenienci polscy uczeni opowiedzą o najciekawszych ich zdaniem odkryciach, debatach czy trendach w dziedzinach, które reprezentują. Drugim jest pasmo wykładów współorganizowanych z Europejską Radą ds. Badań Naukowych (ERC), jedną z najważniejszych na świecie agencji finansujących badania – polscy laureaci prestiżowych grantów ERC opowiedzą o swoich projektach. Oprócz tego w programie tradycyjne „Rozmowy”, „Wykłady”, „Konfrontacje”, „Warsztaty”, pokazy filmów i inne formy.

W kolejne festiwalowe dni będziemy przyglądać się rzeczywistości w nieco innej rozdzielczości, skupiając się na innych zagadnieniach: przejdziemy z poziomu fizyki (drugi dzień festiwalu) do zagadnień łączących matematykę, ekonomię i informatykę (dzień trzeci), w kierunku biologii i ewolucji (dzień czwarty), docierając do sfery umysłu (dzień piąty), a kończąc na świecie relacji – społecznych oraz między ludźmi i innymi stworzeniami (dzień szósty). W wieczornej sesji tradycyjnie odbędą się wykłady naszych zagranicznych gości: kosmolożki Hiranyi Peiris, teoretyka złożoności Davida Krakauera, biofizyczki Ewy Paluch, neuropsychologa Anila Setha i paleoantropologa Johna Hawksa.

O tym wszystkim po trochu oraz o samej idei złożoności i roli tego pojęcia w nauce przeczytacie w niniejszym katalogu. Życzymy przyjemnej lektury – i dobrego festiwalu.

© ŁUKASZ KWIATEK

4. Wszystko jest proste

ŁUKASZ LAMŻA

10. Apostoł nowej nauki

PIOTR URBAŃCZYK

16. Zrozumieć mózg

MARGIT KOSSOBUDZKA-LIPIŃSKA

22. Jak kształtuje się życie

ROZMOWA Z EWĄ PALUCH

27. O naturze problemów

filozoficznych
WOJCIECH SADY

30. Program Festiwalu

36. Dzień, który nie miał wczoraj

SEBASTIAN J. SZYBKA

42. Kontrolowana halucynacja

ROZMOWA Z ANILEM SETHEM

48. Nasza droga

ŁUKASZ KWIATEK

52. Mądre Książki roku 2025 dla dorosłych i dla dzieci

KAMIL KOPIJ,
MARTA ALICJA TRZECIAK



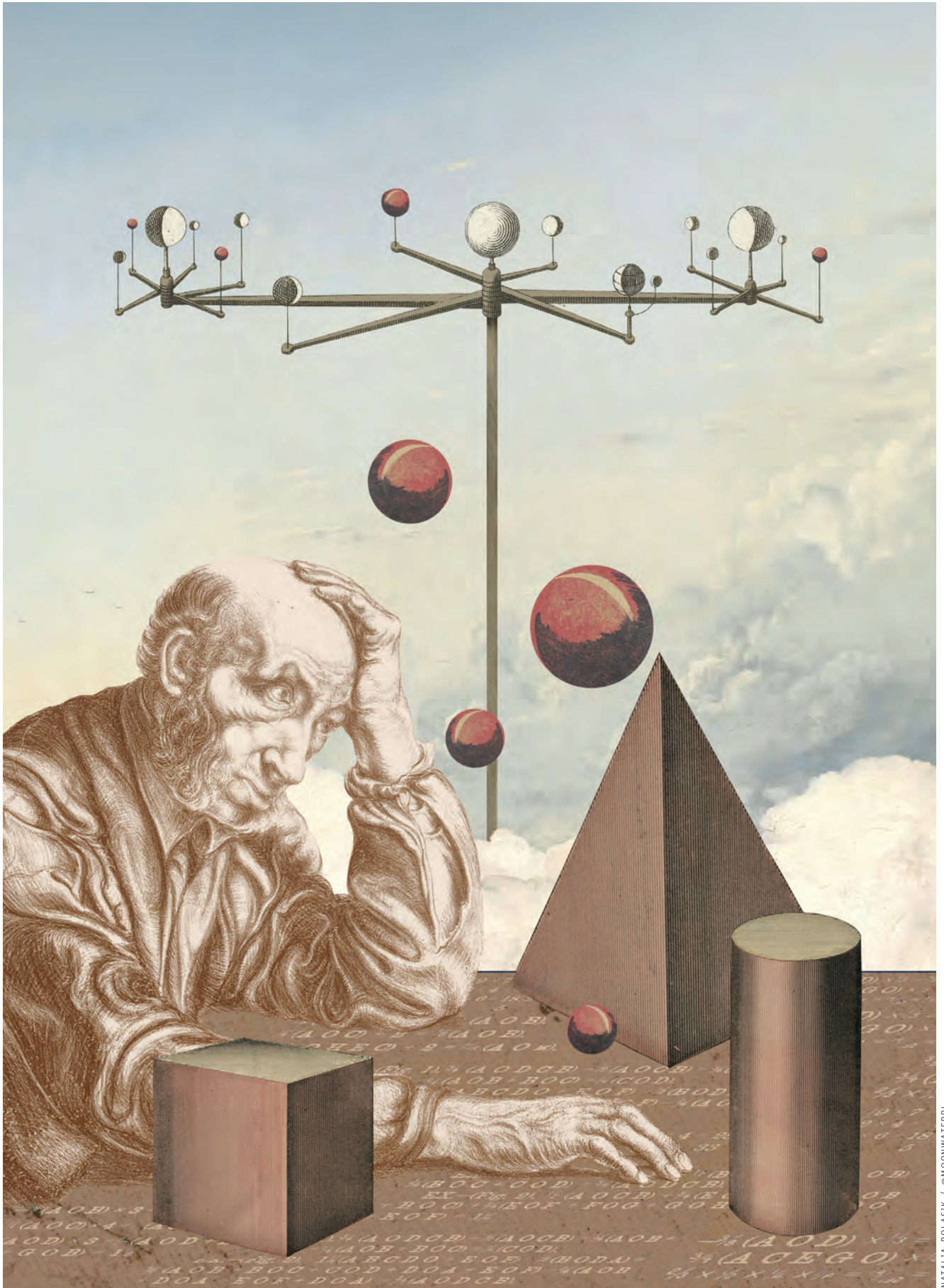
REDAKCJA: ŁUKASZ KWIATEK, WSPÓŁPRACA: ŁUKASZ LAMŻA, GRZEGORZ BOGDAŁ | PROJEKT GRAFICZNY: MAREK ZALEJSKI | FOTOEDYCJA: KATARZYNA BUŁTOWICZ
SKŁAD: ANDRZEJ LEŚNIAK | KOREKTA: SYLWIA FROŁOW, MAGDALENA PAWŁOWICZ, MACIEJ SZKLARCZYK | GRAFIKA NA OKŁADCE: ANNA KUBIK

KRAKÓW 2026, ISBN 978-83-65610-30-0



Uniwersytet Jagielloński realizuje zadanie zlecone „Copernicus Festival 2025-2027. Organizacja trzech edycji międzynarodowego festiwalu popularyzującego naukę”. Zadanie zlecone finansowane jest ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Copernicus Festival odbywa się pod patronatem Prezydenta Miasta Krakowa Aleksandra Miszalskiego oraz Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego Marcina Kulaska.



NATALIA POLASIK / @MOONWATERPL

Natalia Polasik „Perspektywa problemu”, 2026 r.

Wszystko jest proste

ŁUKASZ LAMŻA

Czasami wstaję rano i wszystko wydaje mi się proste. Niestety, następnego dnia wszystko jest strasznie skomplikowane. Nauki o złożoności mają chyba ten sam problem.

Mój ulubiony rysunek Marka Raczkowskiego przedstawia małpoluda w jaskini, w skupieniu przygryzającego palce nad skomplikowanym problemem. Leżą przed nim trzy klocki: kwadratowy, okrągły i trójkątny. Na ziemi deseczka z trzema otworami: kwadratowym, okrągłym i trójkątnym. Jego małpoludzia żona rzuca w przelocie: „Idę spać. Nie siedź do późna”.

Kiedy myślę o tym rysunku, zawsze wyobrażam sobie komitów patrzących na nas z rozczuleniem z orbity, jak próbujemy skwantować grawitację albo wymyślić lek na raka.

Trywialny jak wyższa matematyka

Rozważmy nieco poważniej pytanie, czy włożenie właściwego klocka do właściwego otworu to „trudny” problem? Ponieważ niżej będziemy raczej mówić o złożoności niż trudności, możemy też zapytać, czy „Ala ma kota” to złożony tekst, albo czy młotek to narzędzie o dużej złożoności. Jest parę sposobów na zmierzenie się z tego typu pytaniami.

Pierwszy odruch to prawdopodobnie odpowiedź: to zależy. Ten sam problem może być trudny dla małpoluda – albo dla maluszka, który jeszcze z trudem operuje motoryką małą – ale prosty dla mnie i dla większości dorosłych ludzi. Podobnie, ten sam tekst będzie miał wysoką złożoność lub niską złożoność, zależnie od tego, kto pyta. Krótko mówiąc, z takiego punktu widzenia złożoność nie jest obiektywną cechą problemu albo tekstu, albo układu, tylko czymś, co wyłania się w relacji z konkretną osobą.

Ma to sens, ale są z tym pewne problemy. Przykładowo, tak rozumiana złożoność spada wraz ze wzrostem naszego zrozumienia. Fizyk-noblista Richard Feynman pokpiwał siebie z matematyków i ich skłonności do nadużywania słowa „trywialny”. W autobiografii („Pan raczy żartować, panie Feynman”) opisuje siedzących przy tablicy studentów, w pocie czoła wykańczających dowód pewnego twierdzenia. W pewnym momencie wszystko staje się jasne – a więc oczywiste, a więc „trywialne”. „Matematycy dowodzą tylko trywialnych twierdzeń, ponieważ każde udowodnione twierdzenie jest trywialne”, stwierdza ostatecznie Feynman.

Podobne sytuacje znamy doskonale z własnego życia. Do dziś pamiętam, jaką frustrację czułem, gdy pierwszy raz pokazano mi dzielenie pisemne („pod kreską”). Przecież to jakaś abrakadabra! Całe szczęście Magda z klasy zręcznie mi to wyjaśniła, po czym okazało się, że jest to tak naprawdę bardzo proste. Zauważmy, że w grę wchodzi tu coś więcej niż sam emocjonalny „ciężar” problemu (trudne–łatwe); re-

dukcji uległa również jego wewnętrzna, ilościowa złożoność (skomplikowane–proste). Gdy już rozumie się logikę dzielenia pod kreską, kilkadziesiąt osobnych operacji matematycznych, których czysta liczebność może z początku przytłoczyć, nagle okazuje się wielokrotnym ponawianiem tych samych kilku kroków.

To samo uczucie redukcji towarzyszy zrozumieniu, o co chodzi w konkretnym zadaniu na teście IQ typu logiczno-matematycznego, jak matryce progresywne Ravena. To te kratki trzy na trzy, jakby stworzone do gry w kółko i krzyżyk, jednak po ich 9 polach wędrują kropki lub kreski. Zadanie polega na wymyśleniu, jak ułożą się w ostatnim kadrze. Gdy się już to „zobaczy”, chaos ulega uporządkowaniu. Aha, więc to nie jest dwadzieścia osobnych kropek, tylko jedno śmigiełko kręcące się w prawo i jedna kropka wędrująca w lewo! To również przemiana typu „duża liczba przypadkowych faktów – niewielka liczba form porządku”.

Hm. A może dałoby się to zmierzyć?

Linijka do złożoności

Dokładnie taka idea kryje się za wieloma „miarami złożoności”. To kontra wobec naszego pierwszego odruchu – może poziom złożoności dałoby się jednak wyznaczyć ilościowo? Zaczniemy od zawężenia problemu: chcemy wyznaczyć złożoność pewnej treści – obrazu, tekstu, dźwięku – co w praktyce oznacza poziom złożoności pewnej sekwencji znaków albo liczb (rysunek można na przykład opisać tak, jak robią to komputery – kodując kolor każdego piksela albo tworząc jego uproszczoną wersję złożoną z rozmaitych plam barwnych). Idea za bardzo popularną miarą tego typu, tzw. złożonością obliczeniową Kołmogorowa, jest następująca: sekwencja jest tym bardziej złożona, im dłuższy jest opis pozwalający na jej wygenerowanie. Niektórzy twierdzą też, że bardziej złożona sekwencja jest też bardziej *interesująca*, ponieważ jeżeli można o niej więcej *powiedzieć*, to można się też o niej więcej *dowiedzieć*.

Rozważmy trzy przykładowe sekwencje. Pierwsza to (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1...), druga to (1, 11, 21, 1211, 111221, 312211, 13112221...), a trzecia taka oto: (0, 0, 0, 0, 2, 82, 982, 7002, 34568...). Założmy też, że każda z tych sekwencji składa się z miliarda elementów. Tę pierwszą można skrócić do dwóch słów języka polskiego: „miliard jedynek”. Ta druga, nazywana czasem sekwencją Conwaya, z początku wygląda trochę tajemniczo, ale ma w gruncie rzeczy dość prostą strukturę. Każdy jej kolejny element to „opis” poprzedniego. Zaczynamy z definicji od „1”. Jest to „jedna

→

→ jedyńka („1 1”), stąd następny element to „11”. „11” to „dwie jedyńki” – czyli „21”. To zaś z kolei „jedna dwójka, jedna jedyńka”, czyli „1211”. A to „jedna jedyńka, jedna dwójka, dwie jedyńki”, czyli „111221”. Fajne, prawda? Trzecią sekwencję zostawmy sobie na później.

Złożoność obliczeniowa Kołmogorowa bardzo interesuje programistów. Po co zajmować miejsce na dysku komputera miliardem jedynek, skoro „dokładnie ta sama informacja” będzie zawarta w krótkiej komendzie „Napisz jedyńkę miliard razy”. Pomysł ten bardzo dobrze rozwiązuje problem „banalnej złożoności” – sam fakt, że zapiszemy coś sto razy, nie sprawi, że to coś stanie się sto razy bardziej złożone.

Można by też argumentować, że również lista kolejnych liczb naturalnych (1, 2, 3, 4, 5...), albo sekwencja Conwaya, nie staną się bardziej *złożone*, jeśli wypiszemy ich więcej członów. Tysiąc kolejnych liczb naturalnych i milion kolejnych liczb naturalnych to obiekty tak samo złożone – to wciąż ta sama sekwencja, o tej samej – dość prostej – logice, a tylko widzimy jej mniej lub więcej. Pytanie brzmi oczywiście, jak daleko chcemy to myślenie rozciągać. Przykładowo, czy wszystkie dzielenia pod kreską są tak samo złożone, ponieważ wszystkie są dzieleniami pod kreską? A może wszystkie problemy fizyczne, które da się sprowadzić do tych samych podstaw...?

Czego się nie da skrócić

O ile sam pomysł Kołmogorowa ma swoje zalety, o tyle jest sporo problemów z rzeczywistym wyznaczeniem złożoności danej sekwencji. Jaka *konkretnie* jest złożoność Kołmogorowa sekwencji samych jedynek? Pierwszy i oczywisty problem to wybór języka. Ja wybrałem język polski i zapis „miliard jedynek”, co daje 15 znaków (jako dziennikarz wychowany na druku zawsze liczę spacje!). Mógłbym więc uznać, że złożoność tej sekwencji wynosi 15. Gdybym jednak wybrał język angielski, mógłbym napisać „a billion ones” – 14 znaków, a nawet „billion ones” – 12 znaków. Przypuśćmy jednak, że – zgodnie zresztą z intencją Kołmogorowa – przedstawimy się na język, który rozumieją komputery, a następnie umówimy się na jakiś uniwersalny język programowania. Złożoność Kołmogorowa zdefiniujemy wówczas jako długość najkrótszego programu w tym języku generującego daną sekwencję. Nawet i to nie gwarantuje jednak sukcesu.

A co z sekwencjami, których nie da się skrócić algorytmicznie? Zauważmy najpierw, że to one są najbardziej „złożone”, ponieważ jedynym sposobem ich zapisu są one same. Prowadzi to, swoją drogą, do kolejnego problemu z tą definicją – czy rzeczywiście sekwencja zupełnie przypadkowych liczb, na przykład losowanych poprzez wielokrotny rzut kością, jest „najbardziej złożona”? Zgodnie z takim rozumowaniem książka całkowicie wypełniona zupełnie przypadkowymi literami jest znacznie bardziej złożona od podręcznika fizyki. Jest to tak naprawdę kwestia naszych oczekiwań i intuicyjnego rozumienia słów typu „złożony” czy „interesujący”, zostawmy może jednak ten temat na inną okazję. Dużo ciekawszy jest głębszy problem: nie jest wcale jasne, które właściwie sekwencje są nieskracalne, czasem ani na pierwszy, ani na drugi rzut oka.

Ważny pod uwagę naszą sekwencję trzecią: czy da się ją jakoś wygenerować? Czy ma ona jakiś „sens”? I jak się tego w ogóle dowiedzieć?

W poszukiwaniu porządku

Okazuje się, że nie ma czegoś takiego jak „automatyczny detektor porządku”. Czasem, aby zauważyć jakąś formę porządku, trzeba bardzo szczególnej wiedzy, a nawet łutu szczęścia. Ta konkretna sekwencja – nosząca numer A061994 w Encyklopedii Sekwencji Liczbowych OEIS (tak, jest coś takiego!) – opisuje, uwaga, „liczbę sposobów, na jakie można rozmieścić 4 hetmany na szachownicy o rozmiarach $n \times n$ tak, aby żaden nie był atakowany”.

Tajemnicze pierwsze cztery zera reprezentują szachownice



Ewolucja: czy zawsze prowadzi do wzrostu złożoności?

Nie. Na podstawowym poziomie istnienie ewolucji oznacza tylko tyle, że populacje organizmów mają zdolność przystosowywania się do środowiska. Gdy zrobi się zimniej, przetrwają te odporniejsze na zimno; gdy pojawi się pokarm wymagający rozgryzienia, przetrwają te o mocniejszych szczękach. Gdy nic się nie zmienia, populacja też się raczej nie zmieni. A gdy warunki będą sprzyjać uproszczeniu anatomii, prędzej czy później do tego dojdzie.

W zasadzie nie ma więc żadnego dobrego powodu, dla którego ewolucja nie zatrzymała się na etapie bakteryjnego śluzu. Tak zresztą przez około dwa miliardy lat wyglądała cała biosfera Ziemi. Dlaczego więc ostatecznie powstały potężne sekwoje, delikatne meduzy, wielkookie lorisy i pół miliona gatunków chrząszczy?

Jedyna szczerza odpowiedź brzmi: nie wiadomo. Prawdopodobnie ma to coś wspólnego z wielkimi przemianami środowiska: zderzaniem się i rozrywaniem kontynentów, epokami lodowcowymi, gigantycznymi epizodami wulkanicznymi. Ma też coś tu do gadania konkurencja międzygatunkowa: ta sama siła, która sprawia, że odpowiedzią na oszczep jest tarcza, na tarczę miecz, na miecz kolczuga... a na wóz opancerzony – amunicja przeciwpancerna. Kto stoi w miejscu, ten się cofa.

Prawdę jednak mówiąc, gdyby jutro została odkryta planeta, na której po 4 miliardach lat życia wciąż istnieje tylko jednokomórkowy śluz, nie byłoby to sprzeczne z żadną fundamentalną zasadą biologii, chemii czy fizyki. Może tylko z głębszą, metafizyczną zasadą, że świat szybko się nudzi? © ŁŁ



o rozmiarach 0×0 (tak, matematycy rozważają nawet szachownice o zerowej liczbie pól), 1×1 , 2×2 i 3×3 , na których nie da się umieścić czterech hetmanów tak, by nie atakowały się nawzajem (na szachownicy 1×1 zmieścimy siłą rzeczy tylko 1 hetmana, a na szachownicach 2×2 i 3×3 cztery hetmany będą się w oczywisty sposób atakować). Na szachownicy 4×4 da się to jednak zrobić – na dwa sposoby. Na szachownicy 5×5 da się to zrobić na 82 sposoby i tak dalej.

Rzecz w tym, że nie ma żadnego automatycznego algorytmu wykrywania porządku, który by po prostu „wpadł” na to, że istnieje gra w szachy. Istnieją oczywiście rozmaite metody wykrywania porządku, które poradzają sobie z niektórymi typami regularności, a nawet zasugerują, że w danej sekwencji *prawdopodobnie* kryje się jakiś porządek, nie da się jednak stworzyć programu, który pewną powtarzalną metodą wyznaczy złożoność Kołmogorowa. Fakt ten został już nawet formalnie dowiedziony.

Choć więc wydawało się z początku, że definicja Kołmogorowa jest „obiektywna”, ostatecznie okazuje się silnie uzależniona od wiedzy człowieka, który próbuje ją zastosować. Ta zaś zawsze jest skończona. Pomyślmy choćby o sekwencjach, które wyłaniają się wyłącznie w kontekście jednej gry planszowej – a liczba wariantów tej gry jest nieskończona. Trzeba by nieskończonego umysłu, aby wykluczyć hipotezę, że miliard liczb wylosowanych przy użyciu doskonałego generatora liczb losowych nie ułoży się przypadkowo w sekwencję, którą można by też wygenerować w odwołaniu do jakiejś nieopisanej jeszcze gry planszowej. A może dla Nieskończonego Umysłu, zdolnego do wymyślania nieskończonej liczby form porządku, *każda* sekwencja ma jakiś wewnętrzny porządek?

Co wie nieskończona inteligencja

„Czym jest nieskończona inteligencja? – zapyta może czytelnik. Nie ma teologa, który by jej nie próbował określać; ja wolę przykład. Kroki, jakie stawia człowiek, od dnia swych narodzin aż do dnia swej śmierci, kreślą w czasie niepojętą figurę. Boska inteligencja kreśli tę figurę od razu, tak jak inteligencja ludzka kreśli trójkąt” – pisał Jorge Luis Borges w eseju „Zwierciadło tajemnic”. Spróbujmy wyobrazić sobie, jak by to było być taką istotą!

Boska inteligencja, patrząc na trajektorię mojego życia, rozumie ją całkowicie i z poczuciem oczywistości, jakie odczuwam ja, patrząc na trójkąt równoboczny. Fakt, że za chwilę pójdę z gabinetu do kuchni, żeby zrobić kolejną kawę, jest dla niej tak samo geometrycznie oczywisty, jak dla mnie oczywisty jest fakt, że trójkąt ma trzy wierzchołki.

Nieskończona inteligencja mogłaby uznać, że trójkąt i trajektoria mojego życia są równie „proste” – ot, dwie figury geometryczne! – a tylko jedna z nich ma więcej zawiąsałów niż druga. Nawet i nasz ludzki, ograniczony intelekt był w stanie pojąć, że wszystkie wyobrażalne krzywe da się uzyskać jedną i tą samą metodą, jako sumę pewnej liczby bardzo prostych, elementarnych funkcji typu sinus – to tzw. szereg Fouriera.

Jeżeli dodamy do siebie kilkadziesiąt odpowiednio dobranych „sinusów”, powstanie sylwetka psa, a dowolnie duża

liczba sinusów dowolnie blisko przybliży nam kształt granic Polski. Wszystkie możliwe kształty są więc tak naprawdę jedną i tą samą rzeczą, do której podstawia się tylko różne numery. Czy są więc równie proste?

Złożoności dobrze ukryte

Wróćmy jednak jeszcze do samej idei, że złożoność czegoś można wyrazić poprzez złożoność opisu tego czegoś. Kryje się tu więcej smaczków. Rozważmy nieskończony rząd kwadratowych pól sąsiadujących ze sobą bokami („szachownica o wymiarach jeden na nieskończoność”), z których każde może być albo w stanie „biały”, albo „czarny”.

Rozpoczynamy od wypełnienia tych pól w dowolny wybrany sposób. Dorysujemy następnie, tuż poniżej, kolejny rząd takich pól, jednak ten wypełniamy na podstawie stanu wyższego rzędu według pewnych ściśle określonych reguł. I potem następny, trzeci rząd, wypełniony ściśle według stanu drugiego, i tak dalej. Gdy tylko wyznaczymy stan początkowy górnego rzędu i „reguły gry”, cała nieskończona przestrzeń wypełni się jakby automatycznie.

Przykładowa prosta reguła to „zasada kopiowania”: każde pole jest dokładnie takie, jak pole tuż nad nim. I tyle. Przyjmijmy zapis pól w postaci zer i jedynek: „0” symbolizuje białą kratkę, a „1” – czarną. Jeżeli w pierwszym rzędzie umieścimy jedno pole czarne (...0001000...), to nasz „świat” będzie miał postać czarnej pionowej kreski: wszystkie pola pod tym jednym będą czarne, a wszystkie pozostałe będą białe. Można też łatwo wyobrazić sobie „świat”, w którym każdy kolejny wiersz to kopia poprzedniego, ale przesunięta o jedno pole w prawo. Albo świat, który „ucina każdą historię”: bez względu na wszystko, stan każdego pola staje się biały. I tak dalej.

Tego typu nieskończona szachownica nosi formalnie nazwę „elementarny automat komórkowy”. W podstawowej wersji zakłada się, że stan danego pola zależy wyłącznie od stanu trzech pól, które znajdują się powyżej: tego bezpośrednio sąsiadującego od góry oraz sąsiadów „na ukos” z lewej i z prawej. Przykładowo: „jeżeli trójka pól nade mną to 101, to ja będę 1” i tak dalej.

Kto ma ochotę trochę podłubać w matematyce tego modelu, zorientuje się, że w tak zdefiniowanym „świecie” istnieje dokładnie 256 różnych kompletnych zbiorów zasad, nazywanych Regułami. Matematyk Stephen Wolfram opisał w 1983 roku „standardową” notację tych reguł, a dzisiejsi wielbiciele elementarnych automatów komórkowych znajdują ich numery niemal na pamięć!

Matematyka ożywiona

Komuś, kto zagłębi się w tę strukturę, może się wydawać, że obcuje ze światem, który żyje swoim własnym życiem. To dobre skojarzenie. Wspomniany już Conway nazwał pewien wyjątkowo płodny automat komórkowy „grą w życie”, a biologzy do dziś wykorzystują tego rodzaju programy komputerowe, by symulować zachowania organizmów w środowisku czy przebieg ewolucji.

Wspomniany wyżej zbiór zasad, który przekształca każdy możliwy układ pól w pole białe, to Reguła 0. Są też

→ zestawy reguł – jak Reguła 4, 108 albo 218 – które szybko prowadzą każdy możliwy stan początkowy do „stanu stacjonarnego”, który już nigdy nie ulega zmianie. Reguła 60 potrafi wygenerować niekończącą się strukturę zbudowaną z zagnieżdżonych w sobie trójkątów, do złudzenia przypominającą słynny fraktal zwany trójkątem Sierpińskiego. Są też reguły „pod specjalnym nadzorem”, zwłaszcza owiana mistyczną aurą Reguła 110, która generuje szalenie skomplikowany „świat” pełen wyłaniających się „nagle”, wędrujących i „zderzających się” ze sobą nawzajem struktur.

Komuś, kto zagłębi się w te struktury, może się wydawać, że obcuje ze światem, który żyje swoim własnym życiem. To dobre skojarzenie. Wspomniany już Conway nazwał pewien wyjątkowo płodny automat komórkowy „grą w życie”, a biolodzy do dziś wykorzystują tego rodzaju programy komputerowe, by symulować zachowania organizmów w środowisku czy przebieg ewolucji.

Elementarne automaty komórkowe mają swoich zagorzałych fanów, którzy do dziś odnajdują w nich nowe ciekawostki estetyczne i matematyczne. W 1998 roku matematyk Matthew Cook przedstawił dowód matematyczny, że Reguła 110 generuje coś w stylu „uniwersalnego komputera”: na wędrujących strukturach w świecie opisywanym przez tę regułę można dokonywać obliczeń.

Dla nas najciekawszy jest jednak fakt, że opis Reguły 110 generującej skomplikowany, fascynujący świat, jest dokładnie – *dokładnie!* – tej samej długości, co opis Reguły 0 generującej... cóż, nieskończoną pustą przestrzeń. Zastosowanie definicji Kołmogorowa do automatów komórkowych prowadzi więc do kłopotliwego wniosku, że pusta przestrzeń jest dokładnie tak samo „złożona”, co uniwersum tętniące od nieoczywistych form aktywności.

Nieskończoność form

Podobne przypadki są znane, jak matematyka długa i szeroka. Struktury o niebywalej złożoności sąsiadują o włos ze strukturami kompletnie „pustymi”. Klasyczny przykład to podwójne wahadło: wahadło doczeplone do wahadła. Ten niepozorny układ jest od dawna znany ze swojego nieprzewidywalnego zachowania – odpowiednio ustawione wahadło będzie bujać się w chaotyczny, niemożliwy do przewidzenia sposób. Rzecz jednak w tym, że czasem podwójne wahadło buja się w całkowicie przewidywalny, regularny sposób, zupełnie jak jego grzeczny pojedynczy kuzyn wyznaczający sekundy zegarowi ściennemu. Cały dowcip polega na tym, że wahadło chaotyczne może różnić się od wahadła regularnego („periodycznego”) o ułamek milimetra początkowego ustawienia. Złożoność ruchów wahadła pojawia się nagle, niespodziewanie, bez żadnego dodatkowego zastrzyku złożoności „na zaczyn”.

Trudno też nie wspomnieć o zbiorze Mandelbrota – jednym z najśłynniejszych fraktali, czyli geometrycznych obiektów, które można powiększać bez końca, ciągle odnajdując w nim coraz to nowe szczegóły. W przeciwieństwie do wielu klasycznych fraktali, jak wspomniany wyżej trójkąt Sierpińskiego, jego „samopowtarzalność” nie jest idealna geometrycznie. Zbiór Mandelbrota zawiera w sobie, zupełnie dosłownie, nieskończoność rozmaitych form. I w tym przypadku można jednak przy pomocy jednej prostej manipulacji wykasować całą tę złożoność: wystarczy, przykładowo, zmienić jedną cyferkę w równaniu generującym zbiór Mandelbrota z dwójki na zero, a powstanie... okrąg.

Tego typu przypadki wydają się wywracać do góry nogami nie tylko koncepcję złożoności Kołmogorowa, ale przede wszystkim nasze intuicje dotyczące tego, czym jest złożoność i skąd się bierze. Jest zrozumiałe, że coś złożonego może nam wygenerować coś złożonego. Ale jak to się dzieje, że coś prostego nagle jakby eksploduje, generując



Emergencja: rzeczywiste zjawisko czy uczona nazwa na „coś ciekawego”?

W drugiej połowie XIX w. zaczęła do nas docierać pewna niezwykła cecha wszechświata. Otóż wszystkie jego złożone zjawiska przyrodnicze – wszystkie! – wyłoniły się z czegoś prostszego.

To dziwne. Pomyślmy choćby o powstaniu życia z materii nieożywionej. Coś nieżywego, co daje życie, ma na pozór tyleż sensu, co bankrut pożyczający stówę albo malarz, który potrafi z białej i czarnej farby uzyskać nagle barwę czerwoną.

Jak więc materia wyłoniła się z niematerii? Życie z nieżycia? Umysł z niemysłu? Na początku XX w. przyjęło się nazywać tego typu szczególnie spektakularne przypadki słowem „emergencja”. Nad pojęciem tym od początku unosi się duch metafizycznej kontrowersji. Czy „zjawiska emergentne” to po prostu to wszystko, co nas zaskakuje, dziwi, czego nie umiemy wytłumaczyć? Większość definicji emergencji, którą wtedy określa się jako „emergencję słabą”, opowiada się właśnie po tej bezpiecznej stronie: świat ewoluuje w sposób ciągły, a jego zdolność do samoorganizacji czasem po prostu powala nas na kolana. A może jednak świat ma zdolność wyłaniania w sobie zupełnie nowego rodzaju porządku, nawet tak spektakularnego, jak niematerialny porządek duchowy wyłaniający się z materialnej rzeczywistości mózgu? Od przeszło stu lat trwają nieustające poszukiwania czegoś takiego, co już tym razem na pewno nie może być po prostu sumą swoich części: czegoś, co nie jest tylko sprytniejszym układem już istniejących klocków, ale czymś autentycznie nowym we wszechświecie. Dopiero to byłaby „silna emergencja”. © ŁŁ



nieprzewidywalne bogactwo form, podczas gdy jego równie nudny sąsiad nie robi zupełnie nic?

Pierwsza nieciekawa liczba

Nie mogę jednak oprzeć się myśli, że za tym wszystkim kryje się jeszcze jedno nieporozumienie. Jest krok, który wykonaliśmy za szybko. Za „absurdalny” uznaliśmy fakt, że przepisy o dokładnie tej samej długości (a więc i dokładnie tej samej złożoności Kołmogorowa) generują zarówno pustą przestrzeń, jak i „uniwersum tętniące od nieoczywistych form aktywności” – albo okrąg i zbiór Mandelbrota, który jest *oczywiście* bardziej złożony od okręgu. A może to wcale nie jest tak oczywiste?

Przypomnijmy sobie jeszcze Nieskończony Intelkt, który jest w stanie odkryć coś ciekawego – jakąś formę porządku – w *każdej* sekwencji liczb. Jest taki zabawny paradoks „najmniejszej nieciekawej liczby”. Wiele liczb jest „ciekawych”, czyli ma cechę charakterystyczną odróżniającą ją od wszystkich innych liczb. Przykładowo, 1 to najmniejsza liczba naturalna. 2 to najmniejsza liczba pierwsza. 3 to najmniejsza *nieparzysta* liczba pierwsza. 4 to najmniejsza liczba złożona, czyli taka, którą można uzyskać, mnożąc dwie liczby całkowite mniejsze od niej samej. Siłą rzeczy, któraś liczba musi być więc pierwszą nieciekawą liczbą? Niestety, okazuje się, że to bardzo ciekawe być pierwszą nieciekawą liczbą.

Genialny indyjski matematyk Srinivasa Ramanujan trafił kiedyś do szpitala. Jego przyjaciel, angielski matematyk Godfrey Hardy napomknął podczas odwiedzin, że jechał do szpitala taksówką o zupełnie nieciekawym numerze 1729 – oby to nie był zły omen! Ramanujan zdziwił się, skąd ten pomysł, bo przecież 1729 to najmniejsza liczba, którą da się wyrazić na dwa różne sposoby jako sumę dwóch liczb podniesionych do trzeciej potęgi (1729 to zarówno $13+123$ oraz $93+103$). A to był tylko Ramanujan! Logiczne jest więc, że dla Nieskończonego Intelktu wszystkie liczby są ciekawe.

Wiecznie zaskakujący trójkąt

Gdy odrobinę pociągniemy tę myśl, łatwo wyobrazić sobie, że dla Nieskończonego Intelktu okrąg może być równie fascynujący i równie pobudzający do myślenia, co zbiór Mandelbrota. Więcej nie tylko nie znaczy „lepiej” – nie znaczy też „ciekawiej”! Antoine de Saint-Exupéry napisał, że doskonałość osiąga się nie wtedy, gdy już nie można nic dodać, lecz wtedy, gdy nie można już nic ująć.

Niektórzy twierdzą, że poezja jest właśnie sztuką maksymalnej kondensacji, a najbardziej elegancka jest ta forma, która mieści najwięcej w najmniejszym. Kto wie, może Nieskończony Intelkt potrafi czerpać nieskończoną inspirację z okręgu, albo pustej przestrzeni, wiecznie odnajdując w nich coś nowego, a tylko ludzki umysł potrzebuje fraktalnych zawijasów i skaczących cyferek, aby uznać coś za interesujące?

Tak, to zdecydowanie kusząca wizja: że gdzieś wysoko ponad wyteżonym z wysiłku małopodem wisi Boski Intelkt, z fascynacją wpatrzony w trójkąt, który wciąż nie przestaje go zaskakiwać.

© ŁUKASZ ŁAMŻA

INSIDEH

31.05-7.06.

66. KRAKOWSKI
FESTIWAL
FILMOWY
66th KRAKOW
FILM
FESTIVAL

66. KRAKOWSKI FESTIWAL FILMOWY ZAPRASZA
na cykl **DOCS + SCIENCE 2026**
oraz WYKŁADY TOWARZYSZĄCE
Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UJ
WSZYSTKIE WYDARZENIA – KINO PARADOX, UL. KRUPNICZA 38

ANIMUS ANIMALIS

reż. Aistė Žegulytė
Oko kamery skierowane na preparatorów zwierząt, hodowców i muzealników próbujących zatrzymać naturę w bezruchu. Refleksja nad ludzką potrzebą kontroli nad naturą.
czwartek 4.06. godz. 17
sobota 6.06. godz. 16

BLISKO ZIEMI

reż. Tomáš Elšík
Opowieść o wartości sprzeciwu wobec przemocy ukrytej w założeniach codziennego gospodarowania zasobami przyrodniczymi.
wtorek 2.06. godz. 20
piątek 5.06. godz. 17

DRZEWO AUTENTYCZNOŚCI

reż. Sammy Balóji
Kongijski artysta sięga po archiwa centrum badań nad rolnictwem i lasami tropikalnymi, by pokazać, jak wiedza o naturze bywała narzędziem kolonialnej eksploatacji.
wtorek 2.06. godz. 17
piątek 5.06. godz. 20

HUMAN RACE

reż. Simon Lec
Naukowy thriller o śmiałym projekcie genetycznym, wielkich ambicjach i cenie uprawiania nauki. Eske Willerslev, znakomity badacz DNA, ściga się z czasem, próbując odczytać pradawne genomy człowieka.
poniedziałek 1.06. godz. 20
środa 3.06. godz. 17

MAŁE, DUŻE I DALEKO

reż. Jem Cohen
Zderzenie ludzkiego istnienia z dziejami Ziemi i kosmosu. Karl, austriacki astronom, u kresu drogi zawodowej podsumowuje swoje życie, stan wiedzy i kondycję świata.
poniedziałek 1.06. godz. 17
czwartek 4.06. godz. 20

MGNIE NIE

reż. Dagomir Kaszlikowski
Reżyser stawia naukową ideę tzw. mózgu Boltzmanna, która zakłada, że człowiek może być tylko chwilową fluktuacją cząstek, złudzeniem wyłonionym z chaosu wszechświata.
czwartek 4.06. godz. 17
sobota 6.06. godz. 16

PRZESUWAJĄC GRANICE

reż. Julien Elie
Laboratorium przyszłości czy przygnębiające zaplecze technokapitalizmu? Ekspansja SpaceX brutalnie przedefiniowuje funkcjonowanie lokalnej społeczności i przyrody.
nieдіziela 31.05. godz. 16
środa 3.06. godz. 20

Wykłady naukowe
po projekcjach:

„Małe, duże i daleko”
poniedziałek 1.06. o godz. 17
Prowadzenie: dr hab. Sebastian Szybka, prof. UJ

„Przesuwając granice”
środa 3.06 o godz. 20
Prowadzenie: Mikołaj Sabat

Kup atrakcyjny
karnet na festiwal
krakowfilmfestival.pl

Bilety w kasach w trakcie
festiwali.

PARTNERZY:



Wydział Fizyki, Astronomii
i Informatyki Stosowanej



Apostoł nowej nauki

PIOTR URBAŃCZYK

David Krakauer uważa, że potrzebujemy odmiennego ujęcia praw przyrody i narzędzi teorii złożoności, by wyjaśnić świat, który stale ewoluuje i organizuje się na nowo.

Regularnie wchodzimy w interakcje z dwoma potężnymi, choć bardzo odmiennymi miniaturowymi mechanizmami.

Codziennie korzystamy z komputerów i smartfonów wyposażonych w mikroprocesory. Kluczowi producenci chwalą się dziś wytwarzaniem układów scalonych w technologii 3 nanometrów, wykorzystując do bardzo precyzyjnego „drukowania” na krzemowej płytce małych tranzystorów przy pomocy bardzo krótkich fal świetlnych.

Wraz z miniaturyzacją spada koszt energetyczny i wzrasta moc obliczeniowa takich układów. W jednym milimetrze kwadratowym procesora wytworzonego w takiej technologii mieści się nawet 250 mln tranzystorów. Można stwierdzić, że to triumf ludzkiego umysłu nad materią – struktura o niewyobrażalnej precyzji, którą możemy programować i nad którą mamy absolutną kontrolę. Wiemy dokładnie, co robi w każdym ułamku sekundy.

Z drugiej strony, nasz układ odpornościowy codziennie styka się z wirusami, które również operują w skali nano. Przykładowo: wirus wywołujący wystąpienie covid-19 jest rozmiaru zbliżonego do pojedynczego tranzystora w nowoczesnym mikroprocesorze.

Jak na standardy biologiczne, wirus wydaje się zbyt złożony – jego program genetyczny koduje zaledwie 50 białek, które decydują o tym, że może wnikać do innych komórek i się w nich namnażać, korzystając zresztą z mechanizmów molekularnych, które zastanie na miejscu. Logika tego programu genetycznego wygląda na prostą w porównaniu do olbrzymiej różnorodności operacji, które mogą być wykorzystane na układzie scalonym.

Co sprawia, że jako ludzkość mamy absolutną władzę nad układem scalonym, a zarazem stajemy się bezbronnymi ofiarami biologicznie prostych wirusów?

Jak się wydaje, różnica w poziomie rozumienia i możliwości kontroli tych dwóch układów nie może leżeć ani w wielkości, ani w poziomie skomplikowa-



MICHAŁ DYAKOWSKI DLA „TP”

DAVID KRAKAUER

jest dyrektorem Santa Fe Institute zajmującym się zagadnieniem złożoności. Jego badania koncentrują się na ewolucji inteligencji i głupoty na Ziemi; obejmują analizę rozwoju mechanizmów genetycznych, neuronalnych, językowych, społecznych i kulturowych, które wspierają pamięć i przetwarzanie informacji, a także poszukiwanie ich wspólnych właściwości.

Wcześniej związany z Uniwersytetem Wisconsin w Madison, gdzie zajmował stanowisko profesora genetyki matematycznej i dyrektora Center for Complexity and Collective Computation. W 2016 r. znalazł się na liście magazynu „Entrepreneur” wyróżniającej wizjonerskich liderów rozwijających globalne badania i biznes.



nia. Ani w samych prawach przyrody – identyczne fundamentalne prawa działają na mikroprocesory i na koronawirusy.

By odpowiedzieć na powyższe pytanie, David Krakauer odwołuje się do pojęcia złożoności. Miniaturowe układy scalone może i są bardziej zaawansowane i skomplikowane, ale za to wirusy zdają się cechować większą złożonością. Mają zdolność do adaptacji i nieustannie ewoluują. Obie te struktury należą do dwóch różnych światów.

Dwa systemy

Po wyborze Urbana VIII na papieża, Galileusz, zachęcony potencjalną odwilżą w stosunku kościelnych struktur wobec heliocentryzmu, postanowił sporządzić większą monografię na temat systemów astronomicznych. W 1632 r. opublikował „Dialog o dwu najważniejszych układach świata, Ptolemeuszowym i Kopernikowym”. Kluczowymi bohaterami „Dialogu” są dwie postacie: Salviati, który reprezentuje poglądy samego autora, oraz Simplicio – arystotelik, którego argumenty na rzecz geocentryzmu są, jeden za drugim, zbijane przez Salviatiego.

Salviati spotyka się z niezwykłym oporem. Nietrudno zrozumieć, że konsekwencje przyjęcia jego systemu nie ograniczą się do przerysowania kilku atlasów nieba. Konieczne będzie zburzenie olbrzymiego gmachu arystotelesowsko-ptolemejskiej wizji świata, w której Ziemia zajmuje centralne miejsce, a sfera niebieska rządzi się własnymi, doskonałymi prawami ruchu. To wizja podparta autorytetem scholastycznych autorów i przenikająca do szpiku ówczesną filozofię i teologię. Niełatwo porzucić taki paradigmat.

Jak przekonuje Krakauer, współczesna nauka znajduje się w podobnym stanie przejściowym pomiędzy dwoma systemami świata: klasycznym Systemem A – zamkniętym, odwracalnym i przewidywalnym światem teorii fundamentalnych, w którym królują proste zasady i minimalne założenia; oraz złożonym Systemem B – otwartym, samoorganizującym się, chaotycznym oraz pełnym fundamentalnej niepewności światem teorii efektywnych, w którym reguły gry nieustannie się zmieniają pod wpływem zmian w otoczeniu.

System A to świat symetrii i praw. Wszystko zachowuje się tu jak perfekcyjnie zaprojektowany, mechaniczny szwajcarski zegarek. To właśnie dzięki prawom Systemu A potrafimy zbudować posłuszny ludzkiej woli mikroprocesor czy wysłać sondę na orbitę Jowisza. Kochamy System A, ponieważ daje nam poczucie absolutnej przewidywalności i kontroli. System B to świat informacji i adaptacji. To świat wirusów, lasów tropikalnych, ludzkich mózgow, giełd finansowych i wielkich miast. System B uczy się na błędach, ewoluuje, dostosowując się do panujących warunków.

Zdaniem Krakauera zbyt często próbujemy wtłoczyć żywy, nieprzewidywalny System B w sztywne, strukturalne ramy Systemu A. Chcielibyśmy przewidywać wybuchy pandemii, zachowania tłumu czy krachy na giełdzie z taką samą bezbłędną precyzją, z jaką astronomowie przewidują zaćmienia Słońca. Jednak natura stawia tu twardy opór.

Równania opisujące ruch planet czy zderzenia atomów są całkowicie bezradne wobec układu, który potrafi się uczyć i ewoluować. Napięcie to jest w gruncie rzeczy źródłem fermentu w nauce – zderzeniem naszej potrzeby posiadania prostej, eleganckiej teorii z brutalnie chaotyczną rzeczywistością.

Aby w pełni zrozumieć metody, tempo i geografię rozprzestrzeniania się wirusa, działanie dużych modeli sztucznej inteligencji, dynamikę wahań giełdowych czy ludzkie społeczeństwo, musimy odrzucić naszą iluzję absolutnej kontroli. Musimy zaakceptować to, że System B wymaga nowych praw. Dla wielu naukowców akceptacja tego jest równie trudna i szokująca, co niegdyś dla arystotelików odrzucenie tezy, zgodnie z którą Ziemia znajduje się w centrum wszechświata.

Nauka o złożoności

Tymczasem to właśnie na styku Systemów A i B tworzy się nowy rodzaj nauki – nauka o złożoności, której Krakauer jest zaangażowanym apostołem. Nie tylko cechuje się ona nowym paradygmatem, lecz także dopuszcza inne, a nawet zaprasza do działania w obrębie wielu paradygmatów. Przecież różne sposoby patrzenia na świat mogą z powodzeniem współistnieć, jeśli tylko są użyteczne.

Wystrzelujemy satelity w kosmos, korzystając z praw fizyki klasycznej, na-

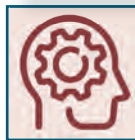
wigujemy nimi, wykorzystując teorię względności, a zasilamy je panelami słonecznymi opartymi na zasadach mechaniki kwantowej. Niewspółmierność obrazów świata, jakie wyłaniają się z tych teorii, nie musi koniecznie oznaczać ich niezgodności.

Takie podejście jest z natury odporne na redukcjonizm. Traktowanie różnych dyscyplin nauki jak odmiennych spojrzeń na rzeczywistość, podlegających tej samej uniwersalnej racjonalności, jest nadmiernym uproszczeniem. Opisują one różne, choć często przecinające się, zbiory zasad i wykorzystują odmienne narzędzia do badania świata. Nie można mówić o chemii jako „fizyce w innej skali”. To zbiór mechanizmów, który wymaga odrębnych, pozafizycznych zasad i modeli, aby w ogóle był użyteczny jako dyscyplina naukowa. Podobnie na biologię nie można patrzeć jak na „chemię w innej skali” itd.

Ponadto, odmienności Systemów A i B nie dostrzeżemy przy wykorzystaniu potężniejszych narzędzi badawczych i pomiarowych. Przeciwnie: w coraz mniejszych skalach zaciera się różnica między wirusem i tranzystorem, neuronem i minerałem, mrowiskiem a kupą kompostu. Redukcjonizm charakterystyczny dla Systemu A nie tylko nie potrafi wyjaśnić złożoności, lecz sprawia, że w ogóle przestajemy być w stanie ją wykryć.

Z drugiej strony, nie powinniśmy myśleć, że naukę o złożoności da się sprowadzić wyłącznie do metod statystycznych, które uchwytyują pewne regularności w ewoluującym i ciągle organizującym się na nowo świecie. Nauka o złożoności nie stanowi ilościowej techniki znajdowania statystycznego porządku w dużych zbiorach danych.

W ekstremalnym przypadku taka tendencja przyjmuje postać próby stworzenia jednej miary dla wszystkich złożonych obserwacji. Za pomocą takiej uniwersalnej metryki mielibyśmy mierzyć „poziom złożoności” ludzkiego mózgu, cywilizacji czy sztucznej inteligencji, umieszczając je wszystkie na tej samej osi. Zdaniem Krakauera – to absurd. To tak, jakbyśmy próbowali zmierzyć „poziom chemii” we wszystkich możliwych reakcjach chemicznych albo obliczyć „współczynnik antropologii” w społeczeństwie. Mylenie metody badawczej z teorią to ślepy zaulek.



Termodynamika: dlaczego nauka o silnikach parowych stała się tak ważna?

Niektóre pojęcia termodynamiki dość naturalnie stosują się do całego świata. Ot, „ciepło” albo nieco bardziej swojska „temperatura”. Każdy kęs materii w kosmosie ma jakąś temperaturę: łatwo więc zrozumieć, że nauka opracowana z myślą o rozgrzewających się do czerwoności kotłach parowych pomoże nam też zrozumieć hawajską lawę i kosmiczną plazmę.

Dużo mniej oczywiste jest to, że słup magmy wykonuje „pracę” na skorupie ziemskiej. A jednak – i nie jest to tylko matematyczną ciekawostką, ale częścią języka, którym geofizycy opisują dziś ewolucję naszej planety. Skoro już jakiś „tłok” napiera w określonym kierunku, przemieszczając pewną masę, to możemy podciągnąć to zjawisko pod ogólniejszy opis przepływów energii i masy, posługując się przy tym językiem, który po niedługim czasie przestaje się w ogóle kojarzyć z XIX-wieczną angielską fabryką śrubek.

Hitem okazały się jednak te wszystkie „entalpie”, „energie swobodne” i „entropie”, które wiążą przepływy energii z przepływami informacji (zob. str. 38). Do dzisiaj kolejne pokolenia młodych chemików drapią się po głowie, próbując zrozumieć, jakim cudem na przebieg jakiejś reakcji chemicznej ma wpływ liczba sposobów, na jakie może zachowywać się produkt tej reakcji! Przecież to jest jakieś szaleństwo. Tak jednak definiuje się dziś „entropię konfiguracyjną”, z której korzystamy przy obliczaniu tempa zachodzenia reakcji. To jeden z powodów, dla których fizycy coraz częściej sięgają do pojęcia informacji, gdy mowa o podstawowych elementach rzeczywistości. © ŁL

Pojęcie z epoki maszyn i pary

→ Krakauer to także skrupulatny historyk nauki, wskazujący prekursorów i pierwsze ślady nowego paradygmatu złożoności w XIX- i XX-wiecznych tekstach z zakresu fizyki, biologii, informatyki i matematyki. Korzenie tego paradygmatu sięgają rewolucji przemysłowej XIX w. – koncepcje złożoności narodziły się w epoce maszyny i pary.

Owczesny olbrzymi i niekwestionowany postęp technologiczny sprawił, że świadomie poszukiwano paraleli, które mogłyby połączyć triumfującą technologię z „mechaniką życia”, a próby te często wymagały wypracowania nowego języka. Choć maszyna parowa była systemem czysto fizycznym i na dodatek skonstruowanym przez człowieka, zaczęła wymagać opisu w kategoriach innych niż te znane z tradycyjnej fizyki.

Wymogi pracy mechanicznej wymusiły zmianę słownictwa – w szerszy obieg weszły takie terminy jak wydajność, produkcja, kontrola, użyteczność, trwałość czy wartość. A z nich wyrosły nowe teorie naukowe i modele matematyczne. Według Krakauera, z XIX-wiecznych prób zrozumienia „pracującej materii” wyłoniły się cztery historyczne filary nauki o złożoności, które w XX w. zaczęły być integrowane w jeden spójny system świata.

Pierwszy z filarów zrodził się z prób zwiększenia wydajności maszyn parowych. Inżynierowie tacy jak Sadi Carnot próbowali zrozumieć, jak wycisnąć z dawki paliwa maksimum pracy mechanicznej. Te z początku czysto praktyczne poszukiwania doprowadziły do odkrycia termodynamiki i pojęcia entropii. Rudolf Clausius nadał jej rangę uniwersalnego prawa, głosząc, że wszechświat nieuchronnie dąży do nieuporządkowa-

nia, a Ludwig Boltzmann przełożył to na język statystyki i prawdopodobieństwa, wyjaśniając tym samym, dlaczego czas płynie tylko w jedną stronę. Ten sam nurt myślenia dostarczył później argumentów za fizycznym charakterem informacji.

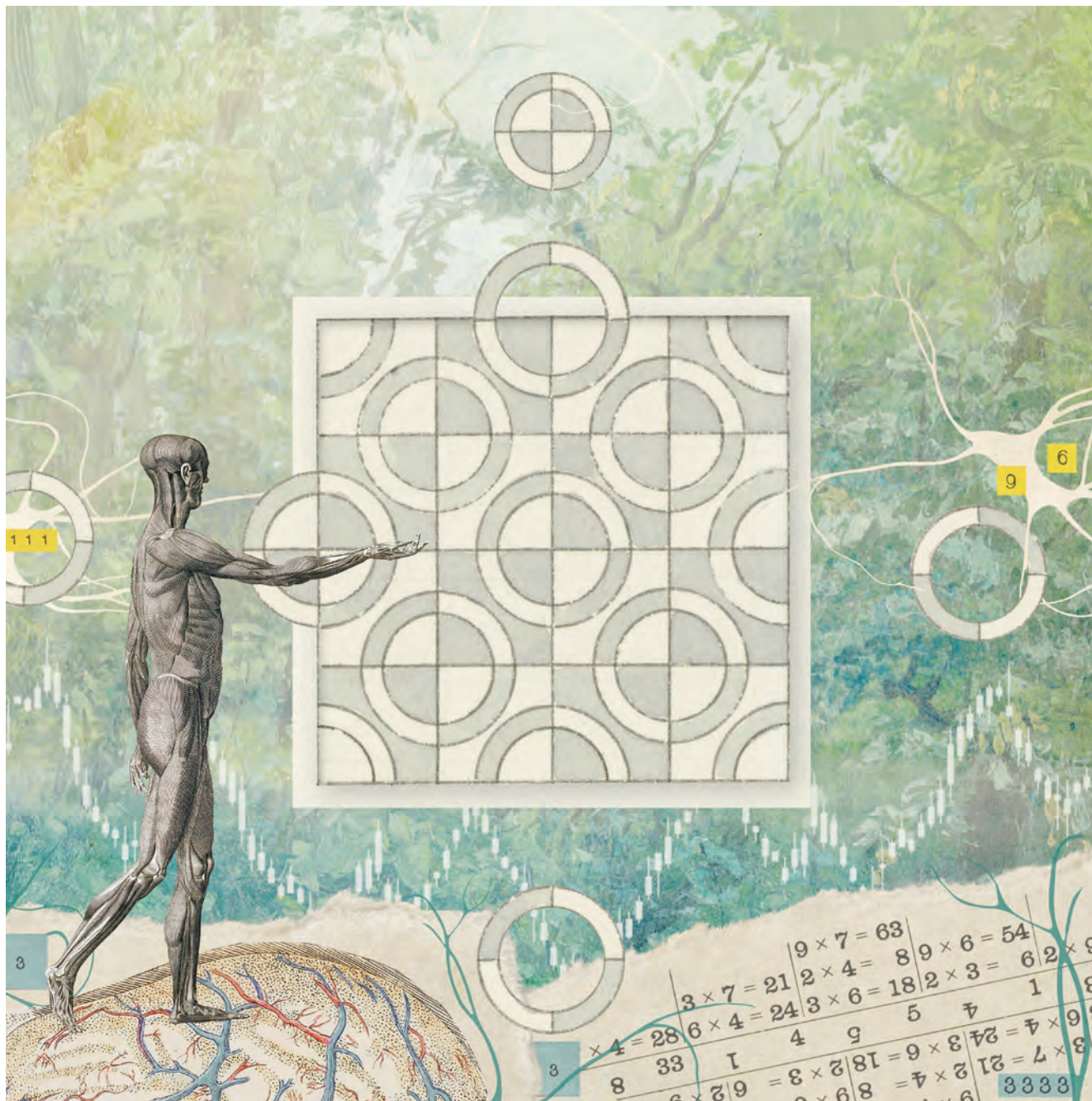
Równoległe wizjonerzy tacy jak Charles Babbage i Ada Lovelace kładli podwaliny pod drugi filar: obliczenia. Zrozumeli oni, że fizyczna materia – wtedy jeszcze w postaci mosiężnych kół zębatych, nie mikroskopijnych krzemowych tranzystorów – może służyć do przetwarzania logiki. Lovelace jako pierwsza oparowała sztukę programowania, opisując algorytm obliczający tzw. liczby Bernoulliego. Spekulowała też nad różnymi zastosowaniami tzw. maszyny analitycznej – zaprojektowanego przez Babbage’a mechanicznego urządzenia – wykraczającymi poza obliczanie tablic matematycznych, do czego pierwotnie miała ona służyć. Dopelnieniem ich prac był projekt George’a Boole’a, który ujął podstawowe prawa ludzkiego myślenia w terminach algebry binarnej, w której wyrażeniom logicznym można przypisywać jedną wartość: prawdy lub fałszu.

Porządek w chaosie

Trzeci filar paradygmatu złożoności wyrósł z próby naturalizacji biologii i znalezienia mechanizmu, który stoi za oszałamiającą różnorodnością życia. Charles Darwin i Alfred Wallace zaproponowali teorię doboru naturalnego wyjaśniającą tę różnorodność w ramach bezwzględnie, samoregulującego się mechanizmu. Co ciekawe, Wallace porównywał ten proces do regulatora odśrodkowego w maszynie parowej – urządzenia, które automatycznie koryguje wahania prędkości obrotowej i utrzymuje stabilność systemu.

Gdy Gregor Mendel dorzucił do tej układanki odkrycie jednostek dziedziczenia, nauka zyskała model tego, jak informacja genetyczna jest przekazywana, modyfikowana i optymalizowana w starciu z surowym filtrem środowiska.

Ostatni filar to dynamika, która zrodziła się z potrzeby zapanowania nad ruchem. James C. Maxwell przeprowadził pierwszą rygorystyczną analizę stabilności mechanicznych regulatorów silnika parowego, kładąc podwaliny pod to, co dziś nazywamy cybernetyką. Jednak to Henri Poincaré, badając ruch ciał niebieskich, odkrył teorię chaosu. Wykazał, że



Natalia Polasik „Porządek i chaos”, 2026 r.

w układach rządzonych nawet prostymi prawami Newtona minimalne zmiany warunków początkowych prowadzą do całkowicie odmiennych, nieprzewidywalnych skutków, co jest kluczową cechą systemów złożonych. Znaną reprezentacją tego zjawiska jest tzw. problem trzech ciał.

Od połowy XX w. nauka o złożoności przechodzi proces syntezy i konsolidacji, czego historię można prześledzić w monumentalnej, czterotomowej antologii tekstów źródłowych „Foundational Papers in Complexity Science” (SFI

Press, 2024). Nowy paradygmat złożoności jest inny od wielu wcześniejszych, a mimo to pozostaje z nimi zgodny. Aby przewyciężyć ograniczenia istniejących koncepcji, modeli i ram teoretycznych, które przez wieki powstawały w ramach Systemu A, konieczne było odkrycie nowych, efektywnych teorii. Często nie są one w pełni obliczalne, a wiele z nich może zostać uznane za „nieeleganckie” według standardów teorii fundamentalnych. Są one jednak niezbędne do tego, by poradzić sobie z problemami, które pojawiają się na granicy

systemów A i B – np. wyłanianie się nowych, nieoczywistych struktur w na pozór prostych układach.

Więcej znaczy inaczej

To właśnie pojęcie wyłaniania się (emergencji) stanowi serce nauki o złożoności. Najczęściej odnosi się ono do zagadki powstawania stanów makroskopowych, które wykazują właściwości nieobecne na poziomie ich mikroskopowych części składowych.

Choć często przywołuje się tu arystotelesowską maksymę, że „całość jest czymś →

→ więcej niż sumą części”, Krakauer sugeruje, że technicznie trafniejsze jest stwierdzenie, iż „całość jest czymś innym niż suma jej części”. Dla wielu naukowców przełomem w rozumieniu tego zjawiska był artykuł Philipa Andersona „Więcej znaczy inaczej” („More is Different”). Anderson wykazał, że wraz ze wzrostem skali układu następuje fundamentalna nieredukowalność epistemologiczna: przy pewnym poziomie komplikacji prawa fizyki fundamentalnej przestają determinować zachowanie całości.

Kluczowe jest tu rozróżnienie między słowami „podlegać” a „determinować” – chemia podlega prawom fizyki ciała stałego, a biologia molekularna prawom chemii, ale te niższe poziomy nie determinują w pełni struktury poziomów wyższych. Każdy etap hierarchii nauk wymaga własnych, unikalnych struktur pojęciowych.

Pojęcie emergencji stanowi serce nauki o złożoności.

David Krakauer
lubi mawiać,
że całość
jest czymś innym
niż suma jej części.

Nieunikniona różnorodność

Aby uporządkować te rozważania, Krakauer wprowadził narzędzie zwane kratą emergencji (*emergence lattice*), która pozwala precyzyjnie sklasyfikować procesy wyłaniania się nieredukowalnych własności. Krata ta rozpięta jest na dwóch osiach: oś pozioma (tranzycja) dotyczy lokalnych oddziaływań, takich jak wiązania chemiczne, które prowadzą do powstania nowych stanów; oś pionowa (kolekcje) odnosi się do globalnej agregacji wielu elementów w całości, gdzie kluczowe staje się uśrednianie (lub po prostu rozpatrywanie w większej skali).

Krakauer zauważa, że o ile w termodynamice możemy jeszcze czasem przewidzieć właściwości całości na podstawie części (np. zmianę stanu skupienia wody pod wpływem temperatury), o tyle w przypadku systemów żywych jest to w zasadzie niemożliwe. Tu pojawia się najważniejszy element teorii Krakauera: „schemat”. Złożone systemy adaptacyjne, takie jak wirus czy ludzki mózg, nie tylko podlegają prawom fizyki, ale wykształcają własne, wewnętrzne modele otoczenia. Ten wewnętrzny „teoretyk”, zaszyty w genomie czy w neuronach, sprawia, że organizm przestaje być biernym przedmiotem fizyki, a staje się aktywnym podmiotem, który interpretuje świat, by w nim przetrwać. To właśnie ten „schemat” ostatecznie rozrywa stare ramy Systemu A i zmusza nas do przyjęcia perspektywy nauki o złożoności.

Są na świecie szkoły myślenia, które z arogancką pewnością siebie głoszą, że „wszystko jest fizyczne”, „wszystko jest matematyczne”, albo „wszystko jest poezją” lub „wszystko jest religią”. Krakauer nie zamierza popełniać takiego samego błędu. Ostatnią rzeczą, jakiej pragnie, jest ogłoszenie, że oto wszystko jest złożone i może być skutecznie zbadane wyłącznie w obrębie nowego paradygmatu. Wręcz przeciwnie: uważa, że nauka o złożoności wymaga powściągliwości, a kluczowe jest, aby nie mylić zastosowania konkretnej metody z definicją całej dziedziny badań.

Nauka o złożoności pozwala zrozumieć, że różnorodność paradygmatów jest nie tylko użyteczna, lecz także nieunikniona.



Chaos: czy największa złożoność rodzi się na „ostrzu chaosu”?

To doświadczenie, które każdy z nas może wykonać w zaciszu swojego domu. Powolotku, bardzo ostrożnie, odkręcamy kran. Najpierw będzie regularnie kapać: kap... kap... kap... Chwilę później będzie cieć prawie jednolitym strumieniem: szzzzzz... Pomiędzy tymi dwoma stanami czyha jednak „reżim chaotyczny”. Czasem trzeba sporo cierpliwości i ręki kasiarza, ale warto poświęcić chwilę i go upolować, ponieważ są to wrota do jednej z największych tajemnic rzeczywistości. Kap... kap kap... szzzzkap... kap... kap kap... kap... kapkap... szzzzkap... szzzzzzkap... kap...

Chociaż fizycy badają układ ciekącego kranu od ok. 50 lat, wciąż da się na nim ugrać doktorat. Jest to bowiem jeden z najbardziej dostępnych przykładów na układ chaotyczny: taki, którego historia szybko staje się nieprzewidywalna, i którą można całkowicie odmienić poprzez najdrobniejsze zaburzenie. Najpotężniejsze superkomputery świata nie są w stanie przewidzieć, co zrobi twój kran za minutę. Serio.

Charakterystyczne dla wielu układów chaotycznych jest to, że odnajdujemy je w wąskim przedziale parametrów – czasem tak ulotnym, jak ułamek milimetra w położeniu kurka z wodą – oddzielającym jedną nudę (regularność) od drugiej nudy (szum). Wciąż nie jest jasne, na ile teoria matematyczna chaosu stosuje się do życia codziennego. „Ostrze chaosu” brzmi jednak znajomo. Z jednej strony spokojny, nudny dzień: słonko spokojnie świeci, cicho brzęczą muchy. Z drugiej pełen chaos: rano przypalona jajecznica, o południu pękająca rura, a wieczorem pijani goście. Pytanie: w który z tych dni wpadniemy na świetny pomysł? Odpowiedź: w żaden. Kurek bódźców musi zostać ustawiony w idealnej pozycji: tak, aby chaos nas uskrzydlał. © ŁŁ

Pokolenie NCN

ANNA KORZEKWA-JÓZEFOWICZ

Badania podstawowe poszerzają naszą wiedzę o świecie, człowieku i przyrodzie – i otwierają drogę do nowych technologii, materiałów oraz innowacji społecznych.

Internet, nawigacja satelitarna, rezonans magnetyczny, nowoczesne leki stosowane w leczeniu cukrzycy i otyłości – wynalazki, bez których trudno dziś wyobrazić sobie codzienne życie, wyrosły z badań podstawowych.

W Polsce od piętnastu lat finansuje je Narodowe Centrum Nauki. Od 2011 r. granty otrzymało 24 tys. badaczek i badaczy. Są wśród nich naukowcy, którzy wrócili do Polski dlatego, że NCN już istniało, i tacy, którzy zostali, bo mogli prowadzić badania według własnego pomysłu. To dobry moment, żeby oddać głos pokoleniu, które dojrzewało razem z Centrum.

SKĄD PRZYCHODZIMY

Prof. Małgorzata Kot, archeolożka z Uniwersytetu Warszawskiego, prowadzi wykopaliska w jaskiniach Europy Środkowej i Azji Centralnej. Szuka śladów kontaktów między neandertalczykami, denisowianami i ludźmi współczesnymi – populacjami, które przez dziesiątki tysięcy lat współistniały i krzyżowały się. Paleogenetyka, a ostatnio także paleoproteomika pokazują, że dopiero od około 30-40 tys. lat jesteśmy jedynym gatunkiem człowieka na Ziemi. Wcześniej nie byliśmy sami – i to właśnie próba zrozumienia tych relacji jest dla badaczki kluczowa.



LUKASZ BERA

Narodowe Centrum Nauki w Krakowie

– Wiemy, że się spotykaliśmy. Co z tych spotkań wynikało dla kultury? Na ile krzyżowanie się z neandertalczykami czy denisowianami pozwoliło nam zasiedlić kontynenty, które były nam ewolucyjnie obce, skoro wywodzimy się z Afryki? – mówi badaczka. Kolejne granty NCN pozwoliły jej prowadzić badania terenowe przez wiele lat i zbudować spójny program, który stał się podstawą do zdobycia finansowania Europejskiej Rady ds. Badań Naukowych (ERC).

WIDZIEĆ, ŻEBY ROZUMIEĆ

Prof. Maciej Trusiak z Politechniki Warszawskiej finansowanie NCN otrzymał jeszcze przed doktoratem. Dziś projektuje mikroskopy bez soczewek, a jego badania finansują NCN i ERC. Żywe komórki są przezroczyste – nie pochłaniają światła, dlatego trudno je obrazować klasycznymi metodami. Jego urządzenia wykończają opóźnienie fazy światła przechodzącego przez tkankę, co pozwala odróżnić struktury wewnątrz komórki bez barwienia i bez ingerencji w próbkę. Klasyczny mikroskop obejmuje jednocześnie kilka komórek, mikroskop bezsoczewkowy – setki ty-

Piętnaście lat NCN w liczbach

24 000 badaczek i badaczy, którzy otrzymali grant

34 000+ sfinansowanych projektów

48% budżetu dla młodych naukowców (2016-2025)

19,75 mld zł zainwestowanych w naukę

sięcy. Zespół naukowca niedawno uzyskał rekordowy wynik w trójwymiarowym obrazowaniu tego typu, osiągając przekrój tkanki o grubości pół milimetra.

– Obrazując wszystkie komórki, zwiększamy prawdopodobieństwo, że zobaczymy coś istotnego, statystycznie możemy lepiej wnioskować – mówi. Docelowo urządzenie ma wspierać diagnostykę onkologiczną – jako szybkie i tanie narzędzie do wstępnej oceny jakości pobranej próbki.

GDY MECHANIZM ZAWODZI

W stwardnieniu rozsianym układ odpornościowy niszczy osłonki mielinowe neuronów. Dostępne terapie spowalniają ten proces,

lecz go nie odwracają. Dr hab. Aleksandra Rutkowska z Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego bada remielinizację – mechanizm naprawczy, który mózg uruchamia samodzielnie, lecz którego skuteczność z czasem maleje.

Celem jej zespołu jest terapia wspierająca tę zdolność regeneracji. Efektem prac badaczki jest nowa strategia terapeutyczna, która uzyskała polski patent i jest w trakcie procedury europejskiej. Projekt został też oceniony przez międzynarodowy fundusz inwestycyjny jako dojrzały naukowo i gotowy do dalszego rozwoju.

– Projekt badań podstawowych, w całości sfinansowany przez NCN, wchodzi bezpośrednio w fazę wdrożeniową – mówi badaczka. Zagraniczny inwestor planuje sfinansować dalsze badania przedkliniczne oraz pierwszą fazę badań klinicznych. ©

PIĘTNASTOLECIE NCN świętujemy też na Copernicus Festival – po raz trzeci jako patron. Laureaci i laureatki naszych grantów będą wśród prelegentów każdego dnia. Z okazji jubileuszu przygotowaliśmy też serię rozmów z naukowcami – dostępną na YouTube NCN pod hasłem #pokolenieNCN.

Zrozumieć mózg

MARGIT KOSSOBUDZKA-LIPIŃSKA

Mówi się, że gdyby nasz mózg był na tyle prosty, że potrafilibyśmy w pełni wyjaśnić jego funkcjonowanie, to byłibyśmy zbyt głupi, żeby tego dokonać.

Czy mózg jest jak komputer? Ta metafora wprawdzie zrobiła wielką karierę w filozofii i nauce, ale dziś wiemy, że nie jest doskonała. Naszych mózgow nie da się tak łatwo opisać jak komputery.

Porównanie mózgu do skonstruowanych przez nas maszyn pozwala jednak przynajmniej uchwycić pewną skalę. Największy na świecie instrument naukowy – europejski Wielki Zderzacz Hadronów – generuje kilkanaście petabajtów danych na rok (petabajt to jedynka z 15 zerami). Na nasz mózg składa się około 80-90 miliardów neuronów, z których każdy tworzy połączenia z nawet dziesiątkami tysięcy innych komórek nerwowych. Daje to łącznie nawet biliard połączeń, nazywanych synapsami, którymi w każdej sekundzie płynie morze sygnałów pobudzających lub hamujących inne neurony.

Co więcej, każda pojedyncza synapsa zawiera różne przełączniki molekularne. Istnieją synapsy, które działają jak wtyczka i gniazdko (tzw. synapsy elektryczne), ale też takie (synapsy chemiczne), które do przekazywania sygnałów używają związków chemicznych (tzw. neuroprzekaźników i neuropeptydów). Jedna synapsa chemiczna może korzystać z więcej niż jednej takiej substancji. Gdyby spojrzeć na mózg jak na układ elektryczny, to pojedyncza synapsa nie jest równoważna tranzystorowi – byłaby raczej całą grupą tranzystorów.

Aby jeszcze bardziej skomplikować sprawę: nie wszystkie neurony są sobie równe. Naukowcy wciąż nie wiedzą, ile różnych rodzajów neuronów posiadamy, ale prawdopodobnie są ich przynajmniej setki. I dopiero zaczynamy zagłębiać się w całe bogactwo ich różnorodności.

Trzeba też pamiętać, że mózg to nie tylko neurony. Zawiera również wiele

naczyń krwionośnych i całą klasę zróżnicowanych komórek określanych jako gładkie, z których sporo jest jeszcze słabiej poznanych niż neurony.

Obywatele drugiej kategorii

Ponieważ komórki gładkie nie przewodzą sygnałów elektrycznych, w nauce długo traktowano je jako obywateli mózgu drugiej kategorii. Uważano, że ich funkcja jest jedynie podtrzymująca: istnieją po to, by wspierać to, co w naszym mózgu jest najważniejsze – neurony – poprzez pomaganie w ich odżywianiu czy ochronie. Dziś ten pogląd nieco się zmienił.

Znamy już wiele podtypów komórek gładkich, w tym: astrocyty, oligodendrocyty i mikroglej, z których każdy specjalizuje się w określonej funkcji. Astrocyty to komórki o kształcie gwiazdy, które utrzymują środowisko pracy neuronu. Robią to poprzez kontrolowanie poziomu neuroprzekaźników wokół synaps, regulowanie stężeń ważnych jonów, np. potasowych (również mających znaczenie dla rozchodzenia się sygnałów w mózgu) oraz zapewnianie wsparcia metabolicznego.

Bardzo aktywnie bada się dziś także to, jak astrocyty wpływają na komunikację neuronów. Ponieważ mają one zdolność wykrywania poziomu neuroprzekaźników w synapsach i mogą reagować, uwalniając cząsteczki, które bezpośrednio wpływają na aktywność neuronalną, astrocyty są coraz częściej uznawane za element połączeń synaptycznych, który może wpływać na sposób przetwarzania informacji w sieciach neuronów.

Mikroglej to z kolei komórki odporne na uszkodzenia mózgu, chroniące go przed urazami i chorobami. Rozpoznają one, kiedy coś poszło nie tak, i inicjują reakcję, która usuwa czynnik toksyczny lub martwe komórki. Nieodpowiednie działanie tych

komórek może mieć znaczenie w niektórych chorobach neurodegeneracyjnych, takich jak choroba Alzheimera. Istnieją dowody na to, że nadmiernie aktywny mikroglej prowadzi do powstawania stanów zapalnych, których efektem może być gromadzenie się w mózgu charakterystycznych dla choroby Alzheimera toksycznych złogów białek (blaszek amyloidowych i spletków neurofibrylarnych).

Wreszcie, najnowsze badania pokazują, że mikroglej odgrywa rolę w dojrzewaniu mózgu. W toku naszego rozwoju powstaje w mózgu znacznie więcej synaps, niż jest to potrzebne, a przeżywają tylko te najsilniejsze i najważniejsze. Mikroglej bezpośrednio przyczynia się do tego procesu „prycinania” synaps, w największym stopniu występującego w dzieciństwie.

Wielkie projekty

O tym, jak z grubsza wygląda budowa mózgu w skali mikroskopowej, nauka wie od końca XIX w., gdy swoje pionierskie prace prowadził hiszpański anatom Santiago Ramón y Cajal, uznawany za odkrywcę neuronów i jednego z ojców współczesnej neurobiologii.

Współcześni neurobiolodzy dysponują całą masą narzędzi, za pomocą których mogą badać aktywność pojedynczych neuronów i całych ich sieci, a także sterować ich zachowaniem. Możemy także podglądać cały mózg w działaniu, za pomocą takich technik jak funkcjonalne obrazowanie rezonansem magnetycznym (fMRI) czy magnetoencefalografia (MEG) – dzięki nim dowiadujemy się, jakie sieci neuronów aktywują się, gdy osoba wykonuje jakieś zadanie lub po prostu o czymś myśli.

By wejść na jeszcze wyższy poziom w rozumieniu mózgu, w XXI w. sfinansowano kilka szeroko zakrojonych ↪



NATALIA POLASIK / @MOONWATERPL

Natalia Polasik „Neurony i układy”, 2026 r.

→ projektów, których celem było stworzenie jak najbardziej dokładnych map mózgowych połączeń, neuronalnych struktur i ich aktywności.

Jednym z takich przedsięwzięć była inicjatywa BAM (*Brain Activity Map*), której celem było „nagranie” aktywności każdego neuronu w wybranym obszarze mózgu w czasie rzeczywistym. Inne przedsięwzięcie – flagowa inicjatywa Komisji Europejskiej z lat 2013-2023 – czyli Human Brain Project, miało „rozkodować” cały mózg tak samo, jak Human Genome Project pomógł nam na początku XX w. zidentyfikować kompletny zestaw ludzkich genów.

Owocem projektu HBP jest zestaw narzędzi badawczych i imponujący atlas mózgu nazwany EBRAINS, który pozwala poruszać się po mózgu w różnych skalach niczym po aplikacji Google Earth. Tym jednak, co najlepiej ilustrują tego typu wielkie projekty, jest zwykle fakt, że całej złożoności mózgu nie da się poznać w dekadę, a ich pomy-

ślodawcy często przesadzają z optymizmem.

W odkrywaniu tej złożoności czasem trzeba się poruszać milimetr po milimetrze – dosłownie. Dwa lata temu zespół pod kierunkiem dr. Alexandra Shapsona-Coe, z Centrum Badań nad Ludzkim Mózgiem na Uniwersytecie Harvarda, odtworzył pełną strukturę... milimetra szściennego ludzkiej kory – najbardziej zewnętrznej struktury mózgu – w płacie skroniowym.

Zespół zrekonstruował tysiące neuronów, ponad sto milionów synaps oraz wszystkie inne elementy tkanek tworzące materię ludzkiego mózgu, w tym komórki glejowe i układ naczyniowy krwi.

Analiza wykazała, że komórki glejowe dwukrotnie przewyższają liczbowo neurony, a oligodendrocyty – typ gleju odpowiedzialny za tworzenie warstwy izolacyjnej mózgowego „okablowania” (tzw. osłonek mielinowych) – są najczęstszymi komórkami w tkance. Autorzy badań od-

kryli też nierozpoznaną wcześniej klasę neuronów w głębokich warstwach kory oraz istnienie bardzo silnych i rzadkich połączeń multisynaptycznych między neuronami.

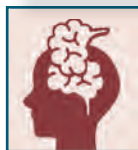
Tożsamość komórki

Celem jeszcze innego konsorcjum – BRAIN Initiative Cell Atlas Network (BICAN) – było uwzględnienie ważnego czynnika w różnicowaniu się komórek mózgowych: czasu. Badania koncentrowały się na dynamicznej naturze ekspresji genów i tożsamości komórek w rozwoju mózgu człowieka. Przypomnijmy: choć każda komórka w naszym ciele posiada ten sam zestaw genów, odziedziczony z pojedynczej, zapłodnionej komórki jajowej, z której powstały wszystkie komórki naszego ciała, to jednak komórki różnicują się na rozmaite klasy, ponieważ do głosu dochodzą w nich różne geny w różnym czasie.

Wspomniana sieć BICAN została uruchomiona w 2022 r. w Narodowych Instytutach Zdrowia USA. Projekt polegał na stworzeniu atlasów referencyjnych typów komórek mózgowych u człowieka i kilku innych gatunków ssaków. Wyniki prac zespołu zostały opublikowane w kilku publikacjach, które ukazały się w tygodniku „Nature”.

Badacze ustalili, że w miarę kształtowania się układu nerwowego komórki przechodzą z fazy proliferacji – podziałów dla utworzenia kolejnych komórek – do fazy różnicowania się, czyli stania się komórkami dojrzałymi. Proces ten jest napędzany ściśle skoordynowaną sekwencją zdarzeń molekularnych. Obecnie nie istnieją technologie umożliwiające ciągłe obserwowanie tej sekwencji w żywym organizmie. Ale możliwy jest pomiar ekspresji genów w wielu okresach jego życia.

Wykorzystując tę serię migawek genetycznych z wczesnego etapu rozwoju, naukowcy mogą komputerowo zrekonstruować „film” ilustrujący drogę, jaką przebywa komórka przez całe swoje życie. Od stadium tzw. komórki progenitorowej – która jeszcze nie całkiem wykształciła konkretne cechy odróżniające ją od innych typów komórek – do dojrzałej komórki, takiej jak neuron czy astrocyt. BICAN prześledził, jak komórki przekształcają się w wyspecjalizowane komórki układu nerwowego, jak regulowana jest aktywność genów w trakcie rozwoju oraz



Miary złożoności: jak porównać poziom złożoności mózgu i klimatu?

Na pierwszy rzut oka słowo „złożony” wydaje się mniej więcej tak precyzyjne, jak słowo „fajny”. Gdy stwierdzam, że jakiś tekst albo jakieś zjawisko są „złożone”, to brzmi jak opinia, a nie stwierdzenie faktu. A jednak – niektórzy naukowcy uważają, że złożoność można mierzyć równie dobrze, co masę, ładunek elektryczny, lepkość albo liczbę kończyn.

Pradziadkiem wszystkich miar złożoności jest „złożoność algorytmiczna” opisana w 1963 r. przez radzieckiego matematyka Andrieja Kołmogorowa. Miarą Kołmogorowa można co prawda mierzyć tylko ciągi znaków, ale prawie wszystko można dzisiaj zamienić na ciąg znaków. Złożoność algorytmiczna danego ciągu to długość najkrótszego algorytmu (w praktyce: programu komputerowego), który jest go w stanie wygenerować. Intuicyjnie: jeżeli coś wymaga dłuższego opisu, jest bardziej złożone.

W 1971 r. inżynier Daniel Minoli opisał miarę „złożoności kombinatorycznej”, którą można zastosować do wszystkiego, co da się przedstawić jako graf – czyli zbiór wierzchołków połączonych krawędziami. Graf niekoniecznie jest bardziej złożony, jeśli ma więcej wierzchołków („obiektów”) – istotna jest liczba krawędzi („relacji”). W następnych dekadach metodę Minolego zastosowano m.in. do mierzenia złożoności reakcji chemicznych, sieci komputerowych i społeczności ludzkich.

Pytanie za sto punktów nie brzmi jednak, jak zmierzyć złożoność, tylko... po co? Nie jest to jeszcze do końca jasne. © ŁL



jak doświadczenia sensoryczne i czynniki środowiskowe wpływają na tożsamość komórek.

Co może mały mózg

Tajemnice mózgu można oczywiście badać jeszcze inną drogą, np. tworząc mini-mózdziki zbudowane z niewielkiej liczby neuronów (takie struktury nazywa się organoidami) lub zaglądając do głów zwierząt. Wielu neurobiologów bada mózg myszy laboratoryjnej czy nawet muszki owocowej, mając nadzieję, że odkryją fundamentalne mechanizmy, które są wspólne dla mózgów wielu istot.

To nie jest bezpodstawne założenie: uhonorowany Nagrodą Nobla Eric Kandel prowadził przełomowe dla neurobiologii badania nad połączeniami synaptycznymi na niewielkich ślimakach morskich, posiadających zaledwie 20 tys. neuronów w mózgu. Innym przełomem w neurobiologii było stworzenie pełnej mapy połączeń nerwowych w mózgu milimetrowego robaka *C. elegans*, posiadającego zaledwie 302 neurony. Używane dziś techniki pozwalają rejestrować aktywność nawet tysięcy neuronów w mó-

zgu zwierząt czy sterować nimi za pomocą światła.

Wielu naukowców uważa, że aby w pełni zrozumieć ludzki mózg, musimy również dowiedzieć się, jak powstał w toku ewolucji – w której w ciągu ostatnich dwóch milionów lat zwiększył rozmiar około trzykrotnie. Można też jednak sięgać myślą jeszcze głębiej, próbując dotrzeć nie tyle do początków naszej neuroanatomii, ile do początków samej tkanki nerwowej.

Powstanie neuronów i synaps było momentem przełomowym w ewolucji złożonych organizmów wielokomórkowych. Uważa się, że miało to miejsce ponad 600 mln lat temu. Jednak także zanim to się stało, zwierzęta musiały wyczuwać otoczenie i reagować na zmieniające się okoliczności. W naszych mózgach do dzisiaj występują cząsteczki, które niektórzy badacze uważają za pozostałości prastarego systemu wymiany informacji między komórkami. Są one znane jako neuropeptydy lub neuromoderatory – u najstarszych zwierząt mogły one spełniać niektóre funkcje układu nerwowego. I może także dzisiaj kryją odpowiedzi na pewne

pytania dotyczące funkcjonowania naszych mózgów.

Innym ważnym kierunkiem badań są początki aktywności mózgu u dziś żyjących zwierząt; inaczej mówiąc, badania z dziedziny embriologii i biologii rozwoju.

Na przykład okazuje się, że nasze mózgi są częściowo zaprogramowane jeszcze przed narodzinami. Naukowcy z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Santa Cruz odkryli, że nawet wyładowania mózgu płodu mają wyraźny porządek przestrzenny i zachodzą również bez żadnych zewnętrznych bodźców. To sugeruje, że ludzki mózg w momencie narodzin już ma pewne „ustawienia początkowe”: wstępne instrukcje dotyczące nawigacji i interakcji ze światem. Jest to spójne z odkryciami psycholożki rozwojowej Elizabeth Spelke, która stworzyła teorię tzw. wiedzy rdzennej, z którą przychodzimy na świat, dotyczącej na przykład tego, jak działają przedmioty w świecie fizycznym.

Rozwój przez całe życie

Proces rozwoju ludzkiego mózgu jest długotrwały i dynamiczny. Rozpoczyna się →

REKLAMA

FLORENTAL

WYPOŻYCZALNIA DEKORACJI
PRACOWNIA FLORYSTYCZNA
KWIATY DO BIUR I HORECA
ABONAMENTY KWIATOWE
SERWIS KWIATOWY
SCENOGRAFIE
PRZYJĘCIA
EVENTY

WWW.DEKORACJEFLORENTAL.COM

IG: @florental_dekoracje

PL | ENG



→ w trzecim tygodniu ciąży i trwa do późnej dorosłości, a potencjalnie przez całe życie. Przyczynia się do niego złożona interakcja zdarzeń molekularnych, ekspresji genów i bodźców środowiskowych. Zarówno czynniki genetyczne, jak i wpływy środowiskowe są kluczowe dla prawidłowego rozwoju mózgu, a zaburzenia w każdym z tych czynników mogą znacząco wpływać na rozwój neuronów.

Okres embrionalny kształtuje podstawowe struktury mózgu i ośrodkowego układu nerwowego, ale dopiero po urodzeniu mózg ulega znacznemu zwiększeniu rozmiarów i zmianom strukturalnym, osiągając około 90 proc. docelowej objętości do 6. roku życia.

Zmiany te (zarówno w istocie szarej, czyli neuronach, jak i białej mózgu, czyli mózgowym „okablowaniu” zakończonym synapsami) zachodzą przez całe dzieciństwo i okres dojrzewania – a w jakimś stopniu także przez całe życie.

Ludzka zdolność do przetwarzania informacji w złożone emocje, zachowania i decyzje opiera się zatem na bogatej różnorodności typów komórek. Ta róż-

norodność jest zasiewana i udoskonalana już w okresie rozwoju prenatalnego, trwając aż do dzieciństwa i okresu dojrzewania – które u ludzi są wyjątkowo wydłużone. W ten sposób powstają specyficzne dla człowieka podtypy komórek, połączeń i funkcji. Jednak ten przedłużony rozwój może zwiększać ryzyko wystąpienia mutacji genetycznych, które negatywnie wpływają na tworzenie się „zdrowych” obwodów i przyczyniają się do wystąpienia zaburzeń czy też innych wzorców neurorozwojowych, takich jak autyzm czy schizofrenia.

Prowadzone w ostatnim czasie badania ujawniły wyraźne różnice między płaciami, dotyczące percepcji, funkcji poznawczych, pamięci i funkcji neuronalnych, a które mogą wynikać z czynników genetycznych, hormonalnych i środowiskowych.

Różnice te przekładają się też na statystycznie odmienne wzorce funkcjonowania mężczyzn i kobiet. Pomimo podobnego poziomu inteligencji, mężczyźni i kobiety zazwyczaj wykorzystują różne obszary mózgu do zadań takich jak za-

pisywanie wspomnień, rozpoznawanie emocji, twarzy, rozwiązywanie problemów i podejmowanie decyzji. Nawet gdy osoby o podobnym poziomie inteligencji osiągają podobne wyniki, ich mózgi wykazują różne wzorce aktywacji, co sugeruje wrodzone różnice w przetwarzaniu.

Te różnice płciowe w funkcjonowaniu mózgu mogą wpływać na procesy uczenia się, rozwój językowy i postęp chorób neurologicznych.

Maszyno, pomóż

Choć potrafimy w pewnym stopniu zrozumieć, jak działa mózg, być może, biorąc pod uwagę jego ogromną złożoność, ludzie nigdy nie zrozumieją go w pełni. Ale jeśli szczegóły działania mózgu przekraczają ludzkie możliwości rozumienia – choć one przecież rosną w czasie – to może w tym zadaniu pomoże nam sztuczna inteligencja?

Byłby to ciekawy paradoks: gdyby ludzki mózg nie potrafił zrozumieć sam siebie, ale był w stanie wynaleźć maszynę, która go w końcu zrozumie.

© MARGIT KOSSOBUDZKA-LIPIŃSKA

REKLAMA


Kraków

Muzeum Inżynierii i Techniki w Krakowie zaprasza do odkrycia w sobie „technoczułości” – szacunku dla myśli inżynierskiej kształtującej nasz świat.

Zabytki techniki – zwykłe przedmioty czy symbole ludzkich potrzeb i ambicji?

Wystawa Miasto. TECHNOCZUŁOŚĆ
Nagrodzona „muzealnym Oscarem” podróż przez 12 dziedzin inżynierii, która pozwala zrozumieć rozwój miast od czasów najdawniejszych po współczesne. Wiele z ponad 600 eksponatów, które tu zobaczysz, stało się kamieniami milowymi naszej cywilizacji.

Wystawa Kuchnia od kuchni
Zmiany, jakie zachodziły w kuchniach naszych przodków, to część naszej historii. Daj się wciągnąć w sentymentalną opowieść o tym, co na zawsze zmieniło codzienne funkcjonowanie każdego domu.



Pozwól dziedzictwu techniki opowiedzieć historię, której sam jesteś częścią.



mit.krakow.pl

MUZEUM INŻYNIERII I TECHNIKI – INSTYTUCJA KULTURY MIASTA KRAKOWA

Po pierwsze: doskonałość

Od 2007 r. Europejska Rada ds. Badań Naukowych przyznaje najbardziej prestiżowe na kontynencie granty badawcze. Ich laureaci osiągają przełomowe wyniki w badaniach podstawowych, które przyniosły już m.in. piętnaście Nagród Nobla.

Europa mówi dziś o sztucznej inteligencji, technologiach kwantowych i wyścigu z Chinami oraz Stanami Zjednoczonymi. Znacznie rzadziej mówi się o tym, że większość tych przełomów zaczyna się od badań podstawowych, prowadzonych latami bez gwarancji sukcesu i często bez oczywistego zastosowania. To właśnie po to w 2007 r. powstała European Research Council (Europejska Rada ds. Badań Naukowych). Instytucja finansująca najbardziej ambitne projekty naukowe w Europie wyłącznie na podstawie jednego kryterium: doskonałości naukowej. Od początku działalności ERC wsparła ponad 10 tys. badaczy. Laureaci grantów zdobyli później 15 Nagród Nobla, 7 Medali Fieldsa i 11 Nagród Wolfa. Projekty finansowane przez ERC doprowadziły do powstania ponad 2200 patentów i przeszło 400 start-upów, a także przeszło 200 tys. publikacji naukowych. Budżet ERC w programie Horyzont Europa na lata 2021–2027 wynosi ok. 16 mld euro.

WYŻSZY POZIOM AMBICJI

– Granty ERC pozwalają na znacznie wyższy poziom ambicji i dużo większe ryzyko niż większość krajowych konkursów – mówi prof. Michał Tomza z Uniwersytetu Warszawskiego, laureat ERC Starting Grant i ambasador ERC. – Bardzo często technologie rozwijane po to, żeby odpowiedzieć na fundamentalne pytania o naturę wszechświata, znajdują później zastosowanie w medycynie, komunikacji czy informatyce.

Granty ERC należą do najbardziej konkurencyjnych programów naukowych na świecie. Starting Grant dla młodych naukowców może wynosić 1,5 mln euro, Consolidator Grant 2 mln euro, a Advanced

Grant dla najbardziej doświadczonych badaczy 2,5 mln euro. W przypadku projektów zespołowych Synergy Grant sięga 10 mln euro. Te pieniądze nie są jednak „nagrodą” dla naukowca. Finansują wieloletnie badania: zespoły, doktorantów, aparaturę, eksperymenty i infrastrukturę laboratoryjną. Obecnie w projektach finansowanych przez ERC znajduje zatrudnienie przeszło 75 tys. badaczy po doktoracie, doktorantów i pracowników laboratoriów. Finansowanie trafiło do ponad 850 instytucji naukowych, które zatrudniają reprezentantów blisko 100 narodowości.

W ostatnim konkursie ERC Advanced Grants finansowanie zdobyło 281 naukowców spośród około 2500 zgłoszeń. Wśród laureatów znalazło się czworo badaczy pracujących w Polsce. I dobrze pokazują oni, jak szeroko ERC podchodzi do tematyki finansowanych badań.

Prof. Cezary Galewicz z Uniwersytetu Jagiellońskiego będzie badał tradycje pieśni pāt̪tu w Azji Południowej – świat rytuałów i lokalnych kultur oralnych istniejących od setek lat w Indiach. Prof. Joanna Mizelińska z Uniwersytetu Warszawskiego analizuje z kolei doświadczenia rodzin queerowych w Europie Środkowo-Wschodniej: relacje rodzinne, praktyki opieki i codzienność osób wychowujących

dzieci w społeczeństwach, które często nadal pozostają wobec nich nieufne lub wrogie.

TECHNOLOGIE NIE BIORĄ SIĘ ZNIKĄD

ERC finansuje też projekty z pogranicza fizyki, medycyny i nowych technologii. Prof. Paweł Moskał z Uniwersytetu Jagiellońskiego rozwija technologię obrazowania pozytonium przy użyciu tomografu J-PET. Jeśli jego hipoteza się potwierdzi, lekarze mogliby w przyszłości nieinwazyjnie oceniać stopień natlenienia nowotworów, a tym samym ich złośliwość.

Prof. Dominika Zgid z Uniwersytetu Warszawskiego pracuje natomiast nad modelowaniem nieporządku w materiałach krystalicznych: problemem ważnym dla projektowania nowych materiałów wykorzystywanych m.in. w elektronice czy energetyce.

To jeden z wyróżników ERC: obok fizyki kwantowej czy biologii molekularnej równie ważne są humanistyka i nauki społeczne. Europejska Rada finansuje zarówno badania nad wnętrzem atomu, jak i nad językiem, kulturą czy przemianami społecznymi.

Polska nadal zdobywa jednak relatywnie niewiele grantów ERC. Do tej pory badacze pracujący w Polsce otrzymali ich 105, z czego



Siedziba ERC w Brukseli

ponad 20 realizowano w instytutach PAN i Międzynarodowym Instytucie Biologii Molekularnej i Komórkowej. Zdaniem prof. Tomza problemem nie jest brak talentów, lecz warunki prowadzenia badań.

– Bez ryzyka nie ma przełomów, ale bez pieniędzy nie ma ryzyka – mówi fizyk. – Jeśli naukowcy funkcjonują w systemie, w którym od kolejnego grantu zależy ich dalsza praca, trudno oczekiwać, że będą podejmowali najbardziej ambitne tematy.

– Jeśli Europa nie chce zostać technologicznym peryferium świata, musi inwestować w naukę znacznie poważniej – dodaje Tomza. – Własne technologie nie biorą się znikąd. Ich źródłem są badania podstawowe.

ERC jest partnerem Copernicus Festival i współorganizatorem pasma ERC Talks. Laureaci grantów ERC wystąpią także w wielu innych wydarzeniach festiwalowych.



European Research Council
Established by the European Commission

Jak kształtuje się życie

EWA PALUCH, BIOFIZYCZKA:

W moim laboratorium pokazujemy, że komórki są plastyczne i mogą zmieniać się na wiele sposobów. Interesuje nas też zrozumienie mechaniki ich migracji, co ma znaczenie m.in. w nowotworach.

MARIA HAWRANEK: Jakie komórki bada Pani w swoim laboratorium na Uniwersytecie w Cambridge?

EWA PALUCH: Przedmiotem moich badań jest kształt komórek, szczególnie różnorodność i zmienność tego kształtu. Jak komórki ewoluują? Jak zmieniają się w chorobie? Jakie znaczenie dla żyjącego organizmu mają ruchy komórek? Aby to zrozumieć, musimy połączyć wiedzę biologiczną z fizyką.

W trakcie badań obserwujemy komórki zwierzęce o przeróżnych kształtach. Np. komórki macierzyste myszy, ale również zdrowe, dojrzałe komórki czy komórki rakowe. Te ostatnie mają tę zaletę, że można je unieśmiertelnić – hodować w laboratorium dowolnie długo, bo mogą się dzielić w nieskończoność.

Istnieją rozmaite różnice między komórkami roślinnymi, zwierzęcymi, komórkami drożdży czy bakterii, ale jeśli chodzi o komórki zwierzęce – czyli również ludzkie – to one wszystkie są w miarę podobne, więc dla naszych badań podstawowych nie ma specjalnego znaczenia, od jakiego zwierzęcia pochodzą.

W naszym laboratorium badamy też tzw. indukowane pluripotencjalne komórki macierzyste: są to komórki pochodzące z ludzkiej skóry, które zostały przetransformowane w komórki macierzyste, z których z kolei możemy stworzyć dowolny rodzaj komórek. Być może w przyszłości te komórki będzie można stosować w medycynie regeneracyjnej – na razie jesteśmy na etapie badań biologicznych.

Badamy też rozwój różnych organizmów – od muszek przez ryby aż po myszy – i hodujemy organoidy, czyli miniaturowe narządy wytworzone z komórek macierzystych.

Czyli nie ma specjalnego znaczenia, czy biorę komórkę myszy, ptaka, czy człowieka, ale ma znaczenie to, z jakiej części ciała ta komórka pochodzi. Jak bardzo komórki różnią się między sobą?

Różnice między komórkami są ogromne i wynikają z funkcji, jakie pełnią. Wszystkie nasze komórki pochodzą z zapłodnionego jaja, które ma dość nudny, jajowaty kształt. Podczas rozwoju komórki się różnicują i nabierają ciekawszych kształtów. Np. jeśli spojrzymy na komórki ludzkiej skóry na poziomie mikroskopowym, przypominają bloczki upchnięte jeden obok drugiego, jak cegły, żeby chronić organizm. Więc kształt informuje nas o funkcji i stanie komórki. To jest podstawa histologii: gdy lekarze diagnozują choroby, np. nowotwory. W czasie biopsji pobierają próbkę i potem sprawdzają, czy komórki wyglądają normalnie, czy też ich kształt jest zmieniony, co wskazuje na chorobę.

Czy komórki różnią się też pomiędzy sobą, jeśli chodzi o sposób poruszania się?

Tak, szczególnie w sytuacjach, kiedy są niezdrowe. Większość tkanek posiada zdolność do samoleczenia – weźmy wspomniane komórki skórne, czyli nakładające się na siebie warstwy upchniętych bloczków. Jeśli się pani skaleczy, komórki zaczną się poruszać i na siebie nakładają, tak by w efekcie zamknąć ranę. Komórki większości organów to potrafią – są plastyczne i mogą zmieniać swoje ułożenie w odpowiedzi na infekcję czy ranę. Nie mówiąc już o tym, że zmieniają się i poruszają przez całe nasze życie płodowe, formując organy. Jednak w dorosłym organizmie większość komórek jest raczej statyczna, poza tym, że zmieniają

swój kształt w rytmie oddechu, obkurczając się lub rozszerzając, w miarę skurczu mięśni lub by zamykać rany.

Z tego schematu wyłamują się komórki rakowe.

Co z nimi?

Mają o wiele większą zdolność przemieszczania się w organizmie niż inne – dlatego guzy rozsiewają się po innych częściach ciała. W ich przypadku następuje niekontrolowana zmiana kształtu i poruszania się, których efektem jest niebezpieczna choroba.

Wiemy, skąd wzięta się ta ich supermoc przemieszczania się i zmiany kształtu? Co za nią odpowiada?

To ogromne pole badawcze, a zagadnienie ma na pewno wiele aspektów. Nadal nie potrafimy zatrzymać rozwoju komórek rakowych. Wiele nowotworów zaczyna się w komórkach nabłonka, które wyznaczają granicę między tym, co na zewnątrz, i tym, co wewnątrz – na skórze, ale też pomiędzy organami, np. całe jelita czy też płuca są pokryte nabłonkiem.

Pierwszy etap nowotworu polega na raptownym, niekontrolowanym dzieleniu się komórek, których kształty odbiegają od normy, tworzą gromady, a w efekcie mogą przekształcić się w guza. Kiedy już go utworzą, część komórek zaczyna migrować – tracą tę właściwość, która zwykle trzyma je razem.

Stają się za to bardziej plastyczne, mogą zaadaptować się do każdego miejsca, w którym wylądują, co właśnie czyni je tak niebezpiecznymi. To już rozumiemy. Jest wiele powodów, które pozwalają nam myśleć, że jeśli będziemy mogli wpływać na kształt tych komórek w kontrolowany sposób, będziemy mogli lepiej działać terapeutycznie.

EWA PALUCH

Jest polsko-francuską biofizyczką i biologką komórki, Profesorką Anatomii na Uniwersytecie Cambridge i członkinią Trinity College na tej uczelni. Ekspertka w dziedzinie mechaniki komórkowej, bada, jak komórki kontrolują swój kształt. Studiowała matematykę i fizykę, biofizyką zajęła się w pracy doktorskiej. Zanim trafiła na Uniwersytet w Cambridge, prowadziła laboratorium w Instytucie Biologii Molekularnej i Genetyki im. Maxa Plancka w Dreźnie, z łączoną afiliacją w Międzynarodowym Instytucie Biologii Molekularnej i Komórkowej w Warszawie (IIMCB), oraz na University College London. Podczas Copernicus Festival opowie o tym, od czego zależy kształt komórek i jak przekłada się na ich funkcjonowanie.



Nie potrafimy jeszcze wpływać na ich kształt, bo nie rozumiemy mechanizmów, które za niego odpowiadają?

Dokładnie tak. Wciąż nie rozumiemy, jak komórki kontrolują swój kształt. Wydaje mi się, że ten brak zrozumienia wynika częściowo z tego, że nowoczesna biologia ma charakter bardzo molekularny – tworzymy katalogi cząsteczek, które występują w komórce, a to nic nam nie mówi o tym, jak komórka naprawdę wygląda.

Aby się tego dowiedzieć, musimy znać podstawy mechaniki. Musimy zrozumieć, jak te cząsteczki generują siły, które z kolei kształtują komórkę. Zatem aby zrozumieć kształty, potrzebujemy jednocześnie i biologii, i fizyki. A od dawna kształcimy studentów albo na fizyków, albo na biologów.

Pani łączy obie te dyscypliny. W jednym z wywiadów powiedziała Pani, że w Instytucie Marii Curie w Paryżu na początku XXI w. miała przyjemność towarzyszyć rozwojowi biologii fizycznej jako dyscypliny.

To było wówczas kluczowe miejsce w Europie dla rozwoju biologii fizycznej komórek i tkanek. Oczywiście to nie był absolutny początek biofizyki – w latach 60. odniosła przecież ogromny sukces na poziomie białek, a niedługo później zaczęły się badania nad cząsteczkami budującymi szkielet komórkowy i jego ruchliwością. Ale dopiero od stosunkowo niedawna potrafimy opisywać w ten sposób całe komórki i tkanki. Wciąż jednak bra-



MICHAŁ DYAKOWSKI DLA „TP”

kuje nam odpowiednich narzędzi do badań umożliwiających zrozumienie, jak komórki kontrolują swoje właściwości mechaniczne.

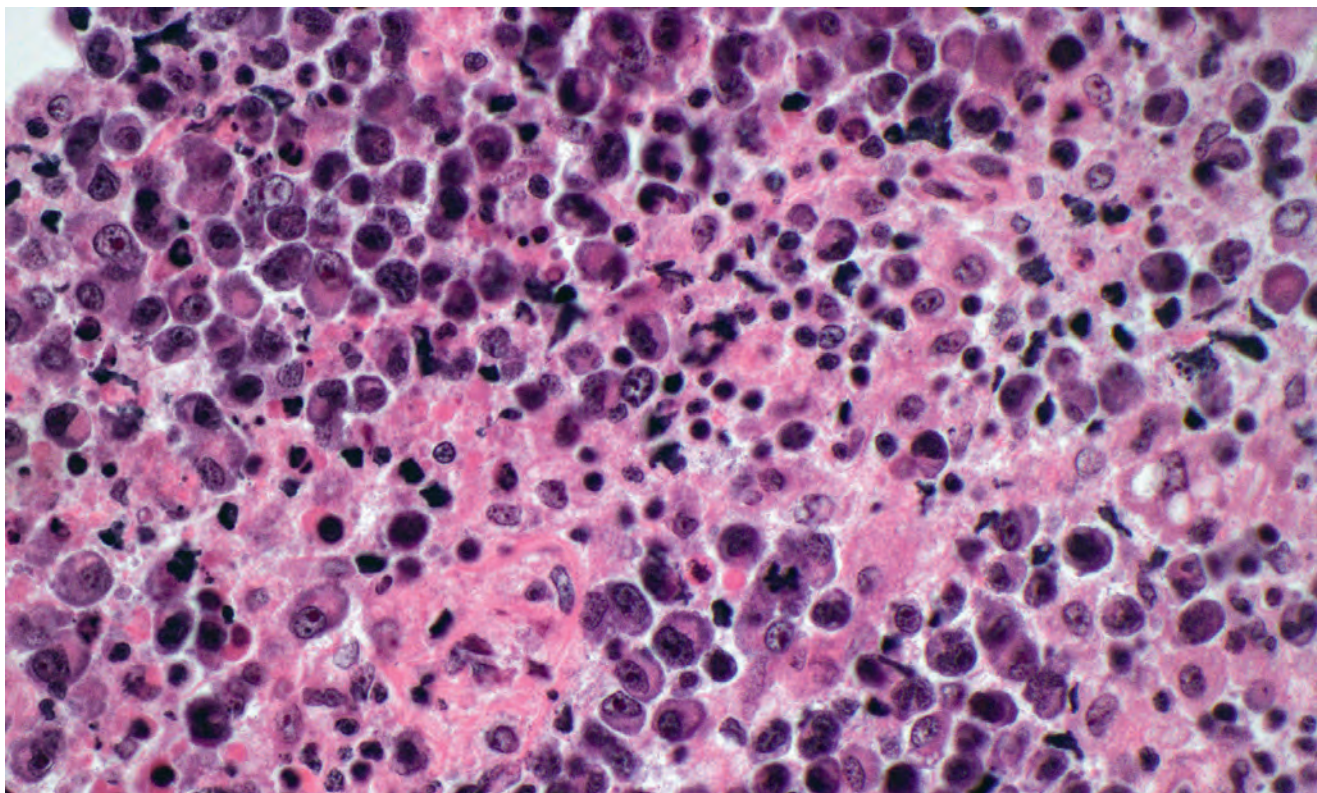
Jednak jakieś narzędzia udało się wypracować – chociażby w Pani laboratorium, gdzie łączy Pani fizykę z biologią, inżynierię z obrazowaniem ilościowym.

Tak, pracujemy nad zbudowaniem pomostu, również współpracując z badaczami tworzącymi modele teoretyczne, pomocne np. w zrozumieniu podziału komórek, ich kontaktu, ruchu, wzrostu lub kurczenia się. Moje laboratorium założyłam w 2006 r. w Instytucie Maxa Plancka we współpracy z Międzynarodowym In-

stytutem Biologii Molekularnej i Komórkowej (IIMCB) w Warszawie. W 2013 r. przeniosłam laboratorium do Londynu, a pięć lat później – do Cambridge.

Nie wiedziałam, że laboratoria mogą się tak często przemieszczać.

Owszem! Instytut Maxa Plancka działa jak inkubator, młode grupy na ogół nie zostają w nim na zawsze. A świat akademicki jest bardzo międzynarodowy. Naukowczynie i naukowcy często zmieniają miejsca pracy z wielu powodów. W Londynie czułam się świetnie, ale jako że mój mąż – również naukowiec – pracował w Cambridge, postanowiłam się przenieść, by ułatwić nam życie rodzinne. →



Komórki chłoniaka w jamie ustnej. Ciemnym kolorem wybarwiono jądra komórkowe, które w komórkach nowotworowych są powiększone i mają nieprawidłową budowę.

→ **Opowie Pani o swoim pierwszym wielkim odkryciu, dotyczącym pęcherzyków błonowych?**

Te pęcherzyki – w języku angielskim określamy je jako *blebs* – to kuliste wypukłości wytwarzane przez komórki. Gdy zaczęłam się nimi interesować podczas doktoratu, sądzono, że powstają w sytuacji apoptozy, czyli naturalnej śmierci komórki. My w czasie badań doszliśmy do wniosku, że pęcherzyki są oznaką normalnego działania komórki i tworzą się pod wpływem ciśnienia, a komórki używają ich do tego, by się przemieszczać – nie tylko w momencie choroby, ale również w zdrowych sytuacjach.

Jako że w nauce nic nie dzieje się w izolacji – wszyscy czytamy te same artykuły naukowe – to m.in. mój kolega Guillaume Charras doszedł do podobnych wniosków i dzięki temu zaczęliśmy współpracę, która trwa już 20 lat.

Tworzenie pęcherzyków to jedyny sposób poruszania się komórek?

Nie. Mogą stosować różne sposoby, wymiennie. W moim laboratorium chcemy pokazać, że komórki są plastyczne i mogą zmieniać się na wiele różnych sposobów.

Głównie interesuje nas zrozumienie mechaniki migracji komórek, szczególnie w trzech wymiarach, czego do niedawna nie robiono. Jak skurcze i ciśnienie wewnątrz komórki mogą na nią wpływać.

Jest Pani znana również z badań nad korą aktynową (ang. *actin cortex*). Co to takiego?

To struktura cytoszkieletowa, czyli należąca do szkieletu komórki, która podtrzymuje błonę komórkową od strony wnętrza komórki. Każda komórka ją ma, może z wyjątkiem tych miejsc, gdzie bardzo się do czegoś przykleja. Ta kora jest niezwykle ważna, bo to ona kontroluje mechanikę komórki i jej zdolność do wytrzymywania ciśnienia. Jeśli komórki by jej nie miały, ulegałyby zgnieceniu wewnątrz tkanek. Nasze laboratorium jest chyba najbardziej znane właśnie z badań kory aktynowej.

Ale to nie Pani zespół odkrył jej istnienie?

Nie, ale możemy powiedzieć, że sprawiliśmy, że znowu stała się modna.

Od lat 50. wiemy o istnieniu pęcherzyków błonowych i kory aktynowej. Wów-

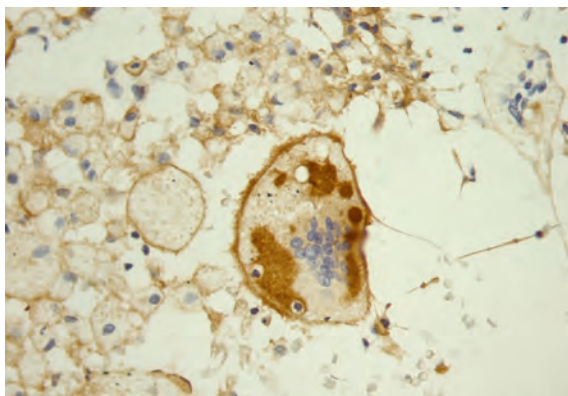
czas nie było jednak narzędzi, by obserwować cząsteczki, z których jest zbudowana, więc w miarę postępu technologicznego mogliśmy niejako ponownie odkryć ich znaczenie.

Kora zapewnia komórkom ochronę, ale też możliwość wzrostu, deformacji, podziału na komórki i migracji. Powiedziałabym, że kora aktynowa stanowi fundament mechaniki komórkowej. Czy jest miękka? Czy sztywna? Lekarze chociażby używają tej charakterystyki, by określić stopień zaawansowania choroby w trakcie badania tkanek. My chcemy zrozumieć to wszystko na poziomie nanoskali, sieci polimerów, połączonych ze sobą tak mocno jak w gumce do zmywania, tylko że nie statycznie, a w sposób aktywny, bo wszystko może się w tej korze rozciągnąć i skurczyć. Nowe technologie, np. mikroskopia superrozdzielcza, wreszcie pozwalają nam bezpośrednio obserwować takie nanoskalowe procesy.

Ta wiedza jest nam potrzebna, by zrozumieć komórki nie tylko jako wspomniany już katalog molekuł, ale również mieć pojęcie na temat architektury komórek i całych tkanek. To jest mój aktualny przedmiot badań.



Narząd słuchu (ślimak) świnki morskiej. Wzdłuż spiralnej struktury biegną rzędy komórek czuciowych reagujących na różne częstotliwości dźwięku.



Obraz mikroskopowy limfocytów T znajdujących się we wnętrzu większej komórki odpornościowej (makrofagu pęcherzykowym występującym w płucach). Takie zjawisko biologzy nazywają emperipolezą.

Za Pani badania nad mechaniką komórek przyznano Pani wiele nagród: Blawatnika dla Młodych Naukowców, Medal Hooke'a, Philip Leverhulme Prize. Która z nich jest dla Pani najważniejsza?

Myślę, że Medal Hooke'a, przyznawany przez Brytyjskie Towarzystwo Biologii Komórki, bo dostałam go tuż po przyjeździe do Wielkiej Brytanii i poczułam się nim niezwykle doceniona. Poza tym Hooke to człowiek, który ukuł termin „komórka”. Wie pani, skąd wziął nazwę?

Nie mam pojęcia.

Obserwował kształty komórek korka – tego naturalnego materiału. I nazwał je komórkami, bo przypominały mu mnisie cele, jedna obok drugiej. Po angielsku słowo *cell* oznacza i komórkę, i celę. Lubię tę historię.

Bardzo ważna była też dla mnie Nagroda Blawatnika. Mówi się, że ustanowił ją po tym, jak poszedł na jeden z bankietów noblowskich i bardzo się zirytował, że wszyscy obecni byli bardzo starzy. Stwierdził więc, że potrzebne jest wyróżnienie dla naukowców poniżej czterdziestki.

Jest Pani również jedną z najmłodszych naukowczyń, które w Instytucie Maxa Plancka dano możliwość stworzenia własnej grupy badawczej.

Wydaje mi się, że w tym przypadku nie bez znaczenia był fakt, że jestem Polką. Wówczas Instytut Maxa Plancka w Dreźnie prowadził program ze wspomnianym ↪

A w dalszej przyszłości – jest coś konkretnego, co chciałaby Pani zrozumieć?

Chciałabym, żebyśmy dogłębnie zrozumieli, dlaczego komórki mają takie kształty, jakie mają. Opowiem o tym przez analogię. Badacze tacy jak Karol Linneusz w wieku oświecenia stworzyli taksonomię – klasyfikację żywych istot, np. królestwa zwierząt z różnymi gatunkami i większymi grupami o konkretnych, charakterystycznych cechach: słonie, wilki, wielbłądy, owady itd.

Sądzę, że z komórkami jesteśmy na podobnym etapie – mamy katalog różnych pięknych kształtów, wiemy trochę więcej na temat tego, jak z jajowatych prekursorów powstają specyficznie wyglądające komórki nerwowe czy mięśniowe.

Karol Darwin w kontekście zwierząt podjął się ambitnego planu – stworzył

teorię ewolucji, która nadała sens taksonomii. Wyjaśniła, skąd wzięła się ta cała różnorodność życia i jak podobieństwa anatomiczne przekładają się na pokrewieństwo ewolucyjne organizmów.

Mam nadzieję, że w naszej dziedzinie uda nam się stworzyć analogiczną teorię wyjaśniającą, dlaczego mamy takie kształty komórek, jakie mamy.

To pytanie o to, jak fizyka ogranicza ewolucję – jakie kształty komórek mogą istnieć zależnie od właściwości fizycznych układu, w którym występują. Niektórych kształtów nie da się uzyskać, ponieważ są one fizycznie niestabilne. Zatem jak wygląda pejzaż kształtów komórek? Jak możemy go zmierzyć i zrozumieć? Jak jest kontrolowany na poziomie molekularnym? Dlaczego choroba sprawia, że komórki przyjmują nietypowe kształty?

→ IIMCB z Warszawy, do którego również potem należałam. Komitetowi, który zaprosił mnie na rozmowę rekrutacyjną, zależało, by wspierać badania nad mechnobiologią, czym ja się akurat zajmowałam. W komitecie zasiadali prezes Polskiej Akademii Nauk i dyrektor IIMCB. Byli wyraźnie zadowoleni, że mogą zaproponować kogoś z Polski. Jestem za to bardzo wdzięczna – dzięki temu mogłam stworzyć swoje laboratorium! Z Polski pochodził także mój pierwszy doktorant – Jakub Sędziński, dzisiaj profesor na Uniwersytecie w Kopenhadze.

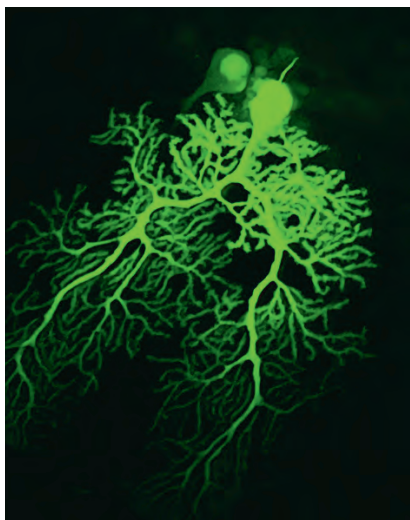
A Pani jest pierwszą kobietą, która na Uniwersytecie w Cambridge piastuje tytuł Profesora Anatomii. Dzisiaj ta nazwa może trochę być myląca w kontekście tego, czym się Pani zajmuje.

Profesor Anatomii to historyczna, prestiżowa katedra utworzona na Uniwersytecie Cambridge w 1707 r. – była to pierwsza katedra biologiczna, wówczas właśnie anatomia to było to, co naukowcy przede wszystkim studiowali. To rzeczywiście może brzmieć zabawnie, nie jestem przecież specjalistką anatomii ani lekarką. Jednak to, czym się zajmuję, jest współczesną anatomią na poziomie komórkowym.

Rzeczywiście jestem pierwszą kobietą na tym stanowisku, choć w Cambridge panuje dość równy podział płciowy, gdy idzie o piastowanie stanowisk kierowniczych. Z drugiej strony, dziedziny, którymi od zawsze się pasjonowałam – matematyka i fizyka – pozostają zdominowane przez mężczyzn, więc jestem przyzwyczajona do bycia jedną z niewielu kobiet w pokoju.

A jak to się stało, że z matematyki i fizyki dotarła Pani do biologii?

Na początku wybrałam matematykę i fizykę głównie z tego względu, że dzięki temu mogłam dalej mieć otwartą ścieżkę kariery. We Francji, gdzie chodziłam do szkoły od 9. roku życia, po zrobieniu dyplomu z matematyki, fizyki i chemii można kontynuować karierę w prawie dowolnym kierunku. Matematykę lubiłam ze względów estetycznych – pociągała mnie schludność dowodów matematycznych. Na uniwersytecie przyciągnęła mnie fizyka, bo była bardziej zakotwiczona w prawdziwym świecie – to w zasadzie używa-



Neuron Purkiniego z mózdku myszy, jedna z najbardziej rozgałęzionych komórek układu nerwowego.

CELLIMAGELIBRARY.ORG

nie matematyki do rozumienia zjawisk zachodzących w świecie.

A potem stopniowo zdawałam sobie sprawę, że to, co naprawdę mnie zajmuje i co chcę zgłębiać, to jak fizyka ma się do życia. Tak znalazłam się w biofizyce. Kształtami komórek zajęłam się w Instytucie Curie w Paryżu na doktoracie.

Urodziła się Pani w Krakowie. Pani ojciec również był naukowcem, prawda?

Tak, nazywał się Andrzej Paluch i był antropologiem, przez lata pracował na Uniwersytecie Jagiellońskim, gdzie założył Zakład Antropologii Społecznej. Mama, Maria Hernandez-Paluch – Hernandez to nazwisko po pierwszym mężu, Wenezuelczyku, ojcu mojej starszej przyrodniej siostry – była dziennikarką. Pisała dla „Tygodnika Powszechnego”, założyła też magazyn „Bez Dekretu”, gdzie publikowała pod pseudonimem Konrad Struga. Oczywiście wydawano go nielegalnie, więc często bywałyśmy nagabywane na ulicy, mamę regularnie aresztowano, ciągle śledziła ją Służba Bezpieczeństwa. Wpadali do domu i wywracali wszystko do góry nogami.

Chociaż dzieciństwo pozostaje dla mnie jak z mgłą, pamiętam z niego kady, jakie kojarzymy z filmów o Polsce tamtych czasów. W 1986 r. mama uznała, że ma tego dość. Nikomu nic nie mówiąc, zabrała mnie i siostrę na wycieczkę do Paryża i na miejscu powiedziała nam, że już nigdy nie wrócimy.

A co z tatą?

Został w Polsce, byli już wtedy rozwiedzeni. Później urodziła mu się córka z kolejnego związku, moja młodsza przyrodnia siostra.

Ponieważ byliśmy uchodźcami politycznymi, przez pierwszych kilka lat nie mogłam przyjeżdżać do Polski. Spotykałam się więc z tatą tylko... w Cambridge. On przyjeżdżał tutaj ze względu na współpracę z brytyjskimi naukowcami. Nie miałam pojęcia, że kiedyś sama będę tu pracować i żyć z własną rodziną.

Wtedy, gdy miała Pani 9 lat, musiała Pani przeżyć niezły szok na wieść, że nie wraca Pani do domu.

Tak, ale to była mieszanka emocji. Z jednej strony myślałam: co z babcią, tatą, przyjaciółmi? A z drugiej strony pamiętam, że od razu zakochałam się w Paryżu i nie mogłam uwierzyć, że naprawdę będę tu mieszkać. Oczywiście musiałam nauczyć się francuskiego, ale dla dzieci to w miarę łatwe. Bez trudu przystosowałam się też do tutejszego systemu edukacji. Z pewnością mówię dziś lepiej po francusku niż po polsku, i chyba kulturowo też jestem bardziej Francuzką. Choć mam swoje polskie nostalgije.

Jakie?

To zabawne, ale w miarę, jak się starzeje, wracam do korzeni, mimo że moi rodzice nie żyją już od prawie 20 lat i nie mam w Polsce zbyt wielu krewnych poza przyrodnią siostrą i ciocią z rodziną. Jak mam zły dzień, to idę sobie poprawić nastrój do polskiej restauracji w Cambridge. Na Wigilię cała moja międzynarodowa rodzina – mąż jest Amerykaninem, mamy też wśród krewnych Francuzów, Niemców i Polaków – razem lepi pierogi.

Za każdym razem, gdy przyjeżdżam do Krakowa, czuję w środku miłe ciepłko. Ale lubię mieszkać w Cambridge. Mam wielokulturową rodzinę, sama łączę w sobie doświadczenie życia w czterech krajach, dobrze mi w takim kosmopolitycznym środowisku. W świecie badawczym wynikają z tego same plusy, w świecie rzeczywistym – również.

Bycie uchodźczynią polityczną w latach 80. we Francji było raczej powodem do dumy niż stygmatem. Marzy mi się, byśmy na świecie znów zaczęły doceniać bogactwo płynące z różnorodności.

© Rozmawiała MARIA HAWRANEK

O naturze problemów filozoficznych

WOJCIECH SADY

**Zapytano mnie ostatnio,
czy problemy filozoficzne są rozwiązywalne.
A jeśli tak albo nie, to dlaczego?**

Na takie pytanie można odpowiedzieć krótko: nie istnieje zbiór problemów, które „ze swej istoty” byłyby filozoficzne. Gdyby takie istniały, to można by powiedzieć: dany system poglądów ma charakter filozoficzny, jeśli udziela odpowiedzi na dostatecznie liczne spośród takich a takich preegzystujących problemów.

Z drugiej strony w książkach, które w bibliotekach gromadzone są na regałach z napisem „filozofia”, można znaleźć wiele pytań, czemu zwykle towarzyszą próby udzielenia na nie odpowiedzi. Jak się w tym rozeznaczyć?

Przyjrzyjmy się jednemu z tego typu problemów.

Likwidacja, a nie rozwiązanie

W ramach arystotelesowskiej filozofii przyrody ruchy dzielono na naturalne i wymuszone. Ciała wykonują ruchy naturalne, poruszane niejako przez własną naturę. Jeśli podniosę – ruchem wymuszonym – ciężki przedmiot w górę, a następnie go upuszczę, spadnie on – ruchem naturalnym – w dół. Podobnie bąbelki powietrza w wodzie wznoszą się ruchami naturalnymi w górę. Wszystkie ruchy ciał w poziomie to ruchy wymuszone, wymagające stałego działania siły. Jedne ciała wywierają siłę na inne ciała tylko wtedy, gdy się z nimi stykają.

Przyswoiwszy sobie taki pogląd, kopię piłkę leżącą na ziemi. Wprawia ją to w ruch, który powinien ustać, gdy tylko piłka utraci kontakt z nogą. Tymczasem toczy się dalej. No i mamy problem, do którego filozofowie przyrody wracali przez następne dwa tysiące lat. Sam Arystoteles w IV w. p.n.e. sformułował, w dwu różnych wersjach, hipotezę poruszającej mocy powietrza. Jan Filoponos w VI w. n.e., a Jan Buridan i inni w XIV w. rozwijali teorię impetusu, siły nadanej poruszonemu ciału przez pierwotnego sprawcę ruchu, która czas jakiś ruch podtrzymuje.

Nigdy tego problemu w zadowalający sposób nie rozwiązano. Natomiast w XVII w. zbudowano teorię ruchów ciał opartą na zasadzie bezwładności. (Tę teorię uważamy za naukową, a już nie filozoficzną). W jej świetle kopnięta piłka z natury pozostaje w ruchu jednostajnym po linii prostej. Jeśli coś trzeba wyjaśnić, to to, dlaczego piłka zwalnia, a wreszcie się zatrzymuje, a także, dlaczego porusza się nie po prostej, a po części wielkiego okręgu opasującego Ziemię. Na to odpowie-

dziano, wprowadzając do obrazu świata siły oporu powietrza, grawitacji i sprężystości. W ramach systemu mechaniki klasycznej problem, który dręczył arystotelików, nie został rozwiązany, ale znikł.

A teraz pomyślmy o kibicach oglądających mecz piłkarski, którzy nigdy nie poznali ani arystotelesowskiej filozofii przyrody, ani fizyki klasycznej. Pytają się może, jak przełamać obronę przeciwnika, ale żadnemu nie przyjdzie do głowy pytać, dlaczego kopnięta piłka toczy się dalej, albo dlaczego spowalnia swój ruch. Żywią potoczne przekonanie, że tak jest i tyle. Powstało ono z przyzwyczajenia, a to, do czego się przyzwyczailiśmy, nas nie dziwi.

Jak dobrze pytać

Kolejny przykład pochodzi z historii fizyki. W 1900 r. Max Planck, a w 1905 r. Albert Einstein porównali wyniki analizy widma promieniowania termicznego ciał czarnych, dokonane najpierw z użyciem termodynamiki klasycznej, a następnie termodynamiki statystycznej. Pierwszy stwierdził, że energia rezonatorów absorbujących i emitujących promieniowanie jest całkowitą wielokrotnością pewnej stałej pomnożonej przez częstotliwość ich drgań własnych.

Drugi, że w pojedynczych aktach emisji i absorpcji światło zachowuje się tak, jakby było strumieniem cząstek o energii równej stałej Plancka pomnożonej przez częstotliwość, jaką światłu przypisuje teoria falowa. W ten sposób odkryto, powiemy dziś, kwanty energii. Ale wcześniej nikt nie pytał, czy energia rozkłada się w świecie w sposób ciągły, czy skwantowany. Nie można więc powiedzieć, że Planck i Einstein rozwiązali jakiś problem.

Dziś każdy student czy studentka zgłębiający podstawy mechaniki kwantowej znajdują w podręczniku wiele pytań dotyczących kwantów. Pytania te zadali autorzy podręczników, którzy wcześniej opanowali wykładaną teorię – bo tylko oni wiedzą, o co i w jaki sposób pytać. Te osoby, które podręcznikowe zadania – po okresie wytężonej nauki – rozwiążą, mogą zacząć same używać mechaniki kwantowej. Gdy laik pyta o kwanty, prawie zawsze fizycy stwierdzają, że zadał niewłaściwe pytanie. Zamiast odpowiedzieć, zaczynają objaśniać podstawy systemu, a tym samym to, jakiego rodzaju pytania w jego ramach są sensowne.

→



Samoorganizacja: czy świat umie nauczyć sam siebie nowej sztuczki?

DOŚĆ ŁATWO JEST SOBIE WYOBRAZIĆ zewnętrzną, odgórną siłę organizującą. Ot, generał rozstawiający oddziały zgodnie z *ordre de bataille*, burza miotająca liśćmi, procesor sterujący elektronami. Czy jednak armia, liście i elektrony same w sobie byłyby w stanie dogadać się i wykonać piękny, harmonijny taniec? Wygląda na to, że tak, owszem, czasem.

Nauka o samoorganizacji zajmuje się przypadkami, gdy jakiś system nie jest wyposażony w centralną jednostkę sterującą, a jednak zachowuje się w sposób globalnie uporządkowany. Czasem wyłania się w nim tak elegancki porządek, że wydaje się on wymagać jednej ręki sterującej. Maskotką teorii samoorganizacji jest klucz ptaków, w którym nie ma ptasiego generała, a tylko grupa całkowicie równorzędnych sobie ptaków organizujących się jednak spontanicznie w regularną formę klucza. Samoorganizują się też kryształy, prądy oceaniczne, no i oczywiście niezliczone inne istoty żywe, z których szczególnie spektakularnie robią to mrówki czy termity.

Wiele zjawisk społecznych powstaje właśnie w ten sposób. Koncerty i mecze potrafią aż tętnić od wspaniałych form samoorganizacji, ale nawet potężne ruchy społeczne i polityczne, którym lubimy przypisywać „założycieli”, w istocie wyłoniły się z potrzeby miliona serc. Serio, czy ktoś tak naprawdę wymyślił socjalizm? Przedrostek „samo-” jest tym bardziej oczywisty, im prostsze rozważamy układy. Nikt chyba nie przypuszcza, że pierwsza komórka żywa została zorganizowana zgodnie z planem? Świat w zasadzie nie robi nic innego, jak tylko się samoorganizuje. „Cudoorganizacja” to rzadki, wątpliwy wyjątek, a rola jednostki w dziejach jest niemal zawsze przesadzona. © ŁŁ

⇒ Problemy teoretyczne powstają więc wraz z systemami teoretycznymi. Umysły puste o nic nie pytają, poza może tym, jak się najeść czy ogrzać. Ci, którzy nie przeszli przez odpowiedni system edukacji, miewają problemy praktyczne, ale nie teoretyczne. Te drugie spotykamy przede wszystkim w podręcznikach naukowych i filozoficznych.

Na pytanie, które systemy są naukowe, da się odpowiedzieć prosto: naukowe jest to, co za takie uważa zdecydowana większość badaczy, zwłaszcza tych z pierwszych miejsc na listach cytowań. Nie ma pytań „ze swej istoty” naukowych. Naukowiec, który opanował pewien system teoretyczny, a system ten prowadzi go do badań i badania te ukierunkowuje, czasem zadaje pytania, zanim jeszcze pozna odpowiedź, ale dzieje się tak tylko w przypadkach badań standardowych, gdy z góry wiadomo, co się bada i jakich metod należy użyć.

Podobny charakter mają pytania, jakie w roli nauczyciela zadaje studentom na egzaminach. Gdy w trakcie badań powstają niespodzianki – jak we wspomnianym przypadku odkrycia kwantów energii – to można zadawać na ich temat sensowne pytania dopiero po uzyskaniu odpowiedzi.

Po co ten Platon

Na pytanie, które teksty uważamy za filozoficzne, odpowiedź jest bardziej złożona. Naukowcy uczą się z niedawno napisanych podręczników, a gdy już prowadzą samodzielne badania, czytają tylko najnowsze artykuły. W zasadzie obojętna jest im historia ich dyscyplin.

Filozofowie w nieporównanie większym stopniu zanurzeni są w historii. Jeśli przeglądamy bieżące publikacje filozoficzne, to wciąż natrafiamy na odniesienia do poglądów dawnych filozofów, a najwięcej z tych odnośników, komentarzy itd. robionych jest obecnie do dzieła Kanta (XVIII w.), a w dalszej kolejności do Platona i Arystotelesa (IV w. p.n.e.). Prowokuje to do pytania: skoro filozofowie nadal komentują teksty sprzed setek lat, to znaczy, że – w jaskrawym przeciwieństwie do nauk – w tej dyscyplinie nie dokonuje się istotny postęp.

Czyżby filozofia przypominała wielkie religie, wciąż opierające swe doktryny na Wedach, Tripitace, Biblii czy Koranie? Nie, bo filozofowie – w przeciwieństwie do teologów czy kapłanów – czytają prace swoich poprzedników w sposób krytyczny. Filozof religijny, który Biblię bądź Koran traktuje jako teksty objawione, nie uważa za autorytatywne koncepcji filozofów, z których korzysta. Wykorzystuje je wybiórczo, miesza jedno z drugimi, nie waha się dodawać własnych pomysłów. Filozofowie bywają też zaangażowani politycznie i pełno było takich na polskich uczelniach w latach 1945-1989. Na istnienie marksistów dogmatycznych, traktujących Marksa, Engelsa i Lenina jako niewzruszone autorytety, zapuścimy litościwą zasłonę milczenia. Ci bardziej twórczy, jako tzw. rewizjoniści, niemal nieuchronnie wchodzili w konflikt z socjalistyczną władzą.

Jak więc zostaje się „autentyczną” filozofką/filozofem? Od dwu i pół tysiąca lat dzieje się to tak samo. Czyta się teksty napisane przez filozofów, zwłaszcza tych z przeszłości, szukając po omacku czegoś „dla siebie”. Większość po pierwszych próbach porzuca filozoficzne lektury, są też tacy – nie wiedzieć dlaczego – których to wciąż, zwłaszcza dlatego, że natrafiają na myślicieli, z którymi wchodzi w „duchowy” rezonans. Wa-

runkowane jest to zapewne przez cechy osobowości danej osoby, te wrodzone i te nabyte.

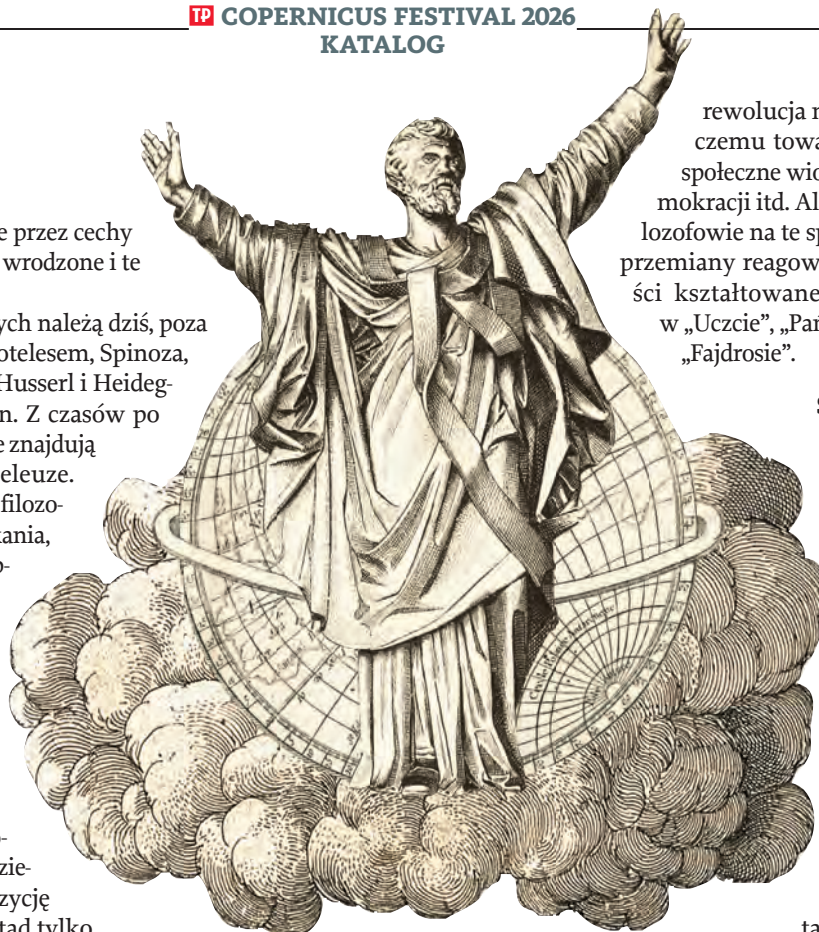
Do najczęściej wybieranych należą dziś, poza Kantem, Platonem i Arystotelesem, Spinoza, Hume, Hegel i Nietzsche, Husserl i Heidegger, Russell i Wittgenstein. Z czasów po II wojnie światowej na czele znajdują się Derrida, Foucault i Deleuze. Można teraz powiedzieć, że filozoficznymi nazywamy dociekania, które w dostatecznym stopniu przypominają – jeśli chodzi zarówno o treści, jak i o metody poszukiwań – to, co twierdzili filozofowie wymienieni przed chwilą. (Tych, którym poświęca się osobne rozdziały w standardowych podręcznikach historii filozofii, jest około sześćdziesięciu. Z kobiet solidną pozycję na tej liście zyskała jak dotąd tylko Hannah Arendt).

Na barkach olbrzymów

Ogólnie rzecz biorąc, powody wyboru „swojej” filozofii są podobne jak te, które decydują o wyborze „swojej” muzyki czy poezji. Jedni poprzestają na słuchaniu muzyki, inni w pewnym momencie – słuchając tego, co grają inni – zaczynają sami grać bądź komponować. W każdej bez wyjątku dziedzinie – w religii, filozofii, sztuce, nauce, technice, medycynie, rolnictwie itd. – zaczyna się od przyswojenia sobie dorobku poprzedników.

W przypadku filozofii zaczęło się to wszystko – a nikt nie wie, dlaczego – 2,5 tysiąca lat temu od dociekań jońskich filozofów przyrody i pitagorejczyków. Ta tradycja zanikała i ożywała na nowo, ale zachowała ciągłość. Wydawała z siebie odrębne nurty, które czasem łączyły się znowu w wielkie syntezy, a czasem z upływem lat oddalały się coraz bardziej. Gdyby jacyś przybysze z kosmosu, nieznający dziejów kultury, dostali do czytania dzieła Bertranda Russella i Jacques’a Derridy, nie zaliczyliby ich do tej samej dziedziny. Jeśli szukamy w tych dziełach problemów do rozwiązania, to chyba ani jeden nie będzie Russellowi i Derridzie wspólny. Tymczasem ustawiamy ich książki na tych samych regałach bibliotecznych. Czynimy to wyłącznie ze względu na wspólne historyczne dziedzictwo.

Alfred N. Whitehead stwierdził: „Najbezpieczniejszą ogólną charakterystyką europejskiej tradycji filozoficznej jest to, że składa się ona z szeregu przypisów do Platona” („Proces i rzeczywistość”, 1929). Przesadził, wiele się w ciągu dwudziestu czterech stuleci od śmierci Platona wydarzyło, co zostało wchłonięte do dzieł filozofów: powstało chrześcijaństwo, nastąpiła



rewolucja naukowo-techniczna, czemu towarzyszyły przemiany społeczne wiodące do liberalnej demokracji itd. Ale sposoby, na jakie filozofowie na te społeczne i kulturowe przemiany reagowali, były choć w części kształtowane przez idee obecne w „Uczcie”, „Państwie”, „Fedonie” czy „Fajdroście”.

Spór o wartości

A dlaczego, by wrócić do pytania wspomnianego na początku tego artykułu, te problemy filozoficzne, jakie wydobywamy z dzieł naszych poprzedników, nie doczekują się zadowolających odpowiedzi?

Po pierwsze, tradycja filozoficzna, w jakiej wyrastamy, pełna jest pytań o wartości. Z nauk

takie pytania wykluczono: naukowiec ma badać, jaki świat jest, nie wolno mu – w publikacjach naukowych – dodawać opinii o tym, jaki świat być powinien. Wielu filozofów uważało, że na pytania o wartości da się udzielić rozumnej odpowiedzi. Tymczasem systemy etyczne, jakie zaproponowali, przeczą jeden drugiemu, a nikt nie jest w stanie powiedzieć, jak spośród zgłoszonych propozycji mielibyśmy dokonać rozumnego wyboru.

Po drugie, adepci filozofii czytają zwykle różnych filozofów, a zatem ich myślenie – nawet jeśli uznają siebie za arystoteliaków czy wittgensteinistów – warunkowane jest nie przez jeden, ale przez wiele naraz filozoficznych systemów. Albo mają wykształcenie naukowe (Husserl i Russell ukończyli studia z matematyki, Wittgenstein cztery lata spędził na studiach inżynierskich itd.). Inni są zaangażowani społecznie, albo w ich życiu wielką rolę odgrywa obcowanie ze sztuką.

Tymczasem wszystko to się zmienia i adepci filozofii czytają dzieła dawnych myślicieli, mając inny naukowy obraz świata niż tamci, żyjąc w innych systemach społecznych, obcując z dziełami sztuki odmiennego rodzaju itd. Nie da się dziś, studiując Arystotelesa, myśleć o świecie jako o kuli z nieruchomą Ziemią w środku, otoczoną przez eteryczne sfery planetarne. Nie da się akceptować jego etyki jako przeznaczonej tylko dla greckich arystokratów płci męskiej (a zatem z wykluczeniem kobiet i traktowaniem osób wykonujących prace fizyczne jako ożywionych narzędzi).

A że wszystko w ludzkim świecie płynie i nie da się wejść dwa razy do tej samej rzeki, to proces adaptacji systemów filozoficznych do nowych czasów nie ma końca.

© WOJCIECH SADY



GŁÓWNE PASMA FESTIWALU

Wszystkie wydarzenia z głównych pasm odbywają się w Muzeum Inżynierii i Techniki przy ul. Św. Wawrzyńca 15 w Krakowie. Wstęp wolny. Transmisja na żywo na kanale youtube.com/CopernicusCenter. Wieczorne wykłady wygłoszone zostaną w języku angielskim i będą tłumaczone symultanicznie na język polski. Program może ulec zmianom. Aktualna wersja na copernicusfestival.com.

WTOREK, 19 MAJA

ŁAMANIE SYMETRII

14.30 – 15.30

Rozmowa: Serengeti, matecznik człowieka
Marta Osypińska, Piotr Osypiński
 Prowadzenie: Łukasz Kwiatek

Archeolog dr prof. Marta Osypińska i dr Piotr Osypiński prowadzą badania na równinie Serengeti w Tanzanii, w obrębie Wielkich Rowów Afrykańskich – regionie kluczowym dla badań nad ewolucją człowieka. To tu mogli żyć ludzie, którzy zastąpili neandertalczyków i denisowian w Eurazji. Porozmawiamy o tym, kim byli, jak żyli i czy ich ślady pozwalają zrozumieć, dlaczego to nasz gatunek opanował świat.

15.45 – 16.45

Rok w nauce: klimatologia
Szymon Malinowski

Według programu Copernicus rok 2025 był trzecim najcieplejszym w historii pomiarów, a średnia temperatura w latach 2022–2025 przekroczyła poziom sprzed epoki przemysłowej o 1,5°C. Prof. Szymon Malinowski, fizyk atmosfery i popularyzator wiedzy o klimacie, opowie o tym, na jakim etapie zmian klimatycznych dziś jesteśmy. Partnerem pasma Rok w nauce jest Narodowe Centrum Nauki.

17.00 – 18.15

Konfrontacje: Nowoczesne terapie nowotworów
Mirosława Püsküllüoğlu, Marcin Piejko
 Prowadzenie: Łukasz Kwiatek

Choroby nowotworowe należą do najczęstszych przyczyn zgonów, mimo postępów biologii i medycyny. Dla

czego tak trudno je leczyć? Jak działają nowoczesne terapie i jak wyniki badań trafiają do kliniki? W rozmowie wezmą udział dr Marcin Piejko, biotechnolog pracujący nad nowoczesnymi terapiami CAR-T, oraz dr hab. Mirosława Püsküllüoğlu, onkolożka kliniczna.

18.30 – 19.30

ERC Talk: Kryptografia w crypto
Stefan Dziembowski

Kryptografia, niegdyś skupiona na zabezpieczeniu komunikacji, dziś projektuje algorytmy i protokoły chroniące operacje cyfrowe. Jej rozwój przyspieszył wraz z sukcesem technologii blockchain. W swoim wykładzie prof. Stefan Dziembowski opowie o najciekawszych rozwiązaniach kryptograficznych ostatnich lat, inspirowanych tą technologią. Partnerem pasma jest Europejska Rada ds. Badań Naukowych (ERC).

19.45 – 21.15

Gala otwarcia
 Podczas naszej gali zaprezentujemy partnerów i sponsorów tegorocznej edycji festiwalu i posłuchamy rozmowy prof. **Bartosza Brożka** z prof. **Michałem Hellerem** o złożoności we wszechświecie – wprowadzi nas ona w tematykę, którą będziemy podejmować w kolejne dni festiwalu.

ŚRODA, 20 MAJA

STRUKTURA

14.30 – 15.30

Rozmowa: Na falach wszechświata
Dorota Gondek-Rosińska
 Prowadzenie: Łukasz Lamża

14 września 2015 r. eksperyment LIGO po raz pierwszy zarejestrował

fale grawitacyjne – zaburzenia czasoprzestrzeni powstałe przy zderzeniu czarnych dziur. Odkrycie to uhonorowano Nagrodą Nobla w 2017 r. W tych badaniach uczestniczyła prof. Dorota Gondek-Rosińska, z którą porozmawiamy o falach grawitacyjnych i informacjach, jakie niosą.

15.45 – 16.45

Rok w nauce: fizyka
Piotr Żuchowski

Prof. Piotr Żuchowski z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika specjalizuje się w zagadnieniach leżących na styku fizyki i chemii, m.in. w badaniach nad zachowaniem ultrazimnej materii. W swoim wykładzie opowie o najciekawszych eksperymentach i odkryciach na styku świata kwantowego i makroskopowego, istotnych zarówno dla rozwoju komputerów kwantowych, jak i dla poszukiwań nowej fizyki wykraczającej poza tzw. model standardowy cząstek elementarnych.

17.00 – 18.15

Konfrontacje
Granice wszechświata, granice fizyki
Sebastian Szybka, Michał Eckstein
 Prowadzenie: Tomasz Miller

Czy kosmos ma jakieś granice w przestrzeni i w czasie? Czy istnieją inne wszechświaty, tworzące wraz z naszym jakąś większą strukturę zwaną wieloświatem, i czy pytanie o wieloświat mieści się jeszcze w granicach fizyki? Czy nowe odkrycia na polu kosmologii oraz w podstawach mechaniki kwantowej zwiastują głęboki kryzys w fizyce, czy może długo wyczekiwana rewolucję? O granicach kosmologii, fizyki kwantowej i samej nauki porozmawiamy z kosmologiem relatywistą i fizykiem matematycznym specjalizującym się w informatyce kwantowej.



18.30 – 19.30

ERC Talk: Projekt OGLE

– od Planet Swobodnych do Pierwotnych Czarnych Dziur
Andrzej Udalski

Projekt OGLE jest wielkoskalowym, fotometrycznym przeglądem nieba, w ramach którego monitorowane są regularnie dwa miliardy gwiazd. Działa już od ponad trzydziestu lat i dostarcza regularnie przełomowych odkryć naukowych. Kierownik OGLE, prof. Andrzej Udalski, zaprezentuje najnowsze osiągnięcia projektu: od badań planet pozasłonecznych po poszukiwania tajemniczej ciemnej materii.

19.45 – 21.15

Wykład: Decoding the Cosmos (Rozszyfrowywanie kosmosu)
Hiranya Peiris

Sto lat temu odkryto istnienie innych galaktyk i rozszerzenie się Wszechświata – a w 1998 r., że ekspansja ta przyspiesza. Od tego czasu kosmologia rozwija się dzięki ścisłej współpracy teorii i obserwacji, prowadząc do modelu Lambda-CDM z tajemniczymi składnikami: ciemną materią i energią. Prof. Peiris z Uniwersytetu w Cambridge opowie o swojej drodze przez ten dynamiczny obszar badań oraz o tym, jak eksperymenty laboratoryjne pomagają testować nowe idee fizyki fundamentalnej. Patronem pasma Wykład jest Miasto Kraków.



CZWARTEK, 21 MAJA

ADAPTACJA

14.30 – 15.30

Rozmowa: Nieprawdopodobne prawdopodobieństwo

Tomasz Łuczak

Prowadzenie: Tomasz Miller

Na co dzień intuicyjnie posługujemy się pojęciem prawdopodobieństwa – ale co właściwie znaczy, że szansa deszczu jutro w południe wynosi 20 proc.? Jak prawdopodobieństwo definiują matematycy i czy istnieje jedno jego rozumienie? O tym porozmawiamy z matematykiem, prof. Tomaszem Łuczakiem specjalizującym się w kombinatoryce i strukturach losowych.

15.45 – 16.45

Rok w nauce: Ekonomia złożoności
Karolina Safarzyńska

Dzięki wzrostowi mocy komputerów ekonomiści zaczęli modelować zjawiska makroekonomiczne poprzez symulacje zachowań ogromnej liczby agentów – jednostek podejmujących decyzje. Prof. Karolina Safarzyńska opowie o najnowszych osiągnięciach modelowania wieloagentowego, w tym o projekcie symulującym działanie niemal wszystkich firm na świecie – narzędziu, które ma pomóc zapobiegać kryzysom gospodarczym.

17.00 – 18.15

Konfrontacje: Technologie przyszłości
Michał Krupiński, Marcin Molenda
Prowadzenie: Klaudia Żerańska

Nadprzewodniki w temperaturze pokojowej, niezawodne ogniwa słoneczne, ultrawydajne tranzystory – wciąż słyszymy o technologiach, które mają zmienić świat. Technoutopie jednak się nie spełniły. Gdzie są te obiecane rewolucje? Profesorowie fizyki i chemii porozmawiają o tym, co zawiodło – i co jeszcze może zadziałać.

18.30 – 19.30

ERC Talk: Zastosowania AI w nauce
Piotr Sankowski

AI nie zastąpi naukowców – ale naukowcy używający AI zastąpią tych, którzy tego nie robią – przekonuje prof. Piotr Sankowski, kierownik instytutu IDEAS.

Opowie o tym, jak sztuczna inteligencja stała się kluczowym narzędziem przyspieszającym badania w niemal każdej dziedzinie – i jakie otwiera możliwości.

19.45 – 21.15

Wykład: The Complex World (Złożony świat)
David Krakauer



Nauka opisuje rzeczywistość jako przede wszystkim fizyczną i chemiczną, używając niewielkiego zestawu praw. Na Ziemi jej część jest żywa – adaptuje się, działa celowo i wytwarza

znaczenia; to domena złożoności. Dyrektor Santa Fe Institute, David Krakauer, pokaże, jak nauka o złożoności wyłoniła się z rewolucji przemysłowej, integrując idee porządku zbiorowego, obliczeń i ewolucji. Opowie, dlaczego inteligencja jest niezbędną cechą systemów żywych, a emergencja – kluczem do zrozumienia złożonej rzeczywistości.

PIĄTEK, 22 MAJA

EWOLUCJA

14.30 – 15.30

Rozmowa: Wszystkie odcienie zieleni
Marta Kolanowska

Prowadzenie: Maria Hawranek

Lasy tropikalne należą do najbardziej bioróżnorodnych ekosystemów na Ziemi – w samej Amazonii opisano ok. 40 tys. gatunków roślin, a liczbę gatunków owadów szacuje się nawet na 2,5 mln. Prof. Marta Kolanowska przyczyniła się do lepszego poznania tego wyjątkowego regionu, opisując



→

kilkaset nieznanymi wcześniej gatunków roślin. Porozmawiamy z nią o sieciach ekologicznych zależności i próbach zrozumienia dżungli, której złożoność przypomina żywy superorganizm.

15.45 – 16.45

Rok w nauce: Biologia syntetyczna
Paweł Golik

Rok 2025 przyniósł postęp w badaniach nad sztucznym życiem. Usłyszeliśmy o zaprojektowaniu „od zera” genomu wirusa infekującego bakterie czy stworzeniu aktywnych biologicznie białek bakteryjnych, które nie przypominają żadnych innych spotykanych w naturze. Genetyk, prof. Paweł Golik, opowie o ekscytujących perspektywach oraz o wyzwaniach i zagrożeniach związanych z rozwojem biologii syntetycznej.

17.00 – 18.15

Konfrontacje: Czym właściwie jest życie?
Marek Kimmel, Szymon Drobnik
Prowadzenie: Mariusz Gogól

Jak na organizm patrzają bioinżynier i biolog systemów, a jak ornitolog i ekolog ewolucyjny?

Co sprawia, że organizm – konglomerat komórek i zachodzących między nimi procesów – zachowuje swoją tożsamość? Czy skoro w naszych ciałach znajduje się mniej więcej tyle samo komórek z naszym DNA, co z obcym, powinniśmy myśleć o sobie jako o symbiotycznej społeczności?

Nasi goście spróbują odpowiedzieć na jedno z kluczowych pytań filozofii biologii: czym jest życie?

18.30 – 19.30

ERC Talk: Architektura genów a nowotwory
Kinga Kamieniarz-Gdula

Nasze geny mają złożoną architekturę oraz alternatywne zakończenia. Wybór

końca genu, który zostanie wykorzystany w danej komórce, wpływa na jej prawidłowe funkcjonowanie. Niestety, błędny wybór może prowadzić do zamiany komórki zdrowej w nowotworową. Prof. Kinga Kamieniarz-Gdula wyjaśni, co nauka wie na ten temat, a gdzie nadal poszukujemy odpowiedzi.

19.45 – 21.15

Wykład: Why Shape Matters: How Cells Build Our Bodies (Dlaczego kształt ma znaczenie: jak komórki tworzą nasze ciało)
Ewa Paluch



Polsko-francusko-brytyjska biofizyczka, prof. Ewa Paluch z Uniwersytetu w Cambridge, bada kształt komórek – od czego zależy i jaką rolę odgrywa jego

zmiana w przemierzaniu się komórek po organizmie, co czasem prowadzi do chorób. W swoim wykładzie pokaże, jak połączenie fizyki, chemii i biologii pozwala zrozumieć architekturę komórek i tkanek, jak ta wiedza przekłada się na medycynę. I jak łączenie koncepcji z różnych dziedzin pomaga odpowiadać na najważniejsze pytania w nauce.

SOBOTA, 23 MAJA

POZNANIE

12.30 – 14.00

Czytamy naturę na żywo
Łukasz Lamża

Od 8 lat co poniedziałek na YouTube ukazuje się kolejny odcinek programu „Czytamy naturę”. Tradycyjnie kręcony jest w którejś krakowskiej kawiarni, ale odcinek #295 powstanie na żywo na scenie Copernicus Festival. To okazja dla widzów programu, by pomachać do kamery,

zadać trudne pytanie, porozmawiać o nauce – i przybić piątkę z prowadzącym.

14.30 – 15.30

Rozmowa: Po co nam dzisiaj filozofia?
Wojciech Sady

Prowadzenie: Jędrzej Grodniewicz

Od kiedy powstała nauka, filozofia była traktowana podejrzliwie. Podczas gdy nauka napędza postęp technologiczny i zmienia nasze życie, filozofowie zdają prowadzić te same, niekończące się debaty. Czy to jednak uczciwy obraz filozofii? Jaką rolę odgrywa ona dziś? Czy nauka jej potrzebuje — czy ludzie mogą się bez niej obejść? M.in. o to zapytamy prof. Wojciecha Sadego, autora książek o relacjach nauki, religii i filozofii oraz kanału YouTube z wykładami.

15.45 – 16.45

Rok w nauce: Neurobiologia
Leszek Kaczmarek

Zespół prof. Leszka Kaczmarka z Instytutu Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego PAN bada związek mózgu i umysłu na wszystkich poziomach jego organizacji – od molekularnego, przez komórkowy i sieciowy, po zachowanie – zarówno w zdrowiu, jak i w chorobie. W swoim wykładzie prof. Kaczmarek opowie o najnowszych postępach i kierunkach badań nad molekularnymi podstawami funkcjonowania umysłu, takimi jak odkrycie roli enzymu MMP-9 w plastyczności neuronalnej i synaptycznej, a także uczeniu się, pamięci i rozwojowi wielu zaburzeń.

17.00 – 18.15

Konfrontacje: Małe mózgi, duże mózgi
Aneta Brzezicka, Milena Damulewicz
Prowadzenie: Paweł Boguszewski

Neuronaukowcy dysponują szeregiem technik umożliwiających śledzenie aktywności mózgu, a nawet manipulowanie nią na żądanie. Pojawiają się



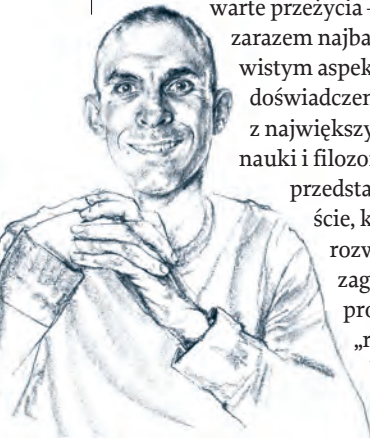
także coraz dokładniejsze mapy mózgu. W rozmowie wezmą udział badaczki zajmujące się bardzo różniącymi się na pozór mózgami: człowieka i muszki owocowej. Jaki charakter mają te różnice? Czy tylko duże mózgi pozwalają na złożone zachowanie? I dlaczego, by zrozumieć mózg człowieka, musimy bardzo dokładnie poznać mózg owada?

18.30 – 19.30
ERC Talk: Proporcjonalny budżet obywatelski
Piotr Skowron

Prof. Piotr Skowron wykorzystuje narzędzia matematyki, informatyki i ekonomii do rozwiązywania problemów społecznych i politycznych. Jednym z nich jest głosowanie nad budżetem partycypacyjnym i sprawiedliwe rozdysponowanie środków. W wykładzie pokaże, dlaczego obecne metody liczenia głosów mają wady, oraz jak matematycznie zdefiniować sprawiedliwość i zaprojektować system głosowania, który będzie zarówno efektywny, jak i sprawiedliwy.

19.45 – 21.15
Wykład: What is consciousness, and could AI have it? (Czym jest świadomość i czy może ją mieć sztuczna inteligencja?)
Anil Seth

Świadomość sprawia, że życie jest warte przeżycia – jest zarazem najbardziej oczywistym aspektem naszego doświadczenia i jedną z największych zagadek nauki i filozofii. Prof. Seth przedstawi podejście, które zamiast rozwiązywać tę zagadkę wprost, próbuje ją „rozpuścić”, budując mosty między



biologią a doświadczeniem. Zastanowi się także, jak szeroko świadomość może występować poza ludźmi.

NIEDZIELA, 24 MAJA

RELACJE

14.30 – 15.30
Rozmowa: Epoka mamutów
Jarosław Wilczyński
 Prowadzenie: Margit Kossobudzka

Prof. Jarosław Wilczyński jest archeologiem i archeozoologiem, kieruje badaniami stanowisk archeologicznych w Europie Środkowej zawierających nagromadzenie szczątków. Porozmawiamy z nim o sposobie życia mamutów i odczytaniu z ich kości historii zarówno tych zwierząt, jak i naszych przodków.

15.45 – 16.45
Rok w nauce: Paleoantropologia
Katarzyna Kaszycka

Prof. Katarzyna Kaszycka prowadziła badania w miejscu nazywamy Kulebka Ludzkości na południu Afryki, gdzie odkryto wiele skamieniałości hominidów – m.in. pierwsze okazy opisane jako *A. africanus*, *A. sediba*, *P. robustus* i *H. naledi*. W swoim wykładzie dokona przeglądu najciekawszych ostatnich odkryć w paleoantropologii, które rzucają m.in. światło na to, kim byli denisowianie.

17.00 – 18.15
Konfrontacje: Czy mamy do czynienia z kryzysem relacji?
Magda Śmieja, Łukasz Okruszek
 Prowadzenie: Jędrzej Grodniewicz

Pandemia zamknęła nas w domach, z których nawet po jej ustaniu coraz rzadziej wychodzimy, by wchodzić w interakcje z innymi ludźmi. Bezpośrednie spotkanie często zastępujemy technologią. Prof. Magda Śmieja, badaczka bliskich związków,

i prof. Łukasz Okruszek, specjalizujący się w psychologicznych aspektach samotności, zastanowią się nad tym, czy mamy do czynienia z kryzysem bliskich relacji i czy – a także czym – grozi nam epidemia samotności.

18.30-19.30
ERC Talk: Po co nam różnorodność językowa?
Justyna Olko

Czy wielość języków to przekleństwo wieży Babel czy cenny zasób ludzkości? Co łączy utratę bioróżnorodności z wymieraniem języków – i czy da się te procesy zatrzymać? Na te pytania odpowie prof. Justyna Olko w wykładzie o wielojęzyczności i zagrożonej różnorodności językowej. Porozmawiamy o językach odległych społeczności, ale też tych, które wciąż można usłyszeć w różnych częściach Polski.

19.45-21.15
Wykład: A New History of Homo sapiens (Nowa historia Homo sapiens)
John Hawks



Ludzkość ma afrykańskie pochodzenie. Najnowsze odkrycia oparte na analizach DNA pokazują, że współcześni ludzie krzyżowali się z neandertalczykami i denisowianami. Najświeższe wyniki wskazują też

na głębokie i złożone mieszanie się różnych populacji w samej Afryce u zarania dziejów człowieka. Inne gatunki, bardzo odmienne od naszego, współistniały tam obok naszych przodków. Wykład prof. Hawksa poprowadzi nas przez najnowsze odkrycia kopalne i badania DNA w poszukiwaniu odpowiedzi na pytanie o początki człowieka.



PASMA DODATKOWE

Wszystkie wydarzenia odbywają się w Krakowie i są darmowe.
Na warsztaty obowiązują zapisy. Więcej informacji na copernicusfestival.com

MĄDRA KSIĄŻKA

GAŁA KONKURSU

20 MAJA, godz. 16-18
Aula Collegium Novum UJ,
Gołębia 24

Rozstrzygniemy konkursy na Mądrą Książkę Roku 2025 i Mądrą Książkę 2025 dla dzieci, nagrodzimy zespoły uczniów liceum za najlepsze przygotowane reklamy książek i posłuchamy rozmowy Łukasza Lamży z Dawidem Myśliwcem (twórcą kanału „Uwaga! Naukowy bełkot”) na temat współczesnych wyzwań popularyzacji nauki.

WARSZTATY

ZWIEDZANIE OBSERWATORIUM ASTRONOMICZNEGO

20 MAJA, godz. 13,
Obserwatorium
Astronomiczne UJ, Orla 171
Prowadzący: Tomasz Kundera,
Elżbieta Kuligowska

Uczestnicy poznają historię badań kosmicznych, współczesne kierunki badań astrometrycznych oraz instrumenty astronomiczne. Wejdą do kopuły obserwacyjnych, gdzie znajdują się profesjonalne teleskopy, oraz obejrzą z bliska 15-metrowy radioteleskop. Przy sprzyjającej pogodzie w planie także bezpieczne obserwowanie tarczy Słońca przez teleskop z filtrem.

WIECZORNE OBSERWACJE NIEBA

20 MAJA, godz. 20,
oraz **21 MAJA, godz. 20,**
Obserwatorium
Astronomiczne UJ,
Orla 171

Głównym instrumentem wykorzystywanym podczas zajęć będzie teleskop zwierciadlany o średnicy 37 cm, pozwalający uzyskać szczegółowe obrazy obiektów astronomicznych. Użyjemy go do obserwacji gwiazd, planety

Wenus i Księżycy, na którym zobaczycie krater, morza księżycowe i łańcuchy górskie. Uczestnicy nauczą się również rozpoznawać podstawowe gwiazdozbiory widoczne na wiosennym niebie i korzystają z map nieba.

SPRAWDZAM TO! WARSZTATY FACT-CHECKINGU: JAK NIE DAĆ SIĘ DEZINFORMACJI

21 MAJA, godz. 10-12,
Muzeum Inżynierii i Techniki
(Św. Wawrzyńca 15),
pawilon D (poziom +1)
Prowadzenie: Marta Zabłocka

Warsztaty zorganizowane przez Polską Agencję Prasową pokazują, jak wygląda profesjonalna weryfikacja informacji. Uczestnicy zobaczą, jak fact-checkerzy PAP pracują z danymi, obrazami, narracjami i błędami poznawczymi, które kształtują nasze postrzeganie rzeczywistości.

PRACA GEOLOGA OD KUCHNI – WIZYTA W LABORATORIACH INSTYTUTU NAUK GEOLOGICZNYCH UJ

21 MAJA, od godz. 10
(zaplanowano sześć 45-minutowych tur dla uczestników),
Instytut Nauk Geologicznych UJ,
Gronostajowa 3a (parter)
Prowadzenie:
Adam Wierzbicki,
Aleksander Majchrzyk

Jak wygląda praca geologa – od wydobywania skały z ziemi aż po zaawansowane analizy naukowe? Podczas wizyty zajrzycie do naszych laboratoriów badawczych. Dowiedziecie się, jak przygotowujemy próbki geologiczne do badań oraz jakie techniki stosuje się, by wydobyć z nich jak najwięcej informacji o historii Ziemi. Będziecie mieli okazję zobaczyć skamieniałości sprzed milionów lat i fascynujące minerały.

CZYM JEST KOLOR? O ZŁOŻONOŚCI BARW W PRZYRODZIE

23 MAJA,
godz. **12.30-13.30** i **14-15.**
Centrum Edukacji Przyrodniczej UJ,
Gronostajowa 5
Dla dorosłych, młodzieży,
rodzin z dziećmi
(od 6. roku życia)

Przyjrzymy się kolorom w przyrodzie jako efektowi złożonych procesów, w których spotykają się biologia, fizyka i ewolucja. Odkryjemy, że to, co widzimy jako prosty kolor, jest w rzeczywistości wynikiem wielu nakładających się mechanizmów – od pigmentów, przez mikroskopowe struktury, aż po sposób, w jaki światło oddziałuje z materią. Sprawdzimy, jak łatwo nasze oczy i mózg mogą dać się oszukać – i jak iluzje optyczne pokazują, że to, co widzimy, nie zawsze jest tym, czym się wydaje.

Obserwatorium Astronomiczne UJ w Krakowie





PANELE EKSPERCKIE

Muzeum Inżynierii i Techniki w Krakowie, Św. Wawrzyńca 15 (pawilon D, poziom +1)
 Panele eksperckie adresowane są do przedstawicieli środowiska akademickiego.

SESJE ERC

19 MAJA:

Science and groundbreaking research

Posłuchamy o tym, czym są przełomowe badania, jak dokonuje się ich ewaluacji oraz o tym, jak tworzyć projekty grantów ERC skoncentrowane na ważnych pytaniach.

godz. 14.30-16

Panel Discussion: What does groundbreaking research really mean?

Leszek Kaczmarek, Stylianos Lefkopoulos, Róża Szweda, Krzysztof Szade

godz. 16.15-18.15

Short Expert Talks: How to build an ERC project around a strong scientific question

Michał Tomza, Ewa Chrostek, Paweł Nowakowski

Panel Discussion: How is groundbreaking potential evaluated?

Moderator: Michał Tomza
 Paneliści: Alicja Józkowicz, Bronisław Rudak, Agata Nalborczyk, Joanna Odrowąż-Sypniewska

20 MAJA: Career Paths

Laureaci grantów ERC podzielą się swoimi doświadczeniami związanymi z konstrukcją projektów badawczych. Porozmawiamy także o rozwoju umiejętności zarządzania zespołami naukowymi.

godz. 14.30-16

ERC Testimonials: Different paths to ERC

Artur Obłuski, Anna Siekierka, Sławomir Porada, Łukasz Bola, Krzysztof Szade

godz. 16.15-17.45

Panel Discussion:

CV and Track Record in ERC evaluation

Moderator: Paweł Dydio
 Paneliści: Stefan Dziembowski, Małgorzata Filip, Robert Hołyst, Ewa Gruszczynska

godz. 18-18.30

Program LIDER UP:

szansą na rozwój kompetencji młodych naukowców

SESJE NCBR

21 MAJA, godz. 15-16

Panel: Młodzi liderzy polskiej nauki – poświęcony programowi LIDER Marek Kacprzak, Małgorzata Kostrzewa, Michał Grega, Paweł Bałon

godz. 16-16.15

Uczenie się przez całe życie – możliwości wsparcia uczelni z Funduszy Europejskich Marzena Durkiewicz-Sirocka

godz. 16.15-17.15

Panel: Drop-out studentów – jak ich zatrzymać? Marek Kacprzak, Marzena Durkiewicz-Sirocka, Magdalena Nowak

SESJA NCN

22 MAJA, godz. 14.30-15.30

Badania podstawowe, realny wpływ

Mateusz Hohol, Dominik Kaim, Kinga Kamieniarz-Gdula, Urszula Stachewicz

Podczas sesji rozmawiać będziemy o tym, jak projekty prowadzone z pobudek poznawczych wpływają na gospodarkę i życie społeczne, dlaczego trudno z góry przewidzieć, do czego doprowadzą, oraz dlaczego warto finansować naukę, która nie obiecuje gotowego produktu.

STREFA KAMPUS

22 MAJA, godz. 10-17

III Kampus Uniwersytetu Jagiellońskiego, Gronostajowa 7

Strefa Kampus to wydarzenie skierowane przede wszystkim do uczniów szkół podstawowych oraz ponadpodstawowych, ciekawych świata i chcących lepiej zrozumieć jego złożoność. W programie przewidujemy również udział rodziców z dziećmi, a na wybrane wydarzenia wieczorne (pokaz filmowy) zapraszamy wszystkich zainteresowanych, niezależnie od wieku. Zaplanowane zostały cztery strefy tematyczne: Chaos, Struktura, Sieć, Enigma, a w programie znajdują się różnorodne formy aktywności: warsztaty, wykłady oraz pokazy umożliwiające kontakt z nauką w praktyce. Wydarzenia zainauguruje (o godz. 10) wykład Karola Życzkowskiego „Dlaczego komputer kwantowy (jeszcze) nie działa?”.

PASMO FILMOWE

Kino Mikro, Juliusza Lea 5

20 MAJA, godz. 22

Jesteś wszechświatem

(reż. Pawło Ostrikow, Belgia, Ukraina 2024, 101')

Andriy Melnyk jest w trakcie kosmicznej misji na księżyc Jowisza – Callisto. Na jego oczach dochodzi do ogromnej eksplozji, w wyniku której Ziemia zostaje zniszczona.

21 MAJA, godz. 22

Stan wyjątkowy

(reż. Jan Hřebejk, Czechy 2024, 100')

Złośliwie o mediach, czule o miłości, zabawnie o wszystkim – tak potrafi tylko Jan Hřebejk! Tym razem reżyser podejmuje bardzo aktualny temat, jakim jest szerząca się dezinformacja czy fake newsy.

22 MAJA, godz. 22

Serce dębu

(reż. Laurent Charbonnier, Michel Seydoux, Francja 2022, 80')

Od ponad dwustu lat w środku lasu rośnie majestatyczny dąb. Ten widowiskowy film ma niezwykłą obsadę: wiewiórki, ryjkowce, sójki, mrówki, myszy polne, które w drzewie znajdują schronienie i pożywienie.

23 MAJA, godz. 22

Agent szczęścia

(reż. Arun Bhattarai, Dorottya Zurbó, Węgry, Bhutan 2024, 93')

Czy szczęście można zmierzyć? Czy dążenie do niego może być również szczęściem? W tej ciepłej komedii dokumentalnej król Bhutanu bada poziom szczęścia poddanych.

DYSKUSJA

22 MAJA, godz. 13

Muzeum Inżynierii i Techniki, Św. Wawrzyńca 15

Miasto, nauka i biznes:

sojusz z rozsądkiem czy związek z wyborem?

Prowadzenie: Bogna Halska-Pionka

Ekspertki z Urzędu Miasta Krakowa i ich goście porozmawiają o tym, co sprzyja rozwojowi innowacyjnych miast.

Dzień, który nie miał wczoraj

SEBASTIAN J. SZYBKA

Najstarszego obrazu świata nie znajdziemy w muzeum. Jest nim mapa kosmicznego promieniowania tła, przedstawiająca wszechświat 380 tys. lat po Wielkim Wybuchu.

Antykwariat, targ staroci, muzeum. Magia minionych czasów i dni, które przeminęły, zamknięta w tym, co po nich pozostało. Stare zdjęcia, przedmioty codziennego użytku, książki. Poruszając się wstecz na linii czasu, dotrzemy przez starożytność do figurki Wenus z Willendorf, malowideł naskalnych z Lascaux, a nawet dalej, do czasów, gdy po świecie nie chodziły jeszcze człecokształtne małpy.

Przebiegamy dni, których nikt nie odliczał, a nawet takie, którym nie przyświecało Słońce. Opuszczając tereny badań historyków, antropologów i geografów, docieramy do świata astronomów i kosmologów. Na końcu tej wędrówki znajduje się początek – „dzień, który nie miał wczoraj”.

Żyjemy w czasach rozkwitu kosmologii – nauki o wszechświecie jako jednym wielkim układzie fizycznym. Nieustający strumień danych obserwacyjnych konfrontuje nasze matematyczne modele z rzeczywistością.

Wszechświat narodził się 13,8 mld lat temu w Wielkim Wybuchu. Od tego momentu przestrzeń ekspanduje, a galaktyki oddalają się od siebie. Artefaktów dnia pierwszego nie trzeba szukać w muzeach. Kawa, którą wypiliśmy dzisiaj rano, zawiera cząsteczki wody, a zatem i pierwotny wodór. Atom wodoru składa się z protonu i elektronu. Choć oba składniki połączyły się po raz pierwszy dopiero trzysta osiemdziesiąt tysięcy lat po Wiel-

kim Wybuchu, to powstały już w pierwszych chwilach istnienia wszechświata.

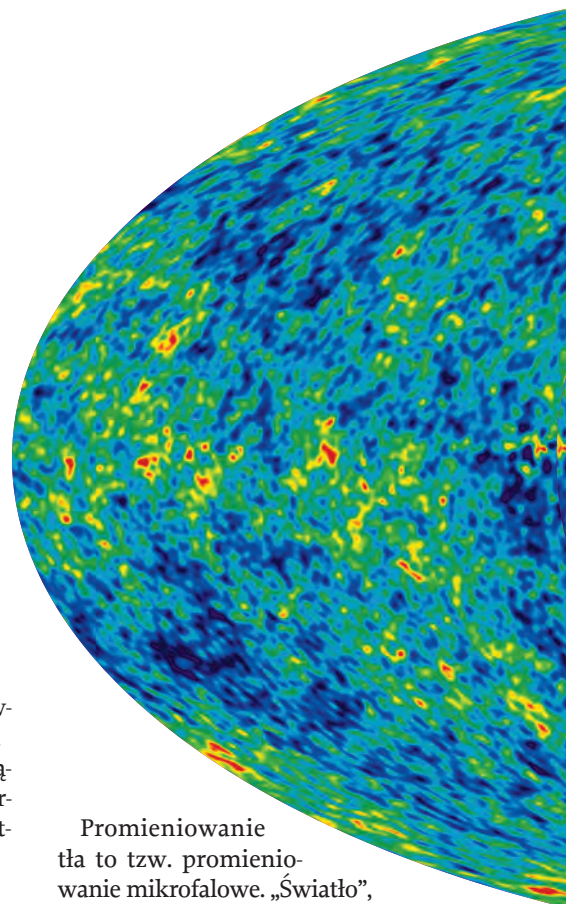
Blisko dwie trzecie atomów znajdujących się w naszym ciele to właśnie pierwotny wodór, artefakt z początków istnienia wszechświata.

Pamiętki z wczesnego wszechświata

Lekkie pierwiastki, takie jak wodór, hel i lit, to nie jedyne pamiętki z wczesnego wszechświata. Albert Einstein wykazał, że w przyrodzie istnieje pewna uniwersalna prędkość, którą utożsamia się z prędkością światła w próżni. Skoro światło rozchodzi się ze skończoną prędkością, to odległe, świecące obiekty – takie jak gwiazdy – oglądamy takimi, jakimi były kiedyś.

Ta niezwykła cecha świata pozwala zaglądać w przeszłość nie tylko w przenośni, ale zupełnie dosłownie. Obserwacje odległych obiektów ukazują wszechświat takim, jakim był dawniej. Astronomowie stoją wśród badaczy przeszłości na pozycji uprzywilejowanej, gdyż nie muszą odczytywać minionych wydarzeń z zapisków historycznych, lecz mogą je najzwyczajniej w świecie sfotografować. Używając tej metody, można sięgnąć aż do 380 tys. lat po Wielkim Wybuchu.

Wbrew powszechnej opinii, najstarszym zachowanym obrazem minionego świata nie jest fotografia „Widok z okna w Le Gras” Josepha Nicéphore’a Niépce’a z 1826 r., lecz wykonana współcześnie mapa kosmicznego promieniowania tła.

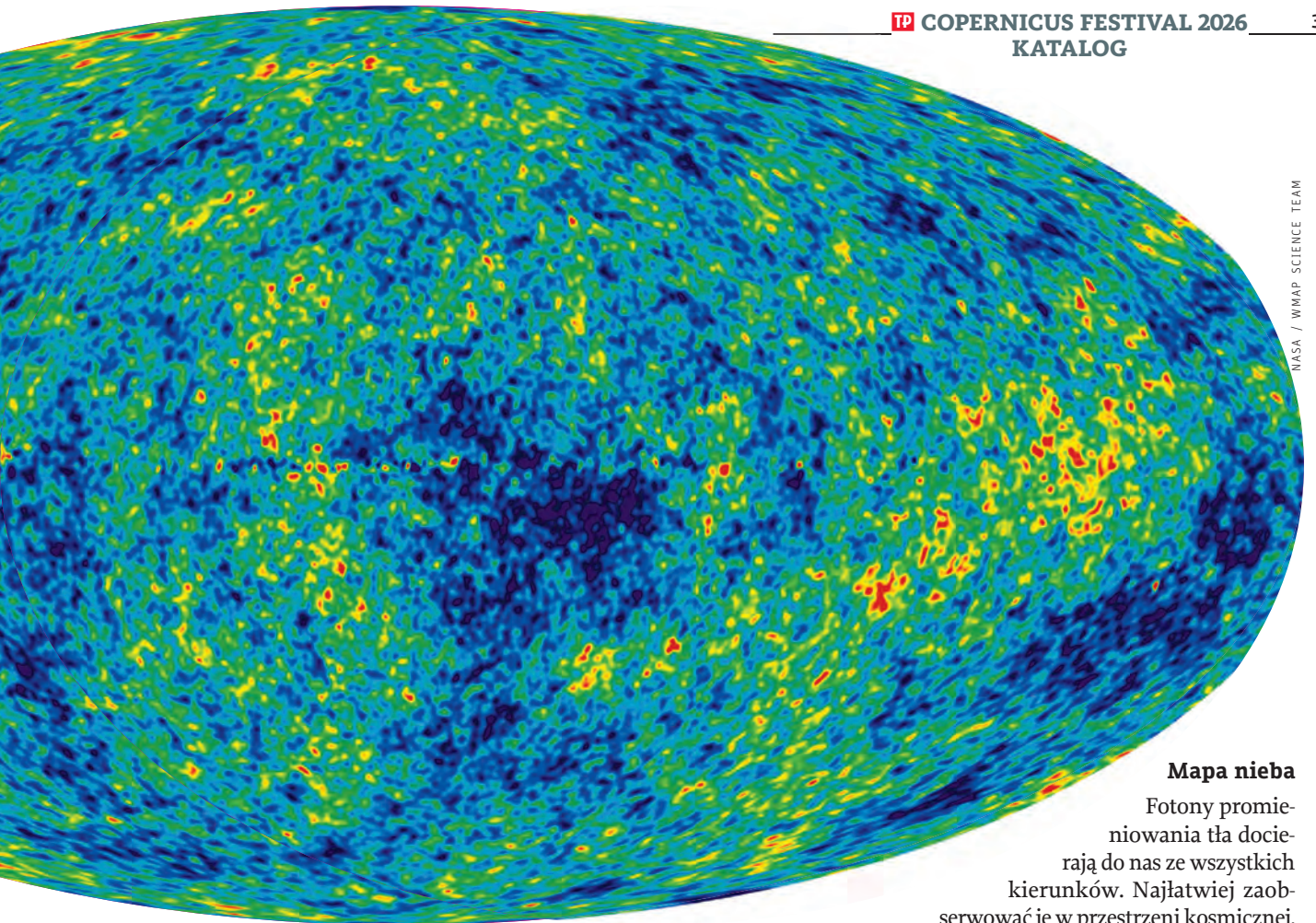


Promieniowanie tła to tzw. promieniowanie mikrofalowe. „Światło”, „fale radiowe” czy „promieniowanie mikrofalowe” to terminy techniczne określające różne rodzaje fal elektromagnetycznych. O promieniowaniu elektromagnetycznym możemy też mówić w języku mechaniki kwantowej, w ramach której fale te można utożsamiać z cząstkami zwanymi fotonami. Różnica pomiędzy światłem a promieniowaniem mikrofalowym nie jest fundamentalna, lecz związana z energią przypisywanych im fotonów.

Początek był wszędzie

Wielki Wybuch nie zaszedł gdzieś w przestrzeni kosmicznej. Wielki Wybuch był wszędzie. Skoro wszechświat ekspanduje, a przestrzeni przybywa, to gęstość materii wypełniającej wszechświat musiała być dawniej większa. Wczesny wszechświat przypominał gęstą zupę pierwotnej plazmy i nie był przezroczysty dla promieniowania. Dlatego nie możemy bezpośrednio podglądać, co tam się działo, tak jak nie da się spojrzeć na dno talerza wypełnionego żurkiem.

Około 380 tys. lat po Wielkim Wybuchu (to niewiele w porównaniu do wieku wszechświata!) wszechświat rozszerzył się na tyle, że stał się przezroczysty i od-



NASA / WMAP SCIENCE TEAM

Mapa nieba

Fotony promieniowania tła docierają do nas ze wszystkich kierunków. Najłatwiej zaobserwować je w przestrzeni kosmicznej, gdy w obserwacjach nie przeszkadza Ziemia i jej atmosfera. Można nawet pokusić się o wykonanie mapy temperatury promieniowania tła całej sfery niebieskiej. Podobnie jak to się robi w przypadku powierzchni Ziemi, taką mapę można rzutować na kartkę i przedstawić jako dwuwymiarowy płaski obraz, kolorując na przykład miejsca zimniejsze jako niebieskie, a gorętsze jako czerwone.

Temperatura promieniowania tła jest bardzo jednorodna, więc w pierwszym przybliżeniu otrzymamy zwyczajną jednokolorową plamę. Jeśli jednak temperaturę promieniowania tła zmierzmy bardzo dokładnie, uwzględniając różnice rzędu tysięcznych procenta, i przypiszemy różne kolory nawet tak drobnym zmianom, to obraz, który otrzymamy, stanie się niesamowicie ciekawy. Zobaczymy struktury o różnej wielkości.

Struktury te określa się mianem anizotropii promieniowania tła (słowo „anizotropia” oznacza zależności od kierunku). Istnieją dwie główne przyczyny powstawania anizotropii. Po pierwsze, kosmiczna plazma w chwili, gdy fotony promieniowania tła zostały uwolnione, ↪

tąd fotony mogły podróżować prawie swobodnie. Ten okres w historii wszechświata określa się mianem epoki rekombinacji lub ostatniego rozproszenia.

Współczesna fizyka odrzuciła pojęcie przestrzeni absolutnej, którą wyobrazić sobie możemy jako wielką, pustą scenę, na której rozgrywa się akcja wszechświata. Dlatego o naszym miejscu we wszechświecie mówimy tylko w sposób przybliżony. Fotony uwolnione podczas rekombinacji z naszej okolicy rozbiegły się we wszystkie strony i docierają obecnie do bardzo odległych zakątków wszechświata. Analogicznie, fotony uwolnione podczas rekombinacji w odległych obszarach docierają teraz do nas ze wszystkich możliwych kierunków.

W każdej sekundzie przylatują nowe fotony. Zostały one uwolnione w podobnym czasie jak te, które obserwowaliśmy chwilę wcześniej, lecz w nieznacznie większej odległości. Nieustannie oświetla nas mikrofalowy poblask, pozostałość po czasach, gdy wszechświat był znacznie bardziej gęsty i gorący.

Mapa temperatury kosmicznego promieniowania tła wykonana na podstawie pomiarów misji WMAP. Obecnie różnice temperatur są minimalne, sięgają tysięcznych części procenta. Ale ich rozkład niesie informacje o bardzo wczesnym wszechświecie.

Energię fotonów można powiązać z temperaturą. W chwili, gdy zostały one uwolnione, temperatura wszechświata była mniej więcej dwukrotnie niższa niż temperatura powierzchni Słońca. Od tego czasu energia fotonów zmniejszyła się ponad tysiącrotnie. Stało się to wskutek ich podróży przez ekspandującą przestrzeń, a efekt ten określa się mianem kosmologicznego przesunięcia ku czerwieni – fale elektromagnetyczne odpowiadające fotonom zostały rozciągnięte (im krótsza długość fali, tym foton ma większą energię).

Fotonów promieniowania tła nie można obecnie dostrzec gołym okiem – ich zakres energii odpowiada niewidocznym dla nas mikrofalom.

→ nie była jednorodna. Przypuszcza się, że załączkiem pierwotnych niejednorodności były fluktuacje kwantowe – fundamentalne zjawisko wynikające z praw fizyki rządzących światem w najmniejszej skali.

Drugie źródło anizotropii stanowi oddziaływanie fotonów promieniowania tła z wszechświatem, z tym, co napotykały one na swojej drodze. Mapa promieniowania tła przypomina zdjęcie rentgenowskie złamanej nogi, tyle że zamiast nogi prześwietlony został cały, dostępny obserwacjom w falach elektromagnetycznych, wszechświat. Nietrudno domyślić się, że taka mapa jest najcenniejszym źródłem informacji o nim.

Gdy patrzemy na zwykłą mapę Ziemi, najbardziej interesują nas szczegóły: ciekawe zatoczki, miasta czy pasma górskie. Mapę promieniowania tła analizuje się inaczej. Najcenniejsza informacja zawarta jest w statystycznych właściwościach anizotropii. Jak duże są obszary o odmiennej niż średnia temperaturze?

Wczesny wszechświat przypominał gęstą zupę pierwotnej plazmy

i nie był przezroczysty dla promieniowania. Dlatego nie możemy bezpośrednio podglądać, co tam się działo.

Jak intensywność anizotropii zależy od ich rozmiarów?

Co mówi matematyka

Początki modelu kosmologicznego sięgają lat 20. XX w. Matematyczny model wszechświata skonstruowano w ramach teorii grawitacji Einsteina. Przed Einsteinem czas i przestrzeń uważano za nieruchomą, bierną scenę, na której dzieją się zjawiska fizyczne. W teorii Einsteina czas i przestrzeń to coś zmiennego i dynamicznego, oddziałującego z zanurzonymi w nich obiektami według precyzyjnie określonego zestawu równań. Językiem tej teorii można opisać zakrzywienie czasu i przestrzeni spowodowane przez Słońce, ale też przestrzeń całego wszechświata i jej ewolucję.

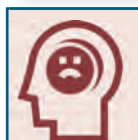
Wbrew oczekiwaniom Einsteina, jego matematyczna teoria pozostawiła pewną swobodę: wolne parametry, których wartość należy oszacować na podstawie obserwacji. Jeśli poznamy te parametry, to będziemy mogli przewidzieć dalszą ewolucję wszechświata oraz sprawdzić, co poza świecą materią wypełnia wszechświat.

Głównym zadaniem kosmologii obserwacyjnej jest wyznaczenie wartości tych parametrów. Najważniejszym z nich jest tzw. stała Hubble'a, która określa, jak prędko, w chwili obecnej, rozszerza się wszechświat.

Parametry kosmologiczne odczytuje się z obserwacji astronomicznych, które określają wielkoskalową ewolucję wszechświata. Przykładowo, obserwując pewną klasę eksplozji gwiazd – supernowe typu Ia – można dowiedzieć się, jak prędko oddalają się od nas inne galaktyki, a tym samym wyznaczyć stałą Hubble'a. Metoda ta opiera się na uniwersalności wybuchu supernowych typu Ia – potrafimy oszacować ich absolutną jasność.

Porównując tę jasność z jasnością obserwowaną, możemy oszacować odległość (tzw. odległość jasnościową). Mierząc niezależnie przesunięcie ku czerwieni dla każdej supernowej typu Ia, otrzymujemy parę liczb – odległość jasnościową i przesunięcie ku czerwieni. Relacja pomiędzy nimi, odczytana z wielu supernowych na różnych odległościach, porównana z przewidywaniami modelu, pozwala wyznaczyć stałą Hubble'a.

Inny sposób na wyznaczenie stałej Hubble'a i pozostałych parametrów kosmologicznych wykorzystuje analizę ani-



Informacja: czy świat składa się raczej z informacji niż z materii?

To problem, który sięga najstraszliwszych głębin metafizyki (pomyślmy choćby o wszystkich tych modelach powstania świata, w których siłą stwarzającą jest Słowo) i najpaskudniejszych odmętów fizyki kwantowej (którą od kilkudziesięciu lat rosnące grono uczonych opisuje jako naukę nie o cząstkach albo polach, lecz o przepływie informacji).

Logika bywa nawet dość przekonująca. Fizycy, przykładowo, zwracają uwagę na to, że wszelkie nasze sposoby oddziaływania ze światem sprowadzają się do zadawania światu pytań („Hej, cząstko, jesteś naładowana elektrycznie?”), na które ten odpowiada („Ano jestem”). Jest to więc w istocie wymiana informacji. Co gorsza, tak samo można opisać również procesy naturalne, w których nie ma udziału umysł człowieka: dwie zderzające się cząstki tak naprawdę dokonują „uaktualnienia swojego stanu”, wymieniając się informacją o swojej masie, prędkości, położeniu czy ładunku.

Fizyk John Wheeler sformułował słynną frazę „it from bit”: „to” (czyli rozmaite rzeczy występujące w świecie) miałyby wyłaniać się z bitów, czyli jednostek informacji. Z tego typu przedefiniowaniem jest oczywiście sporo problemów, z których najpoważniejszy jest taki, że nikt nie wydaje się mieć zielonego pojęcia, czym jest informacja. O ile „materia”, „energia”, a nawet – zaszalejmy – „umysł” budzą w nas przynajmniej jakieś szybkie, niedoskonałe skojarzenia, to „informacja”... nie za bardzo. © ŁL



zotropii promieniowania tła. W tym przypadku analiza jest nielokalna (wynik zależy od historii ewolucji wszechświata od epoki rekombinacji do chwili obecnej) i bardziej złożona, chociaż sama idea pomiaru jest podobna jak w przypadku supernowych – porównujemy obserwowane anizotropie promieniowania tła z matematycznymi przewidywaniami, dopasowując wolne parametry, tak aby uzyskać zgodność. W ten sposób odczytujemy wartość parametrów kosmologicznych, w tym stałej Hubble’a.

Rysy na modelu

Mapa promieniowania tła pozwala nam stwierdzić, czy nasza wiedza o wszechświecie odpowiada rzeczywistości. Badamy zgodność przewidywań teoretycznych z obserwacjami, testując w ten sposób teorię grawitacji Einsteina i skonstruowany w jej ramach model kosmologiczny. Choć standardowy model kosmologiczny wykazuje pewną elastyczność (wolne parametry), to zakres, w jakim możemy dopasowywać go do tego, co widzimy w kosmosie, jest bardzo ograniczony. Jest rzeczą niezwykłą, iż model, którego podstawy powstały sto lat temu, do dzisiaj broni się całkiem nieźle. Pomimo to na tej doskonałej konstrukcji pojawiają się pewne rysy.

Jeszcze kilkanaście lat temu wartość stałej Hubble’a (prędkości ekspansji wszechświata) wyznaczona za pomocą supernowych (z tzw. lokalnego wszechświata) wydawała się zgodna z wartością stałej Hubble’a oszacowaną z pomiarów anizotropii promieniowania tła (tzw. wczesny wszechświat). W miarę jak napływały nowe dane obserwacyjne, precyzja pomiarów rosła.

Obecnie obydwie wartości (73 km/s/Mpc – supernowe; oraz 67,4 km/s/Mpc – promieniowanie tła; gdzie Mpc oznacza astronomiczną jednostkę odległości) przestały się zgadzać ze sobą w ramach oszacowanych błędów. To jedna z najważniejszych nierozwiązanych zagadek współczesnej kosmologii. Tych dwóch różnych liczb, jeśli zostały oszacowane poprawnie, nie da

Zakłócenia warte Nobla

W 1931 R. OJCIEC

WSPÓŁCZESNEJ KOSMOLOGII, Georges Lemaître, przewidział istnienie obserwowalnych pozostałości po Wielkim Wybuchu. Lemaître miał na myśli raczej inne cząstki niż fotony. W 1946 r. grupa Roberta Dicke’a wykonała pomiary poziomu „szumu kosmicznego”, ale nie były to jeszcze poszukiwania promieniowania o charakterze kosmologicznym. Ustalono, że jeśli taki „szum” istnieje, to posiada temperaturę nie wyższą niż 20 K (20 kelwinów, czyli -253,15 st. Celsjusza). W 1948 r. Ralph Alpher i Robert Herman (z pomocą George’a Gamowa) wyraźnie wskazali, że powinno istnieć kosmiczne mikrofalowe promieniowanie tła, i oszacowali jego temperaturę na ok. 5 K.

James Peebles – laureat Nagrody Nobla z 2019 r. – będąc członkiem zespołu Dicke’a w Princeton, niezależnie od zespołu Gamowa oszacował temperaturę promieniowania tła na około 10 K. W roku 1964 zespół Dicke’a rozpoczął budowę instrumentu mającego wykryć ten sygnał, ale zanim osiągnięto sukces, szczęście uśmiechnęło się do kogoś innego – astronoma Arno Penziasa i Roberta Wilsona. Stało się to w 1965 r. Nie poszukiwali oni promieniowania tła, lecz prowadzili inne obserwacje astronomiczne. Przeszkadzała im szum nieznanego pochodzenia. Astronomowie podejrzewali parę gołębi, które uwiły sobie gniazdo i zanieczyszczały antenę. Jednak pomimo oczyszczenia anteny, szum o temperaturze 3 K pozostał. Podczas przypadkowej rozmowy telefonicznej Penzias dowiedział się, że fizycy z Princeton poszukują dokładnie takiego sygnału. Odkrycie Penziasa i Wilsona zostało uhonorowane w 1978 r. Nagrodą Nobla.

Jeśli promieniowanie odkryte przez Penziasa i Wilsona przedstawilibyśmy na kolorowym rysunku,

to przedstawiałoby ono jednokolorową plamę. Kolejne misje kosmiczne, między innymi COBE (1989-1993), WMAP (2001-2010), Planck (2009-2013), i obserwacje naziemne pozwoliły ujawnić drobne anizotropie temperatury. Precyzyjne obserwacje anizotropii promieniowania tła i jego polaryzacji trwają nadal. Jedną z czołowych badaczek w tej dziedzinie jest **HIRANYA PEIRIS** z Uniwersytetu w Cambridge, która brała udział m.in. w pracach zespołu WMAP i Planck. O obecnych badaniach kosmicznego promieniowania tła prof. Peiris opowie podczas Copernicus Festival. ©



MICHAŁ DYAKOWSKI DLA „TP”

→ się pogodzić w ramach standardowego modelu kosmologicznego.

Być może źle interpretujemy obserwacje supernowych. Możliwe jest również, iż model kosmologiczny wymaga znacznej zmiany albo teoria grawitacji Einsteina, w ramach której skonstruowano model kosmologiczny, zawodzi na olbrzymich odległościach. Obecnie wszystkie trzy możliwości pozostają aktualne, chociaż żadna nie wydaje się dostatecznie przekonująca. Problemy tego typu nie martwią jednak kosmologów. Wręcz przeciwnie, historia fizyki pokazuje, że niezgodności pomiędzy teorią a eksperymentami czy też obserwacjami są zapowiedzią nadchodzących rewolucji, a często i kluczem do lepszego zrozumienia świata. Żyjemy w fascynujących czasach!

Tam sięgać, gdzie wzrok nie sięga

Czy epoka rekombinacji to ostateczna granica, przez którą nie można spojrzeć dalej? Okazuje się, że nie, jeśli słowo „spojrzeć” zinterpretujemy nieco szerzej.

Nieustannie oświetla nas mikrofalowy poblask,

pozostałość po czasach, gdy wszechświat był znacznie bardziej gęsty i gorący.

Mapa promieniowania tła, oprócz informacji o temperaturze docierającego do nas promieniowania, zawiera dodatkową informację o jego polaryzacji. Gdy oglądamy świat przez okulary polaryzacyjne, to szczegóły tego, co widzimy (odbicia), zależą od kąta pochylenia głowy. Analogicznie, polaryzacja promieniowania tła zawiera zarówno informację o tym, co promieniowanie napotkało, podróżując przez wszechświat, jak i o stanie wszechświata w chwili, gdy zostało ono wyemitowane.

Fale grawitacyjne (zaburzenia czasu i przestrzeni, powstające w masywnych, kosmicznych katastrofach – np. zderzeniach gwiazd czy czarnych dziur) mogą poruszać się prawie swobodnie nawet w bardzo gęstym wszechświecie. To właśnie one w erze rekombinacji mogły wpływać na polaryzację promieniowania tła. W ten przemyślny sposób, badając polaryzację promieniowania tła, możemy dowiedzieć się czegoś o wszechświecie, gdy był on jeszcze nieprzezroczysty dla promieniowania. Do dziś nie udało się odkryć takich pierwotnych fal grawitacyjnych, a pomiary polaryzacji promieniowania tła pozostają zgodne z hipotezą, iż tych fal we wczesnym wszechświecie nie było. Ale fizycy nadal ich szukają.

Inny sposób sięgnięcia poza erę rekombinacji polega na wykorzystaniu neutrin. Nasze rozważania dotyczące fotonów można powtórzyć dla innych cząstek zwanych neutrinami – one również wędrują przez wszechświat prawie z prędkością światła, i to jeszcze dłużej od fotonów. Mapa sfery niebieskiej w promieniowaniu tła neutrin pozwoliłaby sięgnąć aż do około 1 sekundy po Wielkim Wybuchu.

Niestety, główna zaleta tych cząstek (mogą poruszać się prawie swobodnie w bardzo gęstym materiale) jest również ich wadą: bardzo trudno jest je zaobserwować. Mapa neutrinowego promieniowania tła pozostaje więc kwestią bardzo odległej przyszłości.

To nie oznacza, że obecnie nie mamy możliwości potwierdzenia, co działo się przed epoką rekombinacji. Pozostały przecież artefakty dnia bez wczoraj: niektóre z atomów naszych ciał. Obfitość pierwiastków danego typu wynika bezpośrednio z ewolucji wszechświata, która miała miejsce na długo przed tym, gdy stał się on przezroczysty dla promieniowania. Choć ciężkie pierwiastki, które znajdują się w naszych ciałach, takie jak węgiel i tlen, powstały w inny sposób (w gwiazdach) o wiele później, to pierwotnym paliwem pozostają te, których fundamentalne składniki zaistniały w najwcześniejszych chwilach historii wszechświata.

Materia naszych ciał przebyła długą drogę – od dnia, który nie miał wczoraj, przez bezmiar czasu i wnętrza umierających gwiazd, do dnia obecnego, gdy stała się gotowa, aby zapytać o początek.

© SEBASTIAN J. SZYBKĄ



System: co ma wspólnego komputer, miasto i komórka żywa?

Słowo „układ” (ang. system) to jedno z pojęć tak ogólnych, że można rozsądnie pytać, czy jest w ogóle sens je definiować. Zdefiniować pojęcie szczegółowe to banał. Ot, „beton”, „wróbel” albo „lager”. Nawet jeżeli akurat nie wiesz, czym się różni lager od ale’a albo wróbel od mazurka, wystarczy się tego dowiedzieć. To konkretne różnice. Co jednak ze słowami typu „sytuacja”, „rzecz” albo „przypadek”? No, śmiało, zdefiniuj mi „rzecz”! Słowa „układ” i „system” wydają się należeć do tej samej kategorii. Austriacki biolog Ludwig von Bertalanffy (1901-1972) w latach 40. XX wieku opracował „ogólną teorię systemów” – którą jedni komentatorzy uznali za poetycką pseudonaukę, a inni za nową fundamentalną teorię wszystkiego. Von Bertalanffy marzył o nauce, która byłaby w stanie mówić jednym językiem o organizmach żywych, planetach, korporacjach i obwodach elektrycznych. Wszystkie te systemy, pisał, pobierają energię i ją spożytkowują. Wszystkie przetwarzają informacje. Wszystkie są wrażliwe na jedne typy bodźców, a na inne – nie. Wszystkie zawierają podukłady (subsystemy) i harmonijnie nimi sterują.

Dziś można bezpiecznie powiedzieć, że projekt von Bertalanffy’ego nie przyjął się – teoria systemów od 80 lat pozostaje na peryferiach nauki i filozofii, choć w każdym pokoleniu znajduje swoich wielbicieli – ale jego marzenie żyje. Jest zresztą znacznie starsze. Któż by nie chciał znaleźć języka uniwersalnego? © ŁŁ

**RADIO
RMF24**

JESZCZE WIĘCEJ INFORMACJI



radio internetowe



informacje co 30 minut



ponadczasowa muzyka

www.rmfm24.pl/radio



REKLAMY

Polskie Towarzystwo Reasekuracji S.A. wspiera rozwój polskiego rynku ubezpieczeniowego.
Świadczymy usługi reasekuracyjne na wszystkich kontynentach.

W tym roku PTR S.A. kolejny raz
jest sponsorem Copernicus Festival



Ubezpieczamy ubezpieczycieli

Kontrolowana halucynacja

ANIL SETH, NEUROPSYCHOLOG:

Dwadzieścia pięć lat temu, gdy rozwinęły się techniki neuroobrazowania, wydawało się, że wkrótce odkryjemy wszystkie tajemnice mózgu. Ale świadomość okazała się bardzo skomplikowana.

KASPER KALINOWSKI: We wstępie do swojej książki „Being You: A New Science of Consciousness” pisze Pan o doświadczeniu bycia pod narkozą jako chwilowym „nieistnieniu”.

Dzięki niemu możemy zrozumieć, co to znaczy być świadomym?

ANIL SETH: Myślę, że definiowanie świadomości w kategoriach zaprzeczenia jest bardzo trafne i pomaga w jej badaniu. Znieczulenie ogólne to niezwykle zmienna stanu świadomości. Jeśli chcemy badać jakieś zjawisko, to posiadanie sposobu interwencji – możliwość wyłączenia tego zjawiska i ponownego włączenia go – jest niesłychanie ważne. W moim laboratorium nie robimy tego zbyt często, ponieważ wymaga to odpowiednich warunków, ale badacze świadomości nauczyli się wiele dzięki narkozie na temat procesów zachodzących w mózgu w czasie zasypiania i budzenia.

Rozpaczam od tego swoją książkę, ponieważ to doświadczenie wyraźnie pokazuje, o czym w ogóle mówimy, gdy mamy na myśli świadomość. To pojęcie bywa trudne do zdefiniowania – uczeni mają różne koncepcje, zastanawiają się, czy świadomość wymaga „jaźni” albo języka. Jednak dla osób, które przeszły znieczulenie ogólne, sprawa staje się prostsza – świadomość to po prostu to, co w narkozie znika. To najbardziej dramatyczny kontrast, jakiego możemy doświadczyć – znacznie silniejszy niż sen, ponieważ kiedy śpimy, mówimy marzenia sennie.

Byłby Pan w stanie udowodnić w swoim laboratorium, że posiadam świadomość?

Niestety nie, ale nie sądzę, by miało to duże znaczenie. Niektórzy filozofowie powiedzieliby pewnie, że nie mogę nawet dowieść, że ja sam jestem świadomy. Świadomość jest z natury czymś subiektywnym i prywatnym. Możemy o niej jedynie wnioskować, dopóki nie opracujemy teorii, która pozwoli nam jednoznacznie stwierdzić, że ktoś lub coś jest świadome lub nie.

Jednak w nauce radzimy sobie z takim wnioskowaniem całkiem nieźle. Jestem niemal pewien, że jest pan świadomy, podobnie jak każdy inny zdrowy, przytomny i żywy człowiek. Nie potrzebuję dowodu, by uznać to za wiedzę.

Problem staje się trudniejszy, gdy odchodzimy od oczywistych przypadków i zaczynamy mówić o ludziach z uszkodzeniami mózgu, o wychodzeniu z narkozy, o zwierzętach, noworodkach, a ostatnio o sztucznej inteligencji. W przypadku AI zdania są radykalnie podzielone. Niektórzy są przekonani o tym, że posiada świadomość, inni, jak ja, pozostają sceptyczni. W dziedzinie badań nad świadomością dowód na rzecz jakiejś teorii to bardzo wysoko zawieszona poprzeczka. Wszystko przez wspomniany już prywatny charakter świadomości i brak zgody co do warunków wystarczających do jej zaistnienia.

Dlaczego mamy tyle definicji tak podstawowego doświadczenia? Czym jest świadomość?

To prawda, mamy dziesiątki definicji i bywa to frustrujące. Pytanie o ich liczbę to raczej zagadnienie dla historyka lub socjologa nauki. Myślę, że po części wynika to z faktu, że świadomość

jest nam tak bliska. Różni się od innych, wielkich zagadek nauki, które nie wpływają bezpośrednio na nasze życie. Można przeżyć dzień, nie martwiąc się o to, jak powstało życie albo co było przed Wielkim Wybuchem. Ale świadomość towarzyszy nam przy każdym śniadaniu – jesteśmy świadomi tego czy tamtego, świadomi spóźnienia i tego, jak źle się z tym czujemy.

Jeśli jednak miałbym to wyjaśnić komuś, kto nie zajmuje się tematem naukowo, powiedziałbym: „to jakikolwiek rodzaj doświadczenia”. Nie potrzeba do tego skomplikowanej refleksji, języka czy kompasu moralnego. Otwierasz oczy i pojawia się świat. Wystarczą kształty i ludzie – to już świadomość.

Rok temu głośna publikacja w „Nature” zakwestionowała dwie popularne teorie świadomości: teorię zintegrowanej informacji (IIT) i teorię globalnej przestrzeni roboczej (GNWT).

Ta publikacja była właściwie pierwszym etapem większego projektu, który zamierza zredukować liczbę teorii poprzez ich zestawienie i przetestowanie. Kilka lat temu wraz z filozofem Timem Bayne’em dokonaliśmy przeglądu teorii świadomości – skupiliśmy się na czterech, ale istnieją ich dziesiątki. Prawdopodobnie większość z nich jest błędna. Być może potrzebujemy nowych, lepszych, ale najpierw musimy przetestować i wyeliminować obecne.

Wspomniane przez pana dwie teorie są najbardziej wpływowe w naszej dziedzinie, dlatego warto było zainwestować w ich porównanie, zwłaszcza że opierają

się na różnych założeniach. Próba zaprojektowania eksperymentów, które pozwoliłyby je rozróżnić, to postęp sam w sobie. Przez ostatnie 30 lat badania nad świadomością przeszły drogę od szukania prostych korelacji w mózgu do etapu budowania teorii wyjaśniających, dlaczego te korelacje w ogóle widzimy. Nawet jeśli problem nie został rozwiązany, dziedzina dojrzeła jako dyscyplina naukowa.

Z tych dwóch teorii dalej Panu do teorii zintegrowanej informacji. Dlaczego?

Właściwie pewne jej części bardzo mi się podobają. To niezwykle ambitna teoria – jedyna z liczących się, która próbuje być kompletna. Mówi wprost: jeśli spełnione są warunki A, B i C, to system jest świadomy w konkretny sposób. To imponujący pomysł. Myślę jednak, że to błędna koncepcja, ale przez swoje ambicje staje się niezwykle trudna do przetestowania.

Jej kluczowa intuicja zakłada, że każde doświadczenie świadome jest jednocześnie bogate informacyjnie (różni się od każdego innego doświadczenia) oraz zintegrowane (czyli jest →

ANIL SETH

jest brytyjskim neuronaukowcem, badaczem świadomości. Dyrektor Centre for Consciousness Science oraz profesor neuronauki obliczeniowej na Uniwersytecie w Sussex. Kieruje również programem Brain, Mind and Consciousness w Canadian Institute for Advanced Research. Magazyn „Prospect” w 2024 r. umieścił go wśród 25 najwybitniejszych myślicieli świata.

Jego wystąpienie TED z 2017 r. zatytułowane „Twój mózg halucynuje twoją świadomą rzeczywistość” obejrzano ponad piętnaście milionów razy, a książka „Being You: A New Science of Consciousness” z 2021 r. została uznana za książkę roku przez wiele redakcji.



MICHAŁ DYAKOWSKI DLA „TP”

→ jednością – obserwując chmury na niebie, nie doświadczamy błękitu oddzielnie od bieli, mamy jedno spójne przeżycie).

IIT próbuje to opisać za pomocą równań matematycznych, ale przyjmuje założenia, które moim zdaniem nie wytrzymują próby czasu. Na przykład, aby naprawę przetestować system, według IIT nie wystarczy obserwować tego, co on robi – trzeba wiedzieć wszystko, co mógłby potencjalnie zrobić. W przypadku mózgu to w zasadzie niemożliwe. Dlatego mimo uznania dla autorów eksperymentów z „Nature”, o których mówiliśmy, panuje zgoda, że nie był to ostateczny test rdzenia teorii IIT.

Często podkreśla Pan, że przeceniamy ciągłość własnego „ja”. Co ma Pan na myśli?

Mamy poczucie, że z godziny na godzinę, z dnia na dzień, z miesiąca na miesiąc pozostajemy tą samą osobą. Jest w nas silnie zakorzenione przekonanie o ciągłości. Owszem, mogę być zmęczony albo chory, moje doświadczenie bycia sobą trochę się zmienia, ale nie przestaję być sobą. Zakładamy, że doświadczenie tego, czym jest bycie mną, pozostaje zasadniczo stabilne w czasie.

Sądzę jednak, że przeceniamy tę stabilność. Nie potrafię tego wykazać eksperymentalnie, ale moja intuicja mówi mi, że to doświadczenie zmienia się bardziej, niż nam się wydaje. Moje obecne doświadczenie bycia mną różni się bardziej, niż mi się wydaje, od mojego doświadczenia bycia mną kiedyś. Istnieje tu analogia do dobrze znanego z badań nad percepcją zjawiska tzw. ślepoty na zmiany. Kiedy coś zmienia się powoli i nie spodziewamy się tej zmiany, to często jej nie dostrzegamy i nie doceniamy skali tego, co się zmieniło.

Bardzo możliwe, że coś podobnego dzieje się z doświadczeniem siebie. Ono się zmienia, ale niezwykle powoli. A my nie spodziewamy się tej zmiany, bo z ewolucyjnego punktu widzenia użyteczne jest poczucie względnej stałości siebie. Taki sposób organizacji świadomości ma sens.

Przecież gdybym każdego dnia czuł się kimś zupełnie innym, moja zdolność poruszania się po świecie byłaby poważnie upośledzona. Obserwujemy to w niektórych zaburzeniach psychiatrycznych, gdy poczucie „ja” jest dużo mniej stabilne.

Mamy poczucie, że z godziny na godzinę, z dnia na dzień, z miesiąca na miesiąc

pozostajemy tą samą osobą. Jest w nas silnie zakorzenione przekonanie o ciągłości. Sądzę, że je przeceniamy.

Jednak nie wynika stąd, że u osób zdrowych psychicznie „ja” jest całkowicie stabilne. Wszyscy tego doświadczamy – gdy patrzymy na swoje zdjęcie z dzieciństwa, myślimy: to byłem ja. A przecież to inna osoba. Owszem, istnieje jakaś abstrakcyjna ciągłość, ale wszystko jest inne. Również na poziomie fizycznym – każda komórka w ciele została już wymieniona.

Brzmi to bardzo buddyjsko.

Wydaje się, że istnieje wiele punktów wspólnych tego poglądu z buddyzmem. Nie jestem tutaj specjalistą, ale gdy rozmawiam z ekspertami od buddyzmu albo praktykami, to ten temat wraca za każdym razem.

Wróćmy do chorób. W jaki sposób badania nad świadomością przyniosły się z uniwersytetu do klinik neurologicznych?

To świetny przykład praktycznego zastosowania nauki o świadomości. Często słyszy się zarzut, że to problem czysto filozoficzny, który nie ma znaczenia. Tymczasem współcześnie potrafimy wnioskować o obecności świadomości u pacjentów z uszkodzeniami mózgu, którzy na podstawie zewnętrznej obserwacji zachowania zostaliby zdiagnozowani jako nieświadomi.

Najsłynniejsza metoda, opracowana przez mojego przyjaciela Marcello Massiminiego, jest inspirowana właśnie teorią zintegrowanej informacji. Wykorzystuje ona przezczaszkową stymulację magnetyczną (TMS) – w mózg „wstrzykuje się” krótki impuls energii i rejestruje, jak „echo” odbija się wewnątrz. Okazuje się, że można przypisać wartość złożoności tego elektrycznego echa. Ta wartość jest bardzo dobrą podstawą do wnioskowania, czy dana osoba jest świadoma, czy nie. Nie jest to jeszcze standard w każdym szpitalu, ale daje niezwykle ważny wgląd w sytuację pacjenta.

To kluczowe, by wiedzieć, czy osoba przebywa „tam” w środku, czy znajduje się w stanie, który dawniej określano wegetatywnym. Szacuje się, że nawet 10-20 proc. takich pacjentów może posiadać jakąś formę świadomości, której wcześniej nie potrafiliśmy wykryć. To pokazuje, że nawet bez pełnej teorii świadomości nasze badania przynoszą realne korzyści.

Świadomość można zmodyfikować również z pomocą różnych substancji. Co o jej naturze mówią nam psychodeliki?

Są sposobem na interwencję w mózgu, po której zmieniają się świadome doświadczenia. To niezwykle przydatne narzędzie do badania relacji mózg-świadomość.

Czasem jednak nie zgadzam się z kolegami po fachu co do interpretacji tych przeżyć. Pod wpływem psychodelików doświadczenie zmienia się dramatycznie, ale jakie płyną z tego wnioski? Z jednej strony, bardzo użyteczne jest np. zjawisko rozpuszczenia ego. Jeśli znajdujesz się w stanie, w którym świadomość się utrzymuje, ale nie odczuwasz już silnego poczucia „ja”, łatwiej zrozumieć, że świadomość i „jaźń” to nie to samo, oraz że to drugie jest konstrukcją nietrwałą i zmienną.

Z drugiej strony możemy zostać wprowadzeni w błąd, jeśli zinterpretujemy doświadczenia po psychodelikach zbyt dosłownie. Przykładem jest poczucie „oceanicznego bezkresu” – wrażenie, że świadomość przebywa wszędzie. W filozofii określa się to panpsychizmem. To, że ludzie mają takie odczucia pod wpływem substancji, nie oznacza, że tak skonstruowany jest wszechświat. Wyciąganie

wniosków metafizycznych z takich stanów to pójście o krok za daleko. Psychedeliki pokazują, do jakich doświadczeń mózg jest zdolny, ale nie mówią nam nic bezpośrednio o strukturze rzeczywistości.

Jednym z najbardziej prowokacyjnych Pana stwierdzeń jest to, że percepcja to „kontrolowana halucynacja”. Brzmi jak świat z „Matriksa”.

To stwierdzenie zawsze sprowadza na mnie kłopoty. Często jest ono błędnie interpretowane – zwłaszcza przez autorów medialnych nagłówków – jako teza, że świat fizyczny nie istnieje i jest tylko wytworem wyobraźni. To nieprawda. Rzeczywistość istnieje. Chodzi mi o to, że nasze doświadczenie tego świata nie jest bezpośrednim odczytem obiektywnej rzeczywistości, która po prostu „wlewa się” do naszych umysłów.

Nasze doświadczenia są aktywnymi konstrukcjami. Mózg nieustannie tworzy przewidywania na temat tego, co dzieje się w świecie i wewnątrz ciała, a następnie używa sygnałów zmysłowych do aktualizacji tych przewidywań, by utrzymać je w kontakcie ze światem. Słowo „kontrolowana” jest tu równie ważne jak „halucynacja”.

Używam określenia „halucynacja”, by podkreślić, że to, co przeżywamy na jawie, pochodzi w równym stopniu z wnętrza, co z zewnątrz. Ma to wiele wspólnego ze snami czy halucynacjami, które uważamy za generowane wewnętrznie. Różnica polega na tym, że w snach lub stanach po zażyciu psychodelików „najlepsze domysły” mózgu nie są tak silnie ograniczane przez obiektywną rzeczywistość. Można więc myśleć o percepcji jako o kontrolowanej halucynacji, a o halucynacji jako o niekontrolowanej percepcji.

W Pańskim laboratorium zbudowano nawet maszynę do halucynacji. Na czym polegał eksperyment?

Nie mamy zezwolenia na podawanie ludziom nielegalnych substancji, więc musieliśmy znaleźć inny sposób na wywołanie niezwykłych doznań. Maszyna do halucynacji wykorzystuje wirtualną rzeczywistość i uczenie maszynowe, by symulować sytuację, w której przewidywania mózgu zostają przytłoczone przez wygenerowane przez nas dane

Nasze doświadczenie świata nie jest bezpośrednim odczytem obiektywnej rzeczywistości,

która wlewa się

do naszych umysłów.

To aktywne konstrukcje tworzone przez mózg.

zmysłowe. Użyliśmy algorytmów, które sprawiały, że badany widział wszędzie psy.

Zyskaliśmy nie tyle konkretne odkrycie, co nową metodę. Możemy tworzyć modele komputerowe różnego rodzaju doświadczeń. Od tego czasu badamy halucynacje w różnych stanach, jak zespół Charles’a Bonnetta (w którym osoby z pogarszającym się wzrokiem doświadczają żywych, kolorowych halucynacji) czy choroba Parkinsona. Pozwala to nam lepiej zrozumieć, co dzieje się w systemie wzrokowym danej osoby.

Jeszcze innym projektem jest „maszyna do snów” – publicznie dostępna instalacja w Wielkiej Brytanii, w której użyliśmy światła stroboskopowego. Okazuje się, że migoczące jasne, białe światło o odpowiedniej częstotliwości przy zamkniętych oczach wywołuje u większości ludzi potężne halucynacje. Zmienia się percepcja kształtów i kolorów. To kolejne „okno”, przez które możemy zajrzeć w naturę świadomości.

Twierdzi Pan, że świadomość jest nierozdzielnie związana z byciem żywym organizmem, a nie tylko z przetwarzaniem informacji. Dlaczego miałyby zależeć od posiadania ciała?

Doszedłem do tego, podążając tropem percepcji jako kontrolowanej halucynacji. Skoro w taki sposób postrzegamy świat, to czy dotyczy to również postrzegania samego siebie? Niektóre aspekty „ja”, takie jak emocje i nastroj, od dawna rozumiano jako percepcje stanu fizjologicznego organizmu. Wspominał o tym już William James w XIX w.

Uderzył mnie prosty fakt – może to ten sam mechanizm? Mózg tworzy i aktualizuje przewidywania nie tylko o ciele jako obiekcie w świecie („gdzie jest moja ręka?”), ale o wnętrzu ciała („jak pracują moje płuca, serce, jelita?”). Z perspektywy mózgu ciało znajduje się „na zewnątrz” – mózg ma do niego dostęp tylko poprzez wnioskowanie. To wiąże świadomość z naszym stanem fizjologicznym i faktem, że jesteśmy istotami żywymi. Podobnie twierdzi neurobiolog António Damásio, choć używał innych terminów.

Można jednak posunąć się o krok dalej. Moja obecna hipoteza zakłada, że życie jest niezbędne dla świadomości. To polemika z poglądem, że świadomość to tylko przetwarzanie informacji czy procesy obliczeniowe. Choć niektóre funkcje mózgu można opisać jako obliczenia, nie oznacza to przecież, że mózg jest komputerem. W komputerze oprogramowanie i sprzęt pozostają rozdzielone. W systemach żywych dążenie do kontroli i regulacji sięga aż do poziomu pojedynczych komórek i ich metabolizmu.

Najbardziej podstawowym rodzajem świadomości może być po prostu „poczucie bycia żywym”. Myślę, że pomyliliśmy metaforę mózgu jako komputera z rzeczywistością. Skoro każdy znany nam przykład świadomego bytu jest systemem żywym, to uznanie życia za warunek konieczny powinno być domyślnym twierdzeniem.

Czy to oznacza, że AI w obecnej formie nigdy nie osiągnie świadomości?

Niczego nie możemy być pewni w stu procentach, ale uważam, że świadoma sztuczna inteligencja jest skrajnie mało prawdopodobna. Z trzech powodów.

Pierwszy to nasze uprzedzenia i psychologia. Jesteśmy antropocentryczni i mamy tendencję do projektowania świadomości na wszystko, co przejawia inteligencję lub posługuje się językiem. Jeśli system mówi do nas płynnie po polsku →

→ lub angielsku, zakładamy, że jest świadomy, bo u ludzi te rzeczy idą w parze. Ale w przypadku AI mechanizm działania jest inny. A przecież nikt nie twierdzi, że AlphaFold – algorytm do związania białek – jest świadomy, choć to podobna technologia.

Drugi powód to wspomniane założenie, że świadomość jest niezależna od materiału i jest jedynie kwestią obliczeń. Kwestionuję to podejście.

Trzeci argument dotyczy symulacji. Symulacja to nie to samo co rzeczywistość. Symulacja pogody w komputerze nie sprawia, że wewnątrz niego zrobi się mokro i wieje wiatr. Dlaczego więc myślimy, że symulacja mózgu będzie miała właściwości prawdziwego mózgu? Jedynym wyjątkiem jest sytuacja, w której sama symulowana rzecz jest obliczeniem – np. gra w szachy. W każdym innym przypadku mamy tylko bardzo dobry model.

A co z innymi gatunkami? Czy potrafimy zrozumieć, jak to jest być na przykład ośmiornicą?

To fascynujące, bo w przeciwieństwie do AI, zwierzęta są zbudowane z tej samej „materii”, co my. Możemy być znacznie pewniejsi ich świadomości, choć ta różni się od naszej. Thomas Nagel w słynnym eseju „Jak to jest być nietoperzem?” sprzed pół wieku postawił sprawę jasno – „ludzkie doświadczenie nie może być takie samo jak nietoperza”. Nie oznacza to jednak, że nie wiemy o nim nic. Możemy wnioskować o świecie zmysłowym innych gatunków, co z niemieckiego określamy jako *Umwelt*, badając np. system echolokacji.

Z ośmiornicami sprawa jest jeszcze ciekawsza, bo większość ich układu nerwowego znajduje się w ramionach, a nie w centralnym mózgu. My, ludzie, dzięki propriocepcji zawsze wiemy, gdzie znajdują się nasze kończyny. A ośmiornica może mieć jedynie mgliste pojęcie o tym, co robią jej ramiona. Nie potrafimy tego doświadczyć, jednak staramy się opisać tę przestrzeń „innych umysłów”.

25 lat temu filozof David Chalmers i neurobiolog Christof Koch założyli się o to, czy do 2022 r. odkryjemy neuronalne podstawy świadomości. Chalmers wygrał. Jak blisko jesteśmy tego odkrycia dzisiaj?

Nie potrzeba do tego skomplikowanej refleksji, języka czy kompasu moralnego.

Otwierasz oczy
i pojawia się świat.
Wystarczą kształty
i ludzie – to już
świadomość.

Pierwsza lekcja, jaka z tego płynie: nigdy nie zakładaj się z filozofami, oni zawsze wygrywają. Christof z klasą przyznał się do porażki i nie jestem nią zaskoczony. 25 lat temu, wraz z rozwojem neuroobrazowania, panował wielki optymizm, wydawało się, że odkryjemy wkrótce wszystkie tajemnice mózgu, ale sprawa okazała się znacznie bardziej złożona. Świadomość prawdopodobnie nie tworzy się w jednym konkretnym regionie mózgu. Trudno też odróżnić obszary, które są aktywne podczas stanów świadomych z innych powodów, podobnie jak zasilacz w komputerze, od tych faktycznie zaangażowanych w generowanie świadomości.

Głównym wyzwaniem jest to, że musimy polegać na subiektywnych raportach ludzi, co wprowadza mnóstwo dodatkowych zmiennych. Dzięki nowym technologiom, takim jak optogenetyka – czyli manipulowanie układem nerwowym organizmów genetycznie zmodyfikowanych przy pomocy światła – będziemy rozwijać wiedzę, ale nie wiem, kiedy zrozumiemy wszystko.

Moim zdaniem kluczem nie jest samo poszukiwanie „obszaru świadomości” w mózgu, ale rozwijanie teorii, które będą testowane. Bez teorii znalezienie korelacji niewiele nam powie.

Niektórzy obawiają się, że wyjaśnienie świadomości odrze ją

z mistycyzmu i nas rozczaruje. Może potrzebujemy tej tajemnicy?

Nie sądzę, by nauka odbierała światu cudowność. Im więcej odkrywamy, tym bardziej niezwykła wydaje się świadomość. Wiedza o tym, że to, co widzę po otwarciu oczu, jest efektem skomplikowanych procesów, dodaje życiu wartości i poczucia podziwu. Historia nauki pokazała to wielokrotnie. Czy wszechświat stał się nudniejszy po Koperniku? Czy życie straciło urok po Darwinie? Wręcz przeciwnie. Zrozumienie, że jesteśmy częścią natury, jest dla mnie wizją humanistyczną i krzepiącą.

Co miał Pan na myśli pisząc, że „świadomość to ostatni bastion ludzkiej wyjątkowości”?

Mamy tendencję do oddzielania się od reszty natury. Oczywiście jesteśmy szczególnie – mamy kulturę, złożony język czy ogromny wpływ na planetę. Jednak zbyt często powołujemy się na te różnice, by stawiać się bliżej bogów niż zwierząt. To dziedzictwo Kartezjusza i jego dualizmu, który utożsamiał świadomość z racjonalnym myśleniem.

Jeśli będziemy definiować świadomość poprzez język czy intelekt, będziemy dostrzegać ją tam, gdzie jej nie ma, np. w modelach językowych, i odmawiać jej bytu tam, gdzie prawdopodobnie istnieje, np. u zwierząt. Kwestionowanie ludzkiej wyjątkowości na podstawie dowodów nie umniejsza naszej wartości, lecz osadza ją w bogatszym kontekście.

A jak zmieniło się postrzeganie tego tematu w ciągu 30 lat Pana kariery?

Kiedy zaczynałem studia w latach 90., odradzano mi zajmowanie się świadomością. Twierdzono, że to ślepy zaułek i koniec kariery naukowej. Obecnie nauka o świadomości kwitnie – mamy liczne konferencje, prestiżowe czasopisma i praktyczne zastosowania w medycynie. Przeszliśmy od pytania „czy to w ogóle jest nauka?” do testowania konkretnych teorii. Wciąż jednak musimy być niezwykle rygorystyczni, by ludzie odpowiadająca za finansowanie badań nie uznali naszej dziedziny za zbyt ezoteryczną. Mam nadzieję, że za kolejne 30 lat, gdy będę już na emeryturze, nastąpi jeszcze większy przełom.

© Rozmawiał KASPER KALINOWSKI

Twoje wsparcie ma znaczenie



Pomóż nam tworzyć ciekawe materiały
i dostarczać jeszcze więcej wartościowych treści!

Na kanale YouTube Copernicus przybliżamy
świat nauki z akademicką dociekliwością.

Zostań częścią naszej społeczności – wsparcie już
od 10 zł miesięcznie na [Patronite.pl/copernicus](https://patronite.pl/copernicus)



Nasza droga

ŁUKASZ KWIATEK

**Paleoantropolog John Hawks przekonuje, że nasi przodkowie byli bardziej zróżnicowani, niż dotąd uważaliśmy, a przy tym często się z sobą miesza-
li. Dlatego tak trudno zrekonstruować ewolucję człowieka.**

Teden z najbardziej niezwykłych epizodów w historii paleoantropologii zdarzył się u zarania tej dyscypliny. W 1886 r. Eugène Dubois, młody holenderski lekarz zafascynowany teorią ewolucji, zaciągnął się do armii, by służyć w oddziałach stacjonujących w Indonezji. Nie planował wielkiej kariery medycznej ani wojskowej – przeniósł się na Daleki Wschód, by na własną rękę prowadzić wykopaliska i odszukać „brakujące ogniwo” w naszej ewolucji, czyli istotę o cechach pośrednich między typową małpą a człowiekiem.

Założył, że takie stworzenia musiały dawniej żyć w Afryce lub Azji, ale nie był w stanie uzyskać finansowania dla planowanej ekspedycji – pozostało mu kombinowanie z armią Holenderskich Indii Wschodnich, w której przełożeni przymknęli oko na dodatkową działalność. Zabrał więc z sobą niedawno poślubioną żonę i małe dziecko i udał się na drugi koniec świata. Pierwszych kilka lat spędził na Sumatrze, potem przeniósł się na Jawę, gdzie w 1891 r. w Trinil nad rzeką Solą odnalazł upragnione skamieniałości małpoluda.

Były to sklepienie czaszki, kilka zębów i kość udowa – każda z tych części szkieletów przypominała ludzkie kości, ale miały one zachwiane proporcje. Istota, po której pozostały, chodziła na dwóch nogach, jednak miała zbyt małą jak na człowieka głowę. Dubois uznał to za dowód, że Darwin miał rację – w dawnych czasach na świecie istnieli praludzie o głowach o połowę mniejszych niż nasze, czyli formy pośrednie między człowiekiem współczesnym i małpą.

Podejrzana idea

Niezwykłe w tej historii jest to, że Dubois dokładnie tak jak zamarzył, odkrył nieznanego wcześniej praczłowieka. To tro-

chę tak, jakby ktoś postanowił, że wygra na loterii i rzeczywiście mu się to przytrafiło. Skamieniałości hominidów są rzadkie – wielu paleoantropologów przez całą karierę nie wykopało nawet małej kosteczki. Dubois musiał mieć wyjątkowe szczęście, ponieważ wilgotny i gorący klimat wysp Azji Południowo-Wschodniej czyni z nich kiepskie miejsce do prowadzenia wykopalisk. W takich warunkach skamieniałości znacznie szybciej się rozkładają.

Łatwiej znaleźć je w wapiennych jaskiniach, gdzie swoją ofiarę zawłócił drapieżnik, a potem wiatr, woda i grawitacja pokryły jej szczątki warstwą osadów, albo w pobliżu dawnych wulkanów – pył również dobrze konserwuje kości. Takie warunki geologiczne panują w południowej Afryce, w miejscu nazywanym „Kolebką ludzkości”, gdzie na sawannach roi się od jaskiń, i na terenie Wielkich Rowów Afrykańskich, gdzie równiny przecinały dawne wulkany – dlatego to tam znaleźliśmy najwięcej skamieniałości hominidów.

Azjatycki małpolud odkryty przez Dubois przetrwał do naszych czasów dlatego, że jego szczątki porwała rzeka, a potem pokryła je warstwą mułu, odcinając do nich dostęp mikroorganizmom.

W XX w. nasza wiedza na temat przodków zaczęła się szybko rozrastać. Na drzewie rodowym człowieka wyrosły kolejne konary i gałęzie i dzisiaj moglibyśmy na nim umieścić nawet 30 gatunków występujących w ciągu ostatnich 7 mln lat: australopiteki i parantropi (dwunożne małpy człowiekowate żyjące na sawannach), a także innych przedstawicieli naszego rodzaju: *Homo habilis*, *H. rudolfensis*, *H. ergaster*, *H. antecessor*... Gatunek, który Dubois nazwał *Pithecanthropus erectus*, czyli: małpolud wyprostowany, dziś nazywamy *Homo erectus*.

Sama idea „brakującego ogniwa” jest dziś podejrzana, bo ewolucja nie jest prostym ciągiem przekształceń gatunków prymitywnych w bardziej zaawansowane. Afrykańskie sawanny i ogromne połacie Eurazji równocześnie przemierzały zróżnicowane grupy istot ludzkich i „prawie ludzkich” – prowadzących bogate życie społeczne i wytwarzających narzędzia z kamienia i drewna, które pomagały im wykopywać jadalne bulwy, rozbić kości zwierząt dla pozyskania szpiku, w końcu także polować i objadać się mięsem pieczonym w ogniu.

Dzięki kolejnym wykopanim skamieniałościom zrozumieliśmy więc, że nasi przodkowie byli zróżnicowani i wiele odmiennych grup żyło obok siebie równolegle. W XXI w. w badaniach nad ewolucją człowieka nadszedł jeszcze jeden przełom: odkryliśmy, że te wszystkie grupy nie żyły w izolacji. Natrafiały na siebie i mieszały się z sobą, wymieniając się wynalazkami kulturowymi – i genami.

Linie głęboko zakorzenione

– Przez długi czas w naszej dziedzinie uważano, że mieszanie się ludzi, przenikanie się populacji, kultur i zwyczajów, to zjawisko stosunkowo nowe. Dziś wiemy, że jest inaczej. Ludzie od dawna żyli w różnych grupach, spotykali się, krzyżowali, współdziałali i wymieniali kulturę – mówi paleoantropolog John Hawks z Uniwersytetu Wisconsin w Madison.

Trudno przecenić znaczenie tego odkrycia. Tak samo musieli pomyśleć członkowie komitetu noblowskiego, którzy w 2022 r. przyznali Nagrodę Nobla z medycyny i fizjologii Svante Pääbo. Człowiekowi, który wymyślił, jak badać DNA ze skamieniałości, i udowodnił w 2013 r., że nasi przodkowie krzyżowali się z neandertalczykami i denisowianami (a te dwie

grupy między sobą). Denisowian, zamieszkujących Azję jeszcze kilkadziesiąt-kilkanaście tysięcy lat temu, zespół Pääbo zidentyfikował wyłącznie na podstawie badań genetycznych – analizy fragmentów DNA z małej kosteczki palca.

Badania prehistorycznego DNA zmieniły reguły gry w paleoantropologii. Po pierwsze, okazało się, że dysponujemy metodą określania pokrewieństwa mię-

dzy populacjami reprezentowanymi przez niektóre skamieniałości (te lepiej zachowane i na ogół liczące poniżej pół miliona lat, z których da się wydobyć niezdegradowane DNA). Nie musimy więc opierać się tylko na podobieństwie anatomicznym kości, które mogło pojawiać się przypadkowo w populacjach mniej z sobą spokrewnionych. Po drugie, otwarło nam to oczy na skalę zmienno-

ści wewnątrz poszczególnych populacji czy gatunków, co jeszcze bardziej wstrząsnęło gałęziami naszego drzewa rodowego.

– Dowiadujemy się dzisiaj o istnieniu głębokich linii rodowych, o których kiedyś nie mieliśmy pojęcia, a które przetrwały do stosunkowo niedawnych czasów. Jeszcze 15 lat temu dominował prosty model: współcześni ludzie na całym świecie mieli wywodzić się z Afryki, mniej więcej sprzed 100 tysięcy lat, jako jedna stosunkowo jednorodna populacja. Dziś wiemy, że również w samej Afryce panowała wówczas ogromna różnorodność – istniały tam od dawna różne linie rodowe, które się ze sobą mieszały – mówi John Hawks.

Mieszanie się populacji hominidów to dzisiaj jeden z najważniejszych obszarów badań w naszej ewolucji. I powód, dla którego odchodzi się nie tylko od myślenia o niej w kategoriach „marszu postępu” czy łańcucha kolejnych ewolucyjnych udoskonaleń – ale nawet od obrazu drzewa, które coraz bardziej się rozgałęzia. Bo wiele z tych gałęzi jest z sobą połączonych, niczym kanały w delcie rzeki.

– Kiedy różne grupy się spotykały, ich krzyżowanie się mogło mieć istotne znaczenie dla przetrwania – mówi prof. Hawks. – Np. 250 tys. lat temu występujący w Eurazji neandertalczyk otrzymali znaczący „zastrzyk” DNA od populacji afrykańskich, co wyraźnie zmieniło ich pulę genetyczną. Wszyscy późniejsi neandertalczykowie noszą ślady tego dziedzictwa. A gdy około 50 tys. lat temu ludzie z Afryki weszli do Eurazji, ponownie spotkali neandertalczyków i doszło →

JOHN HAWKS

jest profesorem antropologii na Uniwersytecie Wisconsin w Madison oraz profesorem wizytującym na Uniwersytecie Witwatersrand w Johannesburgu. Specjalizuje się w paleoantropologii i genetyce. Współautor odkryć dwóch gatunków hominidów w RPA: *Australopithecus sediba* i *Homo naledi*. Jest także jednym z najbardziej cenionych popularyzatorów paleoantropologii, opublikował wiele wykładów (m.in. serie „The Rise of Humans” i „Major Transitions in Evolution”), prowadzi blog o ewolucji człowieka (johnhawks.net), napisał również (wspólnie z Lee Bergerem) dwie książki: „Almost Human” i „Cave of Bones”.



MICHAŁ DYAKOWSKI DLA „TP”

→ do krzyżowania, to miało wpływ na nasz układ odpornościowy. Nie wiemy jednak, czy przełożyło się na swoisty rozkwit zachowań: czy kontakt między grupami doprowadził do istotnych zmian kulturowych.

Jaskinia kości

Zaprosiliśmy Johna Hawksa na Copernicus Festival, ponieważ specjalizuje się w paleoantropologicznych zagadkach i krzyżówkach – łączy wiedzę z zakresu paleogenetyki z tradycyjną (morfologiczną) analizą skamieniałości i jest współautorem odkryć dwóch gatunków hominidów żyjących w „Kolebce ludzkości”: *A. sediba* i *H. naledi*. Zwłaszcza ten drugi może sprawić, że wiele rozdziałów w podręcznikach do paleoantropologii trzeba będzie pisać od nowa.

Nawet dzisiaj wiele badań paleoantropologicznych przypomina historię Eugène’a Dubois – lata poszukiwań i wykopalisk, które w najlepszym razie dają pojedyncze kości. Odkrycie *H. naledi* całkowicie wyłamuje się z tego schematu. Grotolazi z zespołu Lee Bergera z Uniwersytetu Witwatersrand, którego John Hawks jest od dawna najbliższym współpracownikiem, odnaleźli w jaskini Wschodzącej Gwiazdy w RPA tysiące fragmentów szkieletów zidentyfikowanych potem jako *H. naledi*. Kości należały do przynajmniej kilkunastu osobników, zmarłych w różnym wieku, dzięki czemu Berger, Hawks i współpracownicy mogli drobiazgowo opisać anatomię tego hominida.

Przedziwne to było stworzenie – niezbyt rosłe, o mózgu trzykrotnie mniejszym od naszego, zachowujące mozaikę cech bardziej małpich i tych bardziej ludzkich. Trochę tak, jakby nie mogło się zdecydować, czy na dobre zejść z drzewa. Datowanie tych szczątków na ok. 335-236 tys. lat temu było zresztą dużym zaskoczeniem – bo „na oko” (wyłącznie na podstawie cech morfologicznych) oceniono, że te istoty żyły ok. 2-3 mln lat temu.

Zalety dużego mózgu

Największe debaty wywołał mózg *H. naledi*, bo przez dekady uważano, że duży mózg to w ewolucji człowieka droga w jedną stronę i autostrada do człowieczeństwa – bardziej złożonych zachowań. Jak to się więc stało, że w czasie, gdy żyli już ludzie przypominający anatomicznie



Australopithecus sediba

nas samych, gdzieś na południu Afryki zachował się gatunek człowieka o małym mózgu, a przy tym, jak podkreślali autorzy, złożonym zachowaniu? To ostatnie przypuszczenie bierze się m.in. z braku możliwości wyjaśnienia, jak zwłoki przynajmniej kilkunastu osobników *Homo naledi* dostały się do niedostępnych części jaskini. Ktoś musiał je tam celowo zanieść.

A jeśli *H. naledi* mógł przetrwać setki tysięcy lat obok ludzi o dużych mózgach, to trzeba na nowo zastanowić się, dlaczego tylko w naszej linii mózg urosł.

– No tak: do czego służą duże mózgi? Są z nimi przecież problemy. Zużywają dużo energii. Ich wytworzenie zajmuje dużo czasu, co ma konsekwencje ewolucyjne i rozwojowe. Dłuższe dojrzewanie oznacza późniejsze rozmnażanie, a więc potencjalnie mniejszą liczbę potomstwa. Taka inwestycja musi się więc „opłacać” z punktu widzenia doboru naturalnego – mówi prof. Hawks. I dodaje, że istnieją dwie hipotezy wyjaśniające korzyści z dużego mózgu.

– Pierwsza zakłada, że większy mózg zwiększa zdolności, które w podstawowej formie mogą być realizowane także przez mniejsze mózgi. Dobrą analogią będzie język. U wielu zwierząt obserwujemy elementarne formy uporządkowanej komunikacji. Nie dysponują jednak zdolnością przekazywania tak bogatych treści jak ludzie. Większy mózg działa trochę jak większy słownik – umożliwia przechowywanie większej ilości informacji, w tym informacji społecznych, i wspiera tworzenie bardziej złożonych sieci relacji.

– Druga hipoteza – kontynuuje prof. Hawks – odwołuje się do funkcji buforowej. Rozwój mózgu jest podatny na zakłócenia. Jeśli mózg jest mały i użytkowany do granic wydajności, to nawet niewielkie zaburzenie może doprowadzić do złamania całego systemu. Duży mózg daje pewien margines bezpieczeństwa. U ludzi widać to w zdolności do regeneracji i reorganizacji funkcji po uszkodzeniach. Duży mózg to nie tylko narzędzie większej złożoności poznawczej, lecz także system zabezpieczeń – zapewniający odporność na urazy, choroby i zakłócenia rozwojowe.

Zagadka hobbitów

H. naledi nie jest jedynym znanym hominidem o małym mózgu. Na indonezyjskiej wyspie Flores, a być może także na Filipinach, jeszcze ok. 50-60 tys. lat temu żyli „hobbici” – skarlłowacali ludzie o jeszcze mniejszych niż *H. naledi* mózgach. To, skąd się tam wzięli, stanowi jedną z największych zagadek paleoantropologii. Być może ulegli obserwowanemu u różnych zwierząt procesowi karłowacenia wyspowego – choć po swoich przodkach (mógł być nim *H. erectus*, o którym wiemy, że pojawił się w Azji ok. 2 mln lat temu) odziedziczyli mózgi o nieco większym rozmiarze. Ale możliwe też, że hobbici wywodzą się ze znacznie starszej linii ewolucyjnej, sięgającej samych początków naszego rodzaju ok. 2,5-3 mln lat temu, czyli czasów, gdy jeszcze żadnym ludziom wyraźnie nie urosły mózgi.

Zapytałem prof. Hawksa, czy hobbici mogli być bliżej spokrewnieni z *H. naledi* niż z nami – czy jedni i drudzy stanowili wspólną falę „ludzi o małych mózgach”.

– Jestem prawie pewien, że nie – odpowiada. – Jedni i drudzy różnią się od nas w inny sposób. U *H. naledi* mamy do czynienia z bardzo spłaszczoną twarzą oraz



LEE R. BERGER RESEARCH TEAM / ELIFESCIENCES.ORG / CC BY-SA 4.0

Homo naledi

zębami o wielkości zbliżonej do ludzkiej, ale o morfologii przypominającej raczej australopiteki. Z kolei u hobbitów jest niemal odwrotnie: zęby są mniejsze niż u ludzi, ale bardziej „ludzkie” w budowie, a twarz przypomina pomniejszoną wersję twarzy *H. erectus*.

– Jeszcze wyraźniej widać to w szkielecie pozaczaszkowym. *H. naledi* ma np. nadgarstek o bardzo „ludzkiej” budowie. Natomiast *H. floresiensis* zachował nadgarstek o cechach bardzo prymitywnych – nawet bardziej pierwotnych niż u australopiteków. To sugeruje, że mamy do czynienia z odrębnymi liniami ewolucyjnymi, a nie z jedną falą drobnych hominidów. Jeśli spojrzymy na populacje o dużych mózgach – jak ludzie współcześni, neandertalczyki czy denisowianie – widzimy raczej wspólne pochodzenie i zestaw cech pochodnych. Natomiast te bardziej zróżnicowane formy o mniejszych mózgach najpewniej reprezentują różne, wcześniej rozgałęzione linie wywodzące się z początków rodzaju *Homo* – dodaje prof. Hawks.

Zarys drzewa

Jak zatem wyjaśnić powstanie *H. naledi*?

– Trudno odwołać się do procesu karłowacenia, bo nie żyli przecież na izolo-

wanym terenie, jak hobbitci – przyznaje prof. Hawks. – *H. naledi* żył w afrykańskim środowisku, w którym inne duże ssaki mogły swobodnie się przemieszczać. To prowadzi do pytania: co właściwie podtrzymuje tak dużą różnorodność w Afryce? Moja odpowiedź odwołuje się do środowiska i ekologii, zwłaszcza chorób. Zasięgi dużych ssaków afrykańskich często wyznaczają gradienty chorób. Populacje przystosowane do określonych patogenów mogą funkcjonować tylko w konkretnych obszarach, co sprzyja utrzymywaniu się różnicowania.

– Te populacje, które znamy często z nielicznych i stosunkowo późnych znalezisk, nie były statyczne. – kontynuuje prof. Hawks. – One ewoluowały – a my nie wiemy jeszcze, jak wyglądały ich wcześniejsze formy, np. czy *H. naledi* mają coś wspólnego z *A. sediba*, który żył na tym samym terenie ok. 2 mln lat temu. Łączenie tych „długich gałęzi” drzewa ewolucyjnego z ich potencjalnymi przodkami to jedno z najtrudniejszych wyzwań współczesnej paleoantropologii.

– Jeśli skupimy się na ostatnich dwóch milionach lat, to wciąż brakuje nam istotnych gałęzi drzewa ewolucyjnego. Najpewniej największe luki dotyczą Afryki

– wiele wskazuje na to, że tamtejsze populacje hominidów były znacznie bardziej zróżnicowane, niż dotąd udało się udokumentować. W Eurazji, zwłaszcza w ciągu ostatniego miliona lat, nasz obraz jest relatywnie lepszy – ale nadal daleki od kompletności. Dobrym przykładem jest Azja Południowa: wiemy, że żyli tam ludzie, ale dysponujemy zaledwie pojedynczymi dobrze udokumentowanymi skamieniałościami. Trudno uwierzyć, by nie istniały tam inne, nieodkryte jeszcze linie rozwojowe – mówi prof. Hawks.

I dodaje: – Jeśli cofniemy się jeszcze głębiej w przeszłość, to nasza wiedza staje się znacznie bardziej szkiecowa. Wiemy na przykład, że wczesne hominidy różniły się dietą – co znajduje odzwierciedlenie w budowie zębów i czaszki – oraz że większość z nich była dwunożna. To ważne ustalenia, ale wciąż bardzo ogólne. Coraz wyraźniej widzimy, że różne gatunki chodziły na dwóch nogach w odmienny sposób. Podobnie wiemy już, że zróżnicowanie rozmiarów ciała było większe, niż sądziliśmy jeszcze dekadę temu.

– Dysponujemy dziś raczej zarysem drzewa ewolucyjnego niż jego szczegółową mapą – przyznaje badacz.

Granice wyobraźni

– Jest jeszcze coś, czym na razie nie mogę się podzielić, ale mam nadzieję opowiedzieć o tym podczas mojego wystąpienia na festiwalu – zaznacza Hawks. – To nowe wyniki badań dotyczące *H. naledi*. To odkrycie było dla mnie dużym zaskoczeniem i gdybyśmy wiedzieli o nim wcześniej, to inaczej podeszlibyśmy do wielu kwestii badawczych. Takie momenty zdarzają się dziś często: pojawia się nowy fakt, który zmienia sposób, w jaki myślimy o przeszłości – i zmusza nas do przeformułowania całych programów badawczych – mówi.

W niedawnych publikacjach Hawks i współpracownicy przekonywali, że znaleźli u *H. naledi* dowody istnienia złożonych rytuałów, sztuki naskalnej, pochówków i ślady użycia ognia. Trudno sobie nawet wyobrazić, co jeszcze mógłby zdziałać dziwaczny małpolud o niewielkim mózgu, penetrujący 300 tys. lat temu niedostępną jaskinię.

Ale przecież to tylko nas zawodzi tu wyobraźnia – jemu niekoniecznie jej brakowało. © ŁUKASZ KWIATEK

Mądra Książka Roku 2025 – dla dorosłych



■ **Nicklas Brendborg (SUPER) STYMULOWANI. JAK NAUKA**

I PRZEMYSŁ MANIPULUJĄ NASZYMI INSTYNKTAMI
tłum. Alicja Głuszak,
CCPress

Jak pozwalamy się wodzić za nosy

KSIĄŻKA demaskuje mechanizmy, dzięki którym wielki przemysł zamienia nasze naturalne instynkty w pułapki. Autor analizuje zjawisko „bodźców nadmiarowych”, pokazując, jak dodawane z premedytacją do produktów spożywczych sól, tłuszczy i cukier czy precyzyjnie zaprojektowane algorytmy mediów potocznościowych przejmują kontrolę nad naszym

układem nagrody, skłaniając nas do zachowań, których racjonalnie wolelibyśmy uniknąć. Píše o tym, jak współczesny marketing wykorzystuje zdobycze psychologii behawioralnej i biologii przeciw nam. Rzuca nowe światło na naszą codzienną walkę z pokusami, przekonując, że to nie brak silnej woli jest problemem, lecz fakt, że żyjemy w środowisku zaprojektowanym tak, by maksymalizować zyski wielkiego biznesu.



■ **Paul M.M. Cooper UTRACONE CYWILIZACJE. JAK ROZKWIATAŁY I UPADAŁY IMPERIA**

tłum. Arkadiusz Bugaj,
Znak Horyzont

Czego nas uczy historia upadku

STRZASKANE TRZONY kolumn wyłaniające się z piasków pustyni, posągi z Wyspy Wielkanocnej patrzące w pustkę i zarośnięte świątynie Angkoru to nie tylko malownicze ruiny – to ostrzeżenia. Paul Cooper przeprowadza „sekcję zwłok” najwspanialszych imperiów świata, analizując moment, w którym duma ustępuje miejsca katastrofie. Demaskuje iluzję trwałości, po-

kazując, że każda cywilizacja jest jedynie chwilowym gościem na Ziemi, a mechanizmy jej zmiernych są przerażająco powtarzalne.

Cooper serwuje gęstą narrację o zmianach klimatu, wyczerpaniu zasobów, wojnach domowych i fatalnych błędach elit. To historia pisana z perspektywy ruin. Ale książka rzuca też światło na naszą terażniejszość, niepokojąco przypominając, że największe tragedie przeszłości rzadko zdarzały się z dnia na dzień.



■ **Crawford Hollingworth, Cathy Tomlinson MÓZG NA AUTOPILOCIE. POZNAJ SIEBIE I ZMIEN WSZYSTKO**

tłum. Magda Witkowska,
Prószyński i S-ka

Weź stery we własne ręce

WIĘKSZOŚĆ Z NAS codziennie pokonuje drogę z pracy do domu, nie rejestrując niemal żadnego zakrętu ani zmiany światła, jakby za sterami naszego ciała siedział niewidzialny pasażer. Ten stan zawieszenia to nie przypadek, lecz dowód na istnienie potężnego mechanizmu, który zarządza niemal całym naszym życiem.

Autorzy zabierają nas w podróż pod powierzchnię świadomości, gdzie rezyduje nasz wewnętrzny autopilot, mechanizm sterujący niemal wszystkimi naszymi codziennymi działaniami. Opisują „cztery kamienie węgielne” naszych zachowań oraz dziesiątki błędów poznawczych, które sprawiają, że bywamy istotami na wskroś nielogicznymi. To jednak nie tylko katalog naszych słabości, ale również poradnik pokazujący, jak przejść na ręczne sterowanie własnym życiem.



■ **Agata Kaźmierska, Wojciech Brzeziński CO TO BĘDZIE? KRÓTKI PRZEWODNIK PO KOŃCACH ŚWIATA**
Port

Zbudowaliśmy świat fascynująco niebezpieczny

NAJCZĘŚCIEJ TRAKTUJEMY wizję globalnej katastrofy jako efektowny scenariusz filmowy, tymczasem Kaźmierska i Brzeziński sprowadzają nas na ziemię, pokazując, że „koniec świata” to w rzeczywistości suma bardzo konkretnych, matematycznych prawdopodobieństw. Autorzy przyglądają się pęknięciom

w fundamentach naszej cywilizacji: od przestarzałych procedur obsługi głowic nuklearnych, przez nieobliczalność sztucznej inteligencji, aż po ukryte w laboratoriach patogeny, które tylko czekają na jeden błąd człowieka.

Nie sięjąc paniki, prowadzą nas przez labirynt współczesnych zagrożeń ze swadą i czarnym humorem. To lektura, która rzuca nowe światło na naszą kruchą codzienność i mówi wiele o świecie, w którym żyjemy.



■ **Agnieszka Krzemińska HOMO (NIE TYLKO) SAPIENS. INNA OPOWIEŚĆ O NASZYCH PRZODKACH**

Wydawnictwo Literackie

Fakty i mity na temat naszego pochodzenia

TRADYCYJNA WIZJA ewolucji jako drabiny, po której wspinaliśmy się od prymitywnych form aż do współczesnego człowieka, już dawno odeszła do lamusa. Krzemińska pokazuje bardziej adekwatny naukowo obraz naszych początków. To opowieść, w której biologia spleta się z kulturą, a *sacrum* z *profanum*.

Dowiemy się, że neandertalczycy nie byli tępymi osiłkami, lecz wrażliwymi artystami, a nasi przodkowie dzielili planetę z całą galerią innych gatunków ludzi, z którymi wchodzili w bliskie relacje. Autorka rzuca nowe światło na rolę kobiet w paleolicie, demaskuje mity dotyczące polowań, opisuje, jak dawne wirusy wciąż kształtują naszą dzisiejszą odporność. Pokazuje, że bycie *Homo sapiens* to wynik przypadków i wzajemnych przenikań wielu ludzkich światów.

Przedstawiamy nominacje w konkursie na najmądrzejsze książki dla dorosłych i dla dzieci. Zwycięzców ogłosimy podczas festiwalu.



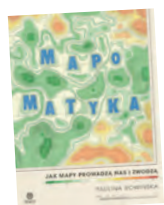
■ Dawid Myśliwiec
WSZYSCY TO ROBIMY, CZYLI KRÓTKA OPowieść O MIJANIU SIĘ Z PRAWDĄ
Altbuch

Przewodnik po poznawczych pałapkach

DLACZEGO WASZE WSPOMNIENIA o rodzinnym obiedzie drastycznie różnią się od wersji pozostałych domowników? Dlaczego tak trudno przekonać kogoś do zmiany zdania, mimo posiadania niepodważalnych dowodów? Dawid Myśliwiec zaprasza nas do fascynującego, a czasem niewygodnego świata

naszych umysłów. Autor rozkłada na czynniki pierwsze mechanizmy kłamstwa, manipulacji i dezinformacji, które towarzyszą nam na każdym kroku – od niewinnych rodzinnych anegdot po wielkie kampanie polityczne.

Tłumaczy, dlaczego nasze mózgi wolą „bezpieczne” kłamstwo od skomplikowanej prawdy i jak łatwo zaszcześcić w nas fałszywe wspomnienia. Książka pomaga zrozumieć, co dzieje się w naszych mózgach.



■ Paulina Rowińska
MAPOMATYKA. JAK MAPY PROWADZĄ NAS I ZWODZĄ
tłum. Michał Rogalski,

Wydawnictwo RN

Kartografia, medycyna, biznes i polityka

GDY PATRZYMY na mapę świata, często widzimy gigantyczną Grenlandię, która rozmiarem zdaje się dorównywać całej Afryce. Ale to nie błąd kartografa, lecz dowód na to, jak bardzo matematyczne próby spłaszczenia kuli zniekształcają naszą wizję rzeczywistości. „Mapomatyka” to opowieść o tym,

jak próba przeniesienia trójwymiarowej Ziemi na płaski papier zmusiła nas do kłamstw – tylko czasem niewinnych. Z książki Rowińskiej dowiedzieć się także, dlaczego długość linii brzegowej zależy od... długości linijki, poznać sekrety nawigacji lotniczej, przeczytać, jak nasz mózg tworzy mapy otoczenia, jak matematyka pomaga ratować życie podczas epidemii i co wspólnego mają kolorowe grafy z planowaniem idealnego usadzenia gości na weselu.



■ Kelly Weinersmith, Zach Weinersmith
MIASTO NA MARSIE
tłum. Dorota Konowrocka-Sawa, Insignis

Kosmiczne marzenia i przyziemne problemy

PODCZAS GDY popkultura karmi nas wizjami odległych galaktyk, rzeczywistość sprowadza nas na Ziemię: między 1972 i 2025 rokiem człowiek nie opuścił się poza pole grawitacyjne naszej planety – zmieniło się to dopiero w tym roku. „Miasto na Marsie” wyjaśnia, dlaczego kosmiczne

podróże – a potem kolonizacja innych globów – są takie trudne.

Autorzy poddają analizie każdy aspekt pozaziemskiego osadnictwa. Od biologicznych ograniczeń, przez porażki zamkniętych ekosystemów (jak Biosfera 2), aż po rozważania o przestarzałym prawie kosmicznym. Podważają też sens traktowania Marsa jako „planu B” dla ludzkości – zwłaszcza przez miliardów z przerośniętym ego.



■ Joshua N. Winn
MAŁA KSIĘGA EGZOPLANET
tłum. Tomasz Lanczewski, Helion

Doniesienia z innych światów

CZY JESTEŚMY SAMI we wszechświecie? Jeszcze trzydzieści lat temu nie znaliśmy ani jednej planety krążącej wokół gwiazdy innej niż Słońce. Dziś wiemy o tysiącach światów, z których niektóre wydają się wyjęte wprost z kart powieści *science fiction*. Joshua Winn zabiera nas w podróż do miejsc, gdzie zamiast deszczu pada płynne żelazo, a planety,

lekkie jak wata cukrowa, krążą wokół dwóch gwiazd jednocześnie. To opowieść o wielkiej epoce odkryć: od pionierskich pomiarów paralaksy w XIX w., przez zastosowanie metody dopplerowskiej w astronomii, aż po kosmiczne misje Teleskopu Keplera. Winn udowadnia, że choć nasz Układ Słoneczny jest dla nas domem, to w skali galaktyki jesteśmy zaledwie małym miasteczkiem na odludziu.



■ Adam Zbyryt
CZEGO SIĘ BOJĄ PTAKI?

Wydawnictwo Poznańskie

Jak się żyje naszym skrzydlatym sąsiadom

WIELU Z NAS traktuje ptaki jedynie jako ożywiony element krajobrazu, tymczasem pod warstwą piór kryje się skomplikowany system wczesnego ostrzeżenia i głęboki świat emocji. Lęk jest dla ptaków nie tylko obciążeniem, ale przede wszystkim precyzyjnym narzędziem nawigacyjnym. Autor wyjaśnia m.in.,

jak urbanizacja, hałas i zmiany klimatu stały się „nowymi drapieżnikami”, które testują granice adaptacji gatunków. Strach bywa zaraźliwy nie tylko wśród ludzi, a nasze codzienne decyzje – od wycinki drzew po sposób gospodarowania przestrzenią – stają się dla ptaków realnym źródłem egzystencjalnego zagrożenia. To opowieść o istotach, które każdego dnia balansują na cienkiej granicy między instynktowną ostrożnością a ciekawością.

Mądra Książka Roku 2025 – dla dzieci



▪ **Jolanta Richter-Magnuszewska**
CO MÓWIĄ ZWIERZĘTA?
Kropka

Wysłuchaj się w odgłosy zwierząt i naucz się ich języka

„**BOJĘ SIĘ**”, „**lubię cię**”, „**jestem gotowy do obrony**” – zwierzęta nieustannie przekazują ważne komunikaty na temat swojego nastroju, stanu zdrowia czy

zamiarów. Aby zrozumieć te przekazy, potrzeba odrobiny dobrych chęci oraz wiedzy. Dużą jej dawkę można znaleźć w książce „**Co mówią zwierzęta?**”. Zawiera ona nie tylko opisy zachowań oraz ich interpretacje, lecz także kody do plików dźwiękowych, które można odstuchać, by nauczyć się „języka” zwierząt niemal jak one same.



▪ **Róża Hajkuś, Paweł Gierliński (ilustracje)**
CO GŁOWIE WYJDZIE NA ZDROWIE? MÓZG WIE I O TYM OPOWIE
Sensus

Wszystko, co trzeba wiedzieć o swoim mózgu

CO LUBI MÓZG? Uwielbia poznawać nowe rzeczy, jeść zdrowe posiłki, spotykać się z przyjaciółmi, a także wypoczywać. Jest też wielkim fanem aktywności fizycznej. Czego mózg się boi i powinien unikać? Przede wszystkim nadmiaru bodźców,

długiego czasu ekranowego, a także social mediów, które skłaniają go do ciągłego porównywania się z innymi i poczucia, że coś go omija. Warto to wiedzieć, by dobrze się tym narządem opiekować. Jak dowodzi książka „**Co głowie wyjdzie na zdrowie?**”, to wcale nie jest takie trudne, trzeba tylko wiedzieć, jak zacząć.



▪ **Boguś Janiszewski, Agnieszka Jankowiak-Maik, Max Skorwider (ilustracje)**
CZY KRZYŻACY TO FAJNI CHŁOPACY?
Agora dla Dzieci

Prawdziwa historia nigdy nie jest nudna

„**PAPIEŻ TŁUMACZY** ludziom, że krucjaty to ich święty obowiązek – 1095 r.”, „**Krzyżacy otrzymują od papieża oficjalne papiery na bycie Krzyżakami – 1190 r.**”, „**Krzyżacy i Polacy walczą ze sobą, obie strony wygrywają – tak przynajmniej**

twierdzą – 1331 r.”. To tylko część kalendarium zawartego w książce, którą Babka od Histy – Agnieszka Jankowiak-Maik – oraz Boguś Janiszewski i Max Skorwider powracają w wielkim stylu. Jak sami piszą: „**wyglądacie mi na kumatych**”, więc przeczytajcie tę pozycję. Poczucie humoru i zamyślenie do absurdu mile widziane.



▪ **Michał Rusinek, Joanna Rusinek (ilustracje)**
BIBUŁA W TAPCZANIE. O SOLIDARNOŚCI DLA DZIECI
Agora dla Dzieci

Opowieści międzypokoleniowe

DLACZEGO MAŁY MICHAŁ po wyjeździe za granicę robił zdjęcia... kolorom? Cemu mama przywoziła mu z Rosji różowy karabin zabawkę? Czym był wyrób „czekoladoniepodobny”? Książka „**Bibuła w tapczanie**” odpowiada na te

wszystkie pytania. Ale co ważniejsze – wyjaśnia młodym czytelnikom, za czym tęsknili Polacy żyjący w latach 80. i dlaczego postanowili się zbuntować przeciwko opresyjnej władzy. Choć temat trudny i wydaje się „dorosły”, publikacja podejmuje te wątki z delikatnością i humorem, stając się cenną pomocą w rodzinnych rozmowach.



▪ **Adam Mirek, Artur Ernest (ilustracje)**
COŚ TU ŚMIERDZI. NAUKA, KTÓRA WRZE, BULGOCZE I WYBUCHA
Znak Emotikon

Wyprawa w świat zapachów – nie tylko tych miłych

CZY CHEMIA to tylko zbiór zagadkowych symboli, czy raczej „**fascynująca opowieść o tym, jak powstaje, zmienia się i przemija wszystko?**” Dla czytelników Adama Mirka

odpowiedź jest prosta – ten badacz i popularyzator nauki zamienia bowiem każdy temat w fascynującą historię: pełną humoru, wybuchów, a nierzadko też „**bebechów**”, „**glutów**” i smrodu. I właśnie zrobił to znowu, w swojej najnowszej książce. Zatem uwaga: **coś tu śmierdzi!**

© Opracowanie
KAMIL KOPIJ, MARTA ALICJA TRZECIAK



Copernicus
Center

Kanał Youtube z programami popularnonaukowymi i wykładami na żywo

COPERNICUS

Jest takie miejsce w kosmosie...

gdzie czytamy naturę
szukamy naszych przodków
odwiedzamy mikrogabinet
rozmawiamy o życiu, umyśle i świadomości
i zawsze zaczynamy od zera



youtube.com/copernicuscenter



Transmisje wszystkich wydarzeń Copernicus Festival tylko na kanale Copernicus



ZŁOŻONOŚĆ ZDROWIA: o nauce, która potrzebuje społeczeństwa

RENATA FRYC, KAZIMIERZ MURZYN

Od kogo dziś zależy nasze zdrowie? Od lekarza, który nas leczy? Od systemu, który nas klasyfikuje? A może od algorytmu, który coraz częściej „wie” o nas więcej niż my sami?

W świecie, który coraz chętniej opisujemy słowem „złożoność”, takie pytania przestają być retoryczne. Zdrowie nie jest już ani wyłącznie sprawą prywatną, ani w pełni publiczną. Rozgrywa się gdzieś pomiędzy – na przecięciu indywidualnych wyborów, możliwości technologii, ambicji nauki i odpowiedzialności wspólnoty. Staje się wspólnym polem działania – nauki, technologii, administracji i... samych obywateli.

Copernicus Festival 2026, poświęcony właśnie złożoności, to dobra okazja, by zadać pytanie: czy jesteśmy gotowi na to, żeby aktywnie współtworzyć (czytaj: zadbać o) przyszłość zdrowia?

Nie chodzi wyłącznie o dostęp do nowoczesnych terapii ani o rozwój medycyny spersonalizowanej. W kontekście cyfrowej rewolucji, w której chcąc nie chcąc wszyscy uczestniczymy, kluczowy staje się dostęp do danych – ich jakość, interoperacyjność i przede wszystkim zaufanie. Bo choć dane pacjentów są dziś jednym z najcenniejszych zasobów



MATERIAŁY PRASOWE K3

KRAKÓW MIASTEM INNOWACJI



Kraków stawia na tworzenie najnowszych technologii i dbanie o jakość życia mieszkańców. Rozwój obszaru *life science* nierozdzielnie łączy się z tymi kwestiami. W naukach medycznych, biologicznych czy biochemicznych innowacje powstają niemal każdego dnia. Co ważne, mają one przełożenie na profilaktykę, diagnostykę, leczenie oraz rehabilitację, ale także tworzenie nowych miejsc pracy i rozwój przedsiębiorstw. Dlatego nasze miasto stara się maksymalnie

wykorzystać ogromny potencjał naukowo-akademicki oraz współpracę takie jak ta, wieloletnia z Kłosem LifeScience Kraków, również do tworzenia przestrzeni do rozmów i powstawania nowych projektów o zasięgu lokalnym, ogólnopolskim i międzynarodowym.

Dr hab. STANISŁAW MAZUR, prof. UEK, I Zastępca Prezydenta Miasta Krakowa

Problem polega na tym, że większość obywateli nie rozumie, jak te dane są wykorzystywane w nauce i jakie korzyści mogą z nich wynikać. Efektem jest pogłębienie nieufności wobec i tak już mało docenianej wartości nauki.

Obywatel może być partnerem – nie tylko źródłem danych

Nie możemy dłużej traktować obywateli (pacjentów) wyłącznie jako dostawców danych. Muszą stać się partnerami w procesie tworzenia wiedzy. Przymus ma nie tylko charakter symboliczny – jest również paradygmatem strategicznym.

Przesunięcie perspektywy jest fundamentalne. Obywatel nie musi być ani jedynie pacjentem, ani anonimowym rekordem w bazie danych. Jest uczestnikiem systemu – osobą, która może świadomie decydować o tym, jak jej dane są wykorzystywane, jakie projekty wspiera oraz jakie cele naukowe uznaje za istotne. Trzeba mieć zaufanie, że obywatele wejdą w rolę partnera nauki i przyjmą (współ)odpowiedzialność za postęp, jeżeli zostaną do tego zaproszeni. W praktyce oznacza to systemową zmianę ich roli oraz rozwój modeli nauki obywatelskiej (*citizen science*), *living labs* i otwartych platform współpracy, w których użytkownicy nie tylko pasywnie udostępniają dane, ale także aktywnie współtworzą badania, testują rozwiązania i uczestniczą w procesie ich wdrażania.

Warto też zauważyć, że mówimy tutaj o wszystkich obywatelach, a nie tylko o pacjentach, czyli podgrupie, która z racji pogorszenia stanu zdrowia jest bardziej zainteresowana tym tematem. To w tym przesunięciu objawia się aspekt strategiczny, ponieważ o ile w leczeniu skupiamy się na krótkim okresie i na konkretnych celach, o tyle w profilaktyce musimy zbierać dane bardziej kompleksowo i w długiej perspektywie. To szerokość i ciągłość danych zdecydują o potencjalnych efektach, jednocześnie jednak złożoność problemu wykładniczo rośnie.

Nauka wobec złożoności

Z perspektywy naukowców złożoność systemów zdrowia to codzienność. Dane medyczne pochodzą z wielu źródeł, mają różną strukturę i jakość oraz opisują rzeczywistość na wielu poziomach jednocześnie – od molekularnego po społeczny. Ich złożoność nie polega tylko na tym, że jest ich dużo, ale na tym, że te dane są ze sobą powiązane w sposób, którego nie da się uchwycić prostymi metodami. Potrzebujemy zaawansowanych modeli obliczeniowych, które pozwolą zrozumieć tę złożoność, a nie tylko ją opisywać. Wyzwaniem jest analiza danych – szczególnie w kontekście szybko upowszechniającej się sztucznej inteligencji oraz modeli predykcyjnych.

współczesnej nauki, wciąż nie rozwiązaliśmy podstawowego dylematu: czyje one są, kto powinien nimi zarządzać i w jaki sposób?

Profilaktyka to w praktyce świat danych

Od lat powtarzamy, że najważniejszym elementem systemu zdrowia jest profilaktyka. Jednak w praktyce nadal funkcjonujemy w modelu reaktywnym – reagujemy na chorobę zamiast jej zapobiegać. Tymczasem, we współczesnym rozumieniu, profilaktyka przestała być zestawem prostych zaleceń. Stała się procesem wymagającym danych – ciągłych, różnorodnych, powiązanych ze sobą: o tym, jak żyjemy, co jemy, gdzie pracujemy, jak śpimy. Dane, które pozwalają zobaczyć zdrowie nie jako stan, ale jako dynamiczny proces.

Przejsie do modelu prewencyjnego wymaga zatem zupełnie innego podejścia: systematycznego monitorowania swojego stanu zdrowia, analizy stylu życia, środowiska oraz wiedzy o czynnikach genetycznych – stowem, ciągłej analizy i syntezy faktów o nas samych. Krytycznym warunkiem jest jednak to, aby informacja zwrotna była poparta wiedzą naukową, nie tzw. wiedzą powszechną.

Tu najwyraźniej objawia się rola danych – nie jako abstrakcyjnego zasobu, ale jako strategicznego narzędzia zarządzania zdrowiem całej populacji. Dane z urządzeń ubieralnych (*wearable*), aplikacji zdrowotnych, badań diagnostycznych czy systemów publicznych mogą tworzyć spójny obraz zdrowia jednostki i populacji. Muszą jednak być dostępne i wykorzystywane w sposób odpowiedzialny.



Collegium Novum Uniwersytetu Jagiellońskiego

→ O komentarz poprosiliśmy dr. inż. Mariana Bubaka i dr. hab. inż. Macieja Malawskiego z Sano – Centrum Indywidualizowanej Medycyny Obliczeniowej, gdzie materia, na której się pracuje, są dane medyczne.

– Sano jest jednym z kluczowych ośrodków w Europie, które rozwijają medycynę opartą na danych i symulacjach komputerowych, dążąc do realizacji wizji cyfrowych bliźniak człowieka – mówi dr Bubak. – W Sano działa pięć zespołów badawczych, obejmujących takie obszary jak analiza danych i obrazów medycznych, neuronauka, bioinformatyka czy zastosowanie obliczeń wielkiej skali. W pracach badawczych łączy się podejścia symulacyjne oparte na fizyce i inżynierii biomedycznej z rozwiązaniami opartymi na danych, czyli sztucznej inteligencji. Wszystkie te rozwiązania wymagają danych, dzięki którym można te modele weryfikować i walidować, czyli sprawdzać ich działanie, a także personalizować, czyli dostosowywać ich przewidywania do indywidualnych pacjentów. Te prace badawcze pokazują, jak ogromny potencjał tkwi w integracji danych klinicznych, biologicznych i środowiskowych. Coraz więcej międzynarodowych ośrodków naukowych czy klinicznych publikuje swoje zbiory danych w otwartym dostępie, przyczyniając się do rozwoju wiedzy i zrozumienia złożonych procesów biologicznych, a także do powstawania coraz lepszych rozwiązań. Bez udziału społeczeństwa oraz dobrej współpracy całego środowiska ten potencjał nie zostanie w pełni wykorzystany.

Miasto jest klastrem innowacji

W kontekście złożoności coraz większą rolę odgrywają naturalne huby innowacji, jakimi są duże miasta. To właśnie na poziomie lokalnym możliwe jest testowanie nowych modeli współpracy, wdrażanie innowacji oraz budowanie relacji między nauką a społeczeństwem. Miasto nie musi być tylko administratorem infrastruktury, ale może stać się aktywnym uczestnikiem ekosystemu – animatorem projektów, partnerem dla uczelni i organizacji oraz platformą dialogu z mieszkańcami.

Kraków jest tu przykładem szczególnie interesującym. Silne zaplecze akademickie, rozwinięty sektor life science oraz aktywność samorządu tworzą unikalne środowisko dla rozwoju innowacji w obszarze zdrowia, w którym łatwiej dotrzeć, zebrać i aktywizować obywateli, aby włączyli się do projektów badawczych. Współpraca z krakowskim ośrodkiem naukowo-akademickim pozwala tworzyć rozwiązania, które są jednocześnie zaawansowane technologicznie i osadzone w realnych potrzebach społecznych.

W tym ekosystemie szczególną rolę odgrywają organizacje klastrowe, które łączą różne środowiska i ułatwiają przepływ wiedzy. Dobrym przykładem jest Klaster LifeScience Kraków, który od lat buduje przestrzeń współpracy między nauką, biznesem, administracją i społeczeństwem.

Jego działania wykraczają poza klasyczne wspieranie innowacyjności i przedsiębiorczości – obejmują także inicjatywy angażujące obywateli.

Celem klastra jest również tworzenie warunków, w których innowacje powstają w dialogu – a nie w izolacji. To oznacza także włączanie obywateli w promocję wiedzy oraz w procesy decyzyjne i badawcze. Przykładem takich działań jest organizowanie spotkań grup tematycznych (jak Active Healthy Ageing), animowanie społeczności na platformie współpracy (LifeScienceOpenSpace.com), współtworzenie map rozwoju współpracy i inne aktywności, które systematycznie umożliwiają łączenie danych, zasobów i kompetencji w skali regionalnej, jak również międzynarodowej.

Zaufanie to nie wszystko, ale bez zaufania wszystko na nic

Ta parafraza z Konfucjusza ma wiele zastosowań i jest prawdziwa również

w omawianym przez nas temacie. Nie ma współpracy bez zaufania, a w kontekście udostępniania danych zdrowotnych jest to jedno z największych wyzwań współczesnej nauki.

Nieufność wobec udostępniania danych zdrowotnych jest zrozumiała. Dotykają one najbardziej intymnych obszarów życia. Łatwo wyobrazić sobie ich niewłaściwe użycie, trudniej – korzyści, które mogą przynieść. Przez lata przyzwyczailiśmy się myśleć o obywatelu jako o kimś, kto w najlepszym razie korzysta z efektów nauki, a w najgorszym – jest tylko źródłem danych. Tymczasem to podejście po prostu przestaje działać. Obywatele muszą mieć pewność, że ich dane są chronione, że są wykorzystywane w sposób etyczny i że przyniosą realne korzyści.

Naukowcy i instytucje publiczne muszą nauczyć się komunikować o swoich działaniach w sposób przejrzysty i zrozumiały. Tu nie wystarczą tylko regulacje prawne (jak European Health Data Space), ale konieczne są zmiany w kulturze – odejście od hermetycznego języka nauki na rzecz dialogu. Jeżeli chcemy rozwijać nowoczesną profilaktykę czy medycynę spersonalizowaną, musimy zaprosić obywateli do środka – nie symbolicznie, ale realnie. To oznacza prawo do decydowania o własnych danych, ale też zrozumienie, do czego one służą i jakie efekty przynoszą. Bez tego nie będzie ani zaufania, ani rozwoju, bo przyszłość zdrowia nie będzie tworzona wyłącznie w laboratoriach ani klinikach. Będzie powstawać, zanim będziemy potrzebować pomocy lekarskiej, na styku różnych światów – nauki, technologii, polityki i codziennych wyborów obywateli.

Jak zauważa dr hab. Maciej Malawski: – Algorytmy mogą być doskonałe, ale jeśli dane, na których pracują, są ograniczone lub obciążone błędem, wyniki będą niepełne. Równocześnie wiemy, że żaden model nie jest doskonały, a jest on jedynie pewnym przybliżeniem naszej niezwykle złożonej rzeczywistości. Dlatego tak ważne jest szerokie, reprezentatywne zaangażowanie społeczne.

Być może najtrudniejsza zmiana polega na tym, że zdrowie przestaje być czymś, co można „powierzyć” systemowi. Staje się obszarem współodpowiedzialności. Nie oznacza to przeniesienia ciężaru na jednostkę. Oznacza raczej uznanie, że w świecie złożonym żadna instytucja – nawet najbardziej zaawansowana – nie jest w stanie działać samodzielnie, a dbałość o zdrowie będzie kształtować się w relacjach między nauką a społeczeństwem, między indywidualnym doświadczeniem a danymi zbiorowymi.

■ ■ ■

Być może to właśnie jest najważniejsza lekcja złożoności: że odpowiedzi na pytania o nasze zdrowie powinniśmy szukać nie w jednym miejscu, ale w wielu relacjach.

RENATA FRYC, KAZIMIERZ MURZYN – Klaster LifeScience Kraków, partner Miasta Krakowa

COPERNICUS FESTIVAL: ZŁOŻONOŚĆ

22.05.2026

STREFY TEMATYCZNE

- chaos • struktura
- sieć • enigma

DLA MŁODYCH ODKRYWCÓW

uczniów szkół
podstawowych i średnich



www.copernicusfestival.com/kampus

STREFA KAMPUS

III Kampus
Uniwersytetu Jagiellońskiego
ul. Gronostajowa 7
30-387 Kraków



ORGANIZATORZY:



PATRONAT HONOROWY:

Marcin Kulasek
Minister Nauki
i Szkolnictwa Wyższego



PRZY WSPARCIU:



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego



PARTNERZY:



kbf:



MIASTO GOSPODARZ:



PARTNERZY MEDIALNI:

