

**TYGODNIK
POWSZECHNY**

Nr 20/2025

**KATALOG
FESTIWALOWY**

WWW.COPERNICUSFESTIVAL.COM

COPERNICUS FESTIVAL

20–25 MAJA

tajemnica



**COPERNICUS
FESTIVAL**



Szanowni Państwo!

Kraków od momentu założenia Akademii był ośrodkiem, w którym nauka przeplatała się na każdym kroku z innymi dziedzinami życia. Dlatego też ogromnie cieszy fakt, że nasze miasto stało się miejscem narodzin tak szczególnej inicjatywy jak Copernicus Festival – forum szerokiej wymiany myśli i przestrzeń spotkania przedstawicieli rozmaitych dyscyplin. Organizatorzy już od ponad dekady umożliwiają nam wspólne poszukiwanie odpowiedzi na pytania dotyczące natury istnienia i wyzwań stojących przed ludzkością XXI wieku.

Copernicus Festival to wydarzenie, w ramach którego nauka spotyka się z duchowością, sztuka z fizyką, a kosmologia podaje dłoń humanistyce. Społeczność Festiwalu w równych proporcjach tworzą badacze, artyści i myśliciele poszukujący nowych metod refleksji nad współczesnością poprzez otwarcie na inne sposoby poznawania świata. Równocześnie otwarta formuła imprezy pozwala na wyjście poza hermetyczne mury uniwersytetów, instytutów badawczych i pracowni twórczych.

Gorąco zachęcam wszystkich żądnych wiedzy i wrażliwych na kulturę do udziału w tegorocznej edycji Copernicus Festival! Jak co roku w maju będziemy mogli stać się świadkami, jak szkiełko i oko łączy siły z czuciem i wiarą.

Aleksander Miszański
Prezydent Miasta Krakowa



COPERNICUS FESTIVAL 2025 / TAJEMNICA

Nadszedł czas, by uchylić rąbka tajemnicy i przedstawić program tegorocznej edycji Copernicus Festival.

W pierwszym artykule tego katalogu Łukasz Lamża przekonuje, że pytanie zasługuje na miano Tajemnicy tylko wtedy, gdy nie mamy pojęcia, jak na nie odpowiedzieć – czyli nie potrafimy sobie choćby wyobrazić procedury prowadzącej w skończonej liczbie kroków do tej odpowiedzi. Jedną z tak rozumianych tajemnic wiąże się z matematyką: wciąż nie wiemy, dlaczego jest ona tak skutecznym narzędziem badania przyrody. Dlaczego w równaniach, które opisują pewien aspekt rzeczywistości, ukryte są przewidywania, o których autorzy tych równań nawet nie śnili? Klasycznym przykładem są czarne dziury i fale grawitacyjne, zaobserwowane w ostatniej dekadzie. Szukaliśmy ich, ponieważ ich istnienie wynika ze stworzonej przez Alberta Einsteina teorii grawitacji – z czego on sam nie zdawał sobie sprawy. Równania okazały się mądrzejsze od swojego twórcy (odkrywczy?).

Pytanie o tę zagadkową, jak mawia Michał Heller, matematyczność przyrody jest pytaniem na wskroś metafizycznym. Nauka dotyka także innych pytań mających metafizyczny wydźwięk, do odpowiedzi na które przynajmniej powolutku się zbliżamy. Skąd pochodzimy? Skąd wziął się wszechświat? Na czym polega życie? Co odróżnia nas od innych zwierząt? Czym jest świadomość – i czy można ją spotkać nie tylko u istot żywych, ale także w komputerach?

Tegoroczni goście festiwalu zmagają się właśnie z tymi pytaniami. Wśród nich znajdują się: archeogenetyczka Zuzana Hofmanová, odczytująca historię z DNA naszych przodków; kosmolożka Ruth Durrer, próbująca zrozumieć wszechświat dzięki badaniom mikrofalowego promieniowania tła – kosmicznej poświaty po Wielkim Wybuchu; neurokognitywista Stanislas Dehaene – najbardziej wpływowy na świecie badacz świadomości, mechanizmów uczenia się i posługiwania się przez umysł matematyką; Klaus Zuberbühler, który w małej komunikacji doszukał się reguł przypominających te występujące w naszym języku; oraz Terry Sejnowski – jeden z głównych ojców sztucznej inteligencji.

W niniejszym katalogu przybliżamy dokonania naszych gości, przedstawiamy pełny program festiwalu, omawiamy tematy w nim zaplanowane i prezentujemy nominacje w konkursie na Mądrą Książkę Roku, który tradycyjnie rozstrzygniemy podczas festiwalu. Poprosiliśmy też niektórych naszych gości, by opowiedzieli o większych i mniejszych naukowych zagadkach, które ich osobiście intrygują i inspirują.

W tym roku każdy festiwalowy dzień poświęcony jest innemu zagadnieniu. Oznacza to, że jeśli jakiś temat Was szczególnie interesuje, będziecie musieli spędzić w Muzeum Inżynierii i Techniki w Krakowie lub na kanale YouTube „Copernicus” całe popołudnie i wieczór. Nie przejmujcie się, jeśli w związku z tym zaniedbacie jakieś obowiązki. Nikomu nie powiem – to będzie nasza wspólna tajemnica.

© ŁUKASZ KWIATEK



4. Oto wielka tajemnica wiedzy
ŁUKASZ LAMŻA

9. Najpiękniejsze prawo Keplera
MAREK ABRAMOWICZ

14. Kosmiczne anomalie
SEBASTIAN J. SZYBKA

19. Co się dzieje w czarnych dziurach
MACIEK WIELGUS

24. Jak się uczymy
ROZMOWA
ZE STANISLASEM DEHAENE'EM

30. Program festiwalu

36. Kronika zapisana genami
WOJCIECH BRZEZIŃSKI

41. Dobre owoce złego drzewa
AGNIESZKA KŁOCH

43. Zrozumieć szympansy
ŁUKASZ KWIATEK

48. Duch w maszynie
JAN K. ARGASIŃSKI

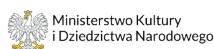
56. Mądre książki roku 2024 dla dorosłych i dzieci
KAMIL KOPIJ,
MARTA ALICJA TRZECIAK

WSPÓŁWYDAWCY



**TYGODNIK
POWSZECHNY**

REDAKCJA: ŁUKASZ KWIATEK, WSPÓŁPRACA: ŁUKASZ LAMŻA, MARTA BIELIŃSKA, PIOTR URBAŃCZYK
PROJEKT GRAFICZNY: MAREK ZALEJSKI | FOTOEDYCJA: KATARZYNA BUŁTOWICZ
TYPOGRAFIA: ANDRZEJ LEŚNIAK | KOREKTA: KATARZYNA DOMIN, SYLWIA FROŁOW,
MAGDALENA PAWŁOWICZ, MACIEJ SZKLARCZYK | PROMOCJA: DIANA SAŁACKA
GRAFIKA NA OKŁADCE: ANNA KUBIK
KRAKÓW 2025, ISBN 978-83-65610-28-7



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. Pasma „Nauka czytania” dofinansowano ze środków Ministra Kultury i Dziedzictwa Narodowego pochodzących z Funduszu Promocji Kultury.



Oto wielka tajemnica wiedzy

ŁUKASZ LAMŻA

Większość naukowych zagadek nie zasługuje na dumne miano tajemnicy. Po czym poznać, że mamy do czynienia z tylko bardzo trudnym pytaniem? Ano po tym, że, przynajmniej teoretycznie, da się na nie odpowiedzieć.

Moja ulubiona tajemnica to zagadka „gwiazdnej galaretki”. Nazwą tą określa się białawą żółtawą substancję, która w niejasnych okolicznościach pojawia się czasem na trawie, mchu czy gałęziach. W słowniku angielsko-łacińskim z 1440 r. pojawia się termin *sterre slyme*, w języku walijskim *pwdr ser*, oznaczający „gwiazdne próchno”, a w niemieckim *Meteor-gallerte*. Tematem zainteresowała się w 2008 r. BBC, a próbki „gwiazdnej galaretki” zbadał brytyjski botanik, mykolog i genetyk. Okazało się, że nie ma ona struktury komórkowej, a analizy genetyczne nie wskazały na jej pochodzenie od żadnego konkretnego organizmu. W dość przyzwoitej encyklopedii „The Atmosphere and Ionosphere” (Springer, 2014) rosyjski fizyk Vladimir Bychkov w artykule „Atmospheric Gelatinous Meteors” stwierdził, że sprawa jest, no cóż, tajemnicza.

Przypadek gwiazdnej galaretki przypomina nam, że w każdej dziedzinie odnajdziemy pytania bez odpowiedzi. Biologowie chętnie opowiedzą nam, że nie mają żadnego dobrego scenariusza powstania życia, albo wirusów, albo odpowiedzi na pytanie, czym jest starzenie i czy można je powstrzymać. Psycholodzy zwierzą się pewnie, że nie potrafią opisać wyłącznie w języku „mózgologii” większości zaburzeń psychicznych i wielu zwykłych zjawisk umysłowych, takich jak nuda, zazdrość czy zamyślenie się. Astronomowie mogą zacząć skromnie, choćby od wciąż nierozwikłanej zagadki super-energetycznych rozbłysków na nocnym niebie, albo od razu pójść na całość i przypomnieć, że 95 proc. energii kosmosu to „ciemny sektor” o nieznanej tożsamości.

Swoje wielkie zagadki mają też matematycy, którzy – jakżeby inaczej – lubią je gromadzić w listy i numerować. Najślynniejsza jest lista 23 problemów Hilberta z 1902 r. – z tych obecnie rozwiązano w pełni tylko dziewięć. Nawet pieniądze nie pomagają: w 2000 r. Clay Mathematics Institute ogłosił, że da milion dolarów każdemu, kto rozwiąże jeden z siedmiu problemów matematycznych: to tzw. problemy milenijne. Jak do tej pory, rozwiązano tylko jeden z nich.

Tylko trudne pytanie

Twierdzą, że większość tych zagadek nie zasługuje na dumne miano tajemnicy. Po czym poznać, że mamy do czynienia z (tylko) bardzo trudnym pytaniem? Ano po tym, że, przynaj-

mniej teoretycznie, da się na nie odpowiedzieć. Przykładowo, możemy sobie bez trudu wyobrazić, że pewnego dnia ktoś kiedyś wyjdzie na mównicę i powie tak: „Szanowni Państwo! Wykryliśmy właśnie cząsteczki ciemnej materii! Uprzejmie informujemy, że tyle kłopotu sprawiał nam... no, nie zgadli-byscie: niepozorny wimpaksjon, przewidziany już w 1978 r. Na następnym slajdzie przedstawimy kilka nieczytelnych wykresów i aż cztery zupełnie nowe kombinacje greckich liter, a na ostatnim zdjęcia trzech panów w sweterkach, na temat których oczywiście nic nie możemy sugerować Szwedzkiej Akademii Nauk”. Byłby to oficjalny moment rozwiązania problemu tożsamości ciemnej materii.

Do tej kategorii należą również problemy, w przypadku których nie możemy liczyć na tego typu jednoznaczne, „oficjalne” rozwiązanie. Odpowiedź na pytanie „Jak powstało życie?” nie istnieje w takim samym sensie, jak odpowiedź na pytanie „Czy wszystkie nietrywialne zera funkcji dzeta Riemanna mają część rzeczywistą równą $\frac{1}{2}$?” (jest to jedno z pytań za milion dolarów). W tym drugim przypadku wiemy doskonale, co uznalibyśmy za satysfakcjonującą odpowiedź („Tak” albo „Nie”, plus dowód). W przypadku pytania o pochodzenie życia albo o neurologiczne wytłumaczenie nudy nie mamy takiego komfortu. Nigdy nie nastąpi konferencja prasowa na temat zagadki życia i trzy slajdy, po których wszyscy powiedzą „Aha!”. Propozycją odpowiedzi będzie raczej długaśny, szczegółowy scenariusz, który jedni zaakceptują jako zadowalającą odpowiedź, ale inni stwierdzą, że trzeba to i owo dojaśnić. Co gorsza, rozwój wiedzy może podnosić nasze wymagania: coś, co dzisiaj zadowoli nas jako „wyjaśnienie powstania życia”, za 100 lat może wydawać się naiwne i niekompletne. Tymczasem dowód hipotezy Poincarégo nie zestarzeje się nigdy.

Pytania naukowe możemy więc podzielić roboczo na te, które posiadają *jednoznaczną* odpowiedź, i takie, które mają tylko odpowiedź w jakimś stopniu *zadowalającą*.

Tego nie powiem

To jednak tylko wierzchołek góry lodowej. Pochylmy się troszkę nad słowem „tajemnica”, korzystając z matrycy religijnej. Tuż po Przeistoczeniu wierni wspólnie wyśpiewują „wielką tajemnicę wiary” (w jednej z formuł, której

→

→ mnie nauczono: „Głosimy śmierć Twoją, Panie Jezu, wyznajemy Twoje zmartwychwstanie, i oczekujemy Twego przyścia w chwale”). Czym jest „tajemnica”? Podstawowe znaczenie to: „coś, czego *nie wolno* wypowiedzieć na głos”. Prawdy wiary chrześcijańskiej faktycznie były początkowo tajemnicami w tym sensie: wyznawcy tej nowej religii byli wszak przez lata prześladowani i nierzadko decydowali się na spotkania potajemne.

Jest też jednak inne, choć pokrewne znaczenie: „to, czego się *nie da* wypowiedzieć”. To raczej w tym sensie teolodzy mówią dziś o tajemnicy wiary, *mysterium fidei*. Jak to możliwe, że Jezus umarł – *naprawdę* umarł – a następnie wstał z martwych? Czy Bóg może umrzeć? A swoją drogą – jak to w końcu jest: to jeden Bóg czy trzech bogów? Jeśli zada się te wszystkie pytania zupełnie wprost, naiwnie, bez obciążenia stuleciami teologii – tak jak musieli na to patrzeć pierwsi chrześcijanie – trudno nie dojść do wniosku, że każda odpowiedź będzie prędzej czy później zawierać jakąś sprzeczność.

Teolodzy chrześcijańscy szybko zaakceptowali ten fakt i uczynili z niego powód do dumy. Tertulian, który ok. 190 roku n.e. dołączył do „braci w Chrystusie”, w „De Carne Christi” („O Ciele Chrystusa”) napisał tak: „I umarł Syn Boży, co wręcz dlatego jest wiarygodne, że jest niedorzeczne. I złożony w grobie zmartwychwstał – to jest pewne, bo niemożliwe”. A oto św. Augustyn błyskotliwie o Bogu: „Gdybyś go zrozumiał, nie byłby Bogiem”. Aktualny Katechizm Kościoła Katolickiego również określa niektóre prawdy wiary jako „tajemnice”. To już bardzo mocne postawienie sprawy: pytania typu „Kim jest Bóg?” albo „Jak to możliwe, że istnieje jeden Bóg w trzech osobach?”, albo „Dlaczego wszechmocny i dobry

Bóg pozwala na istnienie zła?” nie mają odpowiedzi w żadnym konwencjonalnym sensie.

Nie tylko chrześcijanie zmagają się z podobnymi problemami. Nagardżuna, który żył mniej więcej wtedy co Tertulian, tylko 5 tys. km dalej na wschód, natrafił na poważny problem logiczny, gdy zastanawiał się nad ideą nirwany. Cały 25. rozdział jego Mūlamadhyamakakārikī to próba opisanie nirwany przy pomocy kategorii, jakimi posługiwali się w jego czasach wykształceni Hindusi. Na początek spróbujmy ustalić, czy nirwana istnieje. Najpierw okazuje się, że nirwana nie może istnieć – ponieważ wszystko, co istnieje, podlega powstawaniu i niszczeniu, narodzinom i śmierci. Nirwana miałaby zaś być wyjściem z owego nieszczęsnego cyklu! Nirwana nie może też jednak nie istnieć – mówi się wszak, że nirwana to stan uwolnienia się od uwarunkowania. Coś więc o niej mówimy: czyli nie może być niczym. „Gdyby nirwana była niczym, jak mogłaby być nieuwarunkowana? Nie ma przecież żadnego *niczego*, które jest nieuwarunkowane”, wyraźnie irytuje się Nagardżuna w ósmej zwrotce. Wniosek: dajmy sobie spokój z próbami językowego opakowania nirwany. Elegancko podsumował to Paul Williams w „Buddyzmie mahajany”: „Skoro nirwana jest skutkiem uspokojenia kategoryzującego, konceptualizującego umysłu, to wszelka próba konceptualizacji nirwany jest z zasady niemożliwa”.

Pytanie graniczne

Bardzo ładnie, ale czy ma to jakikolwiek związek z wielkimi pytaniami naukowymi? O, fundamentalny! Nie tylko wierni mają przecież problem z paradoksami, które wynikają w istocie z ograniczeń języka.

Zacznijmy od przykładu z dziedziny fizyki. Przypuśćmy, że zostałem nauczony „języka newtoniańskiego”, przy pomocy którego potrafię mówić o cząstkach, ich położeniach i prędkościach, siłach, oddziaływaniach i tak dalej. Nagle gruchnęła bomba: cząstka wystrzelona w stronę ekranu, w którym znajdują się dwie cienkie szczeliny, „przelatuje przez obie naraz”. Jest to paradoks na miarę Tajemnicy Trójcy: jedna cząstka w dwóch miejscach to w ramach fizyki klasycznej coś pomiędzy błędem a absurdem. Rozwiązanie? Naucz się nowego języka! W ramach „języka kwantowego” sprzeczność znika: w języku stanów, funkcji falowych i prawdopodobieństw dokładnie to samo zjawisko można opisać na sposób niesprzeczny. To jeden z lepszych przykładów na sytuację, gdy problem nierozwiązywalny w ramach jednego języka staje się rozwiązywalny po przestawieniu się na inny. Słowem „tajemnica” można by więc określać takie pytanie, na które nie da się odpowiedzieć przy pomocy obecnie uznanego języka: ba, nie da się na jego temat w ogóle do-



Jak poznać samych siebie?

JEST TAKA TAJEMNICA, Z KTÓRĄ NIEUCHRONNIE KONFRONTUJEMY SIĘ, gdziekolwiek się wybierzemy i cokolwiek robimy. Tajemnica, którą nieliczni z nas zajmują się naukowo, ale wszyscy bez wyjątku – amator-sko. Tą tajemnicą jesteśmy dla siebie my sami. I choć wezwanie „poznaj samego siebie” towarzyszy nam od tysięcy lat, wciąż nie wiemy, co to dokładnie znaczy ani w jakim stopniu poznanie samego siebie jest w ogóle możliwe. Czy żeby poznać siebie, wystarczy znać garść faktów na swój temat? Na przykład wiedzieć, że lubię lukrecję, płakałem na „Królu lwie” i zdarza mi się wkładać do dżemu oblistaną wcześniej łyżeczkę? A może musimy w tym celu zgłębić pytania dużo bardziej doniosłe? Czy byłbym dobrym rodzicem? Czego najbardziej się boję? Co nadaje mojemu życiu sens? Ponadto, choć z jednej strony wydaje się, że to my sami mamy najlepszy dostęp do naszego wnętrza, my sami możemy też być najbardziej rozczarowani tym, co tam zastaniemy. Stąd biorą się rozległe opisywane w literaturze, a nam wszystkim znane z praktyki, mechanizmy samooszukiwania. Może zatem nieco paradoksalnie poznawać samego siebie możemy najskuteczniej w relacji z innymi ludźmi, zwłaszcza bliskimi, przyjaciółmi lub terapeutami, którzy pomagają nam dostrzec to, co przed nami samymi ukryte?

JĘDRZEJ GRODNIEWICZ, FILOZOF, UNIWERSYTET JAGIELLOŃSKI

brze *myśleć*, ponieważ umysł poruszający w ramach danego systemu kategorii natrafia na sprzeczności, paradoksy i absurdy. To częsta sytuacja w nauce: coś kompletnie niewyobrażalnego staje się zrozumiałe dopiero w ramach nowego języka teoretycznego. Mogę sobie tylko wyobrazić frustrację biologów, którzy przed Darwinem próbowali zadać pytanie: „Dlaczego to stworzenie wygląda i zachowuje się tak, a nie inaczej?”, nie umiając jeszcze myśleć i mówić pojęciami typu: „adaptacja”, „ewolucja” czy „nacisk selekcyjny”.

Czy istnieją dziś tak rozumiane tajemnice naukowe? W ich poszukiwaniu warto przyrzeć się tym sytuacjom, gdy próbujemy mówić o podstawowych kategoriach jakiegoś języka. Fizycy na przykład nie mają żadnej prostej odpowiedzi na pytanie, czym jest energia. Biolodzy, choć zajmują się życiem, niezbyt lubią rozmawiać o jego definicji; podobnie mają psycholodzy z definicją umysłu albo świadomości.

Pod papierowy dywan

We wszystkich tych przypadkach odpowiedzią może być ogólniejszy, lepszy język. Czy jednak zawsze możemy liczyć na jego istnienie? Przyjrzyjmy się czemuś naprawdę kłopotliwemu: na przykład pytaniu, skąd wziął się cały fizyczny Wszechświat?

Istnieją poważne wątpliwości, czy jakikolwiek język matematyki-fizyki jest w stanie opisać powstanie... matematyki-fizyki. Czy można opisać takie prawo fizyki, które opisuje powstawanie praw fizyki? Zaczynamy niebezpiecznie zbliżać się do starego problemu barona Münchhausena: czy da się wyciągnąć siebie samego z bagna za włosy? Albo, korzystając z mojego ulubionego przykładu: czy istnieje taki legalny ruch szachowy, który jest w stanie sprawić, że szachownica poszerzy się o dziewiąty rząd? Istnieją oczywiście heroiczne próby zrobienia właśnie tego. Stephen Hawking, współautor jednej z takich propozycji, tzw. modelu Hartle’a-Hawkinga, napisał nawet w książce „Wielki Projekt”, że jego model fizyczny opisuje powstanie Wszechświata z niczego, rozwiązując za jednym zamachem wszystkie problemy metafizyki i teologii.

Problem polega oczywiście na tym, że zrobiliśmy tylko tyle, że zamietliśmy pytanie o powstanie Wszechświata pod dywanik o grubości kilku kartek papieru. „Nic” Hawkinga to pewien ściśle określony stan pewnego dobrze zdefiniowanego systemu. Nawet więc jeżeli istnieje proces pozwalający na przechodzenie ze stanu określonego jako „próżnia” do stanu określanego jako „Wszechświat”, to na nasze kolana spadło po prostu trudniejsze pytanie: skąd wziął się ów proces? Co więc dalej – czy mamy teraz zacząć konstruować kolejny, jeszcze ogólniejszy język? Czy można tak w nieskończoność? Przypuszczenie takie wymaga od nas sporej wiary w moc języka – *de facto* musimy bowiem przyjąć, że możliwości języka są nieskończone.

W ten sposób docieramy do idei Tajemnicy. Byłoby to pytanie, na które nie tylko nie da się odpowiedzieć w ramach tego czy tamtego języka, albo nawet wszystkich języków, którymi będziemy kiedykolwiek władać, ale jakiegokolwiek w ogóle języka. Posłużmy się najlepszym chyba narzędziem do myślenia o takich sprawach, czyli „Biblioteką Babel” J.L. Borgesa – wyobrażoną biblioteką, zawierającą wszystkie możliwe książki: wszystkie możliwe kombinacje znaków →

Kraków

MIT



Zajeżdźnia
przy ul. św. Wawrzyńca 15

Miasto. Technoczułość w Muzeum Inżynierii i Techniki

Odkryj tajemnice techniki na wyjątkowej wystawie nagrodzonej muzealnym Oscarem.

Daj się oczarować nieoczywistemu pięknu zabytków techniki.

Wybierz się w pasjonującą podróż w czasie – od starożytności przez obie rewolucje przemysłowe i powojenną modernizację – aż po czasy współczesne.



600 zabytków techniki, radia, komputery, samochody, tramwaje...

Dzięki nim odkryjesz, jakie magiczne opowieści kryją się w pozornie zwykłej codzienności miejskiego życia. Blisko każdego z nas.

mit.krakow.pl



MUZEUM INŻYNIERII I TECHNIKI – INSTYTUCJA KULTURY MIASTA KRAKOWA

→ drukarskich. W Bibliotece Babel znajdują się nie tylko wszystkie dzieła Sienkiewicza, ale i wersja „Trylogii”, w której Kmicic ma ze mną romans! Jest tam też rozstrzygnięcie hipotezy Riemanna, cała fura książek o tożsamości ciemnej materii, a także dowolnie szczegółowy opis tego, jak powstało życie na Ziemi oraz jak działa mózg ludzki.

Chrześcijaństwo twierdzi, że nie znajduje się tam wyjaśnienie tego, kim jest Bóg.

Buddyści twierdzą, że nie znajduje się tam wyjaśnienie, czym jest nirwana.

Czy my, naukowcy – jeśli wolno mi tak powiedzieć – mamy takie pytanie, którego odpowiedź nie mieści się na kartach Biblioteki Babel, po prostu dlatego, że jest to Tajemnica wymykająca się mówieniu i myśleniu: coś, czego nie da się w ogóle wypowiedzieć? Czy w Bibliotece Babel jest *odpowiedź* na pytanie Leibniza „Dlaczego istnieje coś, raczej niż nic?”.

Jest coś niewyraźnego

Zadajmy jeszcze ogólniejsze pytanie: czy w ogóle istnieją Tajemnice? Nawet jeśli mamy nadzieję, że ta lub tamta potencjalna Tajemnica należy jednak do grona „tylko trudnych pytań” albo „zwykłych tajemnic” – z którymi rozprawimy się dzięki lepszemu teleskopowi albo lepszej teorii – zawsze pozostaje to pytanie: czy każde wyobrażalne pytanie uda nam się w ten sposób ogarnąć? A może jednak Tajemnice istnieją?

Jest kilka tradycyjnych odpowiedzi na to pytanie. Najprostsza brzmi: nie, nie ma Tajemnic – Nauka w porozumieniu z Logiką i Epistemologią odpowiedzą ostatecznie na wszystkie pytania. Kwestie kosmosu rozwiąże nam Hawking z kolegami; kwestie Boga – Dawkins z kolegami; kwestię Umysłu – Dennett z kolegami, i tak dalej. Ostatecznie okaże się, że wszystko sprowadza się do atomów, a atomy uda się wytłumaczyć jakimiś sprytnymi samowzbudnymi zasadami matematyko-fizyki. Nawet jeśli nie nastąpi to za naszego życia, to wierzymy, że będzie tak w hipotetycznej nieskończonej przyszłości. To jest taka nasza Wielka Tajemnica Wiedzy: że Tajemnicy nie ma.

Czy jednak naprawdę każde pytanie, jakie jesteśmy w stanie sformułować, da się przetłumaczyć na konkretny rozwiązywalny problem naukowy? Pytania możemy podzielić na dobrze i źle sformułowane. Na dobrze sformułowane kiedyś w końcu odpowiemy. Na źle sformułowane, jak te wszystkie pierdoły o sensie życia, Bogu i dobrym życiu, nie godzi się w ogóle odpowiadać – bo to tylko jakieś dziwne zbitki sylab udające porządną język, ale nieodnoszące się do żadnego Faktu. Ludwig Wittgenstein kombinował właśnie w tę stronę. „Do odpowiedzi, której nie można [porządnie] wyrazić, nie można też [porządnie] wyrazić pytania”. Możemy sobie ewentualnie *namrotać* o wielkich zagadkach, ale nie można na ten temat porządnie *rozmawiać*. Wielu naukowców ma pewnie taki pogląd na świat: istnieje zbiór do-

Czy można opisać takie prawo fizyki,

które opisuje

powstawanie praw fizyki?

Zbliżamy się do problemu

barona Münchhausena:

czy da się wyciągnąć

siebie samego z bagna

za włosy?

brze sformułowanych problemów, na które da się odpowiedzieć, a poza tym zbiorem kryje się tylko podejrzana, mętna gadanina plebsu.

W innej części tej samej książeczki Wittgensteina, noszącej tytuł „Tractatus logico-philosophicus”, padają jednak mocniejsze tezy: że poza zbiorem dobrze sformułowanych pytań coś jednak *jest*. „Jest jasne, że etyki nie da się wypowiedzieć”. „Sens świata musi leżeć poza nim”. „Śmierć nie jest zdarzeniem w życiu”. Uff. Grubo. W tezie noszącej numer 6.522 (ów porządną austriacki filozof ponumerował wszystkie tezy swojego „Traktatu”) mamy

już mocne zdanie egzystencjalne: „Jest zaiste coś niewyraźnego” – w oryginale „*Es gibt*” – takie coś *istnieje*. Parę przykładów już mieliśmy: etyka, sens świata, śmierć. W tezie 6.44 dostajemy inną sugestię: „Nie to, *jaki* jest świat, jest tym, co mistyczne, lecz to, że jest”.

Zapraszamy do milczenia

Przypuśćmy więc, że istnieje coś poza uniwersum języka, co można jednak określić jako pytanie: coś, co smyra nasz mózg mniej więcej tak, jak robią to pytania, ale gdy tylko próbujemy na ten temat rozmawiać lub pisać, rezultat jest niesatysfakcjonujący.

Czy da się na temat tego *czegoś* powiedzieć coś więcej? Spróbuję wysunąć dwie ostrożne propozycje. Po pierwsze, dobrym kandydatem są pytania dotyczące istnienia jako takiego: prawdopodobnie dlatego, że każde mówienie w ogóle musi jakieś istnienie zakładać – a więc próba omówienia tego problemu wyrzuca nas poza margines dowolnego języka, jaki sobie tylko jesteśmy w stanie wyobrazić. Dodam też, że istnieją dwie wielkie kategorie istnienia, zwane Ja i Nie-Ja, które prowadzą być może do dwóch wersji tego samego pytania. Raz: Jak to jest, że istnieje Wszechświat? (Czy mógł stworzyć sam siebie? Jak mógłby wyglądać proces powstawania Wszystkiego?). Dwa: Jak to jest, że ja istnieje? (Czym jest świadomość? Czy jakikolwiek *przedmiot* potrafi wygenerować *podmiot*?).

Po drugie, skoro już poruszamy się poza granicami porządnego mówienia, poza granicami pojęć, kategorii i różniczeń, rozsądnie byłoby uznać, że wyznaczanie liczebności Tajemnic to lekka przesada. Gdybym orzekł, że Tajemnice są dwie – albo siedem – to właśnie powiedziałbym coś bardzo konkretnego na temat, który rzekomo miałby na to nie pozwalać. Ostrożniej uznać, że jest to po prostu (jedna) Tajemnica. Można oczywiście iść jeszcze dalej: orzekanie istnienia to też orzekanie, a słowo „Tajemnica” to też słowo.

Wittgenstein przeszedł całą tę drogę. Oto ostatnie zdanie „Traktatu”: „O czym nie można mówić, o tym trzeba milczeć”. Pomilczmy sobie wspólnie o tym. © ŁUKASZ ŁAMŹA

Autor jest filozofem przyrody i popularyzatorem nauki, pracownikiem Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych UJ i redaktorem „TP”.



Natalia Polasik „Pytania bez odpowiedzi”, 2025 r.

Najpiękniejsze prawo Keplera

MAREK ABRAMOWICZ

**Matematyka istnieje niezależnie od nas. Nasz umysł jej nie tworzy.
My ją odkrywamy, podobnie jak Kolumb Amerykę.
Tylko tak potrafię wytłumaczyć jej skuteczność w opisie świata.**



⇒ **C**zym jest matematyka? Pewien dość popularny pogląd głosi, że wyłącznie wytworem kultury, czyli przejawem społecznego współdziałania naszych umysłów, ukształtowanych przez darwinowską ewolucję. Kulturę miałyby tworzyć ewolucja sieci naszych społecznych przystosowań i zachowań. W takim ujęciu kultura, a więc i matematyka, wynika w całości z tego, co materialne. W szczególności, ani do kultury, ani do matematyki nie jest potrzebna transcendencja: byt materialny całkowicie określa naszą świadomość.

Wątpię, czy takie filozoficzne fantazje pasują do rzeczywistego świata. Jeśli bowiem matematyka jest tworem naszych umysłów ukształtowanych w wyniku ewolucji czy efektem interakcji społecznych, to dlaczego miałyby zawierać – sama w sobie – zdolność, na przykład, do objaśniania zachowania elektronów w bardzo silnym polu magnetycznym?

Matematyczne zdolności nie dają żadnych ewolucyjnych korzyści w osobniczym przetrwaniu lub sukcesie reprodukcyjnym. Nie przekładają się też na sukcesy społeczne – ponadprzeciętna znajomość matematyki nie gwarantuje ułatwień w karierze towarzyskiej lub politycznej. Wręcz przeciwnie – matematyczna biegłość wiąże się zazwyczaj z cechami charakteru, które mogą bardzo zaszkodzić w karierze, co pięknie zilustrował Jan Potocki w „Rękopisie znalezionym w Saragossie” na przykładzie losu księcia Velasqueza.

Natomiast wręcz komiczną bezużyteczność matematyki w działaniu najmniejszej społecznej komórki – w małżeństwie – wykpiwało wielu autorów, w tym bardzo dosadnie Jan Kochanowski we fraszce „Na matematyka”: „Ziemię pomierzył i głębokie morze, / Wie, jako wstają i zachodzą zorze; / Wiatrom rozumie, praktykuje komu, / A sam nie widzi, że ma kurwę w domu”.

Jeśli więc matematyki nie da się sprowadzić wyłącznie do naszej biologii czy kultury, to w jaki sposób pojawia się ona w naszych umysłach?

Tego, rzecz jasna, nikt nie wie.

Cztery proste twierdzenia

Matematyka jest czymś o wiele bardziej tajemniczym niż szkolny zbiór „różnych mądrości – logarytmów, wzorów i formulek”, tak nazwany przez Tuwima. Tę

zagadkową tajemniczość dostrzegam, na przykład, porównując cztery matematyczne zdania, które są twierdzeniami dotyczącymi liczb naturalnych. Każde z nas rozumie jasno, dokładnie, bez żadnych wątpliwości, ich sens:

1. Istnieje nieskończenie wiele liczb pierwszych, czyli takich, które dzielą się tylko przez 1 i samą siebie: 2, 3, 5, 7...
2. Istnieje nieskończenie wiele bliźniaczych par liczb pierwszych, czyli par liczb pierwszych różniących się o 2: (3, 5), (5, 7), (11, 13)...
3. Między każdą liczbą naturalną n większą niż 1 oraz liczbą $2n$ istnieje co najmniej jedna liczba pierwsza. Na przykład, pomiędzy $n=4$ oraz $2n=8$ istnieją dwie liczby pierwsze: 5 oraz 7.
4. Każda liczba parzysta większa niż 2 daje się zapisać jako sumą dwóch liczb pierwszych (niekoniecznie różnych). Na przykład $6=3+3$, $8=5+3$...

Prawdziwości pierwszego twierdzenia dowiódł Euklides ponad 2 tysiące lat temu. Do zrozumienia dowodu nie są potrzebne wybitne zdolności matematyczne: nawet przeciętnie uzdolniony uczeń szkoły średniej może za pierwszym razem, w pełni, zrozumieć krótki dowód Euklidesa. Co więcej: moim zdaniem prawie każdy trochę tylko bardziej niż przeciętnie zdolny uczeń może całkiem samodzielnie wpaść na sposób dowodu.

Drugie twierdzenie także znane było już Euklidesowi. Ale ani Euklides, ani nikt po nim nie potrafił – przez ponad dwa tysiące lat! – dowieść jego prawdziwości lub obalić je jako fałszywe, mimo licznych prób podejmowanych przez najsłynniejszych matematyków w każdym pokoleniu.

Trzecie twierdzenie jest prawdziwe. Jego dowód podał w 1852 r. rosyjski matematyk Pafnutij Czebyszew, a bardziej elegancką wersję dowodu przedstawił węgierski matematyk Paul Erdős w 1932 r. Dowód jest *bardzo trudny*: wymaga dobrej znajomości pewnych działów matematyki wyższej.

Wreszcie czwarte twierdzenie, znane pod nazwą hipotezy Goldbacha, jest nieudowodnione: nikt nie wie, czy jest prawdziwe; większość matematyków przypuszcza, że tak.

Skąd te różnice? Dlaczego wśród bardzo prostych stwierdzeń dotyczących własności liczb naturalnych, których sens wszyscy bez trudu rozumieją, jedne są bardzo łatwe w dowodzie (nawet gdy dotyczą spraw fundamentalnych), inne bardzo trudne, a jeszcze inne tak trudne, że od tysięcy lat nikt nie potrafi wykazać ich prawdziwości lub fałszywości?

Tego nikt nie wie.

Matematyka w świecie idei

Niektórzy sądzą, że wyżej opisana zagadka jest jedną z wielu wyraźnych wskazówek na to, iż matematyka na pewno nie jest wytworem naszego umysłu, a jej problemy nie sprowadzają się wyłącznie do zagadnień czysto lingwistycznych. Matematyka jest od nas, naszego języka, naszych kulturowych uwarunkowań i naszych umysłów zupełnie niezależna. Umysł nie tworzy prawd matematycznych, one stoją obok, istnieją niezależnie od nas, a my je odkrywamy podobnie, jak Kolumb odkrył Amerykę. W myśl tego poglądu, matematyka należy do autonomicznego świata platońskich idei, odrębnego zarówno od świata materii, jak i od świata umysłu. Dopiero spłot świata materii, świata idei i świata umysłu tworzy holistyczną, obiektywną rzeczywistość.

Te trzy światy się nie tylko spletają, ale też wzajemnie implikują. Jest wiele powodów, by twierdzić, że nasz umysł potrafi przeniknąć w tajemniczy sposób bezpośrednio do świata idei, bez pośrednictwa świata materii. Powody dotyczą nie tylko twórczości matematyków, ale także na przykład muzyków. Wolfgang Amadeus Mozart opowiadał, że niektóre kompozycje nie powstawały w jego głowie stopniowo, mozolnie, nuta po nucie, ale zjawiały się w jednym momencie natchnionego olśnienia, całe, skończone, gotowe.

Świat platońskich idei zawiera w sobie prawdy dotyczące harmonii, piękna i miary, matematykę, prawa fizyki, stwierdzenia moralne oraz koncerty skrzypcowe Mozarta w wykonaniu Alberta Einsteina.

Podobnie o trynitarnej istocie rzeczywistości myślał Platon, a w naszych czasach Karl Popper. Roger Penrose rozpoczyna swoją tysiącstronicową monografię „Droga do rzeczywistości: w y c z e r p u j ą c y przewodnik po prawach rządzących wszechświatem” (moje podkreślenie) właśnie od opisu tych trzech światów tworzących rzeczywistość. Jego zdaniem tak się właśnie droga do *obiektywnej rzeczywistości* zaczyna – od metafizyki.

Pitagorejska harmonia

Ja też od tego punktu zacząłem, bo przecież bez głębokiego przekonania, iż prawdy matematyczne oraz prawa fizyki należą do platońskiego świata idei, nie umiałbym o matematycznym pięknie tych praw sensownie rozprawiać – a nawet rozmyślać.

Dobrze przy tym rozumiem, że zupełnie nieuprawnioną przesadą z mej strony, całkiem także niestosowną, byłyby próby jakiegos finalnego sformułowania tez na temat piękna praw fizyki. Postąpię więc dużo skromniej: opiszę tu kilka moich uwag na temat piękna i potęgi jednego tylko prawa fizyki: *trzeciego prawa* Keplera.

Johannes Kepler, jeden z najprzenikliwszych myślicieli w dziejach europejskiej kultury, był mistykiem poszukującym pitagorejskiej harmonii w urządzeniu świata materialnego jako widomego znaku Bożego projektu. Odkryte przez siebie *trzecie prawo* opublikował w 1619 r. w pracy pod wymownym tytułem „Harmonices Mundi”, podkreślającym kunsztowną harmonię w ruchu planet, które prawo to opisuje.

Głosi ono, że dla każdej planety w Układzie Słonecznym stosunek sześciannu rozmiaru jej orbity wokół Słońca (dziś powiedzielibyśmy technicznie: „półosi wielkiej”) do kwadratu czasu, w którym planeta okrąży Słońce (czyli jej okresu orbitalnego), jest taki sam: wyrażony tą samą – *jedną!* – „liczbą Keplera” dla wszystkich planet Układu. W prawie Keplera pojawiają się tylko dwie niewielkie liczby naturalne: 2 i 3 (kwadraty i sześciany). Kepler musiał być bardzo szczęśliwy! To była bowiem poszukiwana przez niego pitagorejska harmonia.

Dwa tysiące lat przed Keplem pitagorejczycy odkryli, że przyjemnie brzmiące harmoniczne interwały muzyczne

można zagrać na strunach, których długości wyrażają się poprzez stosunki niewielkich liczb całkowitych. Wysokość tonu zależy od długości struny. Im dłuższa struna, tym niższy ton. Aby otrzymać brzmienie (na przykład) kwinty, należy trącić dwie struny, których długości mają się do siebie jak 3:2. Pitagoras i jego uczniowie zdawali sobie doskonale sprawę z niezwykle doniosłej wagi tego odkrycia: „wszystko jest liczbą” – twier-

nej w pewnych naturalnych jednostkach. Stąd wynika, że znając z obserwacji okresy obiegu planet oraz rozmiary ich orbit, można bezpośrednio wyznaczyć liczbę Keplera, czyli zmierzyć masę Słońca!

Nie koniec na tym. Tę samą procedurę można stosować w innych układach planetarnych, w układach księżyców krążących wokół planet, układach gwiazd podwójnych etc., wyznaczając dla każdego z tych układów jego liczbę Keplera, a co



Dlaczego świat gra w matematyczną grę?

DLA MNIE NAJWIĘKSZĄ TAJEMNICĄ FIZYKI JEST ONA SAMA, A ŚCIŚLEJ TO, co noblista Eugene Wigner nazwał „niepojętą skutecznością matematyki w naukach przyrodniczych”. Idzie nie tyle o samą możliwość ujmowania zjawisk fizycznych w matematyczne ramy – w końcu świat można też opisywać słowem, obrazem lub muzyką – ile o to, że wielokrotnie w historii nauki struktury matematyczne stosowane przez fizyków okazywały się skrywać znacznie więcej informacji o świecie, niż przypuszczano. Czarne dziury, fale grawitacyjne, antymateria, kwarki, bozon Higgsa... Wszystkie te rzeczy odkryto najpierw „na papierze” jako byty abstrakcyjne, elementy czysto formalnej „gry w matematykę”. A jednak z jakiegoś tajemniczego powodu wszechświat także zdaje się grać w tę grę. Jak pisał Wigner: „Cud odpowiedniości języka matematyki do wyrażania praw fizyki jest niezwykłym darem, którego nie rozumiemy i na który nie zasługujemy”.

**TOMASZ MILLER, FIZYK MATEMATYCZNY,
UNIwersytet Jagielloński**

dzili – a realny świat daje się zrozumieć i opisać liczbami, językiem matematyki. Do dziś z tego odkrycia korzystamy, choć przyczyna skuteczności zupełnie przeciwieństw abstrakcyjnej matematyki w opisie jak najbardziej realnego świata pozostaje niepojętą tajemnicą.

Ile waży czarna dziura

Ale to nie kończy listy powodów, by uznać *trzecie prawo* za mocarnie piękne. Isaac Newton w swym monumentalnym dziele „Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica” wydanym w 1687 r. wyliczył z praw dynamiki oraz prawa powszechnego ciążenia, w tej księdze przez niego samego sformułowanych, że liczba Keplera równa jest masie Słońca, wyrażo-

za tym idzie: mierząc masę ciała centralnego.

I tak właśnie czynią astronomowie od XVII w. po dziś dzień: jest to najdokładniejszy znany nauce sposób wyznaczania masy ciał niebieskich. Dzięki Keplerowi zmierzylśmy nie tylko masy, ale także rozmiary wielu obiektów we wszechświecie, bowiem w praktyce łatwiej jest zmierzyć czas niż rozmiary albo odległości. Kepler powinien za to już wielokrotnie dostać Nagrodę Nobla.

W 2020 r. Nagrodę Nobla z fizyki otrzymało troje fizyków za prace nad czarnymi dziurami. Roger Penrose (połowę wartości Nagrody) za udowodnienie twierdzenia o tworzeniu się osobliwości w procesie kolapsu grawitacyjnego – →

Dzięki Keplerowi zmierzylśmy masy i rozmiary

wielu obiektów
we wszechświecie.
Kepler powinien
za to już
wielokrotnie dostać
Nagrodę Nobla.

→ w tym procesie powstają czarne dziury. Była to pierwsza Nagroda Nobla przyznana za matematyczne odkrycie w teorii względności – bowiem nawet jej twórca, Albert Einstein, takiej nie dostał; on dostał Nobla za wyjaśnienie efektu fotoelektrycznego.

Nagrodą podzielili się z Penrose'em (po ćwierci jej wartości) Andrea Ghez i Reinhard Genzel. Oni dostali Nobla za prace obserwacyjne – ten ostatni za dokładne wyznaczenie orbit kilkunastu gwiazd spośród wielu krążących wokół SgrA*, czyli supermasywnej czarnej dziury w centrum naszej Galaktyki. Wyznaczenie rozmiarów i czasów orbitalnych pozwoliło na bardzo dokładne wyliczenie masy tej czarnej dziury bezpośrednio ze wzoru Keplera-Newtona: wynosi ona nieco ponad cztery miliony mas Słońca.

Na tropie ciemnej materii

Zastosowanie prawa Keplera do mierzenia rozkładu masy w naszej Galaktyce doprowadziło w XX w. do poważnego problemu. Rozkład masy znany jest, rzecz jasna, bezpośrednio z obserwacji: „widzimy” bowiem materię oczami naszych teleskopów, radioteleskopów, teleskopów rentgenowskich i podczerwonych, wiemy zatem, ile jest masy zawartej w gwiazdach oraz obłokach gazu i pyłu w różnych odległościach od centrum Galaktyki: znamy *rozkład masy obserwowany*.

Materia Galaktyki krąży wokół galaktycznego centrum po orbitach, do których rzecz jasna można zastosować prawo Keplera: przy czym roz-

miar orbity mierzymy bezpośrednio, a czas obiegu po orbicie pośrednio, ale bardzo dokładnie, mierząc prędkość orbitalną (okresy orbitalne są bowiem zbyt długie, by je mierzyć, wynoszą kilkaset milionów lat). W ten sposób mierzymy stałą Keplera w różnych odległościach od centrum Galaktyki, a stąd wyznaczamy *rozkład masy wynikający z prawa Keplera*.

Powinno być tak, że *rozkład masy obserwowany* jest równy *rozkładowi masy wynikającemu z prawa Keplera* – masa wyznaczona z prawa Keplera powinna być taka sama jak masa materii, którą widzimy. Ale tak nie jest: w naszej Galaktyce i w większości galaktyk, dla których takich pomiarów dokonano, masa wyznaczona z prawa Keplera jest dużo większa niż masa materii, którą widzimy. Innymi słowy: zewnętrzne części Galaktyki obracają się o wiele zbyt szybko – ilość materii, którą widzimy, jest o wiele za mała, aby tak wielką prędkość wyjaśnić. Teoria nie zgadza się z obserwacjami!

To, rzecz jasna, stanowi poważny problem. Większość fizyków i astrofizyków rozwiązuje go, zakładając, że w Galaktyce jest ogromna ilość nieobserwowanej *ciemnej materii*, której fizycznej natury nie znamy.

Problem ciemnej materii jest jednym z najbardziej palących nierozwiązanych zagadek współczesnej fizyki: odkryte w XVII w. *trzecie prawo Keplera* na gruncie rozważań metafizycznych, w poszukiwaniu harmonii w świecie, okazało się jednym z najbardziej przydatnych w historii nauki narzędzi do poznawania struktury wszechświata, a w XX w. doprowadziło na trop tajemniczej ciemnej materii.

© MAREK ABRAMOWICZ

Autor jest fizykiem teoretycznym i astrofizykiem, specjalistą w dziedzinie ogólnej teorii względności, czarnych dziur i astrofizyki wysokich energii. Profesor Uniwersytetu w Göteborgu i Chalmers University of Technology w Szwecji, wieloletni pracownik Centrum Astronomicznego im. Mikołaja Kopernika PAN. Podczas Copernicus Festival w paśmie Rozmowa podejmie tematy dotyczące styku fizyki, matematyki i filozofii.



Co chcą wiedzieć sami naukowcy

ANNA KORZEKWA-JÓZEFOWICZ

W jaki sposób aktywność mózgu wpływa na to, co czujemy i myślimy? Czy bakterie zamarzają? Czy powstanie komputer kwantowy? Nawiązując do hasła Festiwalu Copernicus, zapytałam troje naukowców związanych z Narodowym Centrum Nauki o „tajemnice” związane z ich obszarem badań.



Narodowe Centrum Nauki w Krakowie

LUKASZ BERA

MASZYNA PRZYSZŁOŚCI

– ALBO I NIE

– Chciałbym wiedzieć, czy za swojego życia jeszcze zobaczę działający, użyteczny komputer kwantowy – mówi prof. Konrad Banaszek z Uniwersytetu Warszawskiego, ekspert w dziedzinie technologii kwantowych. – Jestem w stanie sobie wyobrazić każdy scenariusz – od spektakularnego sukcesu po porzucenie badań.

W jego ocenie nadzieje związane z komputerami kwantowymi można porównać do sytuacji z XVII w., kiedy Gottfried W. Leibniz stworzył maszynę obliczeniową zdolną do wykonywania czterech podstawowych działań matematycznych. – To było pierwsze tego typu urządzenie, ale z powodu ograniczeń technologicznych pozostało tylko modelem. Oczywiście poziom zaawansowania jest zupełnie inny, ale widzę tu pewną analogię – zaznacza na-

ukowiec. Za obiecujące prof. Banaszek uważa inne obszary technologii kwantowych: łączność kwantową, sensory, metrologię, zegary optyczne czy technologie wspierające obliczenia kwantowe.

SEKRET ZIMNYCH BAKTERII

– Tajemnicą, której wyjaśnienia szukamy, jest to, jak mikroorganizmy w Antarktyce potrafią żyć w środowisku, w którym brakuje łatwo dostępnych źródeł energii – mówi prof. Agata Starosta z Instytutu Biochemii i Biofizyki PAN. – Jak to możliwe, że ich metabolizm działa nawet wtedy, gdy temperatura spada poniżej zera?

Jej badania pozwalają lepiej zrozumieć, jak bakterie ewoluowały i przystosowały się do życia w ekstremalnych warunkach. Naukowcy podkreśla, że w obliczu zmian klimatycz-

nych część tej wiedzy może bezpowrotnie przepaść, dlatego trzeba ją dokumentować teraz. Zwraca też uwagę, że mikroorganizmy przystosowane do trudnych warunków mogą wytwarzać cenne metabolity wtórne, w tym potencjalnie nowe antybiotyki.

TAJEMNICA MYŚLENIA I SAMOTNOŚCI

– Mimo ogromnego postępu w badaniach nad mózgiem wciąż nie wiemy, jak jego aktywność przekłada się na to, co czujemy i myślimy – mówi prof. Łukasz Okruszek z Instytutu Psychologii PAN, zajmujący się neuronauką społeczną. – Coraz częściej okazuje się, że nie da się zrozumieć działania mózgu bez uwzględnienia świata relacji międzyludzkich.

Zespół badacza analizuje, jak światy fizyczny, psychiczny i społeczny się przenikają i współ-

nie wpływają na funkcjonowanie mózgu. – Podejrzewamy, że kluczem może być jego szczególna wrażliwość na otoczenie – zwłaszcza to, którego nie widać gołym okiem, czyli na więzi międzyludzkie – tłumaczy. I dodaje, że lepsze zrozumienie tych zależności jest szczególnie istotne dziś, w czasie „epidemii samotności”, coraz częściej uznawanej za jedno z najpoważniejszych wyzwań zdrowotnych XXI w.

SWOBODA TEMATÓW

Prof. Konrad Banaszek jest koordynatorem QuantER-y – największej europejskiej inicjatywy badawczej w tej dziedzinie, zarządzanej przez NCN. Prof. Agata Starosta i prof. Łukasz Okruszek to laureaci grantów agencji, naukowcy z generacji, której kariera rozwijała się pod „parasolem” NCN. – To finansowanie daje nam samodzielność, swobodę w doborze tematów i możliwość prowadzenia badań na światowym poziomie, bez kompleksów – mówi prof. Starosta.

NCN wspiera badania podstawowe, czyli nastawione głównie na zdobywanie nowej wiedzy. Finansuje projekty obejmujące cały obszar badań naukowych – bez narzucania tematyki. Od rozpoczęcia działalności w 2011 r. wsparcie od NCN otrzymało ponad 23 tys. badaczek i badaczy z całej Polski, którzy zrealizowali ponad 30 tys. projektów. Co roku połowa środków trafia do młodych naukowców – często po raz pierwszy samodzielnie kierujących zespołem. Swoboda działania i możliwość skupienia się na własnych pytaniach sprawiają, że powstają tu projekty, które przesuwały granice tego, co dziś wiemy.

Laureatek i laureatów grantów NCN można będzie posłuchać w trakcie wszystkich dni Copernicus Festival.

©

Kosmiczne anomalie

SEBASTIAN J. SZYBKA

Rewolucje w fizyce rozpoczynają się, gdy nie da się pogodzić obowiązujących teorii z obserwacjami. Czy kosmologia obserwacyjna burzy właśnie stary obraz świata?

Ieśli zajrzemy do podręczników akademickich dotyczących podstaw fizyki, to odnajdziemy tam koncepcje, które narodziły się ok. sto lat temu. Nazwiska wielkich ojców założycieli: Alberta Einsteina, Erwina Schrödingera, Wernera Heisenberga, Nielsa Bohra, Paula Diraca, Georges'a Lemaître'a są znane każdemu adeptowi fizyki. To oni wypracowali paradygmaty, w ramach których postrzegamy dzisiaj świat.

Oczywiście współcześnie też pojawiają się spektakularne osiągnięcia, jak detekcja cząstki Higgsa czy powstanie astronomii fal grawitacyjnych. Dotyczą one jednak eksperymentalnej lub obserwacyjnej weryfikacji przewidywań poczynionych dziesiątki lat temu – fundamenty fizyki pozostają nieporuszone od co najmniej pół wieku.

Patrząc z tej perspektywy, trudno nie przyznać racji filozofowi nauki, Thomasowi Kuhnowi. Zdaniem Kuhna spokojne okresy systematycznej akumulacji wiedzy przedzielone są dramatycznymi rewolucjami, w których stary obraz świata wypierany jest przez nowy. Nikt nie wie, jak rozpoznać zbliżającą się rewolucję, ale wszyscy przypuszczają, że takiemu wydarzeniu będą towarzyszyć znaki.

Znaki

Znaki, których należy oczekiwać, to drobne niezgodności obserwacji lub eksperymentów z bieżącym paradygmatem naukowym. W przypadku rewolucji kopernikańskiej wczesną i przeoczoną jej zapowiedzią był ruch wsteczny Marsa po sferze niebieskiej, który zburzył prostotę najprostszego modelu geocentrycznego. Żeby uratować zgodność modelu z obserwacjami, należało go „udziwnić”, dodając kolejne geometryczne elementy, tzw. epi-

cykle (w tym modelu ruch każdej z planet jest złożeniem dwóch ruchów po dużym i po małym okręgu).

Po dziele Kopernika gwoździem do trumny dla modelu geocentrycznego okazały się precyzyjne obserwacje Marsa, na podstawie których Kepler wysunął hipotezę, iż planety poruszają się wokół Słońca po elipsach, a nie po okręgach. Czasem warto pochylić się nad szczegółami! Kolejny krok postawił Newton, wykazując, że elipsy Keplera to konsekwencja prostego prawa grawitacji.

Choć starożytny, geocentryczny model według współczesnych kryteriów nie był modelem naukowym, to umożliwiał zredukowanie rzeczy skomplikowanych i niezrozumiałych do prostszych i bliższych naszemu doświadczeniu. W tym przypadku moc wyjaśniającą nadano hipotetycznej tendencji niebiańskiej materii do ruchu po okręgu, który ma w sobie coś doskonałego, a zarazem prostego.

Rewolucja, która obaliła model geocentryczny, nie polegała na dołożeniu kolejnej łaty w ramach starego sposobu myślenia, lecz na dramatycznej intelektualnej wolcie: prostoty należy doszukiwać się nie w trajektoriach ciał niebieskich, lecz w prawach rządzących tymi ruchami. Rewolucja ta nie mogłaby zająć w pełni, gdyby nie powstały matematyczne narzędzia – rachunek różniczkowy, pozwalający na sformułowanie odpowiednich praw.

Dla modelu geocentrycznego anomalię stanowiła orbita Marsa. Z kolei w XIX w. precyzyjne obserwacje Merkurego przestały się zgadzać z teorią Newtona, jednak tym razem rewolucja przyszła z nieco innej strony. W powstaniu teorii Einsteina na początku XX w. główną rolę odegrał przeoczony przez poprzedników prosty fakt.

Każdemu ciału można przypisać dwa parametry określające jego zachowanie: masę bezwładną, będącą miarą tego, jak trudno jest wprowadzić ciało w ruch, oraz masę grawitacyjną, określającą siłę grawitacji pomiędzy dwoma ciałami. Struktura teorii Newtona nie implikuje równości tych parametrów. Ich równość przyjmowano jako oczywistość lub fakt eksperymentalny, nad którego znaczeniem nie warto się było zastanawiać. Einstein zrozumiał, że matematyczna struktura nowej teorii grawitacji nie powinna czynić rozróżnienia pomiędzy tymi dwoma wielkościami: równoważność grawitacji i przyspieszenia musi być inherentną częścią teorii.

Równość masy bezwładnej i ciężkiej można było dostrzec już za czasów Newtona. Nie było jednak wtedy odpowiedniego aparatu matematycznego pozwalającego na badanie zakrzywionych przestrzeni, za pomocą których Einstein opisał grawitację. Nauka musiała dojrzeć do postawienia odpowiednich pytań. Rewolucja nie przebiegała w próżni, lecz na ramionach tych wszystkich, którzy dokładali kolejne cegielki do gmachu wiedzy. Nowy obraz świata okazał się zupełnie inny od dominującego w XIX w. mechanicyzmu. Rewolucji Einsteina towarzyszyła druga, równie ważna i jeszcze bardziej szalona rewolucja kwantowa. Pojęcie sił działających pomiędzy ciałami straciło fundamentalne znacznie, a zakrzywioną czasoprzestrzeń Einsteina wypełniły kwantowe pola modelu standardowego cząstek. Narodził się nowy paradygmat.

Pomiary

W XX w. dominującą rolę w fizyce odegrały zderzacze cząstek, takie jak ten, który znajduje się w genewskim CERN-ie.

Z ich pomocą poczyniliśmy ogromne postępy, tworząc model standardowy cząstek. Model ten, choć brakuje mu pełnej matematycznej elegancji, pozwala matematycznie opisać praktycznie wszystko, co potrafimy zaobserwować w eksperymentach prowadzonych na Ziemi.

W XXI w. na pierwszy plan wysuwa się astronomia – prawdopodobnie to ona najczęściej dostarcza danych, które mogą prowadzić do nowej fizyki. Detektory fal grawitacyjnych pozwalają na podglądanie wszechświata w sposób, jaki nie był nigdy wcześniej obserwowany. Nowe in-

strumenty astronomiczne, takie jak teleskop Jamesa Webba czy Euclid, umożliwiają spojrzenie tam, gdzie jeszcze nikt nie zaglądał, czy też obserwację miliardów galaktyk z nieosiągalną wcześniej precyzją. W ciągu ostatnich 25 lat kosmologia – nauka o wszechświecie jako

jednym wielkim układzie fizycznym – wkroczyła w nową erę.

Grawitacja dominuje na wielkich odległościach, więc model kosmologiczny konstruuje się w ramach teorii grawitacji Einsteina. Teoria Einsteina w połączeniu z obserwacjami prowadzi do wniosku, iż wszechświat powstał w Wielkim Wybuchu – bardzo gęstym stanie, w którym nasze teorie fizyczne się załamują. Od tego momentu stale się rozszerza. ➔

Dlaczego wszechświat się rozszerza?

RUTH DURRER

Nasz wszechświat nieustannie się rozszerza. Galaktyki oddalają się od siebie, tak jakby rozpychała je tajemnicza siła, którą zwykło się nazywać „ciemną energią”, przeciwstawiającą się tyranii grawitacji. Tę ostatnią nieźle oswoiliśmy naszymi teoriami. Zbliżony opis tego, czym grawitacja jest – wystarczająco precyzyjny, by postać rakiety na Księżyc – dał Izaak Newton. Albert Einstein odkrył zaś, że o grawitacji można myśleć geometrycznie, jako o właściwości struktury czasoprzestrzeni. To właśnie równania jego ogólnej teorii względności, opisujące grawitację w globalnej skali, umożliwiły nam zbadanie, jak wszechświat ewoluował. I zasugerowały, że zaczął się od Wielkiego Wybuchu – bardzo gęstego stanu, rozpoczynającego kosmiczną ekspansję.

Wiele informacji o rządzących kosmośm prawach zaczerpnęliśmy analizując tzw. promieniowanie tła – wypełniającą cały kosmos delikatną poświatę, będącą łuną po Wielkim Wybuchu. Być może tam kryje się również klucz do zrozumienia kosmicznej ekspansji. Profesor Ruth Durrer z Uniwersytetu w Genewie jest jedną z największych ekspertek od promieniowania tła, autorką podręcznika, który znajduje się w bibliotece każdego kosmologa. W festiwalowym wykładzie opowie o tym, jak ona i inni kosmolodzy próbują zrozumieć, dlaczego wszechświat się rozszerza – i to coraz szybciej.



MICHAŁ DYKOWSKI DLA „TP”

⇒ Ponieważ obecny stan wszechświata jest konsekwencją tego, co działo się na początku, gdy cząstki zderzały się z większą energią niż ta uzyskiwana w CERN-ie, kosmologia łączy ze sobą to, co duże – galaktyki, gromady galaktyk – z tym, co najmniejsze i opisywane przez fizykę cząstek. Dlatego obserwacje kosmologiczne mają potencjał, by nie tylko dokonać rewolucji w astronomii, ale i w całej fizyce.

Kosmologia narodziła się wraz z teorią Einsteina. W latach 20. minionego wieku zajmowało się nią nie więcej niż kilku naukowców. W latach 60. zaobserwowano tzw. promieniowanie tła. Przemierza ono przestrzeń od czasów, gdy wszechświat był bardzo gęsty. Ta pozostałość po Wielkim Wybuchu uwiarygodniła model kosmologiczny. Mimo to do początków XXI w. obserwacje astronomiczne nie były dosyć dokładne, żeby wyznaczyć precyzyjnie parametry kosmologiczne. Sytuacja ta uległa zmianie wraz z nadeściem tego stulecia.

Tajemnice

Niespodziewane odkrycie, ogłoszone jeszcze pod koniec lat 90., dotyczyło tempa ekspansji wszechświata. Okazało się, że galaktyki oddalają się od siebie z coraz

większą prędkością – czyli wszechświat rozszerza się coraz szybciej. Ten fakt ma związek z jednym z istotnych elementów równań opisujących ewolucję wszechświata – stałą kosmologiczną.

Dwa lata po odkryciu swojej teorii grawitacji Einstein wprowadził do równań dodatkowy parametr – zwany właśnie stałą kosmologiczną. Była to słuszna decyzja, chociaż Einstein kierował się, jak wiemy dzisiaj, błędnymi przesłankami (filozoficznie bardziej odpowiadał mu statyczny wszechświat – wprowadził stałą kosmologiczną o takiej wartości, która wykluczała ekspansję wszechświata). Taki parametr nie ma swojego odpowiednika w teorii newtonowskiej, ale jest zgodny z matematyczną strukturą teorii Einsteina i właściwie powinien był pojawić się w oryginalnych równaniach w roku 1915.

Kosmologowie potrafią dziś wyznaczyć wartość stałej kosmologicznej. Jednak interpretacja fizyczna tej stałej nie jest znana do dzisiaj – nie wiemy, co właściwie sprawia, że galaktyki oddalają się od siebie coraz szybciej. Problem z interpretacją wynika głównie stąd, że stałej nie można zmierzyć w laboratorium – jej efekty mogą być widoczne tylko w bardzo dużych skalach.

Mamy jednak pewne hipotezy. Najbardziej popularna zakłada, że stała ta związana jest z tzw. energią próżni. W kwantowej teorii pola próżnia nigdy nie jest całkowicie pusta, co prowadzi do wniosku, że obszar, w którym w potocznym sensie nic nie ma, zawiera energię, a ta energia, zgodnie z ideą teorii Einsteina, zakrzywia czasoprzestrzeń. Taka kwantowa interpretacja bardzo dobrze pasuje do tego, jak stała kosmologiczna wpływa na ekspansję wszechświata: ilość rozpychającej galaktyki energii rośnie wraz z ekspandującą, pustą przestrzenią – dlatego ucieczka galaktyk może przyspieszać.

Niestety próby wyliczenia wartości stałej kosmologicznej jako energii próżni prowadzą do istnej katastrofy. Otrzymujemy nonsensowne wyniki, które nie zgadzają się z obserwacjami astronomów.

Energie

Ponieważ nie potrafimy wyliczyć z fundamentalnych praw fizyki takiej wartości energii próżni, która zgadzałaby się z obserwacjami, to w ciągu ostatniego ćwierćwiecza pojawiły się alternatywne interpretacje przyspieszania ekspansji wszechświata. Do rozważań włączono jeszcze bardziej egzotyczne formy energii – fantastyczne substancje wypełniające wszechświat, które łącznie z energią próżni określa się mianem ciemnej energii. Wprowadzenie tych alternatywnych egzotycznych substancji ma na celu poszerzenie elastyczności modelu i nie posiada wiarygodnego uzasadnienia teoretycznego.

Ciemna energia to szerokie pojęcie obejmujące wszystko to, co hipotetycznie wpływa na „ruch” obiektów astronomicznych w podobny, ale niekoniecznie dokładnie taki sam sposób, jak stała kosmologiczna.

W minionym ćwierćwieczu astronomowie zebrali szereg nowych dowodów potwierdzających przyspieszanie ekspansji wszechświata. Najważniejsze z nich to obserwacje supernowych, czyli gwiazd kończących swoje życie w dramatycznych eksplozjach, oraz dokładne pomiary wspomnianego wcześniej promieniowania tła, którego drobne niejednorodności są naszym głównym źródłem informacji o parametrach kosmologicznych. Zmiany tempa kosmicznej ekspansji można również wyznaczyć, obserwując odległe galaktyki. Wbrew oczekiwaniom



Jakie prawa rządzą przepływem ciepła w skali nano?

CIEPŁO I JEGO ROZCHODZENIE W ŚRODOWISKU NA PIERWSZY RZUT oka wydaje się dość oczywistym i intuicyjnym zjawiskiem. Nasi przodkowie rozpalali ogniska, żeby rozgonić chłód nocy, a my, beneficjenci cywilizacji technologicznej, korzystamy z kaloryferów, klimatyzacji i tym podobnych. Jednak ta intuicja załamuje się w nanoskali, w świecie atomowych nitek i ograniczonej wymiarowości. Tam klasyczna, opisywana tzw. prawem Fouriera dyfuzja ciepła ustępuje miejsca dziwniejszym zjawiskom. Ciepło potrafi płynąć balistycznie, niemal bez rozpraszania, lub tworzyć fale przypominające dźwięk. Wiele z tych efektów, choć przewidzianych teoretycznie, wciąż czeka na pełne eksperymentalne potwierdzenie, stawiając wyzwania przed współczesnymi fizykami i materiałoznawcami. Kto wie, może zrozumienie fizyki ciepła na bardziej fundamentalnym poziomie zaowocuje nowymi technologiami i wynalazkami, które ułatwią nasze życie?

**KLAUDIA ŻERAŃSKA, FIZYCZKA, POPULARYZATORKA NAUKI
Z CENTRUM NAUKI KOPERNIK W WARSZAWIE**

niom najnowsze obserwacje nie rozwiązały tajemnicy ciemnej energii, ale zdają się ją pogłębiać.

Istnieje wiele grup badawczych oraz instrumentów astronomicznych skupionych na zagadce ciemnej energii. Rok temu ogłoszono, iż obserwacje milionów galaktyk wykonane za pomocą *Dark Energy Spectroscopic Instrument* sugerują, iż ciemna energia może nie odpowiadać dokładnie stałej kosmologicznej, bo chociaż tempo ekspansji wszechświata przyspiesza, to czyni to w inny sposób niż ten wynikający z istnienia stałej. W marcu tego roku ta sama grupa po przeanalizowaniu dwukrotnie większej liczby galaktyk utrzymała swoją hipotezę. Również w marcu przedstawiciele innego projektu, *Dark Energy Survey*, ujawnili wyniki analiz danych sugerujące, że stała kosmologiczna i ciemna energia to nie jest dokładnie to samo.

Tempo ekspansji wszechświata obecnie wzrasta wolniej, niż implikuje stała

Dwa lata po odkryciu teorii grawitacji Einstein wprowadził do równań

dotodkowy parametr, związany z tempem rozszerzania się wszechświata – stałą kosmologiczną.

Do dziś nie wiemy, jak ją interpretować fizycznie: co sprawia, że galaktyki oddalają się od siebie coraz szybciej?

kosmologiczna. Wynik ten, jeśli zostanie potwierdzony, będzie istotnym znakiem wskazującym na niezgodność modelu teoretycznego z obserwacjami. Co prawda konflikt będzie można zażegnać za pomocą ciemnej energii innej niż energia próżni lub stała kosmologiczna, lecz status takiego wytłumaczenia jest nieco podejrzany. Stała kosmologiczna jest integralną częścią teorii, w ramach której skonstruowano model kosmologiczny, a alternatywna ciemna energia to zwykła „łata”, sztucznie dodana do modelu w celu jego uratowania.

Harmonie

Sprawa nie jest przesądzona, więc kosmologowie z wypiekami na twarzy czekają na kolejne porcje danych. Powodów do ekscytacji jest znacznie więcej. Dostarczają ich pomiary innego najważniejszego parametru kosmologicznego.

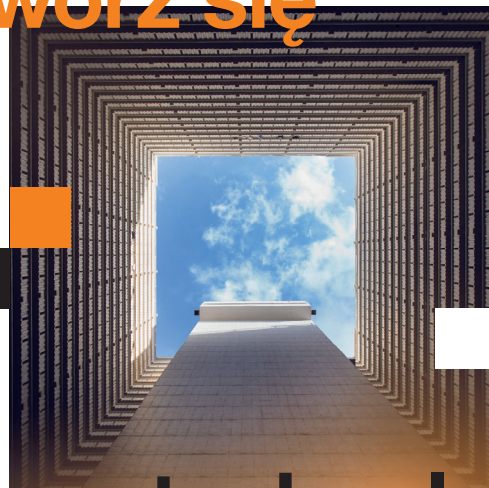
Porównajmy ekspansję wszechświata do ruchu zwykłego samochodu. W takiej analogii stała kosmologiczna lub inna forma ciemnej energii określa →

REKLAMA

Orange Innovation

Innowacje **Orange Polska** – to cyfrowe technologie, które otwierają przed Tobą i Twoją firmą nowe możliwości.

Otwórz się



na technologie

Chmura Obliczeniowa, Sieci 5G, Sztuczna Inteligencja (AI), Internet Rzeczy (IoT), Duże Zbiory Danych (Big Data), Wirtualna i Rozszerzona Rzeczywistość (VR/AR), Cyfrowy Bliźniak (Digital Twin)

orange™



Jak znaleźć szczęście w związku?

CO ŁĄCZY SENEKĘ MŁODSZEGO, WILLIAMA SZEKSPIRA, SYLVIĘ PLATH i szwedzkiego youtubera PewDiePie? Wszyscy wierzyli, że sekret szczęścia tkwi w niskich oczekiwaniach wobec ludzi i świata. Codzienność zdaje się potwierdzać tę intuicję – podróżnik przygotowany na spanie w namiocie doceni każdy hotel, a nieoczekiwany drobiazg przynosi więcej radości niż długo wyczekiwany prezent. Czy jednak zasada ta sprawdza się także w bliskich związkach? Czy obniżenie wymagań wobec partnera rzeczywiście sprzyja satysfakcji z relacji? Teoria współzależności sugeruje, że zadowolenie wynika z porównania tego, co otrzymujemy, do naszych oczekiwań. Jeśli rzeczywistość przewyższa oczekiwania – czujemy się spełnieni; jeśli nie – doświadczamy rozczarowania. Najnowsze badania przynoszą jednak zaskakujące wyniki: to osoby, które mają wysokie oczekiwania, częściej deklarują większe zadowolenie ze związku! Jak wyjaśnić tę sprzeczność? Czy to błąd teorii, czy też nasze myślenie o relacjach wymaga zmiany?

MAGDALENA ŚMIEJA, PSYCHOLOG, UNIWERSYTET JAGIELLOŃSKI

→ nam przyspieszenie auta. Inny fundamentalny parametr kosmologiczny, zwany stałą Hubble'a, to prędkość. Stała kosmologiczna jest powiązana ze zmianą tempa ekspansji wszechświata, natomiast stała Hubble'a określa, jak prędko w obecnej chwili ekspanduje wszechświat. Historia pomiaru stałej Hubble'a ma już sto lat. Istnieje wiele metod obserwacyjnych umożliwiających jej wyznaczenie. W ogólności metody te dzieli się na dwie grupy: pomiary lokalne (w sensie kosmologicznym) oraz pomiary wykorzystujące kosmologiczne promieniowanie tła, czyli pomiary sięgające do samych początków.

Przez wiele lat stała Hubble'a była wyznaczona z małą dokładnością. W XXI w. precyzja oszacowania jej wartości wzrosła i gdy wydawało się, że wszystko zaczyna się zgadzać, w danych pojawiła się anomalia. Kilkanaście lat temu oszacowania oparte na obserwacjach lokalnych nieznacznie zaczęły rozbiegać się z oszacowaniami z promieniowania tła. Początkowo nie uważano tego za problem, bo dane zgadzały się w granicach błędów. Z czasem błędy stały się coraz mniejsze, a anomalia nie zniknęła. Do dzisiaj nie znamy rozwiązania tej zagadki. Być może błąd leży po stronie obserwatorów, a być może ta drobna rozbieżność, niezgodna z modelem kosmologicznym, jest zna-

kiem świadczącym o zbliżającej się rewolucji.

Współczesna kosmologia, oprócz dwóch omówionych powyżej problemów, dostarcza nam jeszcze wielu innych intrygujących zagadek.

Wysłaliśmy nowe instrumenty w przestrzeń kosmiczną, licząc na ich rozwiązanie, lecz wbrew oczekiwaniom im dokładniej obserwujemy wszechświat, tym lista tajemnic do rozwikłania staje się dłuższa. Na podstawie obserwacji wykonanych za pomocą teleskopu Jamesa Webba stwierdzono, iż galaktyki formują się szybciej, niż przewidują nasze obliczenia.

W marcu tego roku analiza danych ujawniła, iż jeden z kierunków rotacji galaktyk jest wyróżniony. Takie wnioski są możliwe do pogodzenia z teorią grawitacji Einsteina, ale niezgodne ze standardowym modelem kosmologicznym. Być może jest to kolejna anomalia, chociaż nie można wykluczyć w przypadku rotacji galaktyk, że nie jest to tylko złudzenie wynikające z efektu selekcji. Obserwacje prowadzimy z wirującej galaktyki i kierunek obrotów może powodować, że niektóre galaktyki łatwiej dostrzec.

Trzaski

Liczne obserwacje świadczą również o tym, że wszechświat wypełnia jeszcze inny nieznan składnik – ciemna mate-

ria. Chociaż nie wiemy, czym jest ciemna materia, to zagadka z nią związana wydaje się łatwiejsza do rozwiązania niż zagadka ciemnej energii. Przypuszcza się, że składa się ona z nowego rodzaju cząstek. Tyle że jeśli takie cząstki istnieją, to nie pozwalają się nam bezpośrednio zaobserwować w eksperymentach, a szukamy ich już od kilkudziesięciu lat. Jeśli ciemna materia rzeczywiście istnieje, to nasz model standardowy cząstek jest niekompletny.

Łącznie tylko 5 proc. zawartości wszechświata to normalna materia, taką, którą opisujemy za pomocą modelu standardowego cząstek. Resztę obserwujemy pośrednio za pomocą tego, jak poprzez oddziaływanie grawitacyjne wpływa na ruch galaktyk. Jeśli teoria grawitacji Einsteina traci swoją precyzję w zastosowaniu do tak dużych odległości, to wizja wszechświata, jaką wypracowaliśmy, może okazać się fałszywa.

Nie wszystkie najnowsze obserwacje podważają wiarygodność modelu kosmologicznego. Przykładowo kilka lat temu wstępne dane opublikowane przez zespół Kilo-Degree Survey sugerowały, że oprócz problemów ze stałą Hubble'a, mamy podobny problem dotyczący niejednorodności wszechświata. Pełne dane opublikowane w marcu tego roku nie potwierdziły jednak tych obaw.

Model kosmologiczny, którego podstawy stworzono sto lat temu, odniósł niespodziewanie wielki sukces. Napór najnowszych danych obserwacyjnych spowodował jednak, iż nawet tak piękna konstrukcja zaczyna trzeszczeć, a tu i ówdzie pojawiają się szpary. Obecnie nic nie jest jeszcze przesądzone i czas pokaże, czy model obroni się w swojej eleganckiej postaci, czy też na szpary będzie trzeba nałożyć łaty, wprowadzając egzotyczną materię lub *ad hoc* modyfikując równania. Te modyfikacje prawdopodobnie na jakiś czas pozwolą zachować zgodność obserwacji z modelem – aż do czasu, gdy znajdzie się ktoś, kto przez szpary dostrzeże zarys nowej fizyki i nadchodzącą rewolucję.

© SEBASTIAN J. SZYBKĄ

Autor jest fizykiem relatywistą, profesorem w Obserwatorium Astronomicznym UJ. Weźmie udział w dyskusji poświęconej tajemnicom kosmosu.



Natalia Polasik „Wiedza zakazana”, 2025 r.

Co się dzieje w czarnych dziurach

MACIEK WIELGUS

**Sprawiają wrażenie, jakby zawierały gęsto upakowaną,
oddziałującą grawitacyjnie materię. Ale to tylko pozór,
bo czarne dziury są niematerialne.
Rodzą się z nieciągłości w tkance czasoprzestrzeni.**



→ **S**pośród wszystkich astronomicznych obiektów prawdopodobnie to czarne dziury najbardziej zafascynowały wyobraźnię miłośników nauki. Choć ich istnienie wynika bezpośrednio z równań ogólnej teorii względności, sformułowanej przez Alberta Einsteina w 1915 r., on sam nie mógł uwierzyć w to, że obiekty o tak zaskakujących własnościach mogą być czymś więcej niż tylko matematycznym paradoksem teorii – patologicznym rozwiązaniem, które nie ma prawa zaistnieć w fizycznej rzeczywistości.

Przez kolejnych 50 lat niewielu fizyków traktowało czarne dziury poważnie. Odrzucała ich struktura tego rodzaju obiektów, które sprawiają wrażenie, jakby zawierały gęsto upakowaną grawitującą materię. Ale to tylko pozór, bo czarne dziury są zupełnie niematerialne, składają się wyłącznie z próżni i tkwiącej w ich wnętrzu nieciągłości w tkance czasoprzestrzeni – osobliwości. Teoria względności przewiduje również, że osobliwość otoczona jest horyzontem zdarzeń – niewidzialną membraną, którą dowolny obserwator, cząstka czy niematerialny sygnał przekroczyć mogą tylko w jednym kierunku, podróżując do wnętrza czarnej dziury. Po przekroczeniu horyzontu zdarzeń niemożliwy jest nie tylko powrót do zewnętrznego świata, ale również przesłanie na zewnątrz jakiegokolwiek informacji. Nic, nawet światło, nie może opuścić wnętrza czarnej dziury.

Grawitacja na nowo

W ogólnej teorii względności grawitacja jest równoważna zakrzywieniu czasoprzestrzeni. Księżyc krąży wokół Ziemi nie dlatego, że zmusza go do tego niewidzialna siła (którą Newton nazwałby siłą grawitacji albo siłą powszechnego ciężenia), tylko dlatego, że porusza się w czasoprzestrzeni zakrzywionej przez obecność masywnej Ziemi. Choć ten opis może być na pierwszy rzut oka nieintuicyjny, doskonale sprawdza się w praktyce. Korzystamy z niego każdego dnia, kiedy używamy sygnału GPS, którego precyzja wymaga uwzględnienia poprawek wynikających z ogólnej teorii względności. O ile jednak w warunkach ziemskich teoria względności daje względnie niewielką korektę przewidywań teorii Newtona, to w pobliżu horyzontu zdarzeń, gdzie krzywizna czasoprzestrzeni jest bardzo duża,

Nie do końca rozumiemy mechanizm powstawania

supermasywnych
czarnych dziur
w centrach galaktyk.
Wydaje się, że urosły
one zbyt szybko
w historii wszechświata
w stosunku do tego,
co przewidują nasze
teorie.

pojawiają się paradoksalne efekty związane zarówno z deformacją struktury przestrzeni, jak i czasu.

Z punktu widzenia odległego obserwatora tempo upływu czasu na horyzoncie zwalnia nieskończenie, a przestrzenna zmienność krzywizny tworzy siły pływowe, które mogą rozerwać na strzępy wpadającego do czarnej dziury nieszczęśnika. W samej osobliwości natomiast krzywizna rośnie do nieskończoności, wyznaczając granicę stosowalności równań Einsteina. Kto przy zdrowych zmysłach uwierzyłby w istnienie tak dziwacznych obiektów?!

W nauce jednak nie zawsze możemy ufać „chłopskiemu rozumowi”. Jeśli pojawiają się dowody na istnienie obiektów o dziwacznych właściwościach, musimy zaakceptować nieintuicyjność fizycznej rzeczywistości i wykorzystać okazję, by tę rzeczywistość zrozumieć lepiej przez badania tego rodzaju zjawisk. Jak mawiał Sherlock Holmes, kiedy wykluczy się wszystko to, co jest niemożliwe, pozostanie prawda, nawet jeżeli wydaje się ona mało prawdopodobna.

Dowody na istnienie

W latach 60. i 70. XX w. pojawiły się obserwacje astronomiczne sugerujące istnienie czarnych dziur. Zidentyfikowano wówczas obiekty znane dziś jako kwazary –

potężne aktywne jądra galaktyk. Choć na pierwszy rzut oka kwazary przypominały słabe gwiazdy, szczegółowa analiza ich promieniowania dała bardzo dziwne rezultaty. Tego rodzaju badanie, tzw. analiza widmowa, pozwala ustalić skład pierwiastków chemicznych w źródle na podstawie ich charakterystycznych linii widmowych. Widma kwazarów zdawały się sugerować istnienie zupełnie nowych, nieznanych pierwiastków! W 1963 r. Maarten Schmidt zauważył, że są to dobrze znane linie wodoru, bardzo mocno przesunięte ku czerwieni, tzn. ku dłuższemu fałom. Takie przesunięcie wyjaśnić można było tylko przez ogromną odległość w rozszerzającym się wszechświecie zgodnie z prawem Hubble’a, wiążącym wynikające z ekspansji „rozciągnięcie” fal światła z odległością.

Tu pojawił się jednak nowy problem – jeśli kwazar oddalony o miliardy lat świetlnych obserwujemy z Ziemi z jasnością porównywalną do gwiazd (odległych zaledwie o setki lat świetlnych), oznacza to, że generuje on niewyobrażalnie wielką energię ze źródła o relatywnie małej (w astronomicznym sensie) wielkości. I tak astronomowie stanęli przed trudnym pytaniem, jaki naturalny proces mógłby wyjaśnić tak ogromną moc? Na pewno nie żaden „standardowy” obiekt astronomiczny. Przypomniano sobie wówczas o dziwnych rozwiązaniach równań Einsteina – czarnych dziurach.

W przeciwieństwie do gwiazd, czarne dziury nie mają górnego ograniczenia na masę i mogą mieć jej tyle, co miliony lub miliardy Słońc. Co więcej, są ekstremalnie zwarte (duża masa, mała średnica), co oznacza, że zanim spadający na czarną dziurę obiekt zniknie bezpowrotnie za horyzontem zdarzeń, może uwolnić bardzo dużo energii grawitacyjnej w formie promieniowania tak silnego, że obserwowanego z odległej Ziemi. Podobnie, kamień zrzucony na powierzchnię planety uwolni tym więcej energii grawitacyjnej (w formie głośniego huków w zderzeniu z powierzchnią), im silniejsze przyciąganie planety i im wyższa początkowa wysokość.

Nie bez oporów i z pewnym początkowym niesmakiem astronomowie musieli zgodzić się, że supermasywne czarne dziury w jądrach kwazarów to najlepsze rozwiązanie zagadki ogromnej mocy tych obiektów.

Kolejnych dowodów na istnienie czarnych dziur dostarczył pomiar masy obiektu Cygnus X-1, produkującego promieniowanie w zakresie rentgenowskim (X-ray), oszacowanej na około 15 mas Słońca. Tylko bardzo zwarty obiekt mógłby produkować tego rodzaju promieniowanie i jedyną dostatecznie zwartą alternatywą dla czarnej dziury mogła być gwiazda neutronowa. Ale gwiazda neutronowa nie może być tak masywna, co wykazali po raz pierwszy Tolman, Oppenheimer i Volkoff w 1939 r. Żadna znana siła nie byłaby w stanie powstrzymać gwiazdy neutronowej o masie większej niż 2-3 masy Słońca przed całkowitym grawitacyjnym zapadnięciem się i stworzeniem czarnej dziury. Po raz kolejny astronomowie musieli pokonać swój zdrowy sceptycyzm i zaakceptować, że istnienie czarnych dziur, tym razem o masie gwiazdowej, to najbardziej prawdopodobne wyjaśnienie natury obiektów takich jak Cygnus X-1.

Dekada odkryć

W drugiej dekadzie XXI w. postęp technologiczny zaowocował powstaniem nowej klasy instrumentów umożliwiających badania czarnych dziur. W 2016 r. ogłoszono pierwszą detekcję fal grawitacyjnych przez LIGO (z ang. *Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*). Mierzony sygnał odpowiada rozchodzącym się z prędkością światła deformacjom czasoprzestrzeni (tzw. falom grawitacyjnym), powodującym mikroskopijną zmianę odległości między oddalonymi o 4 km zwierciadłami laserowego interferometru – urządzenia wykorzystującego interakcję pomiędzy falami światła, aby umożliwić ekstremalną czułość pomiaru.

Zarejestrowana forma sygnału doskonale odpowiadała wynikającym z ogólnej teorii względności przewidywaniom tego, jak wyglądałby efekt zderzenia czarnych dziur. Obrazowo można ten pomiar porównać do obserwacji fal rozchodzących się na powierzchni stawu po wrzuceniu do niego kamienia, aby na podstawie ich analizy móc wywnioskować masę i kształt kamienia. Wszystko to pod warunkiem, oczywiście, że staw ma wielkość miliarda lat świetlnych, a kamień masę około 30 Słońc.

W kolejnych latach amerykańskie LIGO wraz z europejskim VIRGO dostar-

czyły dziesiątków podobnych obserwacji, otwierając nową dziedzinę badań – astronomię fal grawitacyjnych. Za ten ważny wkład w rozwój fizyki w 2017 r. badacze związani z LIGO zostali uhonorowani Nagrodą Nobla.

Wieloletnie obserwacje naszego własnego Centrum Galaktyki w bliskiej podczerwieni ujawniły, że znajdujące się tam gwiazdy orbitują wokół niewidocznego

kowe szczegóły orbity Merkurego, dostarczając pierwszych obserwacyjnych dowodów na prawdziwość swojej teorii. Również w 2018 r. interferometr GRAVITY zaobserwował ruch materii wokół Sagittarius A* na orbicie o niezwykle małym promieniu, dostarczając kolejnego ograniczenia na ekstremalną zwartość ciemnego obiektu w Centrum Galaktyki. Wszystkie te obserwacje doskonale zga-



Czy czarne dziury zjadają informację?

CZARNE DZIURY TO JEDNE Z NAJBARDZIEJ TAJEMNICZYCH OBIEKTÓW WE WSZECHŚWIECIE. Ich pole grawitacyjne jest tak silne, że cokolwiek znajdzie się pod ich powierzchnią, już nigdy nie wydostanie się na zewnątrz. Pochłaniają one wszelką materię w swoim pobliżu, a wraz z nią całą informację, którą ona niesie. Ogólna teoria względności mówi, że owa informacja pozostanie uwięziona aż do końca wszechświata.

Teoria kwantowa implikuje jednak, że czarne dziury parują. Jest to proces szalenie powolny, ale skuteczny – w końcu każda czarna dziura we wszechświecie zniknie bez śladu. Cała masa w niej zgromadzona przekształci się w energię promieniowania. To jednak tylko pogarsza problem, ponieważ promieniowanie to ma charakter termiczny – nie niesie w sobie żadnej informacji!

Ale czy informacja rzeczywiście może zostać kompletnie wymazana ze wszechświata? I co by to właściwie oznaczało dla fizyki? Jedno jest pewne – żeby wyjaśnić tę tajemnicę, musimy wyjść poza ramy znanych nam teorii fizycznych.

MICHAŁ ECKSTEIN, FIZYK, UNIWERSYTET JAGIELLOŃSKI

zwartego obiektu o masie około 4 mln Słońc, powiązanego z obiektem Sagittarius A*, obserwowanym w zakresie fal radiowych. Jedną z tych gwiazd, znaną jako S2, w 2018 r. znalazła się w swoim perycentrum, najbliższym punkcie orbity względem Sagittarius A*. Dostatecznie blisko, by umożliwić pomiar precesji orbitalnej z wykorzystaniem instrumentu GRAVITY VLTI (z ang. *Very Large Telescope Interferometer*) na chilijskiej pustyni Atacama.

Ten rodzaj precesji, powodujący przesunięcie perycentrum w kolejnych okresach ruchu orbitalnego, jest nieobecny w teorii grawitacji Newtona, według której perycentrum zawsze przypada dokładnie w tym samym punkcie. Sam Einstein wyjaśnił w ten sposób w 1915 r. zagad-

dzają się z hipotezą, że Sagittarius A* to supermasywna czarna dziura. Za uzyskanie tych rezultatów przyznano w 2020 r. Nagrodę Nobla.

Wreszcie, w roku 2019 opublikowany został pierwszy obraz czarnej dziury w centrum galaktyki M87, uzyskany przez Teleskop Horyzontu Zdarzeń (EHT, z ang. *Event Horizon Telescope*), wirtualny radioteleskop o rozmiarze całej planety. Miałem przyjemność uczestniczyć w pracach nad uzyskaniem tych rezultatów. Podobnie jak w wypadku LIGO i GRAVITY, kluczem do technologicznego sukcesu okazała się interferometria, tym razem nie w podczerwieni, a w dziedzinie milimetrowych fal radiowych. W 2022 r. EHT zaprezentował również obraz Sagittarius A*, →

→ obiektu w centrum naszej Drogi Mlecznej. Zarówno M87, jak i Sagittarius A* wyglądają na obrazach jak pierścień światła emitowanego przez gorący gaz pożerany przez czarną dziurę, otaczający ciemne wnętrze. Rozmiar pierścienia, powiększony przez grawitację niczym przez potężną soczewkę uginającą promienie światła, zgadza się dokładnie z wartością wynikającą z obliczeń dla czarnej dziury o danej masie.

Ciemne wnętrze pierścieni odpowiada rejonowi za horyzontem zdarzeń, którego żaden foton nie może opuścić, aby dotrzeć do naszych teleskopów. Obserwacje EHT demonstrowują istnienie supermasywnych czarnych dziur w centrach galaktyk. W przeciwieństwie do czarnych dziur o masie gwiazdowej, będących efektem grawitacyjnego kolapsu masywnych gwiazd po wyczerpaniu paliwa niezbędnego do prowadzenia fuzji jądrowej, nie do końca rozumiemy mechanizm prowadzący do powstawania ich supermasywnych odpowiedników. Wydaje się, że urosły one zbyt szybko w historii wszechświata w stosunku do tego, co przewidują nasze teorie.

Niewyjaśniona tajemnica

Dziś istnienie czarnych dziur jest szeroko akceptowane przez astrofizyków jako empiryczny fakt. Niemniej, pozostaje szereg fundamentalnych problemów związanych ze zrozumieniem ich działania. Skrywająca się pod horyzontem zdarzeń osobliwość wciąż dostarcza kłopotów interpretacyjnych, które być może zostaną w przyszłości rozwiązane przez nieuchwytną do tej pory kwantową teorię grawitacji, uogólniającą ogólną teorię względności i usuwającą nieszczęsne zero w mianowniku jej równań. Obliczenia prowadzone od lat 70. wykazały zaskakujący efekt parowania czarnych dziur i emisję tzw. promieniowania Hawkinga.

Efekt ten stał się źródłem paradoksu informacji, fundamentalnego problemu dotyczącego pogodzenia parujących czarnych dziur z zasadami mechaniki kwantowej. Co więcej, obszar za horyzontem zdarzeń oraz ukryta w jego wnętrzu osobliwość są co do zasady nieobserwowalne, zatem nasze dowody na istnienie czarnych dziur opierają się na badaniach ich interakcji z otoczeniem.

Teoretycznie wciąż możliwa jest konstrukcja alternatywnych modeli ultrazwarych obiektów, takich jak gwiazdy bozonowe, tunele czasoprzestrzenne czy nagie osobliwości pozbawione horyzontu zdarzeń.

Przez 110 lat od sformułowania ogólnej teorii względności nauka przebyła bardzo długą drogę. Status czarnych dziur zmienił się z matematycznej patologii równań w najbardziej prawdopodobne wyjaśnienie licznych obserwacji astronomicznych. Te niezwykle obiekty wciąż skrywają wiele fascynujących tajemnic, a liczni astrofizycy mają nadzieję, że ich dalsze badania z wykorzystaniem nowych narzędzi obserwacyjnych mogą pewnego dnia pomóc nam zrozumieć relację między mechaniką kwantową a grawitacją.

© MACIEK WIELGUS

Autor jest fizykiem i astronomem, kieruje jednym z zespołów działających przy Teleskopie Horyzontu Zdarzeń i pracuje w Instituto de Astrofísica de Andalucía - CSIC w Granadzie. Weźmie udział w spotkaniu poświęconym czarnym dziurom w paśmie „Konfrontacje”.

REKLAMA



**RADIO
NAUKOWE**

Podcast o tym,
co wiemy,
i skąd to wiemy.

Posłuchaj no:

radionaukowe.pl



*Do usłyszenia!
Karoline Grosche*



UNIwersytet Jagielloński
w Krakowie

NAUKA INSPIRUJE OD POKOLEŃ



Przystanek #misjaUJ

Podcast popularnonaukowy
przygotowany przez
wykładowców i pracowników
naukowych UJ.



nauka.uj.edu.pl

Aktualności, projekty
badawcze i wydarzenia
naukowe na UJ.



Cafe Nauka

Popularnonaukowy
fanpage na Facebooku
o nauce - nie tylko
o tej z UJ.

CAFE
Na • μ
• K α •
• • UJ

Jak się uczymy

STANISLAS DEHAENE

Nasz naturalny apetyt na wiedzę sprawia, że chcemy się uczyć rzeczy nieznanych i samo ich odkrycie uruchamia nasz układ nagrody. Jednocześnie rzeczy te nie mogą być zbyt nowatorskie czy dezorientujące, bo wówczas stopień komplikacji nas zniechęca.

MARIA HAWRANEK: Szkolne oceny przyczyniają się do zniechęcenia, stygmatyzacji, poczucia bezradności, a nie postępów w nauce, ponieważ nie wyjaśniają, na czym polegają popełnione błędy, ani nie mówią, jak je poprawić – takie wnioski płyną z lektury Pana książki „Jak się uczymy?”. Dlaczego system edukacji się nie zmienia, mimo rozwoju naszej wiedzy o procesie uczenia się?

STANISLAS DEHAENE: Nauczycielom i edukatorom przedstawiono wiele różnych teorii, ale zbyt mało faktów. Naszym – naukowców – zadaniem jest pokazanie, że w szkolnictwie możliwe są eksperymenty. W niektórych obszarach takie eksperymenty trwają od dekad i dają stabilne rezultaty. Nauczyciele bywają sceptyczni, bo obciążono ich wieloma koncepcjami pedagogicznymi, ale kiedy widzą, że jakieś rozwiązanie działa, to je przyjmują. Moje doświadczenie z nauką czytania pokazuje, że edukacja na prawdę zmienia się w wielu krajach.

Jak i gdzie?

W moim laboratorium zajmujemy się mózgiem, obserwujemy obszary odpowiedzialne za naukę czytania, ich połączenie z obszarami odpowiedzialnymi za wzrok i nabywanie języka, a szczególnie – połączenie obszarów odpowiedzialnych za wzrok i słyszenie. Te obszary najbardziej zmieniają się w konsekwencji nauki czytania. Zaobserwowaliśmy też, co jest zbieżne z odkryciami neuronaukowymi, że w uczeniu czytania najlepsze wyniki dają podejścia pedagogiczne oparte na łączeniu grafemów (czyli najmniejszych jednostek pisma, np. litery „s”) z fonemami (czyli najmniejszymi jednostkami dźwiękowymi mowy, np. głoską „s”).

We Francji ogłoszono wyniki testów mierzących postępy dzieci poczynione

w pierwszej klasie. Wyniki skorelowano z metodami i podręcznikami, jakimi posługiwali się nauczyciele. Po raz kolejny okazało się, że najlepiej sprawdziło się fonetyczne nauczanie czytania. Gdy nauczyciele prezentowali również inną technikę – wyrazów globalnych, polegającą na zapamiętywaniu w całości zapisu prostych, powszechnie używanych słów – to dzieci miały trochę gorsze wyniki, bo się tymi zadaniami rozpraszały.

Mamy zatem zbieżne dowody ze wszystkich poziomów – od neuronauki do klasy w szkole – na wysoką skuteczność fonetycznej metody uczenia czytania. Ta zbieżność jest kluczowa, bo sama neuronauka nie wystarcza – może się okazać, że jakaś koncepcja nie zadziała w klasie. Fonetyczne sposoby nauki czytania zostały wprowadzone w Nowym Jorku, Missisipi, kilku innych stanach USA, w Kolumbii, Brazylii i Argentynie.

Od 2018 r. doradza Pan francuskiemu Ministerstwu Edukacji.

Poproszono Pana, by pomógł wymyślić szkołę na nowo?

To gruba przesada. Zostałem poproszony, by stworzyć grupę doradców naukowych. Zaprosiłem do współpracy 30 specjalistów z różnych dziedzin, od nauk kognitywnych, przez psychologię, neuronaukę, edukację, ekonomię, po matematykę, którzy pracują *pro bono*, a więc w sposób niezależny. Czytają literaturę naukową, a kiedy jest niewystarczająca, projektują niezbędne eksperymenty, by ustalić, co najlepiej sprawdzi się w klasie. Stworzyliśmy mnóstwo dokumentów i konkretnych testów dla dzieci, które określają ich autentyczny poziom, a także badania interwencyjne. To, co zaczęło się jako komitet doradczy, zostało wpisane do francuskiego porządku prawnego. Konsultujemy też podręczniki do nauki czytania i matematyki.

Proszę sobie wyobrazić, że może Pan od zaraz zmienić kilka rzeczy tak, by lepiej wspierały rozwój uczniów. Co by to było?

Nie ma jednego prostego działania, które wszystko zmieni. Edukacja to złożony, wielowymiarowy system. Ale spróbujmy. Bardzo ważne jest szkolenie nauczycieli. Są oni chętni do słuchania, ale potrzebują wielu godzin kształcenia zgodnego z aktualnym stanem wiedzy. Wielu zaś jest jeszcze uczonych pedagogiki Jeana Piageta czy Lwa Wygotskiego, o których dziś już wiemy, że są nieskuteczne. We Francji dokształcanie nauczycieli jest bardzo niewielkie.

Po drugie, potrzebujemy takich programów nauczania, które są precyzyjne i wymagające, a jednocześnie nie stawiają przed dziećmi poprzeczki zbyt wysoko. Nasz naturalny apetyt na wiedzę sprawia, że chcemy się uczyć rzeczy nieznanych i samo ich odkrycie uruchamia nasz układ nagrody. Jednocześnie rzeczy te nie mogą być zbyt nowatorskie czy dezorientujące, bo wówczas stopień komplikacji nas zniechęca.

We Francji udało nam się zmienić program nauczania w pierwszej klasie w dużej mierze w oparciu o program singapurski. Precyzyjniej określiliśmy oczekiwania wobec dzieci, co z kolei prowadzi do trzeciego ważnego obszaru zmiany – weryfikacji poziomu umiejętności dzieci i dostosowania do niego poziomu nauczania. Esther Duflou nazywa to „nauczaniem na właściwym poziomie”. Przez 20 lat przeprowadzała eksperymenty we współpracy z organizacją Pratham w Indiach, zajmującą się wsparciem edukacyjnym dzieci ze środowisk nieuprzywilejowanych. Nauczanie na właściwym poziomie sprowadza się do tego, że najpierw trzeba przetestować faktyczne umiejętności dzieci niezależnie od ich formalnego wykształcenia. Nie możemy zakładać,

Podglądanie umysłu w działaniu

STANISŁAS DEHAENE

Po studiach z matematyki i informatyki Stanislas Dehaene zwrócił się w kierunku psychologii i neurobiologii – postanowił zgłębić to, w jaki sposób mózg człowieka uczy się przetwarzać pojęcia matematyczne. Jego pionierskie prace w dziedzinie psychologii poznania matematycznego zaowocowały odkryciem czegoś, co Dehaene nazwał „zmysłem liczby” – wrodzonej dla ludzi zdolności do reprezentowania obiektów i wielkości w kategoriach ilości i kolejności, nad którą mózg nabudowuje zdobywaną przez nas abstrakcyjną wiedzę matematyczną. W kolejnych badaniach prof. Dehaene odkrywał inne sekrety mózgu, przyglądając się m.in. temu, jak uczymy się czytać, a nawet temu, jak w mózgu działa świadomość. Pojęciem, które łączy wszystkie wysiłki badawcze prof. Dehaene’a, jest neuroplastyczność: zdolność neuronów do tworzenia nowych połączeń z innymi neuronami, a także zdolność mózgu do zaangażowania tych samych obwodów neuronalnych do różnych zadań. W laboratorium prof. Dehaene’a w College de France osoby niewidome lub głuche ujawniały potęgę neuroplastyczności, gdy te same obszary ich mózgów, które u widzących zajmują się analizą obrazu czy dźwięku, angażowały się w przetwarzanie informacji płynących z innych zmysłów lub bardziej abstrakcyjne zadania poznawcze. Polskim czytelnikom znany z książek „Jak się uczymy?” oraz „Świadomość i mózg”, prof. Dehaene podczas festiwalowego wykładu opowie o tym, jak stosując techniki do obrazowania pracy mózgu, możemy odkrywać jego najgłębsze tajemnice.



MICHAŁ DYAKOWSKI DLA „TP”

że skoro dziecko jest w szóstej klasie, to opanowało program z piątej. Jeśli to zrobisz, prawdopodobnie twoje oczekiwania przekrocza jego możliwości. A jeśli najpierw sprawdzisz wiedzę i dostosujesz materiał do jej faktycznego stanu, dziecko poczyni postępy.

To były trzy przykłady. Powinienem jeszcze dołożyć czwarty.

Jaki?

Zwracanie uwagi na ciekawość dzieci, ich dobrostan i pewność siebie. Niestety, we Francji nie jesteśmy najlepsi w jej budowaniu.

Inne systemy edukacyjne, jak choćby duński, uznają społeczny kontekst szkoły i samopoczucie dzieci za jeden z najważniejszych obszarów edukacji. Mnie zajęło chwilę, zanim zrozumiałem, że być może właśnie to jest dominujący czynnik: dzieci muszą być zaangażowane w naukę. To jeden z czterech filarów uczenia się.

zowane w naukę. To jeden z czterech filarów uczenia się.

Przypomnę pozostałe, o których pisze Pan w książce: uwaga, aktywne zaangażowanie, informacje zwrotne o błędach i konsolidacja.

Czy dzieci są zaangażowane? Czy są ciekawe? Czy chcą się uczyć? Jeśli twoi nauczyciele, rodzice lub rówieśnicy przekonają cię, że nie jesteś w stanie się →

→ czegoś nauczyć, to się w to nie zaangażuj. Chcesz mieć pewność, że jeśli podejmiesz wysiłek, to przyniesie on skutki – postępy w nauce. To szalenie ważna interwencja: musimy przekonać dzieci, że mogą uczynić postępy. A przecież wiele dzieci jest przekonanych, że nie mają szans, nie dadzą rady. Zwłaszcza w kontekście matematyki, co szczególnie dotyczy dziewczynek. Jeśli uda nam się to zmienić i przekierować szkoły na stosowanie podejścia: „każdy może czynić postępy, to tylko kwestia podjęcia wysiłku, a jeśli go podejmiesz, zostaniesz nagrodzony” – zyskamy wiele aktywnych uczniów i uczennic.

Amerykańska psycholożka Carol Dweck mówi o umysłowości utrwalonej – np. „nie mam głowy do języków obcych” – i umysłowości rozwojowej, która wyraża się w twierdzeniu: „wszystkie dzieci są zdolne do czynienia postępów”. Do takiego podejścia do umysłowości powinniśmy dążyć. Przy czym zaszczepienie umysłowości rozwojowej nie polega na mówieniu wszystkim dzieciom, że są znakomite, pod pretekstem troski o ich samoocenę. Oznacza raczej uświadamianie im czynionych z dnia na dzień postępów, zachęcanie do zaangażowania, nagradzanie starań.

W książce pisze Pan w tym kontekście, że rodzimy się zdolni do wszystkiego i bardzo do siebie podobni. To znaczy, że każdy może być geniuszem? Jeśli tak, to czemu nie każdy nim zostaje?

Zacznę od tego, że można zostać źle zasufladkowanym w dzieciństwie, a jednocześnie mieć wspinałą karierę, bo człowiek znajdzie w sobie zdolność do nauki. Dla naszej rady naukowej stworzyłem serię wywiadów „Les Z’Héros ont du talent” (Zera mają talent). Po francusku dobrze działa gra słowna: *les zéros* i *les héros* czytamy tak samo, a znaczą zupełnie co innego.

To swoisty pean na cześć „zer”. Wielu dzieciom powiedziano, że do niczego się nie nadają, są zerami, ale stały się bohaterami. Przeprowadziłem wywiady ze wspinałymi ludźmi, którzy nigdy nie chodzili do szkoły. Nigdy nie możesz powiedzieć dziecku: „jesteś zerem, nic w życiu nie osiągniesz”. To nie *fair*. I nie prawda. W książce próbuję wytłumaczyć, że ludzki mózg jest najlepszą maszyną do

Plastyczność mózgu jest ogromna.

U osób niewidomych rejon mózgu normalnie zajęty obsługą wzroku, uwolniony od tej roli, przystosowuje się do wykonania bardziej abstrakcyjnych zadań, w tym obliczeń w pamięci i rozważań matematycznych.

uczenia się istniejąca na ziemi i praktycznie każde dziecko jest w nią wyposażone – choć oczywiście w jego budowie mogą pojawić się zaburzenia.

Trudno mi odpowiedzieć na pytanie, które pani postawiła, bo nie chciałbym nie docenić roli czynników genetycznych – one mają znaczenie. W rozwoju mózgu bardzo ważny jest też okres ciąży, szczególnie ostatni trymestr, kiedy neurony migrują do mózgu. Brak witamin czy złe żywienie – zarówno u przyszłej mamy, jak i w pierwszych latach dziecka – mogą mieć poważne konsekwencje dla rozwoju mózgu.

I tu ważne przesłanie: w naszych społeczeństwach robimy więcej na rzecz emerytów niż małych dzieci. Jest więcej biednych dzieci niż starców. Wiele głoduje. Zatem nie możemy nie doceniać czynnika biologicznego. To powiedziawszy, podkreślę, że wpływ środowiska i wysiłki dzieci, ich inwestycja w naukę mają ogromne znaczenie i jeśli są dobrze pokierowane, mogą przewyższyć rozmaite dziwactwa i niedoskonałości mózgu.

W książce opisuję niezwykle historię Nico, pamięta pani?

Oczywiście – ma tylko lewą półkulę, ale zmieścił w niej wszystkie zdolności, które u zdrowych ludzi są rozproszone po całym mózgu: mowę, pisanie i czytanie, rysowanie i malowanie, informatykę czy szermierkę.

Usunięto mu całą jedną półkulę, gdy miał trzy lata, ale ponieważ otrzymał

wsparcie i był zaangażowany w naukę, zdał maturę. Z pewnością byłby jeszcze bystrzejszy z dwoma półkulami, ale ma świetne życie – został mistrzem Hiszpanii w szermierce na wózkach, w malarstwie odnosi niezwykle sukcesy, ma nieprzeciętny talent. Plastyczność mózgu jest ogromna, szczególnie w młodym wieku – stymulacja dzieci w tym okresie może czynić cuda. W książce opisuję też ludzi, którzy zostali wybitnymi matematykami, chociaż są niewidomi, np. Emmanuel Giroux. Zwykle myślimy, że osoba niewidoma może zostać co najwyżej stróicielem pianin, a nie inżynierem, a jest przeciwnie! U osób niewidomych rejon mózgu normalnie zajęty obsługą wzroku, uwolniony od tej roli, przystosowuje się do wykonania bardziej abstrakcyjnych zadań, w tym obliczeń w pamięci i rozważań matematycznych.

Ma Pan wysokie oczekiwania wobec nauczycieli, którzy w wielu krajach, jak w Polsce, są niedoceniani społecznie i finansowo, a także wobec rodziców. Pisze Pan o „obowiązku” stymulacji młodych mózgów i wzbogacania ich środowiska.

Pewnie trochę przesadziłem, bo jednak wiele rodzin zмага się z codziennością i nie powinienem nakładać na nich jeszcze takiego ciężaru. Ale może powinna nam przyświecać taka myśl, że masz w domu najlepszy superkomputer na świecie. Nierobienie z niego użytku jest wyrokiem na całe życie. Powinniśmy być świadomi, że plastyczność mózgu jest ograniczona, mamy na nią może 20-25 lat życia, później znacznie się zmniejsza. Dorośli czują to, np. zaczynając się uczyć nowego języka obcego. To tykający zegar, każdy rok jest stratą. Dlatego we Francji w czasie pandemii Covid-19 nasza rada naukowa uparła się, by zrobić wszystko, aby szkoły były zamknięte jak najkrócej. W efekcie Francja jest jednym z niewielu krajów, w których wyniki edukacyjne polepszyły się w czasie pandemii. W większości – drastycznie spadły.

Styszałam o badaniach, wedle których dzieci coraz później zaczynają mówić. Jedną z przyczyn ma być nadmierne korzystanie ze smartfonów przez rodziny, które stały się przez to mniej rozmowne – a im mniej dziecko słucha mowy,

tym mniej ma okazji do nauki. To mnie zszokowało.

Nie sądzę, by istniały takie statystyki – w każdym razie ja nic istotnego naukowo na ten temat nie widziałem. Trzeba zachować ostrożność, słysząc o takich doniesieniach. We Francji podnoszą się alarmujące głosy na temat „wirtualnego autyzmu” – że dzieci, które nie były autystyczne, stały się takie w wyniku ekspozycji na smartfony i ekrany. To nieprawda.

Życie dziecka opiera się na interakcjach społecznych, a jest kilka czynników, które działają przeciw nim. Jednym jest smartfon, innym – rozmiar rodzin i sposób życia, bo rzadko dzielimy dom z innymi pokoleniami, a kręgi rodzinne są coraz mniej liczne. To bardzo niebezpieczne dla młodego mózgu, który potrzebuje interakcji społecznych. To zaczyna się bardzo wcześnie – pierwszy rok życia to czas ekstremalnie mocnej potrzeby społecznych interakcji. Byłem wściekły, kiedy dowiedziałem się, że jakaś firma proponuje montowanie tabletek w wózkach dla dzieci, by mogły oglądać ekran. To fatalny pomysł! Mów do swojego dziecka cały czas, ile tylko możesz.

W książce opisuję badanie, w którym porównano naukę chińskiego z żywą osobą i z ekranem. Nauka z ekranem spowodowała... zero nauki, bo aby ta się wydarzyła, potrzebna jest interakcja. Myślę, że to kluczowe, by z takimi informacjami docierać do wszystkich ludzi, bo rodzice często ekspozują dzieci na technologię w dobrej wierze. Wiele uboższych rodziców emigranckich we Francji sadzało dzieci przed telewizorami w przekonaniu, że będą lepiej mówić i mieć lepszy akcent – bo rodzice sami mówią niewystarczająco. Ale to nie działa. O wiele lepiej mówić do dziecka w swoim ojczystym języku – to niesamowity prezent, jaki możesz mu dać. Jeśli tylko masz szansę mówić w dwóch językach w domu, rób to. Jedna osoba mówi w jednym, druga w drugim, a dziecko się nie pomyli i ma prezent na całe życie. Nie tylko prezent języka, ale też prezent w postaci wykonawczych funkcji uwagi, bo nabywa umiejętność obsługi określonego języka i wyciszania drugiego, by się między nimi przełączać. Wszystkie te umiejętności będą przydatne w innych obszarach życia.

Zachwyciły mnie badania sprzed 30 lat, które Pan opisuje: niemowlę-



W jaki sposób nasz umysł radzi sobie z matematyką?

MATEMATYKA, KRÓLOWA NAUK – DLA WIELU OSÓB TO HASŁO BYŁO ZMORĄ czasów szkolnych, oddzielającą „humanistów” od tej niedostępnej dziedziny, która była zarezerwowana dla wybrańców z wrodzonym talentem. Ale czy słusznie? Co tak naprawdę dzieje się w naszych głowach, gdy liczymy, i od czego zależy to, czy zostaniemy wybitnym matematykiem? Naukowcy wciąż próbują rozwikłać te zagadki. Odkryto na przykład, że ogromny związek z naszymi zdolnościami matematycznymi ma pewien niepozorny obszar w mózgu, odpowiadający też za koordynację ruchową, że umiejętność nazywania palców czy wrażliwość na rymy w dzieciństwie może mieć związek z rozwiniętymi później zdolnościami matematycznymi, a czasem dobrą strategią na poprawę ocen może być budowanie z klocków albo nauka gry na perkusji. Być może więc matematyka nie jest tak tajemna, jak się wydaje, a drogi do jej nauki są zaskakująco różnorodne i powiązane z takimi obszarami jak ruch czy język. Odkrywanie tych nieoczywistych połączeń to fascynująca podróż w głąb tajemnic ludzkiego mózgu.

**NINA BAŻELA, INFORMATYCZKA I KOGNITYWISTKA,
UNIwersytet Jagielloński**

ta widzą, jak za przesłone chowa się jeden przedmiot, a potem drugi. Następnie przesłona opada – i, o dziwo, widać tylko jeden przedmiot. Niemowlęta dają wyraz swojemu zaskoczeniu poprzez dłuższe lustrowanie nieoczekiwanej sceny, jeśli zaś widzą oczekiwane dwa przedmioty, to patrzą tylko przez krótką chwilę. Mają więc, jak Pan to określa, „zmysł liczby”.

Eksperymenty jednoznacznie pokazują, że arytmetyka należy do wrodzonych umiejętności przekazywanych nam i innym gatunkom przez ewolucję. Rodzimy się też ze zmysłem geometrii – wycuciem linii, kół, kształtów. Ostatnio badałem rysunki małych dzieci i chociaż wydaje się, że to bazgroły, w rzeczywistości kryje się za nimi pewne rozumowanie. Narysowanie rąk i nóg jako linii, a głowy jako okręgu wymaga przecież umiejętności myślenia abstrakcyjnego.

Dzieci mają niesamowite intuicje i wedle nowych doniesień możemy na tych intuicjach oprzeć naukę matematyki, ale musimy budować ją stopniowo. Jeśli zbyt szybko przejdziemy do abstrakcyjnych symboli, dzieci się pogubią i uwierzą, że to abstrakcyjna dziedzina. Ale kiedy zro-

bimy to należycie, stopniowo, dzieci powoli odejdą od intuicji. Tak uczy się matematyki metodą singapurską – startujemy od konkretnych materiałów, później przechodzimy do materiału obrazkowego – bo kiedy coś rysujesz, staje się symboliczne – i dopiero wtedy przechodzimy do cyfr arabskich. To działa i jest kompatybilne z tym, jak uczy się mózg.

Jedno interesujące odkrycie mówi o tym, że kiedy wykonujesz działania z wyższej matematyki, nadal używasz tych samych obszarów mózgu odpowiedzialnych za podstawowy zmysł liczb u dzieci. Zatem matematyka to nie jakieś superabstrakcyjne pole oderwane od tego, co wiemy – wręcz przeciwnie: to coś, co buduje się na prymitywnych strukturach, co do których wszyscy mamy intuicję.

Czy Pana zdaniem szkoła w dobie sztucznej inteligencji musi wyposażać uczniów w jakiś szczególnie rodzaj umiejętności, by mogły się odnaleźć w nowej rzeczywistości?

Właśnie dlatego, że zmierzamy w stronę wysoko technologicznego społeczeństwa, nie powinniśmy zapomnieć o fundamentach. Dzieci bardziej niż kiedykolwiek potrzebują nauczyć się czytać →

→ i wykształcić automatyzmy, takie jak np. tabliczkę mnożenia, bo bez tych umiejętności nie mogą nawet zacząć wchodzić w interakcję z technologicznym społeczeństwem. Naprawdę jestem fanem powrotu do podstaw i nie wierzę w to, że bez nich można od razu przeskoczyć do umiejętności XXI wieku.

Musimy wiedzieć, że 2/12 to tyle co 1/6, a nie długo się nad tym zastanawiać. Dlaczego jest to takie ważne? Ponieważ uwalnia zasoby korowe. Kiedy centrum wykonawcze naszego mózgu jest zajęte jakimś zadaniem, wszystkie inne świadome decyzje muszą być przesunięte na później lub zaniechane. Dopóki zatem dana operacja umysłowa wymaga wysiłku, bo nie została jeszcze zautomatyzowana, pochłania cenne zasoby uwagi wykonawczej i uniemożliwia nam zajęcie się czymkolwiek innym.

Automatyzacja ma zatem fundamentalne znaczenie, gdyż udostępnia nasze zasoby mózgowe na potrzeby innych celów. Dlatego szkoły powinny zwracać szczególną uwagę na to, by dzieci opanowały takie umiejętności jak płynne czytanie i liczenie w pamięci.

Na koniec rzecz, która wydaje mi się najbardziej niedocenianym i nieuświadomionym elementem skutecznego uczenia się: sen. Żyjemy w społeczeństwie, w którym bezsenność dorosłych jest plagą. Ale i dzieci niedosypiają, są przemęczone, używają smartfonów, które nie dają im zasnąć. A bez dobrego spania nie ma nauki, prawda?

Ale się cieszę, że pani o tym powiedziała! To jedno z najważniejszych odkryć neuro nauki: dobry, mocny sen jest kluczowy dla uczenia się. Jest ważny dla konsolidowania już istniejącej pamięci, ale głęboki sen to również czas, gdy mózg rozszerza dane i je generalizuje, odkrywając nowe regularności. To kluczowe dla matematyki, gdzie wciąż idziemy w głąb, a właśnie we śnie zanurzamy się w abstrakcję. W ciągu dnia zapamiętujemy, ale nocą możemy abstrahować to, co usłyszeliśmy.

I ma pani rację – mamy deficyt snu. W ostatnich sześciu latach straciliśmy 20 minut snu dziennie z powodu wszystkich urządzeń, którymi się otaczamy. Zatem naprawdę musimy na to zwracać uwagę.

Szczęśliwie, mamy rozwiązania. Wiemy, że ze względu na budowę ich mózgu godzina rozpoczęcia lekcji dla nastolatków powinna być przesunięta na późniejszą, ale tylko dla nich – młodsze dzieci i dorośli lepiej skupiają się wcześniej rano. Jednak wszyscy powinniśmy uczyć się o wadze snu i wykształcić nawyk wcześniejszego kładzenia się spać. Korzyści z wysypiania się jest znacznie więcej – np. będziemy bardziej uważni, co zmniejszy liczbę wypadków samochodowych o poranku.

Sen jest naszą supermocą – może to być jeden z sekretów gatunku ludzkiego. Nasz sen wydaje się najgłębszy i najefektywniejszy u wszystkich naczelnych. Hipoteza o tym, że niedobory snu mogą powodować zaburzenia nauki, które obecnie występują coraz częściej, jest co prawda tylko hipotezą, ale już popartą sugestywnymi przesłankami. Niektórzy mówią, że wiele dzieci z zaburzeniem uwagi, jak ADHD, może po prostu cierpieć na przewlekły niedostatek snu.

Opowiem o eksperymencie, który świetnie zadziałał we Francji. Powstał program, w ramach którego wprowadzono temat snu na lekcji biologii u dzieci w czwartej i piątej klasie. Dzieci miały cztery godziny zajęć, w czasie których w przystępny sposób dowiedziały się o swoim własnym śnie, jak działa i dlaczego jest ważny. Wróciły do domu i powiedziały rodzicom: wiecie co, uczyłem się dziś o śnie, powinienem więcej spać, bo to jest super. Nosiły aktywne zegarki, by mogły sprawdzać, czy rzeczywiście spały więcej. I co? Spały! W efekcie ich stopnie się poprawiły, bo to, czego się uczyły, zapisywało się w pamięci długotrwałej. Było mniej śpięć między uczniami, szkoła znacznie ucichła i było mniej deficytów uwagi. To wszystko korzyści, jakie można odnieść, jeśli zaufamy dzieciom w ich własnym procesie uczenia się.

Napisałem książkę, byśmy się lepiej poznali, bo głęboko wierzę w to, że potrzebujemy poznać siebie i nasze mózgi, by nauczyć się lepiej z nich korzystać. Musimy nauczyć się uczyć. Może powinniśmy przeznaczyć trochę większą część programu nauczania na uczenie się o nas samych, o naszej biologii i sposobach uczenia się? Najpierw nauczyciele i nauczycielki, a potem uczennice i uczniowie.

© Rozmawiała MARIA HAWRANEK



Czy dzieci powinno się zachęcać do liczenia na palcach?

LICZNE KULTURY OPRACOWAŁY SPOSOBY WYKORZYSTYWANIA CIAŁA DO rachowania. Taką naturalną „maszyną obliczeniową” jest dłoń: palce są zawsze pod ręką, łatwo je rozróżnić, poruszać nimi, a ich uporządkowanie jest stałe. Sprzyja to utrzymaniu odpowiedniości między palcami a zliczanymi obiektami, a także określaniu ich ilości i kolejności. Nawyki liczenia na palcach, przyswojone w dzieciństwie, często pozostają z nami w dorosłości (np. przy odliczaniu miesięcy czy wyliczaniu argumentów). Czy zatem rodzice i nauczyciele powinni aktywnie zachęcać dzieci do liczenia na palcach, by wspomóc rozwój ich kompetencji matematycznych? A jeśli tak, to czy istnieje granica wieku, po której powinno się od tego odchodzić? Pytanie to dzieli edukatorów i psychologów poznawczych. Z jednej strony badania wskazują, że dzieci, u których sprawniej działa mózgowa reprezentacja palców, przejawiają lepsze osiągnięcia matematyczne, a te z mniej sprawną reprezentacją palców radzą sobie z matematyką gorzej. Z drugiej strony istnieją argumenty za tym, że choć palce rzeczywiście przydają się w zliczaniu przedmiotów, to jednak matematyka jest domeną abstrakcyjnego myślenia, w którym zbytne zakorzenienie w konkretnie stanowi szkodliwy balast.

MATEUSZ HOHOL, KOGNITYWISTA, UNIWERSYTET JAGIELLOŃSKI

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

REKLAMA

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



POLSKIE
TOWARZYSTWO
REASEKURACJI

A FAIRFAX Company



COPERNICUS
FESTIVAL

Ubezpieczamy ubezpieczycieli



Wejdź w przyszłość
obliczeń
z IBM Quantum!

quantum.ibm.com



REKLAMA

GŁÓWNE PASMA FESTIWALU

Wszystkie poniższe wydarzenia odbywają się w Muzeum Inżynierii i Techniki przy ul. św. Wawrzyńca 15 w Krakowie. Wstęp wolny. Transmisja na żywo na kanale youtube.com/CopernicusCenter. Wykłady i dyskusje w języku angielskim będą tłumaczone symultanicznie na język polski. Program może ulec zmianom. Aktualna wersja programu na copernicusfestival.com.

WTOREK, 20 MAJA



RUKANOGA / ADOBE STOCK

TAJEMNICE ŻYCIA

16.00 – 17.00

Rozmowa: Odkrywanie sekretów DNA
Marcin Nowotny

Prowadzenie: Mariusz Gogół

Podczas spotkania z biochemikiem i biologiem molekularnym, prof. Marcinem Nowotnym z Międzynarodowego Instytutu Biologii Molekularnej i Komórkowej w Warszawie przyjrzymy się poznawanym w ostatnich latach mechanizmom zabezpieczającym informację genetyczną, zapisaną w cząsteczkach DNA. To właśnie w nich znajduje się tajemniczy przepis na życie, regulujący funkcjonowanie każdej naszej komórki. **Partnerem pasma Rozmowa jest Narodowe Centrum Nauki.**

17.30 – 18.30

Konfrontacje:

Czy życie zawsze znajdzie sposób?
Alicja Okraśńska, Łukasz Michalczyk
Prowadzenie: Szymon Drobniak

Czy życie może rozwijać się w każdych warunkach? Jak udaje mu się przełamywać fizjologiczne bariery i zasiedlać najbardziej niedostępne środowiska? Gdzie – w świecie zwierząt, bakterii, grzybów i roślin – znajdziemy największych

twardzieli? Badacze mikroorganizmów (w tym grzybów i niesporczaków) zabiorą nas w podróż po tajemniczym świecie niewidocznym gołym okiem. Porozmawiamy o zagadkowej nieustępliwości życia, jego zdolności do przetrwania i adaptacji – oraz o zachwycającej bioróżnorodności, jaką tworzy.

19.00 – 20.30

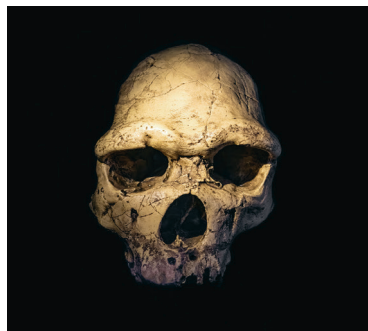
Gala festiwalowa

Koncert: Joachim Mencil

Wykład: Tomasz Rożek

Niezwykła muzyka krakowskiego artysty Joachima Mencla, wykonywana na lirze korbowej, uświetni pierwszy wieczór festiwalu. Podczas naszej gali, w trakcie której zaprezentujemy partnerów i sponsorów tegorocznej edycji, usłyszymy również wykład Tomasza Rożka o tajemnicach życia i wszechświata – wprowadzający nas w tematykę, którą będziemy zgłębiać w kolejnych dniach festiwalu.

ŚRODA, 21 MAJA



ALFREDO GARCIA SAZ / ADOBE STOCK

TAJEMNICE NASZEGO POCHODZENIA

16.00 – 17.00

Rozmowa: Życie w epoce kamienia
Iwona Sobkowiak-Tabaka
Prowadzenie: Łukasz Kwiatek

Z archeologką i profesorką Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu porozmawiamy o tym, czym była epoka kamienia i co dziś wiemy o codziennym życiu naszych paleolitycznych przodków. Jak zmieniał się ono na przestrzeni tej epoki? Jakich narzędzi – kamiennych i wykonanych z innych materiałów – potrzebowali, by przetrwać? Czy każdy z nas mógłby nauczyć się wytwarzać pięściaki aszelskie? I co wiemy o pierwszych ludziach, którzy zamieszkiwali tereny dzisiejszej Polski?

17.30 – 18.30

Konfrontacje: Kim byli neandertalczy?

Magda Kowal, Bogusław Pawłowski

Prowadzenie: Łukasz Kwiatek

Ponad sto lat temu antropolog Marcellin Boule wyobrażał sobie, że neandertalczyki mieli przeciwstawny paluch i chwytną stopę – niczym małpy człowiekowate. Tak narodził się mit prymitywnych brutali, który na długo zaciążył na wizerunku naszych wymarłych kuzynów. Co dziś naprawdę wiemy o neandertalczykach – ich kulturze, stylu życia i zdolnościach poznawczych? Czy badania naukowe pozwalają nam zbudować ich spójny obraz? I dlaczego właściwie ich już nie ma? O neandertalczykach porozmawiają archeologka i antropolog.

19.00 – 20.00

Wykład: Identity, Ethnicity And Genetics: Who Are We? (Tożsamość, etniczność, genetyka: kim jesteśmy?)

Zuzana Hofmanová

Archeogenetyczka prof. Zuzana Hofmanová opowie o badaniach, które rzucają nowe światło na jeden z najbardziej tajemniczych okresów naszej historii – czas między upadkiem Cesarstwa Rzymskiego



a wyłonieniem się średniowiecznych państw Europy Środkowej. To okres podbojów Hunów, Awarów i Słowian, intensywnego mieszania się populacji i kultur, a także kształtowania się grup etnicznych i języków, których wpływy odczuwamy do dziś.

20.15 – 21.15

Dyskusja: Missing Pieces of Our History (Białe plamy naszej historii)
Zuzana Hofmanová, Małgorzata Kot
Prowadzenie: Łukasz Lamża

W dyskusji po wykładzie porozmawiamy z prof. Hofmanową oraz archeolożką, prof. Małgorzatą Kot, o największych niewiadomych związanych z naszą (pre)historią – a także o tym, w jaki sposób nowe metody genetyki i archeologii pomagają nam lepiej zrozumieć, kim byli nasi przodkowie i co się z nimi działo.

CZWARTEK, 22 MAJA

TAJEMNICE KOSMOSU



NASA

Patronem dnia jest Małopolska Organizacja Turystyczna

16.00 – 17.00

Rozmowa: Fizyka, matematyka, transcendencja
Marek Abramowicz
Prowadzenie: Tomasz Miller

Marek Abramowicz, profesor Uniwersytetu w Göteborgu i Chalmers University of Technology z tego samego miasta, specjalizuje się w astrofizyce wysokich energii i ogólnej teorii względności,

a w swoich popularnonaukowych publikacjach i wywiadach nie stroni od stawiania pytań z pogranicza nauki, filozofii i teologii. W rozmowie zastanowimy się nad tym, dlaczego fizyczny świat możemy tak precyzyjnie opisywać w języku matematyki – i co to mówi zarówno o matematyce, jak i świecie fizycznym.

17.30 – 18.30

Konfrontacje: Co się kryje w czarnych dziurach? 250. odcinek Radia Naukowego na żywo
Agnieszka Janiuk, Maciek Wielgus
Prowadzenie: Karolina Głowacka

Specjaliści w dziedzinie astronomii obliczeniowej i obserwacyjnej podzielą się najnowszymi ustaleniami w dziedzinie czarnych dziur – jednych z najbardziej tajemniczych obiektów występujących we wszechświecie. Czym są – i czym nie są – czarne dziury? Jak powstają? Czy w sercu każdej galaktyki znajduje się supermasywna czarna dziura? Czy materia uwięziona w czarnych dziurach może wyparować? Spotkanie prowadzone przez red. Karolinę Głowacką, twórczynię Radia Naukowego, będzie jubileuszowym, 250. odcinkiem tej audycji.

19.00 – 20.00

Wykład: Mysteries of the Universe (Tajemnice wszechświata)
Ruth Durrer

Jak powstał wszechświat? Z czego się składa? I co go czeka? Dzięki ogólnej teorii względności Alberta Einsteina oraz współczesnym obserwacjom stworzyliśmy tzw. standardowy model kosmologiczny, który umożliwia formułowanie naukowych odpowiedzi na te odwieczne pytania. Model ten



rodzi jednak także nowe zagadki – np. dotyczące ciemnej materii i ciemnej energii, których nie potrafimy zaobserwować, ale widzimy wywoływane przez nie efekty. Prof. Ruth Durrer z Uniwersytetu w Genewie opowie o tym, co już wiemy o kosmosie, i tym, co wciąż pozostaje tajemnicą.

20.15 – 21.15

Dyskusja: Journey to the Edge of the Universe (Podróż na granice wszechświata)
Ruth Durrer, Sebastian Szybka
Prowadzenie: Tomasz Miller

W dyskusji po wykładzie po czasowych i przestrzennych granicach wszechświata, a także konceptualnych i matematycznych granicach naszego rozumienia wszechświata oprowadzą nas prof. Durrer i prof. Sebastian Szybka z Obserwatorium Astronomicznego UJ. Zastanowimy się nad tym, czy wyjaśnienie najważniejszych współczesnych kosmicznych zagadek wymaga raczej nowych obserwacji, czy może całkowicie nowej fizyki, zastępującej nasz standardowy model kosmologiczny.

PIĄTEK, 23 MAJA



SEBASTIAN KAULITZKI / ADOBE STOCK

TAJEMNICE UMYŚŁU

16.00 – 17.00

Rozmowa: Umysł strauumatyzowany
Roman Cieślak
Prowadzenie: Jędrzej Grodniewicz



Profesor Roman Cieślak, rektor Uniwersytetu SWPS, specjalizuje się w badaniach nad traumą, stresem i wypaleniem zawodowym. Porozmawiamy z nim o tym, czy możliwe jest uniknięcie tych negatywnych zjawisk, a także o tym, jak dbać o dobrostan psychiczny w czasach pandemii, wojen, kryzysów ekonomicznych i narastających napięć społecznych.

17.30 – 18.30

Konfrontacje: Czym jest świadomość?

Michał Wierchoń, Magdalena Reuter

Prowadzenie: Ilona Kotlewska

Filozofowie od wieków wylewają morze atramentu, próbując odpowiedzieć na pytanie o naturę świadomości, podczas gdy psycholodzy i neuronaukowcy przeprowadzają niezliczone badania, aby znaleźć jej biologiczne podłoże. Czy te badania i debaty w końcu wyłonią odpowiedź na zagadkę świadomości? A może jest ona tak subiektywna, że obiektywne metody naukowe nigdy nie pozwolą nam jej zrozumieć?

19.00 – 20.00

Wykład: Seeing the Mind: Past, Present and Future of Brain Imaging Research (Zagłębienie do umysłu: historia, teraźniejszość i przyszłość badań obrazowych mózgu)

Stanislas Dehaene



Jeden z najbardziej wpływowych współczesnych badaczy mózgu, prof. Stanislas Dehaene z Collège de France, opowie o tym, w jaki sposób dzięki technikom neuroobrazowym odkrywamy najgłębsze tajemnice mózgu, takie jak wyłanianie się świadomości, mechanizmy uczenia się, operowanie pojęciami abstrakcyjnymi i matematycznymi. Olbrzymie postępy, które odnotowujemy w tych dziedzinach w ostatnich dekadach, zawdzięczamy w dużej mierze pracy prof. Dehaene'a.

20.15 – 21.15

Dyskusja: Do We Need to Reinvent School? (Czy musimy wymyślić szkołę na nowo?)

Stanislas Dehaene, Terry Sejnowski

Prowadzenie: Mateusz Hohol, Krzysztof Cipora

W dyskusji po wykładzie do prof. Dehaene'a dołączy prof. Terry Sejnowski. Obu tych ekspertów od mózgu, uczenia się i sztucznej inteligencji zapytamy o to, jak powinien funkcjonować nowoczesny system edukacji, korzystający zarówno z rozwoju narzędzi AI, jak i z wiedzy o tym, w jaki sposób nasz mózg zapamiętuje informacje i pozwala nabywać nowe umiejętności.

SOBOTA, 24 MAJA

TAJEMNICE ZWIERZĄT

13.15 – 15.30

Epicykl

Mateusz Hohol, Nina Beżela, Tomasz Miller, Łukasz Lamża, Michał Eckstein, Krzysztof Cipora, Magdalena Śmieja, Klaudia Żerańska
Prowadzenie: Jędrzej Grodniewicz

Naukowcy i popularyzatorzy znani z kanału YouTube „Copernicus” oraz zaproszeni przez nas goście opowiedzą w 10-minutowych miniwykładach o frapujących ich tajemnicach wszechświata, życia i umysłu – zarówno tych



HIT1912 / ADOBE STOCK

małych, jak i dużych. Posłuchamy m.in. o tym, jak znaleźć szczęście w związku, czy czarne dziury pożerają informację, czy należy uczyć dzieci liczenia na palcach, jak w skali nano płynie ciepło i czy warto wierzyć w to, że twierdzenia matematyczne istnieją niezależnie od nas.

16.00 – 17.00

Rozmowa: Czy warto było zejść z drzewa? Życie codzienne małp
Małgorzata Arlet

Prowadzenie: Maria Hawranek

Prymatolożka, profesorka Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu Małgorzata Arlet od ponad 15 lat prowadzi badania terenowe, w których poznaje więzi i obyczaje panujące wśród różnych gatunków małp – m.in. mangabek szarych, goryli nizinnych, małp Campbella, makaków japońskich i makaków czepkowych. Porozmawiamy z nią o wyzwaniach związanych z obserwacjami małp na wolności, a także o tym, czy życie w małpim stadzie zawsze wygląda tak samo – i w jakim stopniu małpia proza życia przypomina naszą.

17.30 – 18.30

Konfrontacje: Czy w przyrodzie jest więcej rywalizacji, czy współpracy?
Agnieszka Kłoch, Piotr Łukasik

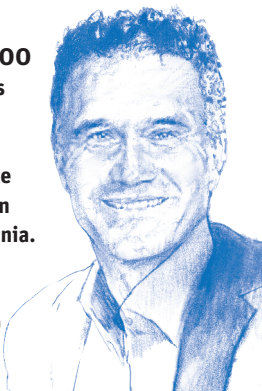
Prowadzenie: Bartosz Baran

Gdy Karol Darwin i Alfred Wallace ogłosili teorię ewolucji, wśród biologów rozpoczęła się dyskusja: czy w przyrodzie dominuje rywalizacja,

czy współpraca? Oba te zjawiska mogą przecież w istotny sposób wpływać na ewolucyjne trajektorie organizmów. Dziś wiemy, że granica między nimi bywa bardzo nieostra. Badaczka interakcji pasożytów z gospodarzami oraz badacz ewolucji kooperacji i symbiozy opowiedzą o tym, jak złożone i wielowymiarowe są zależności w przyrodzie – i jak często wymykają się one naszym prostym kategoriom.

19.00 – 20.00

Wykład: Atoms of Meaning. What Rules Govern Primate Communication (Atomy znaczenia. Jakie reguły rządzą małpią komunikacją?)
Klaus Zuberbühler



Prof. Zuberbühler (Uniwersytet w St. Andrews oraz Uniwersytet w Neuchâtel) od ponad ćwierćwiecza prowadzi badania nad małpią komunikacją. W wykładzie festiwalowym przedstawi dowody na to, że w komunikacji szympanów i innych małp człowiekowatych występuje składnia, a kolejność dźwięków w wokalizacjach wpływa na ich znaczenie. Opowie także o tym, czy małpy rozumieją związki przyczynowo-skutkowe i czy potrafią je komunikować.

20.15 – 21.15

Dyskusja: How Did Language Evolve? (Jak wyewoluował język?)
Klaus Zuberbühler, Przemysław Żywicznyński
Prowadzenie: Marta Sibierska

Po wykładzie w dyskusji z prof. Zuberbühlerem weźmie udział lingwista i ewolucjonista prof. Przemysław Żywicznyński z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika

w Toruniu. Porozmawiamy z nimi o tym, w jaki sposób badania nad komunikacją małp zbliżają nas do odpowiedzi na pytanie o to, jak wyewoluował nasz własny język.

NIEDZIELA, 25 MAJA**TAJEMNICE SZTUCZNEJ INTELIGENCJI****16.00 – 17.00**

Rozmowa: Jak się robi sztuczną inteligencję?
Jacek Tabor
Prowadzenie: Piotr Urbańczyk

Prof. Jacek Tabor z Uniwersytetu Jagiellońskiego specjalizuje się w tworzeniu i optymalizacji systemów sztucznej inteligencji wykorzystywanych w przemyśle i medycynie. Porozmawiamy z nim m.in. o tym, jak projektuje się i trenuje sieci neuronowe, jakie prawa matematyczne leżą u ich podstaw oraz rozwoju jakich technologii opartych na AI powinniśmy się spodziewać w najbliższym czasie.



ZALLEY / GENERATOR OBRAZU DALL-E / OPEN AI

17.30 – 18.30

Konfrontacje: Sztuczna inteligencja – czy t a m ktoś jest?
Włodzisław Duch, Piotr Durka
Prowadzenie: Jan Argasiński

Każdy i każda z nas, korzystając ze sztucznej inteligencji, może poczuć charakterystyczne mrowienie w kregosłupie i zadać sobie pytanie: czy mamy do czynienia ze

świadomą istotą, czy jedynie z czymś, co doskonale ją naśladuje? Nad tymi pytaniami pochyla się również nasi goście – specjaliści zarówno od mózgu, jak też AI – reprezentujący skrajnie odmienne poglądy na temat tego, czym jest współczesna sztuczna inteligencja i czym może się stać w przyszłości.

19.00 – 20.00

Wykład: Brains and AI (Mózgi i sztuczna inteligencja)
Terry Sejnowski



Uczenie maszynowe doprowadziło do powstania takich aplikacji jak ChatGPT, które już teraz zmieniają świat. Do powstania uczenia maszynowego doprowadziły z kolei pionierskie prace m.in. Terry'ego Sejnowskiego, który wymyślił, w jaki sposób komputery mogą naśladować ludzki mózg. W festiwalowym wykładzie prof. Sejnowski podzieli się z nami swoją unikalną perspektywą jednego z ojców współczesnej sztucznej inteligencji i zastanowi się, czy ChatGPT naprawdę rozumie to, co mówi, dlaczego „halucynuje” oraz czy powinniśmy się obawiać, że stanie się zbyt potężny.

20.15 – 21.15

Dyskusja: Into the Unknown (Podróż w nieznane)
Terry Sejnowski, Bartosz Brożek
Prowadzenie: Piotr Krasnowolski

Sztuczna inteligencja potrafi komunikować się z nami we wszystkich językach świata, generować obrazy nieodróżnialne od prawdziwych zdjęć czy udzielać nam porad życiowych i naukowych. W zamykającej festiwal dyskusji prof. Sejnowski i prof. Bartosz Brożek zastanowią się nad tym, jak sztuczna inteligencja może zmienić nasz świat – i czy jesteśmy na tę zmianę gotowi.

WYDARZENIA DODATKOWE

Wszystkie wydarzenia odbywają się w Krakowie i są darmowe. Na warsztaty, lekcje muzealne, grę miejską i spacer po mieście obowiązują zapisy. Więcej informacji na copernicusfestival.com.

WIDMA. ZNIKANIE

Cricoteka, ul. Nadwiślańska 2-4
w Krakowie

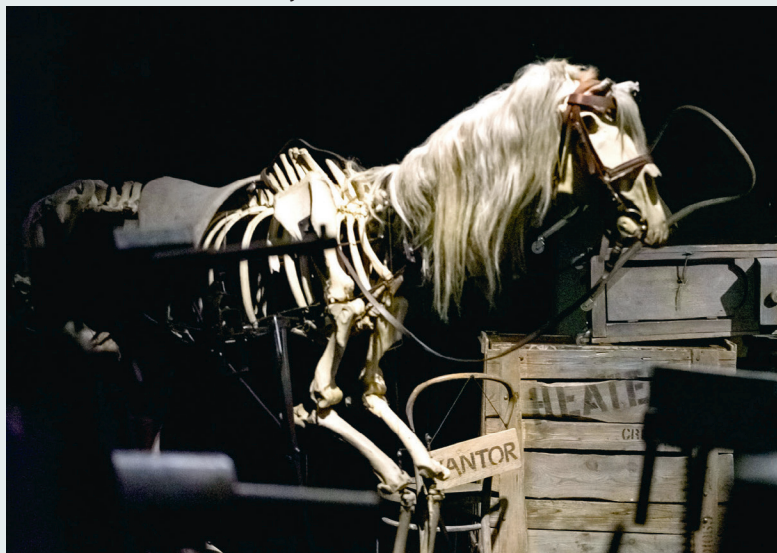
Po pięciu latach wystawa stała Tadeusza Kantora w Cricotece dobiega końca. Podczas Copernicus Festival doprowadzimy do jej finału, przepracowując na koniec kluczowe znaczenia. Wiodącym tematem wystawy „Tadeusz Kantor. Widma. Korekta” jest pamięć o trudnej przeszłości, zarówno w wymiarze historycznym, jak i osobistym – idea wyraźnie obecna w twórczości tego wizjonera teatru. Motywy historyczne i biograficzne są u Kantora silnie zindywidualizowane, funkcjonują jak klisze pamięci. Dialogujące z trudną pamięcią sploty formy i różne kanony estetyki odzwierciedla także kształt wystawy. Buduje ona napięcia przez „zagęszczenie materii”, nawiązanie do pejzażu ruin, krajobrazu bliskiego katastrofie.

Wraz z tegoroczną edycją Copernicus Festival po raz ostatni zmienimy trajektorię obiektów na wystawie, budując nową dynamikę między nimi.

Od 20 do 22 maja w południe obiekty będą zagęszczane, stłaczane do nowych przestrzennych areałów, by ustąpić miejsca energii performatywnego pokazu tanecznego, który zakończy wystawę.

25 maja o godz. 16.00 Piotr Mateusz Wach – performer, artysta tańca i teatru ciała – wykona w przestrzeni wystawy utwór opierający się na zintensyfikowanych działaniach fizycznych, eksplorujących zagadnienia ruchu. Artysta będzie się w swojej pracy odnosił do tematów związanych z przecuciem umierania, nadchodzącej katastrofy, podnoszeniem śmierci do rangi gestu artystycznego, inspirując się szeroko spektaklami Teatru Śmierci Kantora.

Wystawa „Tadeusz Kantor. Widma. Korekta”, Cricoteka



ZBIGNIEW PROKOP / KRZYSZTOF KUĆMA

WARSZTATY

Obowiązkowe zapisy:
warsztaty@copernicusfestival.com

CO MOŻNA WYCZYTAĆ Z KOŚCI?

21 maja, godz. 13.30 oraz 15.00
Centrum Edukacji Przyrodniczej UJ,
ul. Gronostajowa 5
Warsztaty antropologiczne
dla wszystkich.
Prowadzenie: Anna Zubek

TAJEMNICE KOSMOSU

22 maja, godz. 20.00 do północy
Obserwatorium Astronomiczne UJ,
ul. Orła 171
Warsztaty i obserwacje dla młodzieży
i dorosłych.
Prowadzenie:
Tomasz Kundera, Elżbieta Kuligowska

TAJEMNICE UMYSŁU

23 maja
SOLARIS, ul. Czerwone Maki 98
Jaki wpływ mają badania prowadzone
w Narodowym Centrum Promieniowania
Synchronotowego SOLARIS na poznanie
ludzkiego umysłu?
11.00-12.00 Zwiedzanie centrum SOLARIS
12.00-12.45 Wykład Artura Bieli:
Jak kriomikroskopia elektronowa
pomaga zrozumieć biochemię mózgu
(i nie tylko)?

TAJEMNICE KAZIMIERZA

24 maja, godz. 11.00-13.00
Start: Muzeum Inżynierii i Techniki,
ul. św. Wawrzyńca 15
Prowadzenie: Anna Stalmach
„Tajemnice Kazimierza” to spacer po mniej
znanych zaułkach dawnej dzielnicy żydowskiej,
odślaniający nieoczywiste historie, symbole
i zapomniane miejsca. Uczestnicy poznają
ukryte ślady życia dawnych mieszkańców.
To wędrówka przez czas, w której
teraźniejszość splata się z legendą i historią
ukrytą w murach Kazimierza.

TAJEMNICE KRAKOWA

25 maja, godz. 11.00-13.00
Start: Barbakan, ul. Basztowa
Prowadzenie: Anna Stalmach

„Tajemnice Krakowa” to niezwykły spacer
po zakątkach Krakowa i miejscach pełnych
legend, zagadek i ukrytych historii. Odkryj
Kraków w klimacie tajemnicy i lokalnych
opowieści. Poznaj postacie z przeszłości
o nieoczywistych biografiiach i ciekawych
dokonaniach.



PAWEŁ SUDER / MIT

Muzeum Inżynierii i Techniki w Krakowie

LEKCJE MUZEALNE

Muzeum Inżynierii i Techniki,
ul. św. Wawrzyńca 15
Zapisy: rezerwacja@mit.krakow.pl
lub tel. 12 428 66 00, wew. 11

TAJEMNICE KOSMOSU: JAK BADAĆ GWIAZDY? SPEKTROSKOP

22 maja, godz. 11.00
Dla uczniów z klas 7-8.

Jakie tajemnice skrywają gwiazdy? Podczas zajęć przybliżymy ich życie i procesy, które zachodzą w jego trakcie. Dowiemy się też, co wspólnego mają gwiazdy z tęczą. W odkrywaniu tych sekretów pomoże nam samodzielnie wykonany spektroskop.

WARSZTATY METEORYTOWE

22 maja, godz. 16.00
Dla dzieci od lat 7 wraz z rodzicami.
Prowadzenie: Grzegorz Sęć

Czym jest meteoroid, a czym meteor?
Co nazwiemy planetoidą, a czym jest krater impaktowy? Opowiemy o procesie ablacji, poznamy chondryty, achondryty i meteoryty żelazne. Popatrzymy na zdjęcia Księżyca oraz na trójwymiarowy model krateru księżycowego Kopernik i porównamy go z wyglądem krateru meteorytowego w Arizonie. Poznamy różnicę pomiędzy uderzeniami meteoroidów w obiekty bez atmosfery (takie jak Księżyc) oraz w te, które ją posiadają (jak Ziemia).

TAJEMNICE UMYSŁU: ILUZJA OBRAZU

23 maja, godz. 11.00
Dla uczniów z klas 4-6.

Podczas zajęć dowiemy się, po co nam dwoje oczu, jak to się dzieje, że obraz z oczu dociera do naszego mózgu, i dlaczego wzrok nas czasem oszukuje. Poznamy iluzje i złudzenia optyczne, ich rodzaje oraz mechanizm działania. Dowiemy się, jak iluzje optyczne były wykorzystywane przez artystów i pierwszych twórców filmów i animacji.

INVENTIO

25 maja, godz. 12.30–15.30
Muzeum Inżynierii i Techniki,
ul. św. Wawrzyńca 15

Pasmo festiwalowe poświęcone nowoczesnym technologiom, które coraz śmielej ingerują w naszą codzienność i przekształcają sposób, w jaki myślimy o świecie.

W tym roku przyglądamy się tym technologiom, które mimo swojej powszechności wciąż kryją przed nami wiele niewiadomych.

W centrum naszych rozważań znajdzie się sztuczna inteligencja. Podczas wydarzenia posłuchamy krótkich wykładów i porozmawiamy o komputerach kwantowych, przewidywaniu i kształtowaniu zachowań konsumentów oraz o inteligentnych urządzeniach, które mają potencjał stać się niewidzialnymi towarzyszami naszej codzienności.

Program wykładów:

- 12.30** Magda Król (AGH),
Jak myśli sztuczna inteligencja?
O nauce, wzorcach i zaufaniu
- 13.00** Jakub Adamczyk (AGH),
Jak AI pomaga w tworzeniu leków
- 13.30** Paulina Tworek (SANO),
Sztuczna inteligencja na dyżurze.
Czy lekarz to zawód wymierający?
- 14.00** Tomasz Ośko (Orange),
Internet rzeczy:
zanurzenie w cyfrową sferę
- 14.30** Dominika Przewłocka-Rus (Intel),
Małe urządzenia i duże algorytmy
- 15.00** Tomasz Stopa (IBM),
Kwanty, neurony i superkomputery przyszłości

MIĘDZY GALAKTYCZNA MISJA MIEJSKA

21 maja, godz. 10.00 – 13.30

Start: Centrum Edukacji Przyrodniczej UJ,
ul. Gronostajowa 5

Finał i wręczenie nagród:

Wydział Chemii UJ, ul. Gronostajowa 2

W zespołowej grze miejskiej odbywającej się na terenie Kampusu 600-lecia Odnowienia UJ przeniesiemy się do roku 2050 i weźmiemy udział w ratowaniu planety Terry – bliźniaczki Ziemi – wykorzystując ideę zrównoważonego rozwoju. Do zabawy zapraszamy młodzież od 15. roku życia, studentów, dorosłych i seniorów. Gra zaplanowana dla zespołów złożonych z 2-4 osób.

Udział w grze wymaga pobrania darmowej aplikacji Action Track, dostępnej na systemy Android i iOS. Zgłoszenia drużyn: warsztaty@copernicusfestival.com.

GALA MĄDREJ KSIĄŻKI ROKU

21 maja, godz. 16.00
Pałac Potockich, Rynek Główny 20

Wyłonimy najmądrzejsze książki ubiegłego roku dla dzieci i dorosłych, nagrodzimy licealistów, którzy przygotowali ich reklamy oraz porozmawiamy o popularyzacji nauki z Karoliną Głowacką i Tomaszem Rożkiem.

PASMO FILMOWE

Od 21 do 24 maja w kinie Mikro przy ul. Juliusza Lea 5 zapraszamy na darmowe projekcje filmowe. Początek zawsze o godz. 22.00

21 maja: „Genesis 2.0”, reż. Christian Frei, Maxim Arbugaev (2018)
Dokument opowiada o wyprawie poszukiwaczy kłów mamuta w czasach, gdy firmy biotechnologiczne próbują przywrócić do życia te wymarłe ssaki.

22 maja: „Wojna światów – następne stulecie”, reż. Piotr Szulkin (1981)
Marsjanie dokonują inwazji na Ziemię i wprowadzają nowe formy kontroli społeczeństwa.

23 maja: „Silent Twins”, reż. Agnieszka Smoczyńska (2022)
Dwie bliźniaczki w dzieciństwie zamknęły się dla świata zewnętrznego i przestały komunikować werbalnie z innymi ludźmi.

24 maja: „Simona Kossak”, reż. Adrian Panek (2024)
Film biograficzny o wywodzącej się z artystycznej rodziny biologce, która poświęciła życie badaniu przyrody Puszczy Białowieskiej i popularyzacji nauki.

Kronika zapisana genami

WOJCIECH BRZEZIŃSKI

**Ekspansja rolników, podboje Hunów, Awarów i Słowian
– badania archeogenetyczki Zuzany Hofmanovej rzucają światło
na najmniej znane z tradycyjnych źródeł części europejskiej historii.**

Historycy są otoczeni kłamstwami – kronikarze zmyślają, by przypodobać się mocodawcom, zdarzają się fałszerstwa dokumentów, a relacje z wydarzeń z czasem zaczynają żyć własnym życiem. Odsianie prawdy od propagandy sprzed stuleci wymaga wiedzy, metodyczności, uwagi i często sporej dozy szczęścia.

Są jednak historyczne zapisy, które kłamać nie są w stanie. Niepodważalne dowody na starożytne dramaty, rewolucje i przemiany spisane są za pomocą zaledwie czterech znaków. G, A, C i T – guaniny, adeniny, cytozyny i tyminy, chemicznych cząsteczek zapisujących geny w podwójnej helisie DNA.

Archeogenetyka, czyli analiza genomów istot dawno już nieżyjących, których ślady do dzisiaj się zachowały w skałeniach, to dziedzina stosunkowo nowa, ale jej wpływ na naszą wiedzę o przeszłości jest już rewolucyjny. Z DNA można wyczytać nie tylko pochodzenie człowieka, ale i opowieść o migracjach, wojnach, mezaliansach i politycznych ambicjach sprzed tysięcy lat. Zuzana Hofmanová, badaczka z Instytutu Maksa Plancka, łączy genetykę z archeologią i historią, by na nowo opowiedzieć dzieje naszego kontynentu. Od pierwszych rolników po arystokrację Awarów – w jej badaniach wehikułem czasu są geny.

Dwa style życia

Hofmanová jest jedną z najbardziej wpływowych przedstawicielek nowej fali archeogenetyki. Studiowała w Brnie i Pradze, doktorat obroniła w 2016 r. na Uniwersytecie Jana Gutenberga w Moguncji. Od 2021 r. kieruje grupą badawczą Historii genetycznej w Instytucie Antropolo-

gii Ewolucyjnej podległym Instytutowi Maksa Plancka w Lipsku. W Instytucie stworzonym przez „ojca” archeogenetyki – Svantego Pääbo, uhonorowanego w 2022 r. Noblem w dziedzinie fizjologii lub medycyny za pionierskie badania genomów wymarłych hominidów i rozwój naszej wiedzy o ewolucji człowieka.

Hofmanová nie sięga aż tak daleko w przeszłość. Jej badania skupiają się na genetycznej historii populacji Europy od epoki kamienia po średniowiecze. „Każda czaszka, każde znalezisko to nie tylko kość – to fragment historii życia. Ale dopiero DNA pozwala złożyć całą opowieść” – mówiła w rozmowie z jednym z czeskich portali. A opowieść o dziejach Europy wciąż jest bardzo niepełna.

Wiemy np., że w czasach, gdy na Bliskim Wschodzie tworzyły się pierwsze cywilizacje, gdy rolnicza rewolucja doprowadziła tam do powstania miast, państw i imperiów, Europa była wciąż domeną myśliwych i zbieraczy, polujących na tury i żubry w gęstych puszczech spowijających kontynent.

Zmiana nadeszła około 7,5 tys. lat temu z tureckiej Anatolii. Wówczas stopniowo, na Bałkanach, w środkowej i zachodniej Europie, a wreszcie jakieś 6,1 tys. lat temu na Wyspach Brytyjskich zaczęły pojawiać się osady, w których archeolodzy odkrywają charakterystyczne ślady wskazujące na to, że ich mieszkańcy byli rolnikami, a nie półosiadłymi myśliwymi. Zwęglone ziarna zbóż, resztki roślin strączkowych, kości udomowionych zwierząt czy narzędzia takie jak kamienne sierpy, motyki i żarna. Analizy izotopowe kości ludzi z tej epoki wskazują też wyraźnie zmiany w ich diecie – z opartej głównie na mięsie dzikich zwie-

rząt i ryb na tę opartą na zbożach i innych produktach stałych gospodarstw.

To wszystko dowody niepodważalne. Ale jedno pytanie długo pozostawało bez odpowiedzi. Czy triumf rolnictwa w Europie był wynikiem tego, że tutejsze społeczności „zarażały się” od siebie nowymi ideami i technologiami, czy też jest śladem wielkiej migracji, w której pierwsi rolnicy z Turcji stopniowo podporządkowywali sobie coraz większe połacie dzikiego jeszcze kontynentu?

Nowy człowiek

W 2016 r. zespół naukowców z Uniwersytetu Jana Gutenberga w Moguncji pod kierownictwem Zuzany Hofmanovej i Joachima Burgera przeprowadził badania, które miały odpowiedzieć na to pytanie raz na zawsze. Naukowcy przeanalizowali DNA pozyskane ze szkieletów starożytnych rolników z Turcji i północnej Grecji i porównali je z genomami pierwszych rolników z innych części kontynentu.

Związki pokrewieństwa były bardzo wyraźne – Europę skolonizowała populacja, która wywodzi się z Anatolii. Badania genetyczne szkieletów wczesnych rolników z północnej Grecji i rejonu Morza Marmara w zachodniej Turcji wskazują na dwie główne drogi ekspansji. Osadnicy docierali do Europy Środkowej przez Bałkany oraz na Półwysp Iberyjski przez wybrzeża Morza Śródziemnego.

Przynosili ze sobą osiadły tryb życia, uprawy roślin, a także udomowione zwierzęta. Choć w czasie ekspansji spotykali łowców-zbieraczy zamieszkujących Europę od epoki lodowcowej, początkowo kontakty między grupami były ograniczone. „Wymieniali się dziedzic-

twem kulturowym i wiedzą, ale rzadko partnerami” – komentował prof. Burger. „Dopiero po wiekach liczba związków mieszanych zaczęła wzrastać”.

„Migrujący rolnicy nie tylko przynieśli całkowicie obcą kulturę, ale też wyglądali inaczej i mówili innym językiem” – podkreśla członkini zespołu Christina Pappageorgopoulou z Uniwersytetu Demokryta w Tracji.

Słowem – rewolucja rolnicza w Europie była w istocie podbojem. Może pokojowym, może nie – ale pewne jest, że nasz kontynent nigdy potem nie był już taki sam.

Podbojem pierwszym z wielu, bo w kolejnych stuleciach kolejne fale migrantów, kolonizatorów i najeźdźców osiedlały się na kontynencie dziś nazy-

wanym „starym”. Pozostawiali po sobie materialne ślady i zapisy w kronikach, ale pytania pozostawały. Skąd przybyli? Kim byli? I, co za tym idzie, skąd wzięliśmy się także my sami?

Geneza Słowian

Hofmanová przyjrzała się pochodzeniu Czechów, Słowaków, Polaków, Rosjan czy Ukraińców – czyli Słowian. Czy nasi przodkowie byli najeźdźcami ze środkowoeuropejskich stepów? Czy też pochodzimy od rdzennych mieszkańców środkowej Europy, którzy przeczekali kolejne fale najeźdźców i migracji, by wreszcie zdołać opanować swoje rodzinne ziemie?

Wiemy, że pierwsze pozostałości po osadach ludów, które dziś nazwalibyśmy Słowianami, pochodzą z V-VI w. n.e. z dorzecz Dniepru, Prypeci i Dniestru. Ale wcześniejsze losy ich założycieli długo pozostawały gdzieś na pograniczu mitów i domysłów.

Przeprowadzone przez Hofmanová badania wykazały jednak, że społeczności słowiańskie nie były – przynajmniej w większości – „obce”. Znaczna część przodków →

Kości, geny i historia człowieka

ZUZANA HOFMANOVÁ

Gdy przeszło cztery dekady temu Svante Pääbo, pionier paleogenetyki, potajemnie wycinał kawałki mumii z muzeów archeologicznych, by szukać w zakonserwowanych tkankach śladów DNA, nie mógł się spodziewać, jak szybko zapoczątkowana przez niego dyscyplina zrewolucjonizuje naszą wiedzę o ewolucji i pochodzeniu człowieka. Dziś zespoły paleo- oraz archeogenetyków przekopują pradawne jaskinie oraz historyczne i prehistoryczne cmentarze, by ze znalezionych tam szczątków pozyskać DNA, ujawniające więzy pokrewieństwa łączące ludzi czy zwierzęta. Wiedza na ten temat pozwala nam z kolei lepiej rozumieć styl życia naszych przodków, poznać ścieżki ich migracji, a nawet odkrywać epidemie i choroby, które ich dotykały. Zuzana Hofmanová kieruje w Instytucie Antropologii Ewolucyjnej Maksa Plancka w Lipsku, założonym przez Pääbo, jednym z zespołów archeogenetyków, specjalizujących się w badaniach starożytnych i średniowiecznych migracji – m.in. Awarów, Hunów czy Słowian. W swoim festiwalowym wykładzie opowie o rozwoju całej dyscypliny i wynikach swoich najnowszych badań, które rzucają światło na pochodzenie i losy mieszkańców Europy – czyli także nas samych.



MICHAŁ DYAKOWSKI DLA „TP”

→ współczesnych Słowian wywodzi się z dawnych populacji europejskich zamieszkujących dorzecze Dunaju. Analiza próbek genetycznych wykazała podobieństwo ich genomów do dzisiejszych populacji środkowego Dunaju i wschodniej Europy (np. Litwinów). Oznacza to, że pewne linie genetyczne przetrwały od prehistorii do czasów współczesnych na terenach zasiedlonych później przez Słowian.

Współcześni Słowianie wykazują istotne podobieństwa genetyczne między sobą – dzielą więcej wspólnych haplotypów (zestawu genów dziedziczonych po jednym z rodziców) niż z innymi Europejczykami. Początkowo interpretowano to jako dowód ekspansji Słowian w dobie wędrówek ludów. Hofmanová zwraca jednak uwagę, że taki jednorodny profil genetyczny mógł powstać także inaczej: nie jako jedna fala migracji, ale przez skromny strumyk osadników, którzy tworzyli niewielkie społeczności, stopniowo rozwijające się i zajmujące okoliczne regiony.

Dane archeogenetyczne potwierdzają jednak, że w niektórych regionach doszło do faktycznej wymiany ludności. Przykładowo, północne Niemcy po opuszczeniu ich przez plemiona germańskie były przez około 200 lat niemal wyludnione, po czym zostały zasiedlone przez nowe grupy powiązane ze Słowianami. Wskazuje to, że ekspansja Słowian w VI-VII w. n.e. wiązała się też z zasiedlaniem pustych nisz osadniczych przez członków tej społeczności, a nie tylko z przejmowaniem kultury słowiańskiej przez dawnych mieszkańców regionu.

Nie oznacza to rzecz jasna, że w VI czy VII w. środkowa Europa była jedną, wielką, słowiańską komuną. Badania Hofmanovej wykazują, że poszczególne grupy, mimo kulturowej i językowej bliskości, zachowywały wobec siebie dystans. Analiza ponad 700 próbek z VIII-wiecznych cmentarzysk w rejonie Wiednia pokazała, że sąsiadujące ze sobą wspólnoty mogły dzielić podobną kulturę (obrzędek pogrzebowy, przedmioty, tradycje), a jednocześnie różnić się rodowodem. Nawet gdy odległość między cmentarzyskami wynosiła mniej niż 10 kilometrów, obie grupy zachowywały genetyczną odrębność. Kultura Słowian przekraczała granice genetyki.

Każda czaszka, każde znalezisko

to nie tylko kość
– to fragment historii
życia. Ale dopiero DNA
pozwala złożyć całą
opowieść.

Zagadka Awarów

Podobnie jak historia najeźdźców, którzy wkroczyli na Nizinę Węgierską 1,5 tys. lat temu. Awarowie – azjatycki, koczowniczy naród, który wtargnął do Europy w VI-VIII w. – długo byli skryci w mgłę legend. Tu również DNA pozwoliło oddzielić mity od faktów.

Analiza DNA awarskich szczątków, w tym kości odkrytych na cmentarzysku w Kunszállás na Węgrzech, przyniosła zaskakujące rezultaty: elity awarskie miały geny charakterystyczne dla ludności Azji Wschodniej. Ale nie wszyscy Awarowie byli Azjatami.

Społeczność wojowników, wywodząca się najprawdopodobniej ze stepów Azji Środkowej lub z regionów na północ od Kaukazu, około 1500 lat temu ruszyła na zachód i osiedliła się nad środkowym Dunajem. W ciągu kilkunastu lat Awarowie przebyli tysiące kilometrów, tworząc silne państwo obejmujące dzisiejsze tereny Węgier, Rumunii, Austrii, Słowacji i Chorwacji. Okazało się jednak, że Awarowie szybko porzucili koczowniczy tryb życia, osiedlili się na stałe i podporządkowali sobie miejscową ludność, głównie Słowian.

Analizy DNA przeprowadzone na 424 szkieletach pokazały, że w awarskich społecznościach dominował patrylokalizm – zwyczaj, według którego kobieta po ślubie przeprowadzała się do rodziny męża. Większość zmarłych została pochowana w pobliżu spokrewnionych ze sobą mężczyzn. Jednocześnie obowiązywała egzogamia, czyli zakaz zawierania małżeństw wewnątrz jednej grupy rodzinnej (czego biologiczną korzyścią jest unikanie akumulacji szkodliwych wariantów genów). Kobiety odgrywały kluczową rolę w łączeniu różnych kla-

nów, wychodząc za mąż poza własną wspólnotą.

Badacze odkryli także, że w społeczności Awarów funkcjonował lewirat – zwyczaj polegający na tym, że po śmierci męża wdowa wychodziła za jego brata lub innego bliskiego krewnego. Dzięki temu zachowywano majątek i ciągłość rodu. Mężczyźni często płodzili dzieci z różnymi partnerkami, co sugeruje występowanie poliginii – systemu, w którym mężczyzna ma kilka żon. Zdarzało się również, że dwaj spokrewnieni ze sobą mężczyźni byli związani z jedną kobietą – to praktyka nazywana poliandrią (wielomęstwem), choć takie przypadki były rzadsze.

Sukcesy Hunów

Z czasem Awarowie, którzy budzili strach najeżdżając miasta i wymuszając trybuty, wtopili się w miejscową ludność słowiańską i madziarską. Choć ich nazwa i kultura zniknęły z historii po IX w., pozostawili po sobie ważne wynalazki. Ich żelazne strzemiona i nowy typ siodła zrewolucjonizowały jazdę konną w Europie. Dzięki tym innowacjom Karol Młot mógł stworzyć ciężkozbrojną jazdę, z której później rozwinęło się średniowieczne rycerstwo.

„To jedna z najszybszych i najdalszych migracji w historii starożytności” – podkreśla Hofmanová w komunikacie towarzyszącym badaniom opublikowanym w 2022 r. Migracja ta mogła objąć ponad 5 tys. km – z obszarów wschodniej Azji aż do dzisiejszych Węgier – w ciągu zaledwie kilku dekad.

W tym samym regionie Europy Środkowej funkcjonowali także Hunowie, którzy pod wodzą Attyli na przełomie IV i V w. n.e. stali się jednym z największych zagrożeń dla chwiejącego się Cesarstwa Rzymskiego. Badania genetyczne pokazały, że Hunowie byli grupą o bardzo zróżnicowanym pochodzeniu. Choć część z nich wywodziła się od Xiongnu – potężnego ludu koczowniczego zamieszkującego Mongolię w III w. p.n.e. – większość miała mieszane korzenie, łączące przodków zarówno z Azji, jak i Europy.

Na cmentarzach Hunów znaleziono osoby o cechach charakterystycznych dla kultur stepowych: część była grzebana z końskimi głowami i skórą, a niektórzy mieli sztucznie wydłużane

czaszki – to praktyka rozpowszechniona wśród Xiongnu. Jedną z takich osób, kobieta pochowana w V w., nosiła złote kolczyki i miała zmodyfikowany kształt głowy już od dzieciństwa. Choć dziedzictwo Xiongnu było obecne, potomkowie tego ludu stanowili niewielką część całej populacji Hunów. Elity dawnego imperium stepowego po jego upadku rozproszyły się i część z nich stopniowo mieszała się z plemionami Europy, tworząc wieloetniczną strukturę, która później została zjednoczona przez Attyłę.

Splątane dziedzictwo

Ale choć genetyczne badania mają dostarczać obiektywnych dowodów na to, jak przebiegała kulturowa i etniczna ewolucja Europy, nie wszystkim łatwo jest pogodzić się z nowymi ustaleniami. Przekonała się o tym sama Hofmanová.

W czeskiej miejscowości Lánya, niedaleko granicy z Austrią i bunkrów, które miały obronić Czechy przed nazistowską inwazją, archeolodzy z zespołu Hofmanovej odkryli fragment krowiej kości sprzed około 1400 lat. Kość jak kość, ale na tym konkretnym kawałku krowich zwłok widniały znaki z najstarszego alfabetu germańskiego – tzw. starego Futhorku.

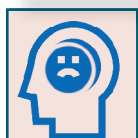
Znalezisko pochodzące z terenów wczesnosłowiańskiej osady sugeruje, że w VI w. mogło dochodzić do kontaktów między Słowianami a ludami germańskimi, zanim jeszcze Słowianie stworzyli własny system pisma. „To pokazuje, że próbowali się porozumiewać i nie tylko walczyli ze sobą” – komentował Jiří Macháček z Uniwersytetu Masaryka w Brnie, który kierował pracami.

Choć dla archeologów odkrycie było przełomowe, w regionie o burzliwej historii etnicznej i narodowej wywołało ono ostrą debatę. Część czeskich nacjonalistów odebrała odkrycie jako atak na narodową tożsamość, sugerując, że współpraca ze światem germańskim została sztucznie wyolbrzymiona. Jeden z członków zespołu badawczego otrzymał nawet groźby śmierci. „Jeśli mamy kulturę, to musimy mówić, że stworzyliśmy ją mimo Niemców, a nie dzięki nim” – napisał w internetowej dyskusji Stanislav Jahoda, jeden z czeskich nacjonalistów, którzy wyrażali oburzenie publikacją badaczy.

Wątpliwości pojawiły się również wśród zagranicznych naukowców. Niektórzy, jak Florin Curta z Uniwersytetu Florydy, uznali co prawda, że kość faktycznie nosi germańskie runy, ale kwestionowali to, czy osoby zamieszkujące Lánya w VI w. były rzeczywiście Słowianami. Inni, jak Patrick Geary z Institute for Advanced Study w Princeton, zauważali, że takie odkrycia burzą utrwalony obraz odrębności kultur słowiańskiej i germańskiej, na którym od XIX w. opie-

bardziej złożony i uwikłany we wpływy sąsiadów, niż dotąd sądzono.

Ostatecznie badania archeogenetyczne, w tym prace Zuzany Hofmanovej, odsłaniają obraz przeszłości znacznie bardziej skomplikowanej i splątanej, niż pozwalają sądzić stare kroniki czy narodowe mity. Historia Europy to nie opowieść o czystych rodowodach i odrębnych światach, ale o nieustannym spotykaniu się ludzi – o wymianie, współistnieniu i przenikaniu. Każdy



Kim byli ludzie o małych mózgach?

W 2003 r. w jaskini Liang Bua na wyspie Flores odkryto szkielet dorosłej kobiety sprzed ok. 70 tys. lat temu, która mogła mieć metr wzrostu i mózg trzykrotnie mniejszy od naszego. Ta oraz kilka innych skamieniałości znalezionych na tej wyspie sugerują, że zamieszkiwał ją nietypowy gatunek skarlłowaciałych ludzi – nazywanych *Homo floresiensis* lub hobbitami z Flores.

W 2013 r. w jaskini Wschodzącej Gwiazdy w RPA znaleziono szczątki istot zdolnych do chodzenia na dwóch nogach, ale dobrze przystosowanych do wspinaczki po drzewach, którzy żyli ok. 300 tys. lat temu. Byli wyżsi niż hobbiti, ale mieli równie niewielkie mózgi – porównywalne z mózgami szympansov. Nazwano ich *Homo naledi*.

W 2019 r., na podstawie skąpego materiału z jaskini Callao na Filipinach opisany został trzeci nietypowy gatunek człowieka – *Homo luzonensis*. Jego odkrywcy twierdzą, że przypominał hobbitów z Flores i żył w podobnym czasie.

Kim były te wszystkie istoty? Dlaczego miały małe mózgi, skoro w naszej linii ewolucyjnej mózgi tak bardzo urosły? Jak daleko musimy się cofnąć w czasie, by znaleźć naszych wspólnych przodków? Na razie żaden paleoantropolog na świecie nie wie, jak na te pytania odpowiedzieć.

**ŁUKASZ KWIATEK, POPULARYZATOR NAUKI,
UNIwersytet Jagielloński, „TP”**

rały się emocje narodowe w Europie Środkowej.

Hofmanová podkreślała jednak, że odkrycie dowodzi, iż nasze postrzeganie relacji różnych społeczności zamieszkujących w starożytności Europę jest dramatycznie uproszczone i przenosi współczesne sentymenty na stosunki ludów sprzed wielu stuleci. „Archeologiczne dane mogą być błędnie interpretowane przez osoby poszukujące etnicznej czystości” – zauważyła badaczka. Pewne jest, że znalezisko zmienia spojrzenie na początki Słowian, przekonując, że rozwój ich kultury był

ślad DNA, każda runa wydrapana na kości przypomina, że nasze początki nie były proste i nie należą tylko do jednej tradycji. Są świadectwem, że od zawsze byliśmy częścią czegoś większego – wspólnoty, której granice były ruchome jak wiatry nad stepów i rzek. W świecie, który wciąż próbuje budować mury z mitów, archeogenetyka otwiera okna na prawdę o naszym wspólnym dziedzictwie.

© WOJCIECH BRZEZIŃSKI

Autor jest dziennikarzem naukowym, redaktorem „TP”.



Dobre owoce złego drzewa

AGNIESZKA KLOCH

**Gdy Karol Darwin i Alfred Wallace ogłosili teorię ewolucji, biolodzy zaczęli się spierać o to, czy w przyrodzie jest więcej rywalizacji, czy współpracy.
Dziś wiemy, że czasem trudno odróżnić jedno od drugiego.**

Sposób myślenia społeczności kultury zachodniej w dużej mierze ukształtowany jest przez dychotomię dobra i zła. Tego zasadniczego podziału trzymamy się – często bezwiednie – przyglądając się nawet przyrodzie: pszczoły są dobre, bo zapylają pożyteczne rośliny, a osy złe, bo żądla. Na dodatek lubimy jasne kryteria i klasyfikacje, i najchętniej poukładalibyśmy wszystko w schludnych szufladkach. Dlatego w podręcznikach biologii czytamy o „interakcjach antagonistycznych”, takich jak drapieżnictwo czy pasożytnictwo, gdzie jeden z uczestniczących organizmów zyskuje, a drugi ponosi szkody, oraz „nieantagonistycznych”, jak symbioza. Problem w tym, że przyroda za nic ma nasze umiłowanie do podziału na czarne i białe.

Co gryzie mumię

Starzyk wielki (*Scaphidura oryzivora*) to południowoamerykański ptak składający jaja w gniazdach innych ptaków, podobnie jak nasza kukułka. Jego najczęstszą ofiarą pada kacykowiec grubodzioby (*Psarocolius wagleri*). Młode starzyki w gniazdach kacykowca wyjadają przybranemu rodzeństwu pokarm przynoszony przez rodziców, ale jednocześnie czyszczą je z gzów, które są dla piskląt dużym zagrożeniem. Z jaką interakcją mamy tu do czynienia? Czy starzyk jest pasażerem gniazdowym, skoro przybrani rodzice karmią go kosztem swoich dzieci? Czy może jest jednak symbiontem, bo zmniejsza śmiertelność piskląt kacykowca? „Nie może do-

bre drzewo wydać złych owoców, ani złe drzewo wydać dobrych owoców” – czy na pewno?

Nie ma na świecie organizmu, który nie uczestniczyłby w interakcjach pasożytniczych i trudno znaleźć osobnika, który nie nosiłby choć jednego pasożyta – czy to nicienia, czy pchły, czy patogennej bakterii. Tak też przez tysiąclecia było z ludźmi. Jaja nicieni znaleziono w skamieniałych odchodach z okresu paleolitu. Znaczny wzrost zarażeń nastąpił po rewolucji agrarnej, czyli upowszechnieniu się rolnictwa, co pociągało za sobą fundamentalną zmianę sposobu życia – ludzie z mobilnych łowców zbieraczy żyjących w małych grupach stali się osiadłymi rolnikami. Wśród przebadanych pod tym kątem egipskich mumii u 65 proc. znaleziono pasożytnicze robaki, u 40 proc. stwierdzono wszy, a około 20 proc. było zarażonych zarodkami malarii.

Współcześnie, według szacunków WHO, z powodu chorób wywołanych przez nicienie, którymi można zarazić się poprzez kontakt z glebą zanieczyszczoną odchodami, cierpi półtora miliarda ludzi, czyli 24 proc. mieszkańców planety, w tym ponad 900 milionów dzieci. Życie wolne od pasożytów to luksus społeczeństw wysoko rozwiniętych, z powszechnym i tanim dostępem do opieki medycznej. I jak się okazuje, z ewolucyjnego punktu widzenia może to wcale nie być pożądana sytuacja.

Hipoteza higieny

Ludzie przez tysiące lat ewoluowali pod presją patogenów. Pasożyty były

codziennym doświadczeniem, tak jak dzisiaj zanieczyszczenie powietrza. Czy pozbycie się tego niechcianego bagażu mogło mieć negatywne skutki? Okazuje się, że tak. Hipoteza higieny mówi, że jeśli we wczesnym dzieciństwie człowiek nie ma kontaktu z patogenami, takimi jak nicienie, jego układ odpornościowy nie rozwija się prawidłowo. Z braku prawdziwych wrogów może zacząć atakować nieszkodliwe obiekty, takie jak np. pyłki traw, co skutkuje rozwojem alergii.

Pasożytnicze nicienie czy tasiełce żyjące w organizmie człowieka paradoksalnie są zainteresowane naszym dobrym zdrowiem.

Przecież śmierć żywiciela oznacza także śmierć jego pasożyta, a im dłużej żywiciel żyje, tym więcej jaj pasżyt może wyprodukować z nadzieją, że znajdą kolejnych gospodarzy. Na poziomie immunologicznym nicienie nauczyły się łagodzić reakcję odpornościową żywiciela. Wydzielane przez nie substancje hamują rozwój stanu zapalnego, co prowadzi do chronicznych infekcji. Z badań na gryzoniach wiadomo, że obecność nicieni czy tasiełców może chronić przed rozwojem infekcji bakteryjnych. Obserwacje te wykorzystano w eksperymentalnej terapii osób cierpiących na ciężkie przypadki chorób autoimmunologicznych, takich jak stwardnienie rozsiane, choroba Leśniowskiego-Crohna czy astma. Jak na razie, do fazy testów dopuszczono w Wielkiej Brytanii terapeutyczne zarażenie nicieniem *Necator americanus*.

Ewolucja pod wpływem

⇒ Nicienie i tasiecmce to nie jedyne pasożyty atakujące człowieka. Z biologicznego punktu widzenia pasożytami są też mikroorganizmy, takie jak bakterie czy wirusy, sprawcy katarów, grypy i niedawnej pandemii Covid. Czy są jakieś pożytki także z wirusów? Okazuje się, że bez wirusów, przeskakujących z genomu na genom, właściwie nie byłoby ewolucji – albo przebiegałaby ona bardzo powoli.

na drugi. Może stworzyć nową kombinację, wklejając się wewnątrz sekwencji DNA kodującej coś innego. Szacuje się, że 8 proc. ludzkiego genomu to pozostałości dawnych wirusów, a dalsze 40 proc. można powiązać z ich działalnością.

Jako pierwsza na zjawisko to zwróciła uwagę Barbara McClintock, która w latach 40. XX w. prowadziła badania mechanizmów mozaikowych wzorów nasion kukurydzy. Na długo przed rozwojem nowoczesnej genomiki odkryła ru-

mnażanie płciowe jest jednym z biologicznych paradoksów, ponieważ do powstania potomków wymaga dwojga rodziców, podczas gdy w przypadku rozmnażania bezpłciowego wystarczy jeden rodzic. W rezultacie w populacji bezpłciowej tempo rozmnażania jest wyższe i jeśli wszystkie inne warunki pozostają takie same, osobniki rozmnażające się w ten sposób zyskają przewagę. Dlaczego więc rozmnażanie płciowe jest tak powszechne? Jedną z teorii wiąże występowanie płci z obroną przed pasożytami.

W trakcie rozmnażania płciowego dochodzi do rekombinacji materiału genetycznego pochodzącego od każdego z rodziców i dzięki temu u potomstwa mogą powstać kombinacje genów nieobecne u rodziców.

Wyobraźmy sobie, że jeden z rodziców ma geny A-B-C, a drugi D-E-F, natomiast obronę przed zarażeniem zapewnia kombinacja A-E-C. Żeby pojawiła się u któregoś z osobników rodzicielskich, musiałaby zajść odpowiednia mutacja np. B-E. Nie jest to niemożliwe, ale wymaga czasu. Rozmnażanie płciowe działa natomiast jak tasowanie kart i już w pierwszym pokoleniu potomków może się pojawić korzystna kombinacja. Hipotezę tę wielokrotnie testowano eksperymentalnie. U ślimaków wodzytek (*Potamopyrgus antipodarum*), które mogą rozmnażać się zarówno płciowo, jak i bezpłciowo, początkowo liczniejsze klony bezpłciowe z czasem zanikały w populacji, w miarę jak rosła liczba pasożytów, natomiast klony płciowe były znacznie bardziej odporne.

Pasożyt to według definicji „organizm żyjący kosztem innego organizmu”. Definicja nie oddaje jednak złożoności zależności biologicznych, gdzie rachunek zysków i strat jest często bardzo skomplikowany. Warto o tym pamiętać, kiedy następnym razem będziemy narzekać na jesienne przeziębienie wywołane przez rinowirusa, albo gdy będziemy opędać się od komarów na biwaku.

© AGNIESZKA KLOCH

Autorka jest doktorem habilitowanym nauk biologicznych, badaczką interakcji pasożytów z gospodarzami. Pracuje na Uniwersytecie Warszawskim. Podczas festiwalu wystąpi w „Konfrontacjach” o rywalizacji i współpracy w przyrodzie.



Czy życie może wyglądać inaczej niż ziemskie?

CHOĆ NIE MAMY DOWODÓW NA ISTNIENIE ŻYCIA POZA ZIEMIĄ, OGROM i wiek wszechświata sprawiają, że wydaje się niemal niemożliwe, by powstało ono tylko na jednej planecie. Możemy więc założyć, że życie jest naturalną konsekwencją ewolucji wszechświata: od wodoru poprzez cięższe pierwiastki umożliwiające złożoną chemię aż do życia, które z czasem także przybiera coraz bardziej skomplikowane formy. Jeśli to prawda, pojawia się fundamentalne pytanie: jak różnorodne może być życie? Na Ziemi, mimo niesamowitego bogactwa gatunków i ich rozmaitych przystosowań, życie jest bardzo jednolite w najbardziej podstawowych charakterystykach – dziedziczności opartej na kwasach nukleinowych (DNA i RNA) oraz budowie i metabolizmie opartych na węglu (białku). Fascynującą zagadką jest więc, czy prawa fizyki i chemii dopuszczają istnienie zupełnie odmiennych od ziemskich form życia? I jak uniwersalne są procesy ewolucyjne znane z Ziemi? Na przykład: jak unikalne było powstanie płci i – co za tym idzie – pojawienie się doboru płciowego, które najprawdopodobniej jeśli nie umożliwiły, to co najmniej przyspieszyły proces ewolucji złożonych form życia, w tym powstanie cywilizacji?

**ŁUKASZ MICHALCZYK, ZOOLOG I EWOLUCJONISTA,
UNIwersYTET Jagielloński**

Wirusy nie posiadają własnej maszyny komórkowej i do stworzenia kopii potomnych wykorzystują komórki gospodarza. Część wirusów w tym celu integruje się z genomem gospodarza, czyli po prostu przecina nić DNA i wkleja swój materiał genetyczny w powstałą lukę. Niektóre wirusy zostają w tej formie do końca życia komórki, inne wycinają się i wędrują dalej, do kolejnych żywicieli. Podczas tego procesu wirus może niechcący wyciąć coś więcej niż tylko swoje geny i przenieść je dalej. Może przenieść gen z jednego gatunku żywiciela

chome elementy genetyczne, które uczestniczyły w regulacji genów. Dziś wiemy, że są to elementy pochodzenia wirusowego, o czym można przeczytać w każdym podręczniku genetyki. Wtedy jednak odkrycie McClintock było tak rewolucyjne, że nie spotkało się z uznaniem świata naukowego, chociaż 40 lat później (w 1983 r.) została za nie uhonorowana Nagrodą Nobla.

Komu zawdzięczamy płęć

Jest jeszcze jeden, niesłyszany brzemien w skutkach owoc działania patogenów. Chodzi o powstanie płci. Roz-

Zrozumieć szympanasy

ŁUKASZ KWIATEK

Badania Klausu Zuberbühlera zrewolucjonizowały naszą wiedzę na temat komunikacji małp. Mamy dziś dobre powody, by pytać, czy również one mają własne języki.

Z ludźmi, także tymi pochodzącymi z drugiego końca świata, dość łatwo się dogadać – choć czasem trzeba się namachać rękami.

Do pewnego stopnia jesteśmy w stanie sobie wyobrazić, jak to jest być innym człowiekiem. Wszyscy, niezależnie od kultury, w jakiej wzrastaliśmy, dzielimy wiele doświadczeń i przeżyć, a nasze umysły w podobny sposób kategoryzują rzeczywistość. Dlatego też możemy założyć, że inni ludzie opisują świat i swoje zachowanie czy doświadczenia, używając repertuaru słów podobnego do naszego. I nawet jeśli nie znamy czyjegoś języka, to dzięki gestom i rozumieniu kontekstu społecznego możemy domyślić się, co inni ludzie mają na myśli, gdy się z nami komunikują.

Z innymi zwierzętami tak łatwo już nie jest. Wyobraźmy sobie, że chcemy zrozumieć dźwiękową komunikację szympanasów. Ze względu na podobieństwo w budowie ciała i działaniu zmysłów możemy postrzegać rzeczywistość w zbliżony sposób, jednak dzięki trzykrotnie większym mózgom zapewne my myślimy o niej w bardziej wyrafinowany sposób. Różnimy się też nieco stylem życia. Któż zatem zdoła sobie wyobrazić, jak to jest być szympansem, i co takie stworzenie może mieć w głowie – oraz co ma do powiedzenia innym?

By zrozumieć dźwiękową komunikację szympanasów, nie wystarczy je obserwować. Potrzebujemy pomysłów eksperymentów. Trzeba też odpowiedzieć na kilka pytań, które w przypadku ludzi mają oczywiste odpowiedzi.

Trzy pytania o język

Musimy rozstrzygnąć, po pierwsze, czy za komunikatami nadawców kryje się jakaś intencja. Na przykład: czy szympanas wydaje jakieś dźwięki, by wpłynąć na zachowanie odbiorcy albo go o czymś poinformować? Istnieje prostsza interpretacja, wedle której szympanasy wydają wszystkie dźwięki mimowolnie, np. dlatego, że przeżywają jakąś emocję. Tak jak my emitujemy specyficzne dźwięki, gdy odczuwamy radość, rozbawienie, ból, strach, obrzydzenie czy zachwyt. Nawet mimowolnie wydawane odgłosy mogą przekazywać złożone treści – np. sygnalizować wszystkim w otoczeniu niebezpieczeństwo albo atrakcyjną lokalizację.

Po drugie, czy komunikacja ma charakter symboliczny? Większość słów, których używamy, ma arbitralne znaczenia. Nie ma w słowach „tragedia”, „patroszyć” czy „zdawkowo” niczego, co wskazywałoby na ich znaczenie – tych znaczeń musimy się nauczyć. Łatwo sobie wyobrazić, że „patroszyć” znaczyłoby „czarny nietoperz”, „tragedia” – „wygrana Realu

Madryt w Lidze Mistrzów”, a „zdawkowo” – „wymyślać losowe przykłady”. Nicco inaczej jest z onomatopiejami, takimi jak „szum” czy „trach”, które swoją formą przypominają znaczenie. Najprostsza komunikacja opiera się zaś na sygnałach, które jednoznacznie wskazują na to, co oznaczają – np. wściekłe warczenie i naprężanie grzbietu sygnalizuje wrogość i gotowość do walki.

Po trzecie, czy w systemie komunikacji istnieją reguły (gramatyczne) pozwalające na łączenie elementarnych dźwięków w dłuższe sekwencje? Te reguły mogą być złożone, wymiana jednej głoski albo dodanie paru kolejnych może całkowicie zmienić sens danego słowa – pomyślcie choćby o „ranie” i „membrane” albo „braniu” i „praniu”. System komunikacji, który posiada reguły łączenia prostszych elementów (głosek, wyrazów) w złożone (dłuższe wyrazy, zdania), określany jest jako kompozycyjalny.

Większość zwierząt prawdopodobnie komunikuje się przy pomocy nieintencjonalnych sygnałów: wydają odgłosy zadowolenia, gdy jedzą coś smacznego, albo rozpaczliwym kwileniem przywołują rodziców. Sygnalizacja może podlegać pewnym regułom, ale nie daje podobnej elastyczności jak ta, którą gwarantuje nasz język. Gdy robotnica pszczoły miodnej zakreśla odwłokiem ósemki na plastrze miodu, to robi to mimowolnie, natychmiast po powrocie do ula, nawet jeśli nikt nie jest świadkiem jej pokazu, po którym mógłby bezbłędnie dostać się do źródła nektaru – bo taki jest właśnie cel tańca pszczoły, który w połowie XX w. rozszyfrował nagrodzony za to Noblem Karl von Frisch. Pszczoły nie mogą jednak przy pomocy swojego tańca opowiedzieć zabawnej historii albo zdać relacji z zeszłotygodniowej wycieczki na łąkę.

Jeśli komunikacja szympanasów jest symboliczna, intencjonalna lub obowiązują w niej nietrywialne reguły łączenia dźwięków w dłuższe sekwencje, to pozwala na komunikowanie o wiele bardziej różnorodnych treści – a zrozumienie jej będzie wyjątkowo trudne. Jak się w ogóle do tego zabrać? Pod koniec XIX w. to pytanie stawiał sobie zafascynowany teorią ewolucji amerykański nauczyciel, Richard Lynch Garner. I wpadł na rewolucyjny pomysł.

Obserwacje z Fort Gorilla

Garner, który spędził trochę czasu na obserwacjach małp w ogrodach zoologicznych, postanowił wykorzystać nowinkę technologiczną – skonstruowany przez Thomasa Edisona fonograf – by rejestrować małpie odgłosy. We wrześniu 1890 r. zorganizował pewien eksperyment.

↳

W waszyngtońskim zoo, na oczach tłumu profesjonalistów i gapiów, Garner nagrywał dźwięki wydawane przez jedną małpę, a potem odtworzył je drugiej. Na podstawie obserwacji jej reakcji miał nadzieję dowiedzieć się czegoś o znaczeniu zarejestrowanych dźwięków. Na tym polega istota eksperymentów nagraniowych, które w przyszłości staną się niezodzownym narzędziem w badaniach komunikacji zwierząt.

Garner nabrał przekonania, że małpie odgłosy przypominają ludzki język. W wydanej w 1892 r. książce „Mowa małp” wspomina m.in. o kapucynie imieniem Dago, którą odwiedził jesienią 1890 r. w Chicago podczas paskudnej pogody. Dago wówczas ciężko chorował, ale co jakiś czas wyglądał ze swojej klatki przez okno i wokalizował. Garner był przekonany, że było to narzekanie na pogodę. Inna kapucynka, którą odwiedzał w Nowym Jorku – Dodo – wywarła na nim wrażenie ponurą opowieścią, w której, jak sądził Garner, skarżyła się na ciężki los związany z życiem w małej i ciemnej klatce. Za taką interpretacją miały przemawiać połyskujące w oczach małpy łzy.

Po paru latach ten pionier badań nad małpią komunikacją ruszył do Afryki, by przez kilka miesięcy obserwować i podsłuchiwać w dżungli szympansy i goryle. Zamieszkał w kilkumetrowej klatce, ustawionej w pobliżu jeziora, nad którym pojawiały się małpy. Swoją tymczasową dom nazwał szumnie Fort Gorilla. Jego drugim lokatorem był młody szympanś o imieniu Moses.

Co udało się Garnerowi ustalić dzięki pobytowi w dżungli? Utrzymywał, że częściowo poznał szympansi język. Rozpoznał m.in. takie pojęcia jak „żywność”, „dobry”, „przyjść”, „choroba”, „pić”, a także „niebezpieczeństwo” lub „dziwny” oraz „zmarły” albo „śmierć”. A zdobytą wiedzę wykorzystywał w kontaktach z małpami.

„Mówiąc do Mosesa – pisał w swojej następnej książce – używałem głównie jego własnego języka i czasami byłem wręcz zaskoczony tym, jak znakomicie wzajemnie się rozumieliśmy. Mogłem powtórzyć niemal wszystkie dźwięki, które on wydawał, z wyjątkiem jednego czy dwóch, ale w czasie, gdy mi towarzyszył, nie byłem w stanie zinterpretować ich wszystkich. Te dźwięki były czymś więcej niż zwykłą serią chrząknięć czy jęknięć, a Moses nigdy nie mylił ich znaczenia. Kiedy słyszał któryś z nich, rozumiał go i reagował na niego”.

Mechanika uczenia się

Twórcy naukowej psychologii – William James i Wilhelm Wundt – śledzili prace Garnera, ale po jego śmierci (w 1920 r.) zainteresowanie naturalną komunikacją małp przygasło. Następcy, z Robertem Yerkesem na czele, chcieli się dowiedzieć czegoś innego: czy małpy można nauczyć ludzkiego języka. Podejmowane przez lata próby przynosiły jednak marne efekty. W dodatku psychologię zdominował behawioryzm – nurt, którego zwolennicy w rygorystycznych eksperymentach, dzięki przemyślanemu systemowi nagród, uczyli zwierzęta zachowań nieprzydatnych w środowisku naturalnym – np. pociągania za dźwignie albo naciskania przycisków w zadanej kolejności. Badaczy zafascynował pogląd, iż zachowanie podlega ścisłym prawom, a uczenie się ma swoją mechanikę – w takim intelektualnym klimacie nie było przestrzeni na prowadzenie



MICHAŁ DYKOWSKI DLA „TP”

Czy komunikacja małp przypomina nasz język?

KLAUS ZUBERBÜHLER

Dokładnie obserwując zachowania małp i znając łączące je więzi, możemy próbować zrozumieć ich komunikację – z kontekstu, w jakim pojawiają się dane dźwięki, wnioskować o ich funkcji (czy mamy do czynienia z witaniem się, ostrzeganiem, wołaniem o pomoc, sygnalizacją statusu, przyjaźni, wrogości itd.). Możemy też nagrywać małpie wokalizacje, dokładnie analizować ich zawartość, manipulować nią i odtwarzać przez głośniki oryginalne lub zmodyfikowane nagrania w naturalnym środowisku, by sprawdzać, jak inne małpy na nie zareagują. Tego rodzaju metody badawcze – z których wiele on sam wymyślił lub rozwinął – pozwoliły Klausowi Zuberbühlerowi zagłębić się w tajemniczy świat małpiej komunikacji – i odkryć jej niezwykle bogactwo, przywodzące na myśl nasz własny język.

Związany z uniwersytetami w szkockim St. Andrews i szwajcarskim Neuchâtel prof. Zuberbühler od ponad ćwierćwiecza prowadzi badania terenowe, obserwując i podsłuchując małpy na kilku kontynentach. Wniósł także wkład w rozwój naszej wiedzy na temat inteligencji małp, ich zwyczajów i regionalnych lub kulturowych różnic w zachowaniach osobników należących do tego samego gatunku, ale tworzących różne stada. Wnioski z różnorodnych badań przez niego prowadzonych są punktem odniesienia dla tych wszystkich uczonych, których interesuje to, jak powstał nasz język – i jak staliśmy się ludźmi.

W festiwalowym wykładzie prof. Zuberbühler opowie o swoich najnowszych badaniach nad składnią w komunikacji małp, a także nad rozumieniem przez nie związków przyczynowo-skutkowych i sposobami ich komunikowania.

badan nad czymś tak swawolnym jak naturalna małpia komunikacja. Zwłaszcza na tak naiwne interpretacje jak te, których dokonał Garner.

Nowa era badań nad małpami zaczęła się w latach 60., gdy do Parku Narodowego Gombe w Tanzanii wybrała się dwudziestokilkuletnia Jane Goodall, niemająca za sobą studiów z biologii ani psychologii. Paleoantropolog Louis Leakey postawił na niedoświadczoną badaczkę właśnie dlatego, że jej wyobraźni nie krępowały poglądy głoszone przez najważniejszych uczonych epoki.

Powiedzenie, że eksperyment Leakeya się powiódł, byłoby spektakularnym niedopowiedzeniem. Już po kilku miesiącach Goodall doniosła, że szympansy wytwarzają narzędzia z roślin i używają ich do łowienia termitów czy czerpania wody. A wieloletnimi obserwacjami udowodniła, że życie społeczne szympansov jest niezwykle złożone. W bestsellerowych książkach pisała o podglądanych małpach niemal tak, jak pisze się o ludzkich bohaterach. Miały one bogatą osobowość, swoje cnoty i przywary, zawierały przyjaźnie, kochały i były kochane, rywalizowały w grupie, wykazywały się altruizmem – czy przeciwnie, dopuszczały się haniebnych czynów.

Cierpienia Gilki

Dziś możemy wsłuchać się w odgłosy sportretowanych przez Goodall szympansov. W 2016 r. holenderski prymatolog Frans Plooij udostępnił w serwisie datadryad.org goziny nagrań wykonanych w Gombe ze swoją zmarłą już żoną Hetty na początku lat 70., gdy para prowadziła badania pod okiem Goodall.

Na kilku pierwszych nagraniach posłuchać można Ewreda i Humpreya, sojuszników, którzy przez pewien czas dominowali w stadzie, a także Gilkę – samicę, która doświadczyła wielkich tragedii (przynajmniej dwójka jej noworodków została zabita i pożarta przez inne samice). Różne rodzaje odgłosów otrzymały swoje nazwy, takie jak *grunt* (pomrukiwanie), *pant grunt* (sapanie z pomrukiwaniem) czy *pant hoot* (sapanie z pohukiwaniem).

Badacze drobiazgowo opisali społeczny kontekst nagranych scen. Evered wykonał *pant grunt* na widok Humpreya, co mogło być oznaką uległości. Humprey donośnym *pant hoot* zakończył swoją demonstrację (być może hałaśliwie ogłaszając swoją obecność lub witając się z innymi osobnikami), Gilka zaś krótkimi pomrukami zakomunikowała uległość lub pokojowe zamiary wywodzącej się z wpływowej rodziny Flo, opiekującej się swoim najmłodszym dzieckiem, Flintem.

Poznanie dokładnego kontekstu społecznego, w którym pojawia się dana wokalizacja, to pierwszy krok do jej zrozumienia. Ale nawet jeśli dobrze ten kontekst rozumiemy – wiemy, kto wokalizuje, w czyjej obecności, co robi, w jakim jest nastroju i jakie relacje łączą te osobniki – to możemy co najwyżej poklasyfikować wokalizacje na odpowiednie kategorie: np. wokalizacje alarmowe, sygnalizację uległości czy budowanie więzi. Nie jesteśmy jeszcze w stanie odpowiedzieć na pytanie, czy w tych wokalizacjach kryją się głębsze znaczenia. To wymaga przeproszenia się z pomysłem Garnera.



Małpie językoznawstwo

→ W 1980 r. zrobili to Dorothy Cheney i Robert Seyfarth, młode małżeństwo prymatologów, razem ze swoim przełożonym Peterem Marlerem. Nagrali sygnały alarmowe emitowane przez katowce sawannowe – małpy z rodzaju koczokodanów – a potem odtwarzali je przez głośniki osobnikom żyjącym w terenie i obserwowali ich reakcje.

Katowcom zagrażają trzy rodzaje drapieżników: węże, lamparty i orły, z których każdy wymaga innej strategii ucieczki. Badacze wykazali, że na widok każdego z tych drapieżników katowce reagują innym sygnałem alarmowym, który pozostałe małpy bezbłędnie rozumieją. Gdy odtwarzano im przez głośnik sygnał oznaczający lamparta – wskakiwały na najwyższe gałęzie drzew; gdy sygnał oznaczał obecność węża – stawiały na baczność i rozglądały się po okolicy, a gdy orła – wskakiwały w największe zarośla. Podczas eksperymentu żadnego realnego zagrożenia nie było – naukowcy jedynie straszili małpy, by badać ich reakcje.

Badanie to pokazało, że nawet tak niepozorne małpy jak katowce mogą precyzyjnie komunikować rodzaj czyhającego na nie zagrożenia, jednak wśród specjalistów pomogło ugruntować pogląd, iż małpi język, o którym pisał Garner, jest fikcją – ponieważ odgłosy alarmowe nie muszą być ani symboliczne, ani intencjonalne, ani podlegać jakimś złożonym regułom. Uważano, że małpy wokalizują w pełni odruchowo, pod wpływem przeżywanych emocji (np. ze strachu przed agresją ze strony drapieżnika czy potężniejszego osobnika

lub pod wpływem ekscytacji ze znajdującego pożywienia) – i trudno było znaleźć przekonujące dowody na to, że w tej komunikacji kryje się coś więcej.

W XXI w. udało się to jednak Klausowi Zuberbühlerowi. Szwajcarsko-brytyjski prymatolog postanowił połączyć eksperymenty nagraniowe z metodami podobnymi do tych, którymi bada się ludzkie języki. Zaczął się zastanawiać, czy wokalizacje małp – takie jak *pant hoot*, które mogą trwać kilkanaście sekund i zawierają kilka różniących się faz – składają się z elementów, które przypominają wyrazy lub litery w naszym języku. I czy w różnych kontekstach społecznych tak samo nazywane wokalizacje są rzeczywiście identyczne. Może się bowiem okazać, że ich kompozycja (układ elementów, z których się składają) wpływa na znaczenie.

Jabłko czy kiwi?

W jednym z prostszych badań skupił się na sygnałach emitowanych przez małpy titi żyjące w Ameryce Południowej. Wydają one podobne, ale dzięki komputerowej analizie rozróżnialne sygnały: określił je jako *A* oraz *B*. Słyszac sygnał *A*, osobniki najczęściej patrzą w górę – co wskazuje, że ten dźwięk informuje o zagrożeniu ze strony drapieżnego ptaka. Dźwięk *B* sprawia, że słyszący albo patrzy w dół, albo na osobnika sygnalizującego – tak jakby oczekując dalszych informacji. Zuberbühler zastanawiał się, czy dźwięki te mogą tworzyć bardziej złożone sekwencje, które przenosiłyby dodatkowe informacje. Jego zespół przeprowadził eksperyment, w którym atrapy drapieżnego ptaka oraz drapieżnika lądowego stawiano w różnych miejscach: albo na drzewach, albo na ziemi.

Zgodnie z przewidywaniami, gdy titi zobaczyły (atrapię) ptaka na drzewie, wydawały sekwencję dźwięków *AAAAA*, gdy zaś obserwowały drapieżnika lądowego na ziemi – komunikowały sekwencję *BBBBB*. W warunkach nietypowych robiło się ciekawie: ptak postawiony na ziemi wywoływał sekwencję dźwięków *AAAAABBBBB*, z kolei w przypadku drapieżnika lądowego ustawionego na drzewie sygnały miały układ *ABBBB*. Wygląda więc na to, że za pomocą swojego prymitywnego repertuaru dźwięków małpy titi mogą komunikować zarówno rodzaj spostrzeżonego drapieżnika (czy to ptak, czy drapieżny kot), jak i jego przybliżoną lokalizację (góra – dół).

Jeszcze bardziej precyzyjne komunikaty emitują małpy człowiekowate, takie jak szympansy. W innym słynnym badaniu, przeprowadzonym w ogrodzie zoologicznym, zespół Zuberbühlera nagrał sekwencję dźwięków wydawanych przez bonobo



Zagadka gwiazdnej galaretki

O „GWIEZDNEJ GALARETCIE” WSPOMINAM W TEKŚCIE „OTO WIELKA TAJEMNICA WIEDZY” (na początku tego katalogu). W skrócie: już od średniowiecza znane są relacje o grudkach białawej, półprzezroczystej substancji, znajdujących na trawie, mchu czy gałęziach. Do dzisiaj nie wiadomo, co to jest: nawet współczesne badania mikroskopowe i genetyczne nie pomagają.

Niektóre „gwiazdne galaretki” udaje się zidentyfikować jako śluzorośla (kolonijne pierwotniaki tworzące żelowate skupiska), grzyby albo fragmenty ciał zwierząt. W 1926 r. czasopismo „Nature” opublikowało króciutki list od biologa H.A. Baylisa, który zbadał dostarczoną mu próbkę „gwiazdnej pleśni” i zarzeka się, że jest to częściowo rozłożony jajowód ropuchy. Wielka mi tajemnica.

Udaje się więc zidentyfikować niektóre konkretne okazy, a z każdą taką identyfikacją tajemnica odrobinę się kurczy. Nauka opiera się na założeniu, że teoretycznie da się wytłumaczyć powstanie każdej z nich – nawet jeżeli istnieją konkretne gwiazdne żelki, których nikt nigdy nie wytłumaczy. To ciekawe założenie. Można je też nazwać wiarą w racjonalność świata.

**ŁUKASZ ŁAMŻA, FILOZOF
I POPULARYZATOR NAUKI,
UNIwersytet Jagielloński, „TP”**



LAIRICH RIG: CC BY-SA 2.0

(szympanasy karłowate) na widok różnych owoców – kiwi (preferowanych) i jabłek (mniej lubianych). Sekwencje te składały się z bardzo podobnych lub wręcz tych samych typów dźwięków, ale ułożonych w różnej kolejności. Badacze nauczyli następnie małpy, że mogą znaleźć te owoce w konkretnych miejscach w swoim wybiegu: w jednym jabłka, w drugim kiwi. A na końcu odwarzali z pewnej odległości nagrane sekwencje dźwięków typowych dla kiwi oraz jabłek i sprawdzali, w którym kierunku udadzą się bonobo. Małpy reagowały tak, jakby rozumiały komunikaty: gdy słyszały sekwencję „kiwi” – najczęściej szły do miejsca, w którym wcześniej znajdowały kiwi, gdy zaś słyszały sekwencję „jabłka” – szły w kierunku właściwym dla tych owoców.

Możemy się dogadać

Inne eksperymenty Zuberbühlera pokazały, że szympanasy wokalizują intencjonalnie, a jako odbiorcy przypisują intencje nadawcom komunikatów. Gdy jeden szympanas zostanie zaatakowany przez innego, to będzie wydawał różne dźwięki w zależności od tego, czy istnieje jakiś świadek walki (zwłaszcza dominujący osobnik, który mógłby ruszyć z pomocą), czy też nikt nie widzi jego niedoli. Ofiara agresji nawet po dwóch godzinach od bójki inaczej zareaguje na odtworzoną przez głośnik szympanią agresywną wokalizację, w zależności od tego, kto został nagrany: jeżeli jakiś przypadkowy osobnik, to pobity szympanas nie będzie się tym zbyt przejmował. Ale jeśli tylko usłyszy nagranie dźwięków sojusznika swojego niedawnego oprawcy, to zacznie się z niepokojem rozglądać wokół siebie, aż wreszcie ucieknie.

W niedawnej publikacji z czasopisma „Science”, której autorzy oficie powoływali się na odkrycia Klausa Zuberbühlera, Mélissa Berthet i współpracownicy przekonywali na podstawie obszernych lingwistycznych analiz, że komunikację wokalną bonobo cechuje nietrywialna kompozycyjność – czyli że podstawowe składowe wokalizacje mogą łączyć się na różne sposoby, a te połączenia zmieniają znaczenie wypowiedzi. Trywialną kompozycyjnością mogą się pochwalic małpy titi, komponujące wyrażenie „ptak na dole” ze składowych „ptak” i „na dole”. My też to robimy: kompozycyjne są zdania („Asia zjadła winogrona” to dość prosta suma znaczeń tych trzech słów), frazy („biały wilk”), a nawet niektóre rzeczowniki („długopis”).

Nietrywialna kompozycyjność występuje wtedy, gdy komunikat *AB* ma zupełnie inne znaczenie niż sygnały *A* i *B* nadane osobno. W języku ludzkim typowy przykład to słowo „marabut”, którego znaczenie nie jest sumą znaczeń słów „mara” i „but”, nie mówiąc już o takich słowach, których składowe w ogóle nie mają sensu (słowo „klocek” nie



Skąd się wzięły w języku pojęcia abstrakcyjne?

JEDNĄ Z NAJCIEKAWSZYCH ZAGADEK, NA KTÓRE MOŻNA NATRAFIĆ NA styku wielu dziedzin – m.in. filozofii, psychologii, neuronauki, językoznawstwa, matematyki, prawa – jest pytanie o pochodzenie i naturę pojęć abstrakcyjnych, które powszechnie używamy w naszym języku. Jak to jest, że potrafimy się nimi posługiwać? Z perspektywy historycznej to jeden z pierwszych problemów podjętych w filozofii. Przypomnijmy sobie postać Sokratesa portretowanego w dialogach platońskich, który spacerował po Atenach i pytał np. o to, czym jest sprawiedliwość. Również matematyka pełna jest pojęć abstrakcyjnych. Platon rozwiązał problem ich pochodzenia, twierdząc, że stoją za nimi odwieczne, niezmiennie idee. Dziś taka odpowiedź nas nie zadowala. Wiemy coraz więcej o tym, jak działa nasz aparat poznawczy, budujemy ekscytujące scenariusze ewolucyjne dotyczące tego, skąd wzięła się komunikacja językowa, coraz lepiej rozumiemy, jak nasze mózgi przetwarzają język. W tych nowych kontekstach stare pytanie o pochodzenie pojęć abstrakcyjnych powraca ze zdwojoną siłą. Pytanie to jest ważne nie tylko dlatego, że dzięki pojęciom abstrakcyjnym potrafimy się skutecznie porozumiewać, ale również dlatego, że pozwalają nam one odkrywać naturę rzeczywistości.

BARTOSZ BROŻEK, PRAWNIK I FILOZOF, UNIWERSYTET JAGIELLOŃSKI

jest wszak „suma” sygnałów „kło” i „cek”). Innym przykładem może być zdanie: „Dałem radę”, które sygnalizuje, że mi się powiodło, a nie że cokolwiek dałem – na pewno zaś tym czymś nie była rada. Berthet i współpracownicy twierdzą, że coś takiego wykryli właśnie u bonobo. Przykładowo, „wysokie pohukiwanie” (*high hoot*) ma z grubsza znaczenie „Uwaga!”, „niskie pohukiwanie” (*low hoot*) wydawane jest podczas budowania gniazda (czyli można by je przetłumaczyć jako „Buduję właśnie gniazdo”), kombinacja zaś *high hoot-low hoot* miałaby znaczenie „Dołącz do mnie”. To już poziom „marabuta”.

To wszystko jeszcze nie oznacza, że małpia komunikacja jest tak złożona, jak przekonywał Garner – być może nie da się w prosty sposób tłumaczyć konkretnych dźwięków wydawanych przez małpy na słowa występujące w ludzkim języku. Ale z pewnością jest to bogatszy system komunikacji, niż wydawało się paru pokoleniom psychologów, odrzucającym tezy Garnera jako zbyt naiwne i nienaukowe. Małpie wokalizacje nadal skrywają wiele tajemnic, ale już dziś możemy sądzić, że przynajmniej szympanasy, a pewnie też inne małpy, uzależniają znaczenie wokalizacji od kolejności dźwięków w sekwencji. Oraz, co równie ważne dla języka, że małpy te traktują innych osobników jako jednostki intencjonalne, obdarzone umysłami – a więc takie, z którymi jest sens się komunikować i wymieniać informacjami.

© ŁUKASZ KWIATEK

Autor jest popularyzatorem nauki w Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych UJ i redaktorem „TP”.

Duch w maszynie

JAN K. ARGASIŃSKI

**Czy da się stworzyć taki sztuczny system,
który uczy się, dostrzega wzorce, dopasowuje decyzje
do zmieniających się okoliczności?**

Terry Sejnowski nie tylko uznał, że tak. Również to udowodnił.

Przelom lat 70. i 80. XX wieku przeszedł do historii technologii jako „zima sztucznej inteligencji” – okres rozczarowania, kryzysu i głębokiej refleksji nad kierunkiem rozwoju całej dziedziny. Klasyczne systemy, oparte na logice formalnej, regułach „jeżeli..., to...” i rozbudowanych bazach wiedzy potrafiły analizować zamknięte, dobrze zdefiniowane problemy, jak np. diagnozowanie usterek w silnikach czy gra w warcaby. Jednak wobec prawdziwego świata – pełnego niejednoznaczności, kontekstu i subtelności – maszyny były bezradne.

Okazało się, że program, który umiał zidentyfikować awarię układu chłodzenia, nie był w stanie rozpoznać uśmiechu i gubił się w złożoności rozmowy między dwojgiem ludzi. Brakowało intuicji, plastyczności, zdolności do adaptacji. A przede wszystkim: uczenia się na podstawie doświadczenia. Sztuczna inteligencja (AI) przypominała kogoś, kto zna nuty, ale nie potrafi zagrać utworu.

Właśnie wtedy w środowisku badaczy zaczął kiełkować nowy sposób myślenia. Może zamiast próbować uczyć maszyny myśleć jak maszyny – logiczne, chłodne i przewidywalne – powinniśmy spróbować nauczyć je myśleć tak, jak robią to mózgi? Takie, które nie mają jednej ścieżki rozwiązania, lecz stale balansują między eksploracją a eksploatacją, przypadkiem a regularnością, chaosem a porządkiem.

Interdyscyplinarny wizjoner

Jednym z najważniejszych głosicieli tej nowej wizji był Terrence Sejnowski – naukowiec, którego kariera wymyka się kla-

syfikacjom. Urodzony w 1947 r. badacz zafascynował się zjawiskiem od dawna poruszającym filozofów: ludzką zdolnością uczenia się. Studiował fizykę, ale szybko zrozumiał, że prawdziwa tajemnica skrywa się gdzie indziej – w biologii. To właśnie tam, w skomplikowanej architekturze mózgu, rozgrywa się nieustanny spektakl adaptacji, predykcji i interpretacji.

Sejnowski doszedł do wniosku, że aby stworzyć myślącą maszynę, nie należy koncentrować się na próbach kopiowania struktur mózgu. Trzeba zrozumieć i zrekonstruować mechanizm uczenia – i przenieść go w domenę rzeczy, które da się zbudować w ramach dostępnych technologii. Kluczem jest stworzenie systemu, który potrafi przewidywać i uczyć się na podstawie niepełnych danych.

Zamiast tworzyć systemy podążające jedną, z góry określoną ścieżką logiczną, Sejnowski zaproponował, by pozwolić maszynom eksplorować – testować różne konfiguracje, błędzić, popełniać błędy i wyciągać z nich wnioski. To oznaczało otwarcie AI na pojęcia z fizyki statystycznej i neurobiologii: szum, prawdopodobieństwo, temperatura. Parametry wcześniej uważane za niepożądane lub zbędne.

Kluczowy moment nastąpił w latach 80., gdy – podążając drogą Johna Hopfielda i wspólnie z Geoffreyem Hintonem (ta dwójka otrzymała w ubiegłym roku Nagrodę Nobla z fizyki za swój wkład w rozwój AI) – Sejnowski pracował nad komputerowymi symulacjami sieci neuronowych. Efektem tej współpracy była koncepcja maszyny Boltzmanna – sieci, która zrewolucjo-

nizowała myślenie o komputerowym uczeniu się. Była to nie tylko zmiana algorytmu – ale zmiana paradygmatu. Zamiast szukać jedynego „dobrego” rozwiązania, urządzenie zaczęło przeszukiwać krajobraz możliwych odpowiedzi, starając się odnaleźć te najbardziej prawdopodobne i najgłębiej zgodne ze strukturą danych.

To był moment, w którym historia sztucznej inteligencji zaczęła zmierzać w nowym kierunku. Od logiki do uczenia. Od reguł do reprezentacji. Od determinizmu do probabilizmu. I choć pełne owoce tej rewolucji miały dojrzeć dopiero kilkadziesiąt lat później – w czasach głębokiego uczenia i generatywnych modeli – to właśnie wtedy, w szczycie informatycznej zimy, zasiane zostały pierwsze nasiona, które miały przynieść nowy rozkwit.

Temperatura myślenia

Na pierwszy rzut oka maszyny Boltzmanna przypominają wcześniejsze sztuczne sieci neuronowe.

Sztuczne sieci neuronowe to modele inspirowane działaniem ludzkiego mózgu, których początki sięgają lat 40. XX wieku. Wtedy Warren McCulloch i Walter Pitts zaproponowali pierwszy matematyczny model neuronu – prosty, ale rewolucyjny pomysł na przetwarzanie informacji. W latach 50. Frank Rosenblatt opracował perceptron – sieć neuronów, która potrafiła się uczyć na podstawie dostarczanych danych. Choć początkowo uznawano ją za przełom, jej ujawnione później ograniczenia doprowadziły do spadku zainteresowania całą tą dziedziną na wiele lat. Dopiero w latach 80. →



Sztuczna inteligencja – podróż w nieznane

TERRY SEJNOWSKI

Jak działa najbardziej złożony system przetwarzania informacji, jaki znamy – ludzki mózg? Neuronauka obliczeniowa stara się odpowiedzieć na to pytanie, łącząc badania biologiczne z metodami matematycznymi i obliczeniowymi. Jej celem jest tworzenie modeli, które odwzorowują procesy uczenia się, pamięci czy percepcji, a także zrozumienie, jak z aktywności miliardów neuronów wyłania się poznanie i subiektywne doświadczenie. Dyscyplina ta ma swoje korzenie w sztucznej inteligencji (AI), która od początku próbowała naśladować sposób działania ludzkiego umysłu. Historia obu dziedzin to opowieść pełna spektakularnych przełomów, ale i okresów stagnacji – tzw. „zim AI”, gdy nawet proste zadania poznawcze wydawały się wymykać formalnym opisom, a dotychczasowe osiągnięcia prowadziły do ślepych zaułków.

W tym intelektualnym krajobrazie kluczową rolę odegrał Terrence Sejnowski. Jego badania pozwoliły przezwyciężyć ograniczenia dominującej w latach 80. symbolicznej sztucznej inteligencji, uwikłanej w sztywne, deterministyczne reguły. Współpraca Sejnowskiego z Geoffreyem Hintonem doprowadziła do stworzenia maszyny Boltzmanna – modelu, który wprowadził probabilistyczne zasady uczenia się, naśladując statystyczną naturę procesów mózgowych. Dzięki temu sieci neuronowe zaczęły radzić sobie z niepewnością i niekompletnymi danymi, generować nowe wzorce i stały się fundamentem dla uczenia głębokiego, które napędza dzisiejsze systemy AI, takie jak ChatGPT.

Podczas Copernicus Festival Sejnowski podzieli się swoją unikalną perspektywą na obecną eksplozję możliwości sztucznej inteligencji. Czy wielkie modele językowe, mimo imponującej biegłości językowej, naprawdę rozumieją semantykę? Jak interpretować ich skłonność do „halucynacji”? Jakie wyzwania etyczne i społeczne stawia przed nami ich rosnąca obecność w naszym życiu? Czy obawy przed superinteligencją są uzasadnione? Wykład prof. Sejnowskiego to zaproszenie do głębokiej refleksji nad naturą inteligencji – tej naturalnej i tej sztucznej.



→ badania nad sieciami neuronowymi wróciły do łask dzięki wprowadzeniu perceptronów wielowarstwowych i tzw. algorytmu wstecznej propagacji błędów, który umożliwił ich skuteczne uczenie.

To właśnie z tych eksperymentów wyłoniły się maszyny Boltzmanna, podobnie jak wcześniejsze sieci złożone z węzłów – sztucznych neuronów, które są ze sobą połączone w celu przesyłania informacji. Połączenia są opisane wagami – liczbami oznaczającymi siłę i charakter oddziaływań między neuronami. Sieć taka, jak inne modele uczące się, modyfikuje wagi, by dostosować się do danych treningowych i nauczyć się ich wewnętrznej reprezentacji.

Maszyny Boltzmanna różnią się zasadniczo od wcześniejszego podejścia – zarówno filozoficznie, jak i matematycznie. W ich przypadku status każdego neuronu jest określany probabilistycznie. Nie działa tu prosty próg aktywacji (neuron prześle sygnał dalej, gdy suma sygnałów otrzymanych przez niego od innych neuronów przekroczy pewną wartość) czy ciągła funkcja aktywacji jak w sieciach klasycznych, lecz każdy neuron w danym momencie ma tylko pewne prawdopodobieństwo, że się uaktywni (przyjmie wartość 1), zależne od stanu jego sąsiadów oraz od stanu energetycznego całej sieci, który przez analogię do świata fizyki określany jest mianem temperatury. To oznacza, że zachowanie sieci nie jest z góry przesądzone – zamiast bezpośrednio „uczyć się” wzorca, sieć eksploruje różne możliwe stany, niejako błądząc po krajobrazie energetycznym konfiguracji.

To podejście ma swoje głębokie korzenie w fizyce statystycznej, a dokładniej – w tzw. rozkładzie Boltzmanna, który opisuje prawdopodobieństwo, z jakim cząsteczki gazu przyjmują różne poziomy energii w zależności od temperatury układu. Wysoka temperatura sprzyja chaosowi i losowym zmianom – system często „przeskakuje” pomiędzy różnymi stanami, eksplorując ich mnogość. Niska temperatura z kolei „zamraża” układ – system stabilizuje się w jednym z lokalnych minimów energetycznych.

Proces działania maszyny Boltzmanna można zobrazować metaforą rozgrzanego metalu. Gdy metal jest gorący, cząsteczki poruszają się intensywnie i chaotycznie – struktura materiału jest płynna i zmienna. W miarę chłodzenia ruchy te

Nasze procesy poznawcze są nasycone niepewnością i niedoskonałością.

Podajemy decyzje na podstawie niepełnych informacji, uczymy się poprzez hipotezy, które czasem okazują się błędne. Nasza inteligencja jest głęboko probabilistyczna.

słabną, aż cząsteczki zaczynają tworzyć trwałą, uporządkowaną strukturę – metal zamienia się w ciało stałe. Podobnie dzieje się w maszynie Boltzmanna – początkowo sieć eksploruje wiele możliwych reprezentacji danych, generując różnorodne konfiguracje neuronów. Wraz z obniżeniem temperatury (w sensie matematycznym – przypomnijmy, że to parametr w algorytmie) sieć powoli koncentruje się na stanach o najniższej energii – czyli takich, które najlepiej odwzorowują wewnętrzną strukturę danych wejściowych.

To zupełnie nowe, probabilistyczne podejście do uczenia sieci neuronowych okazało się przełomowe. W czasach, gdy dominowały metody sztywnego dochodzenia do najlepszego rozwiązania krok po kroku, Terrence Sejnowski i Geoffrey Hinton zaproponowali rozwiązanie inspirowane fizyką. Zamiast zmuszać sieć do znalezienia pojedynczego najlepszego rozwiązania, pozwolili jej szukać zestawu najbardziej prawdopodobnych stanów – co okazało się nie tylko skuteczne, ale również bardziej elastyczne i zbliżone do sposobu, w jaki przetwarza informacje mózg biologiczny.

Krok w stronę kreatywności

Maszyny Boltzmanna to jedne z pierwszych przykładów tzw. generatywnych sieci neuronowych – modeli, które nie tylko klasyfikują i rozpoznają dane, ale potrafią także generować nowe przy-

kłady, odzwierciedlające strukturę danych treningowych. Zamiast odpowiadać wyłącznie na pytania typu „do jakiej kategorii należy ten obraz?”, sieć może tworzyć zupełnie nowe obrazy, które „pasują” statystycznie do rozkładu danych, na których była uczona.

W swojej udoskonalonej wersji – jako tzw. ograniczone maszyny Boltzmanna – zostały wzbogacone o istotne usprawnienia, takie jak brak połączeń między neuronami w tej samej warstwie. To uproszczenie umożliwiło szybsze i bardziej stabilne uczenie, czyniąc maszyny użytecznym narzędziem do budowy bardziej złożonych modeli.

W pierwszej dekadzie XXI w. modele te zyskały uznanie w przemyśle. Google wykorzystало ich następców do trenowania systemów rozpoznających obrazy i mowę. W 2012 r. jeden z takich modeli nauczył się – całkowicie samodzielnie, bez etykiet czy nadzoru – rozpoznawać koty na filmikach z YouTube’a. Mając do dyspozycji miliony ramek wideo i miliardy pikseli, sieć sama wyabstrahowała pojęcie „kota” – co w kontekście kultury internetu (którym – jak wiadomo – rządzą koty) wydaje się niemal symboliczne.

Choć maszyny Boltzmanna nie skalowały się dobrze i zostały z czasem wyparte przez inne architektury – takie jak głębokie sieci konwolucyjne czy transformatory – ich wpływ na rozwój sztucznej inteligencji jest nie do przecenienia. Były nie tylko technologicznym eksperymentem, ale także koncepcyjnym przełomem. Dziś można je postrzegać jako zapowiedź rewolucji, która dopiero miała nadejść.

Współczesne generatywne modele – autoenkodery, sieci GAN (ang. *Generative Adversarial Networks*) czy modele dyfuzyjne (takie jak te stosowane w DALL-E, Midjourney czy Stable Diffusion) – czerpią z tych fundamentów. Kluczową cechą jest tu nie tylko umiejętność przetwarzania danych, ale zdolność do ich twórczej rekonstrukcji na podstawie poznanych wzorców. Sztuczna inteligencja przestaje być tylko odtwórcą – staje się kompozytorem, zdolnym do improwizacji.

Współczesne AI już nie tylko czyta nuty, ale potrafi też skomponować nowy utwór – w stylu Beethovena, jazzu czy muzyki elektronicznej. To właśnie dzięki takim pionierskim koncepcjom, jak maszyny Boltzmanna, możliwe stało się przejście od sztucznej inteligencji roz-

poznającej do sztucznej inteligencji tworzącej.

Terrence Sejnowski miał również inne wizjonerskie pomysły. Już w 1986 r. opracował NETtalk – sieć neuronową zdolną do nauki wymowy angielskich słów na podstawie ich zapisu tekstowego. Choć model ten był prymitywny według dzisiejszych standardów, stanowił jeden z pierwszych przykładów zastosowania sieci neuronowych do przetwarzania języka naturalnego.

Dziedzictwo maszyn Boltzmanna nie polega wyłącznie na ich technicznej konstrukcji, ale na idei, która je napędzała: że maszyna może rozumieć wzorce i tworzyć na ich podstawie coś nowego. To myślenie ukształtowało współczesne podejście do sztucznej inteligencji – twórczej, adaptacyjnej i coraz bardziej podobnej do ludzkiej.

Na podobieństwo mózgu

Czy maszyny kiedykolwiek będą myśleć jak my? To pytanie, choć zadawane od dekad, nie traci na aktualności – raczej ewoluuje. Dziś nie pytamy już, czy maszyny będą w stanie odtworzyć ludzką inteligencję w jej zewnętrznych przejawach – rozpoznawaniu obrazów, przetwarzaniu języka, grze w szachy. Wiemy, że to możliwe – te granice zostały już przekroczone. Coraz częściej pytamy: czy mogą myśleć w sposób zbliżony do naszego, z całą niepewnością, intuicją i plastycznością, które są charakterystyczne dla biologicznego umysłu? Innymi słowy – czy mogą uczyć się świata, a nie tylko działać w świecie?

W tym kontekście prace takich wizjonerów jak Terrence Sejnowski stają się drogowskazem. Dzięki jego wkładowi rozumiemy dziś, że prawdziwa inteligencja nie polega jedynie na perfekcyjnym dopasowaniu do danych, na bezbłędnym odtwarzaniu wzorców czy optymalizacji funkcji kosztu. Nie polega na prostym naśladowaniu. Jej istotą jest raczej umiejętność rozpoznania struktur ukrytych pod powierzchnią obserwacji, a następnie formowania własnych wewnętrznych reprezentacji – czasem niepewnych, niepełnych, ale wystarczających, by dalej się rozwijać. Zrozumienie zasad, a nie powierzchwni.

Maszyny Boltzmanna – choć dziś rzadziej stosowane w praktyce niż nowoczesne architektury głębokiego uczenia – są żywym przypomnieniem tej właśnie fi-



Jak trwałe są efekty identyfikowane przez psychologów?

W BADANIACH EMPIRYCZNYCH CZĘSTO DOKONUJEMY GENERALIZACJI naszych wniosków poza obiekty, które obserwowaliśmy. Psycholodzy eksperymentalni badają próbę osób badanych i na tej podstawie starają się opisać, w jaki sposób ludzie – nie tylko osoby, które wzięły udział w eksperymencie, ale ludzie „tak w ogóle” – przetwarzają informacje. Zazwyczaj psychologów interesuje efekt na poziomie próby (np. średnio osoby badane szybciej nazywają niebieski kolor atramentu, jeśli jest nim napisane słowo „niebieski”, niż wtedy, gdy jest nim napisane słowo „czerwony”). Czy to oznacza, że ten efekt można zaobserwować u każdego człowieka? Czy taki efekt będzie widoczny za każdym razem i z taką samą siłą, gdy dana osoba wykona takie zadanie? Nasze ostatnie badania pokazują, że wiele znanych z podręczników psychologii poznawczej zjawisk charakteryzuje się ogromną zmiennością – zarówno w populacji, u różnych badanych, jak i u tych samych osób w różnym czasie. Czy to nowa tajemnica, przed którą staje psychologia poznawcza?

KRZYSZTOF CIPORA, PSYCHOLOG, LOUGHBOROUGH UNIVERSITY

lozofii. Ich konstrukcja od początku zakładała, że uczenie nie musi być liniową, gradientową drogą ku jednemu rozwiązaniu. Przeciwnie – może być nieustanną eksploracją. Błądzeniem po krajobrazie możliwych rozwiązań, poruszaniem się z miejsca na miejsce, w poszukiwaniu konfiguracji, które niekoniecznie są optymalne w ścisłym matematycznym sensie. To proces uczenia przez niepewność, w którym przypadek nie jest błędem, lecz paliwem dla kreatywności.

W gruncie rzeczy tak właśnie działa mózg człowieka. Badania z dziedziny kognitywistyki i neuronauki pokazują, że nasze własne procesy poznawcze są nasycone niepewnością i niedoskonałością. Podejmujemy decyzje na podstawie niepełnych informacji, uczymy się poprzez hipotezy, które czasem okazują się błędne. Eksplorujemy nowe sytuacje, testujemy różne strategie, tworzymy modele mentalne, które są jedynie przybliżeniami rzeczywistości. W tym sensie nasza inteligencja jest głęboko probabilistyczna.

Dlatego pojawia się pytanie: czy to właśnie ten biologiczny, probabilistyczny „pierzwiastek Sejnowskiego” jest kluczem do stworzenia maszyn naprawdę inteligentnych? Takich, które nie tylko per-

fekcyjnie wykonują zadania, ale też rozumieją, adaptują się, uczą się poprzez wątpliwość? Maszyn, które nie tylko odtwarzają i tworzą, ale też odkrywają?

Być może odpowiedź już istnieje – tylko jeszcze nie potrafimy jej w pełni dostrzec. Możliwe, że to, co dziś wydaje się ograniczeniem – nieprecyzyjność, losowość, trudność w wyjaśnieniu działania takich modeli – w rzeczywistości jest ich największym atutem. Może to właśnie w tej nieokreśloności, w tym „chaosie kontrolowanym” kryje się coś fundamentalnie ludzkiego – zdolność do tworzenia znaczeń tam, gdzie ich nie było, do łączenia rozproszonych punktów w sensowną całość.

Maszyny Boltzmanna przypominają nam, że uczenie to nie tylko zbieranie faktów – to także umiejętność poruszania się w świecie niepewności. A to jest być może najbardziej ludzka cecha ze wszystkich.

© JAN K. ARGASIŃSKI

Autor zajmuje się neuronauką, sztuką i sztuczną inteligencją. Pracuje w Zespole Humanocentrycznej Sztucznej Inteligencji na Uniwersytecie Jagiellońskim oraz w Sano – Centrum Indywidualizowanej Medycyny Obliczeniowej.



JAN GRACZYŃSKI / KRAKOW.PL



GRAZYNA CHROMY-ROŚCISZEWSKA

Od lewej: Występ podczas Nocy Teatrów, 2024 r. Pomnik Mikołaja Kopernika w parku Decjusza.

Odkrywajmy razem tajemnice Krakowa. Nie tylko nocami!

Połowa roku to w Krakowie gorący okres – również z powodu wydarzeń kulturalnych. Każdy mieszkaniec i turysta, bez względu na wiek, znajdzie wtedy coś dla siebie.

KRAKOWSKIE NOCE

to cykl siedmiu wydarzeń: Noc Kin Studyjnych, Noc Muzeów, Noc Teatrów, Noc Tańca, Noc Jazzu, Noc Cracovia Sacra, Noc Poezji.

Ideą jest popularyzacja uczestnictwa w kulturze poprzez atrakcyjną ofertę adresowaną i do mieszkańców Krakowa, i do turystów. W tym roku czekają na nas w okresie letnim: Noc Tańca (7.06), Noc Teatrów (14.06), Noc Jazzu (12.07) oraz Noc Cracovia Sacra (14-15.08), jesienią zaś Noc Poezji (10-12.10). Co się będzie działo podczas „Krakowskich Noc”?

Noc Tańca, wzorem lat poprzednich, rozpocznie się wczesnym popołudniem, kiedy to na scenach plenerowych (na pl. Szczepańskim, przy Centrum Kultury „Dworek Białoprądnicki” i Nowohuckim Centrum Kultury) będą występować liczne grupy dziecięce. Potem, do późnych godzin wieczornych, prezentowane będą m.in. pokazy tańców, spektakle taneczno-teatralne;

zaplanowano też warsztaty, lekcje tańca i potańcówki. Podczas tegorocznej Nocy Tańca będziemy mogli zaprosić mieszkańców Miasta do ICE Kraków, gdzie zaplanowano zarówno pokazy, jak i warsztaty taneczne.

Podczas Nocy Teatrów Kraków stanie się wielką teatralną sceną. Widzowie obejrzą kilkadziesiąt spektakli, w tym kilka przedstawień plenerowych. Propozycje na czerwcową noc przygotowują m.in. teatry ciała, ruchu i tańca, teatry uliczne, kabarety, teatry muzyczne.

W trakcie Nocy Jazzu prezentowane są różne odmiany tej muzyki w wykonaniu wybitnych artystów z Krakowa i całego świata. Scena główna stanie na Małym Rynku, a koncerty odbywać się będą też w instytucjach kultury, kawiarniach i klubach jazzowych. Spotkania z melomanami potrwają tradycyjnie, jak przystało na Noc Jazzu, do późnych godzin. Nowością tegorocznej edycji będzie potańcówka

„na jazzową nutę” na Małym Rynku.

Szczegóły na www.krakowskienoce.pl

SETNE URODZINY BRONISŁAWA CHROMEGO

(1925-2017), które obchodzimy w tym roku, stały się inspiracją do zorganizowania dwóch wystaw poświęconych wielkiemu krakowskiemu artyście – autorowi m.in. rzeźby smoka u stóp Wawelu. Rzeźby plenerowe eksponowane będą w Muzeum Krakowa, na dziedzińcu Krzysztoforów, w ramach wystawy „Bronisław Chromy. W stulecie urodzin artysty”, a małe formy rzeźbiarskie – w ramach stałej ekspozycji „Kraków od początku, bez końca”. Wernisaż 3 czerwca.

Z kolei wystawa „Bronisław Chromy – od początku” zostanie przygotowana w Autor-skiej Galerii Bronisława Chromego, stworzonej przez artystę w 1995 r. w parku Decjusza. Obejmie najstarsze rzeźbiarskie prace oraz poddane digitalizacji fotografie autorstwa Bogdana Olechnickiego, przyjaciela artysty, przez lata dokumentującego jego dorobek. Całość uświetni „Koncert urodzinowy dla Bronisława Chromego” w wykonaniu

artystów Piwnicy pod Baranami, której Chromy był współzałożycielem. Wydarzenie odbędzie się 14 czerwca podczas wernisażu wystawy, pośród rzeźb wyeksponowanych w parku Decjusza. Szczegóły na www.muzeumkrakowa.pl oraz www.bronislawchromy.pl

DZIEŃ OTWARTY MAGISTRATU

przeżyjemy podczas Dni Krakowa. Organizowane przez Urząd Miasta Krakowa wydarzenie stanowi okazję do zaprezentowania mieszkańcom tego, jak funkcjonuje urząd i miejskie instytucje. Tegoroczna edycja została zaplanowana na niedzielę 8 czerwca, motyw przewodni imprezy nawiązuje do obchodów Tysiąclecia Korony Polski.

Atrakcje przewidziane są zarówno w zabytkowym pałacu Wielopolskich na pl. Wszystkich Świętych, jak i przed nim. Odbędą się liczne warsztaty plenerowe, prezentacje miejskich jednostek i instytucji, konkursy z nagrodami oraz spacer po historycznych wnętrzach Magistratu, w których na uczestników będą czekały kolejne niespodzianki. Na scenie przed bu-



Wielka Parada Smoków, 2024 r.

dynkiem wystąpią m.in. dzieci z młodzieżowych domów kultury oraz znani artyści muzyczni. Szczegóły na www.krakow.pl

XIII EDYCJA ŚWIĘTA RODZINY KRAKOWSKIEJ

ponownie zorganizowana zostanie w formule trzydniowej, a poszczególne wydarzenia odbywać się będą równolegle w różnych placówkach Krakowa.

Hasło tegorocznego święta brzmi „Rodzina to drużyna – zdrowe relacje, zdrowe wybory”, uwaga zostanie więc skoncentrowana na profilaktyce różnorodnych uzależnień, m.in. behawioralnych, cyfrowych, od substancji psychoaktywnych itp. Organizatorzy będą zachęcać rodziny do wspólnego działania, budowania relacji i odkrywania nowych sposobów na spędzanie czasu wolnego.

Finał jest zaplanowany na niedzielę, 25 maja na zielonych terenach przy Tauron Arenie Kraków. Szczegóły na www.kkr.krakow.pl

FESTIWAL KULTURY ŻYDOWSKIEJ W KRAKOWIE

(25-29.06) to największa prezentacja współczesnej kultury tworzonej przez Żydów na całym świecie. Festiwal wyrósł przez lata na jedno z najważniejszych wydarzeń kulturalnych naszego miasta i kraju, znane poza granicami Polski. To obecnie jedna z najlepiej kojarzonych marek Krakowa.

Celem festiwalu jest pokazanie różnorodności i piękna kultury żydowskiej z całego świata. Każdego roku gromadzi ok. 30 tys. osób. Autentyczność i prawda są tu najważniejszymi wartościami.

Szczegóły na www.jewishfestival.pl

FESTIWAL MIŁOSZA

(29.06-6.07) ponownie zgromadzi w Krakowie twórców i miłośników poezji. Tegoroczna edycja po raz trzeci jest organizowana we współpracy z europejską siecią festiwali poetyckich Versopolis – przed polskimi czytelnikami znowu zadebiutują kolejni zagraniczni twórcy, dotychczas im nieznanymi.

Hasło tegorocznej edycji festiwalu („To”) jest zarazem tytułem wydanego 25 lat temu tomu poetyckiego Czesława Miłosza i wiersza otwierającego tę publikację. W ramach festiwalu odbędą się spotkania autorskie, debaty, czytania poezji, performance, slamy, koncerty. Festiwalowe wydarzenia zagospodzą m.in. w pałacu Potockich, willi Decjusza oraz Spółdzielni Ogniwo. Szczegóły na www.miloszfestival.pl

KRAKOWSKI FESTIWAL FILMOWY

(25.05-1.06) jest jedną z najstarszych imprez na świecie poświęconych filmom dokumentalnym, krótkim animacjom i fabułom. Podczas ośmiu festiwalowych dni widzowie będą mieli okazję obejrzeć około

200 filmów z Polski i ze świata. Festiwal co roku odwiedza ponad 1000 polskich i międzynarodowych gości: reżyserów, producentów, programatorów festiwali i liczna krakowska publiczność. Szczegóły na www.krakowfilmfestival.pl

WIELKA PARADA SMOKÓW

(7-8.06) to spektakularne wydarzenie, które co roku przyciąga tłumy mieszkańców i turystów. Na stałe wpisało się w krajoznanie Krakowa. Głównymi bohaterami 24. edycji będą małopolskie smoki oraz inne legendarne stwory. W sobotę po zmroku, w zakolu Wisły u podnóża Wawelu, zaprezentowane zostaną olbrzymie smoki – unoszące się w powietrzu, animowane na pływających barkach. A w niedzielne południe ponad tysiąc dzieci będzie animować gigantyczne, kilkumetrowe smoki, rywalizujące o tytuł najpiękniejszego. Barwny pochód, przy akompaniamencie muzyki i smoczych ryków, przemierzy historyczne ulice Starego Miasta (m.in. ul. Grodzką). Szczegóły na www.groteska.pl

WIANKI W KRAKOWIE,

organizowane jak zwykle pod koniec czerwca (20-22.06), odwołują się do świętojańskiej tradycji, która łączy przeszłość z nowoczesnością, zachęcając do wspólnego spędzania czasu nad Wisłą.

Wianki, symbolizujące wspólnotę, powstają z kwiatów, ziół

i traw, a głównym punktem jest konkurs na najpiękniejszy wieńiec nakładany na głowę. Święto, któremu towarzyszą motywowy ogień, śpiewu i magii kwiatu paproci, wpisuje się w słowiańskie tradycje Nocy Kupały.

Szczegóły na www.kbf.krakow.pl

30. SUMMER JAZZ FESTIVAL KRAKÓW

trwać będzie przez całe wakacje – a nawet dłużej (30.06-7.09). Powstał pod nazwą Letni Festiwal Jazzowy w Piwnicy pod Baranami w 1996 r. Obecnie to największe tego typu wydarzenie w Polsce. Występują w nim najjaśniejsze gwiazdy polskiego jazzu oraz czołówka światowa. W tym roku zagrają m.in. Adam Makowicz & Leszek Możdżer, Kurt Elling & Yellowjackets Celebrate Weather Report, John Scofield Quartet oraz Marcus Miller. Szczegóły na www.summerjazz.pl

38. ULICA FESTIVAL

(4-6.07 oraz 13-15.07) to jeden z najstarszych tego typu festiwali w Europie Środkowej. Prezentowane są podczas niego monumentalne widowiska, spektakle teatralne, happeningi, klaunady, pokazy marionetkowe, fire shows oraz wiele innych wydarzeń.

Ważną częścią tegorocznego festiwalu będzie „Kronika polska”, widowisko plenerowe przygotowane przez Teatr KTO z okazji 1000-lecia państwowości Polski. Rozpocznie się przejazdem mobilnych mansjonów między Bramą Floriańską a Rynkiem Głównym, przedstawiających bogactwo kultury materialnej i duchowej Polaków. Zainscenizowane też zostaną obrazy teatralne w kostiumach z różnych epok (weźmie w nich udział 250-300 osób). Później na rynku od strony ratusza odbędzie się zainscenizowana lekcja historii w formie muzycznej. Przewidziano też krótkie przedstawienie inspirowane „Odrpawą posłów greckich” Jana Kochanowskiego. Tekst do tej części napisze Bronisław Maj, scenariusz wydarzenia jest zaś dziełem jego i Jerzego Zonia. Na finał ratusz zostanie udekorowany biało-czerwoną flagą. Szczegóły na www.teatrktto.pl

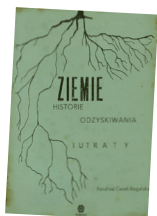


DAJ SIĘ
ugościć
w Małopolsce



visitmalopolska.pl

Mądra Książka Roku 2024 – dla dorosłych



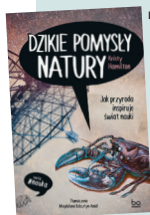
**ZIEMIE. HISTORIE
ODZYSKIWANIA
I UTRATY**
Wyd. RN

■ **Karolina
Ćwiek-
-Rogalska**

Jak rzeczy zmieniają się w duchy

CZY ZIEMIA MOŻE MIEĆ PAMIĘĆ? A jeśli tak, o czym milczy, a o czym wciąż szepcze? Karolina Ćwiek-Rogalska zabiera nas na Pomorze Środkowe – teren „odzyskany”, „utracony”, „przesiedlony” i „przemilczany”, gdzie każda cegła i każda piędź ziemi kryją nieopowiedziane i niedopowiedziane historie. To

opowieść o ludziach w ruchu; tych, którzy przyjechali, bo musieli, i tych, których zmuszono do wyjazdu. Autorka prowadzi czytelnika przez archiwa pełne przemilczeń, rodzinne historie rozsypane jak puzzle i pamiętniki osadników, którzy z ruin budowali sobie nowe życie. „Ziemia” to książka o pamięci, która czasem jest jak seans spirytystyczny: duchy przeszłości przychodzą, ale niekoniecznie mówią to, co chcielibyśmy usłyszeć.



**DZIKIE POMYSŁY
NATURY**
Magdalena Rabsztyń-
-Anioł, Wyd. Bo.wiem

■ **Kristy
Hamilton**
**DZIKIE
POMYSŁY
NATURY. JAK
PRZYRODA
INSPIRUJE
ŚWIAT NAUKI**
tłum.

Pomysły, które podkradliśmy ewolucji

CZY WIEDZIELIŚCIE, że katamarnice używają napędu odrzutowego, a omutki potrafią wytwarzać superklej odporny na fale morskie? A może słyszeliście, że mechanizmy działania ludzkiego telefonu zostały podpatrzony w uchu? W „Dzikich pomysłach natury” Kristy Hamilton prowadzi nas przez fascynujący świat biomimikry

– dziedziny nauki czerpiącej inspirację z rozwiązań wypracowanych przez miliony lat ewolucji. Autorka pokazuje, jak zwierzęta i rośliny wpłynęły na odkrycia technologiczne i medyczne – od teleskopów inspirowanych budową oczu, przez leki pozyskiwane z jadu ślimaków, aż po wynalazki wzorowane na pracowitych mrówkach i budujących tamy bobrach. Pełna pasji i erudycji książka, która otwiera oczy na to, jak bardzo nasza cywilizacja wciąż pozostaje uczennicą natury.



**NIEZWYKŁE
ZMYSŁY**
Magdalena Rabsztyń-
-Anioł, Wyd. Bo.wiem

■ **Ed Yong**
**NIEZWYKŁE
ZMYSŁY. JAK
ZWIERZĘTA
ODBIERAJĄ
ŚWIAT**
tłum.

Zmysłowy świat innych zwierząt

WYOBRAŹ SOBIE ŚWIAT, w którym słonie „słysz” stopami, nietoperze rozświetlają ciemność dzięki echolokacji, a pszczoły dostrzegają wzory ukryte w ultrafiolecie. To nie jest science fiction – to planeta Ziemia. Tylko... widziana innymi oczami. Ed Yong, laureat Nagrody Pulitzera, zabiera nas w podróż po wszechświecie zmysłów, który dla większości z nas

pozostaje ukryty. „Niezwyczajne zmysły” to nie tylko fascynująca opowieść o tym, jak zwierzęta odbierają świat, ale też pełna pasji próba zrozumienia ich „Umwelten” – bańki percepcji, w której każde stworzenie żyje zamknięte. Czy nietoperz „widzi” ciszę? Dlaczego pies rozpoznaje historię miasta po zapachu chodnika? I jak to jest być pajakiem, który „słucha” świata używając swojej sieci?

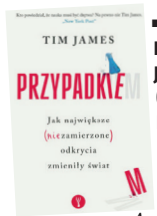


■ **Kamil
Janicki**
**ŻYCIE
W CHŁOPSKIEJ
CHACIE**
Wyd.
Poznańskie

Jak to było być chłopem w dawnej Polsce

KAMIL JANICKI ZABIERA NAS w podróż do świata, który niewiele miał wspólnego z sielankową wizją wiejskiej egzystencji, mogącą przywołać na myśl chaty widziane w skansenach. W swojej książce odkrywa prawdziwe oblicze chłopskiej codzienności – pełnej trudów, skrajnej ciasnoty i brudu. Autor

pokazuje, jak wyglądało życie w wiejskiej chacie od czasów pańszczyzny aż po XIX-wieczne przemiany, które zaczęły poprawiać byt chłopów. Analizuje wpływ tradycji, biedy i konieczności przetrwania na wygląd domostw, warunki higieniczne i stosunek do nowinek technicznych. To historia daleka od romantycznych wyobrażeń – realistyczna, wnikliwa i pełna odkryć, które pozwalają lepiej zrozumieć codzienne życie naszych przodków.



**PRZYPADKIEM.
JAK NAJWIĘKSZE
(NIEZAMIERZO-
NE) ODKRYCIA
ZMieniły
ŚWIAT**
tłum.
Agnieszka
Dzikiewicz-Krawczyk,
Wyd. Insignis

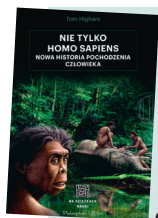
■ **Tim James**
**PRZYPADKIEM.
JAK NAJWIĘKSZE
(NIEZAMIERZO-
NE) ODKRYCIA
ZMieniły
ŚWIAT**
tłum.

Wielkie odkrycia potrzebują wielkiego szczęścia

CZY MOŻNA WYNALEŹĆ COŚ PRZESZYPADKEM? Jak najbardziej! Tim James w błyskotliwy i humorystyczny sposób opowiada o naukowych odkryciach, które odmieniły świat, choć nikt ich nie planował. Viagra miała być lekarstwem na anginę, Super Glue powstał jako nieudana próba stworzenia przezroczystego pla-

stiku, a karteczki samoprzylepne to efekt nieudanego kleju do samolotów. Autor udowadnia, że w nauce bałagan, pomyłki i brak znajomości języków obcych mogą prowadzić do przełomowych wynalazków – jak w przypadku Alexandra Grahama Bella, który skonstruował telefon, po tym jak błędnie zinterpretował niemiecką książkę. Pozycja dla wszystkich, którzy chcą spojrzeć na naukę z przymrużeniem oka i przekonać się, że czasem najlepiej być... w błędzie.

Prezentujemy nominacje w konkursie Uniwersytetu Jagiellońskiego na najlepsze książki popularnonaukowe dla dorosłych i dzieci wydane w Polsce. Zwycięzców ogłosimy na festiwalu.



■ Tom Higham
**NIE TYLKO
HOMO
SAPIENS.
NOWA
HISTORIA
POCHODZENIA
CZŁOWIEKA**

tłum. Adam Tuz,
Wyd. Prószyński i S-ka

Gdy na świecie żyli ludzie inni niż my

ARCHEOLOG z Uniwersytetu Oksfordzkiego zabiera nas w podróż po prehistorii, pokazując, że jeszcze całkiem niedawno Ziemię zamieszkiwały różne formy inteligentnych istot. 50-100 tys. lat temu nasza planeta przypominała „Śródziemie” Tolkiena – należlibyśmy na niej przynajmniej kilka odmiennych

grup ludzi, od krępkich neandertalczyków, przez zaprawionych do życia w górach denisowian, po zadziwiających hobbitów. Autor opisuje przełomowe odkrycia, takie jak kość hybrydy pierwszej generacji – dziecka neandertalki i denisowianina – oraz nowe metody badawcze, które pozwalają odtworzyć losy naszych wymarłych kuzynów. To opowieść o konkurencji, wymianie kulturowej, a także o tym, dlaczego to właśnie homo sapiens przetrwał.



■ Paulina
Łopatniuk
**DAMA
Z GRASICZKĄ**
Wyd.
Poznańskie

Nie tylko białe fartuchy i sterylne szpitale

ANATOMIA, ta zwyczajna i ta wypaczona chorobą, nigdy nie była tak... poetycka, makabryczna i piękna zarazem. Paulina Łopatniuk zabiera nas do gabinetu osobliwości, gdzie ludzkie serca przecho- wuje się w szkatułach, szkieleciki grają na kostnych skrzypcach, a nauka spotyka się ze sztuką. „Dama

z grasiczką” to opowieść o świecie medycznych patologii. Łopatniuk z humorem – czasem czarnym jak smoła – i pasją przedstawia medyczne kurioza, choroby rzadkie i niespodziewane konsekwencje tych niestety dobrze znanych. Czy wiecie, że medycyna zna przypadek pacjenta mającego przerzuty nowotworu, na który chorował... tasiemiec zamieszkujący jego jelita? To książka dla tych, którzy nie boją się zajrzeć pod powierzchnię skóry.



■ Bart van Loo
**BURGUNDZCYCY.
KSIĄŻĘTA
RÓWNI KRÓŁOM**
tłum. Małgorzata
Diederer-Woźniak,
Wyd.
Znak Horyzont

Kronika splendoru, intryg i przemocy

BART VAN LOO z rozmachem kreśli ponad tysiąclet- nią opowieść o Burgundczykach – książętach, którzy stworzyli potęgę równą królestwom, a Niderlandy ulepili z mozaiki niezależnych wcześniej ziem. Od ślubnej dyplomacji po pola bitewne, od płonących stosów po przepych burgundzkich bankietów

– autor przybliży historię dynastii, która potrafi- ła równie skutecznie prowadzić wojny, jak i otaczać opieką mistrzów malarstwa. To w ich czasach rozkwit- ła sztuka Jana van Eycka i Rogiera van der Weydena, a europejska polityka przypominała bardziej roz- grywki rodem z „Gry o tron” niż stonowane szkolne podręczniki. Van Loo pisze lekko, z pasją i humorem, przypominając, że średniowiecze i czasy nowożytne miały swoje mroki, ale i blask godny legend.



■ Siddhartha
Mukherjee
**PIEŚŃ
KOMÓREK.
NOWA EPOKA
MEDYCYNY**
tłum. Jan
Dzierżgowski,
Wyd. Czarne

Klucz do naszego zdrowia leży w komórkach

WYOBRAŹCIE SOBIE ŚWIAT, w którym lekarze nie tyl- ko przepisują tabletki czy operują chore organy, ale modyfikują nasze własne komórki, by leczyły ciało od środka. Brzmi jak science fiction? Siddhartha Mu- kherjee, onkolog i pisarz naukowy udowadnia, że to terazniejszość. Prowadzi nas od pionierskich ob-

serwacji komórek pod prymitywnym mikroskopem aż do nowoczesnych laboratoriów, gdzie naukowcy programują limfocyty T do zwalczania nowotwo- rów, a komórki macierzyste pomagają organizmom regenerować się samodzielnie. Snując opowieści o przełomowych badaniach i osobistych doświad- czeniach z pacjentami, autor z chirurgiczną precyzją i literackim zacięciem pokazuje, jak biologia komór- kowa zmienia oblicze medycyny.



■ Suzie Sheehy
**KWINTESENCJA
WSZYSTKIEGO.
DWANAŚCIE
EKSPERYMENTÓW,
KTÓRE ZMIENIŁY
NASZ ŚWIAT**
tłum.

Tomasz Lanczewski,
Wyd. Zysk i S-ka

Ukryte siły i sekretne życie cząstek

CZY PROTON jest milion milionów razy mniejszy od ziarenka piasku? Jak przypadkowe odkrycia i eks- perymenty w fizyce wpłynęły na nasze codzienne życie? Suzie Sheehy, fizyczka i popularyzatorka nauki, zabiera czytelników w pasjonującą podróż przez dwanaście kluczowych eksperymentów, któ-

re zrewolucjonizowały nasz świat – od odkrycia promieniowania rentgenowskiego po współczesne akceleratorzy cząstek. Pokazuje, jak nauka, napędzana ciekawością i często prowadząca do nieoczekiwanych rezultatów, zmieniła nasze rozumienie rzeczywistości. To książka nie tylko dla tych, którzy chcą dowiedzieć się, jak działają siły rządzące wszech- światem, ale i dla tych, których interesuje historia nauki i którzy cenią sobie dobrą opowieść.

Mądra Książka Roku 2024 – dla dzieci



■ Adam Mirek,
Katarzyna Ceraży
(ilustracje)
GLUTOLOGIA.
JAK SIĘ NIE DAĆ
MIKROPASKUDOM,
WSTRĘTNYM
ROBALOM
I PODSTĘPNYM
CHOROBYM
Znak Emotikon

Czy można zaprzyjaźnić się z zarazkami

Towarzyszą dzieciom od wczesnego niemowlęstwa, nie opuszczają ich przez lata przedszkolne i szkolne. A i po okresie dojrzewania nie dają o sobie zapomnieć. Gluty, bo o nich właśnie mowa, to nieodłączny

składnik dzieciństwa. Jak się chronić przed nimi oraz wywołującymi je schorzeniami? Jak zadbać o zdrowie i nie dać się chorobom, również tym cywilizacyjnym? Aby się tego dowiedzieć, wystarczy zostać mistrzem glutologii – monotypowej dyscypliny naukowej stworzonej przez autora książki, Adama Mirka.



■ Boguś Janiszewski,
Agnieszka Jankowiak-Maik,
Max Skorwider
(ilustracje),
SKĄD SIĘ WZIĘŁA
POLSKA?
Wyd. Agora
dla dzieci

Ale historia! Polska opowiedziana na nowo

JAK ZAŁOŻYĆ POLSKĘ? Zamiast wymyślać wszystko od nowa, można się zainspirować „Listą to do”, którą ktoś już zaplanował i zrealizował. Trzy przykładowe pozycje to: wprowadzić chrześcijaństwo, mimo że poza

nie chce, spłodzić potomka, żeby ktoś ten cały biznes kiedyś odziedziczył, podlizywać się cesarzowi i papieżowi. Czy to trudne zadanie, na co komu państwo i skąd w ogóle wziąć się nasz kraj – na te wszystkie pytania odpowiada „Skąd się wzięła Polska?”, zabawna lektura z elementami komiksu dla nieco starszych dzieci.



■ Róża Hajkuś,
Paweł Gierliński
(ilustracje)
CO SIĘ ZDARZA
U LEKARZA
Wyd. Sensus

Najważniejsze pytania małych pacjentów

PO CO LEKARZ daje zastrzyki zdrowym dzieciom? Dlaczego praca medyka przypomina dochodzenie detektywistyczne? Czy zagłębienie do gardła musi być takie nieprzyjemne? Szkoda, że nie można tych wszystkich pytań po prostu zadać pediatrze

podczas wizyty. Zaraz, zaraz, a może jednak jest to możliwe? Wystarczy sięgnąć po książkę „Co się zdarza u lekarza”. Nie tylko została ona napisana przez lekarkę, ale także ma postać kilkudziesięciostronicowego dialogu, w którym dzieci zadają nurtujące je pytania i dostają wyczerpujące i przystępnie sformułowane odpowiedzi.



■ Łukasz Lamża,
Paweł Mildner
(ilustracje)
NIE MA
GŁUPICH PYTAŃ!
Wyd. Wilga

W każdym wieku można zostać naukowcem

Co właściwie wydaje dźwięk „pstryk”, kiedy pstrykamy? Czy wilki potrafią aportować? Jak pachnie coś, czego nie ma? Żadne z tych pytań nie jest głupie, a za to każde – intrygujące. Podobnie jak inne zagadnienia poruszone w książce „Nie ma głupich py-

tań!”. I choć tego typu zbiorów ciekawostek jest na rynku wydawniczym całe mnóstwo, ta pozycja wyróżnia się na ich tle. Nie tylko przedstawia wiedzę, ale też sposób dochodzenia do niej. Czytelnicy zgłębiający tę lekturę będą stawiać hipotezy, przeprowadzać eksperymenty myślowe lub śledzić przebieg prawdziwych doświadczeń, a na końcu dochodzić do konkluzji.



■ Agnieszka Graclik,
Joanna Czarnicka
(ilustracje)
DZIKI PORADNIK
GADANIA.
MEGAPOPCJA
WIEDZY
O ZWIERZĘTACH,
Wyd. Wilga

Co robią zwierzęta, gdy zapomną języka w gębie?

Czy zwierzęta potrafią powiedzieć „dzień dobry”, „do widzenia”, „kocham cię” albo „potrzebuję teraz chwili dla siebie”? Oczywiście, że tak! Ale robią to na różne sposoby, nie zawsze za pomocą komunikacji dźwiękowej. Czasem porozumiewają się ze sobą

za pomocą tańca, konstrukcji z patyków, mimiki, a nawet... moczu. Tylko jak się potapać w tych wszystkich zawałaniach i przekazach? Najlepiej z międzygatunkowymi podręcznymi rozmówkami, czyli z książką „Dziki poradnik gadania”, omawiającym bogactwo sposobów komunikowania się zwierząt.

© Opracowanie KAMIL KOPIJ,
MARTA ALICJA TRZECIAK

WSZECHŚWIAT NIE ZNA GRANIC



MATERIAŁ WSPÓŁWYDAWCY



My też - z twoim wsparciem.
Dołącz do nas na Patronite.



Copernicus
Center



PATRONITE

ORGANIZATORZY:



PATRONAT HONOROWY:



MIASTO GOSPODARZ:



PRZY WSPARCIU:



PARTNERZY:



PARTNERZY MEDIALNI:

