ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
swiatnauki.pl • projektpulsar.pl

SCIENTIFIC AMERICAN

Maj 2026 nr 5 (417)
Cena 18 zł 99 gr (w tym 8% VAT)

Neurobiologia moralności

Społeczne życie mitochondriów

Testosteron dla kobiet?

Kosmiczna zagadka

Galaktyki karłowate bez ciemnej materii

POLIAMORIA
Wszystko, co chcielibyście wiedzieć, ale baliście się zapytać

ŚWIAT NAUKI 05/2026
INDEKS 378194
ISSN 0867-6380
9 770867 638609 05>

Pulsar – serwis popularnonaukowy POLITYKI

POPULARYZATOR NAUKI 2024 i 2025

projektpulsar.pl

Wszystko, co warto wiedzieć o nauce:

- **naukowe newsy** – najważniejsze odkrycia, najnowsze wyniki badań
- artykuły naukowe z bieżących wydań **„Polityki”**
- aktualne wydania **„Wiedzy i Życia”** – pisma, które od ponad 100 lat przybliża zdobycze nauki i techniki
- aktualne wydania **„Świata Nauki”** – polskiej edycji renomowanego pisma „Scientific American”
- bogate **archiwum tekstów** najlepszych dziennikarzy naukowych oraz ekspertów i badaczy w swoich specjalizacjach

...i jeszcze więcej:

- recenzje najgorętszych książek popularnonaukowych
- cotygodniowy newsletter Pulsara
- podkasty **„Pulsar nadaje”** – już ponad 170 rozmów z najciekawszymi polskimi naukowcami

PAWEŁ SIKORSKI:
Wirusy celowo zakładają czapki

DOROTA ROSIŃSKA, MAREK SZCZEPAŃCZYK:
Chcemy sięgnąć początków Wszechświata

pulsar

KATARZYNA SZNAJD-WERON:
O ruchach ciał społecznych

Zaprenumeruj nas:
projektpulsar.pl

eprasa.pl fa61415544

POLSKA EDYCJA
ŚWIAT NAUKI
SCIENTIFIC AMERICAN

MAJ 2026
NUMER 5 (417)

ASTROFIZYKA
32 GALAKTYCZNA TAJEMNICA
Galaktyki karłowate bez ciemnej materii to wielka kosmiczna zagadka.
MARIA LUÍSA BUZZO

BIOLOGIA
40 SPOŁECZNE ŻYCIE MITOCHONDRIÓW
Jeśli te centra energetyczne przetrwają, my również.
MARTIN PICARD

GEOLOGIA
48 CZY KAPSUŁA CZASU MOŻE WYGRAĆ Z GEOLOGIĄ?
Osobliwy, lecz dający do myślenia eksperyment myślowy dotyczący odległej przyszłości, tektoniki płyt, erozji i powolnego zamierania Słońca.
PETER BRANNEN

PSYCHOLOGIA
56 NEUROBIOLOGIA MORALNOŚCI
Jeden nieetyczny uczynek pociąga za sobą kolejny – ale podobnie jest z wykazaniem się moralną odwagą.
ELIZABETH SVOBODA

PSYCHOLOGIA
64 WSZYSTKO, CO CHCIELIBYŚCIE WIEDZIEĆ O POLIAMORII (ALE BALIŚCIE SIĘ ZAPYTAĆ)
Badania wskazują, że praktyka ta nie jest przelotną modą ani wygodną wymówką.
REBECCA J. LESTER

ILUSTRACJA JENNIFER N. R. SMITH

eprasa.pl fa61415544

ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
SCIENTIFIC AMERICAN

MAJ 2026
NUMER 5 (417)

6 SKANER
Krowie utensylia ◆ Zasypiające neurony ◆ Stymulująca grawitacja ◆ Wiem, ale nie powiem ◆ Galaktyczna śruba ◆ Bez znajomości słów ani rusz ◆ Lodowa różnorodność ◆ Wspomaganie strachu ◆ A może jednak grzyb? ◆ Zbyt głośne myśli

21 ZDROWIE
Terapia testosteronem dla kobiet?
LYDIA DENWORTH

22 MILITARIA
Nowe wojenne paliwo
SARAH SCOLES

24 WSZECHŚWIAT
W poszukiwaniu najdalszej galaktyki
PHIL PLAIT

26 TECHNIKA I BIZNES
Jak zarobić na prognozach kosmicznej pogody
SARAH SCOLES

30 Q&A
Niebezpieczne przekąski
LAUREN J. YOUNG

70 MATEMATKA
Paradoks 99% dokładności
JACK MURTAGH

72 UMYSŁ GIĘTKI
Drogi ku jedności
MAREK PENSZKO

75 SIŁA MYŚLI
Naukowe łaskotki
KONSTANTINA KILTENI

76 SZTUKA RODZICIELSTWA
Powiedz to!
DAVID CRESWELL

78 FAKTOGRAF
Zobaczyć spektrum
ALLISON PARSHALL

80 Z ARCHIWUM „SCIENTIFIC AMERICAN"
Egzotyczne świetliki ◆ Badajmy, nie fantazjujmy ◆ Świadectwo historii ◆ Jak użyźnić step ◆ Imponujący pochówek

24

Science Photo Library/Mark Garlick/Getty Images

27

Mcmaster Studio/Alamy

OKŁADKA

Niewidzialna ciemna materia, wszechobecna we Wszechświecie, uważana jest za kluczową dla utrzymywania galaktyk w całości. Jednak astronomowie odkryli kilka niezwykłych galaktyk, które zdają się całkowicie pozbawione ciemnej materii. Ich istnienie stanowi prawdziwie kosmiczną zagadkę.

Ilustracja Chad Hagen

Polska wersja okładki Jolanta Kotas

eprasa.pl fa61415544

PRENUMERATA „ŚWIATA NAUKI”

SCIENTIFIC AMERICAN

Prenumeruj druk

KUP TERAZ

Prenumerata roczna
189 zł

Prenumerata półroczna
99 zł

Polska edycja renomowanego amerykańskiego pisma „Scientific American” z bezpłatną dostawą do wybranego przez Ciebie InPost Paczkomat 24/7 lub pocztą wprost pod Twoje drzwi.

Prenumeruj druk i serwis Pulsar

KUP TERAZ

Prenumerata roczna
279 zł

Prenumerata półroczna
159 zł

Oprócz wydania drukowanego otrzymujesz wydanie cyfrowe „Świata Nauki” i „Wiedzy i Życia” w ramach dostępu do codziennego serwisu naukowego Pulsar.

Prenumeruj w pakiecie z „Wiedzą i Życiem”

KUP TERAZ

Prenumerata roczna
299 zł

Prenumerata półroczna
169 zł

Dwa pisma popularnonaukowe w klasycznej papierowej odsłonie. Co miesiąc 160 stron potężnej dawki wiedzy ze świata nauki.

Darmowa dostawa
co miesiąc pod wskazany adres

Gwarancja
stałej ceny

MASZ PYTANIA?

+48 22 336 75 60
(pon.-pt. w godz. 8:00–17:00)

prenumerata@swiatnauki.pl

---

sklep.polityka.pl

Zapraszamy na wygodne zakupy!
Dla siebie i bliskich. Kupuj dla szkoły, firmy, instytucji.

eprasa.pl fa61415544

ŚWIAT NAUKI POLSKA EDYCJA SCIENTIFIC AMERICAN

www.projektpulsar.pl

Prenumerata
www.sklep.polityka.pl/sn
e-mail: prenumerata@swiatnauki.pl
tel. 22 336 75 60

Redaktor naczelny
Elżbieta Wieteska
e-mail: e.wieteska@swiatnauki.pl
tel. 605 435 405

Kontakt z redakcją
redakcja@swiatnauki.pl

Korekta
Mariola Będkowska

Redakcja techniczna, skład i łamanie
Jolanta Kotas
e-mail: j.kotas@swiatnauki.pl

Wydawca
POLITYKA Sp. z o.o. SKA
ul. Słupecka 6, 02-309 Warszawa
tel. 22 451 61 33/34
www.polityka.pl; e-mail: polityka@polityka.pl

Prezes zarządu
Jerzy Baczyński

Dyrektor wydawniczy
Piotr Zmelonek
tel. 22 451 61 33/34

Biuro reklamy, kampanii i projektów specjalnych
Izabela Kowalczyk-Dudek, Dyrektor
Tel. 22 451 61 45, e-mail: reklama@polityka.pl

Dział Dystrybucji
Marcin Paśnicki, kierownik
e-mail: dystrybucja@polityka.pl

Kontakt w sprawie bezpieczeństwa produktu
gpsr@polityka.pl

Druk P/mint

Copyright © POLITYKA Sp. z o.o. SKA 2026

Wszelkie prawa zastrzeżone (łącznie z tłumaczeniem na języki obce). Żaden fragment niniejszego wydania nie może być wykorzystany w jakiejkolwiek formie – fotokopii, mikrofilmu czy innych reprodukcji – ani przekładany na język mechaniczny bez pisemnej zgody wydawcy. SCIENTIFIC AMERICAN jest zastrzeżoną nazwą handlową należącą do Scientific American, Inc. w Nowym Jorku i używaną przez firmę Polityka Sp. z o.o. SKA na podstawie umowy licencyjnej.

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor In Chief **David M. Ewalt**
Managing Editor **Jeanna Bryner**
Copy Director **Maria-Christina Keller**
Creative Director **Michael Mrak**
Chief Features Editor **Seth Fletcher**
Chief News Editor **Dean Visser**
Chief Opinion Editor **Megha Satyanarayana**

President **Kimberly Lau**
Publisher and Vice President **Jeremy A. Abbate**
Vice President, Product and Technology **Dan Benjamin**
Vice President, Commercial **Andrew Douglas**
Vice President, Content Services **Stephen Pinock**

Scientific American, 1 New York Plaza, Suite 4600, New York, NY 10004-1562

Szanowni Państwo,

okładkowy artykuł bieżącego numeru (*s. 32*) to najlepszy dowód, jak ciekawa może być nauka. Astrofizycy cały czas głowią się, czym może być ciemna materia, na której istnienie mają niezbite dowody (bo coś musi spajać galaktyki) – a tu niespodzianka: odkryto galaktyki (karłowate), w których ciemnej materii z pewnością brak. Pesymiści powiedzą, że dotychczasowa koncepcja się nie sprawdza, a optymiści zobaczą szansę na nowe odkrycia.

„Dwie rzeczy napełniają umysł coraz to nowym i wzrastającym zdumieniem i czcią, im częściej i trwalej się nad nimi zastanawiamy: niebo gwiaździste nade mną i prawo moralne we mnie." Wszyscy znamy ten cytat i z pierwszą częścią się zgadzamy. Gorzej z ciągiem dalszym. A więc co o moralności mówi nauka? (*s. 56*) Niestety, bardziej pasuje tu powiedzenie „od łyczka do rzemyczka" (choć z mądrościami ludowymi też trzeba bardzo uważać, bo bez większego trudu da się znaleźć przysłowia o skrajnie przeciwnej wymowie). Zaczyna się od drobnych przekrętów, a gdy pozostają bezkarne, skala rośnie. Na pocieszenie można powiedzieć, że podobnie jest z dobrymi uczynkami, od których też można się uzależnić. Wniosek? Warto mieć świadomość tych mechanizmów.

Teraz temat nieco zbliżony – poliamoria, w uproszczeniu niemonogamiczność (*s. 64*). Budzi gorące emocje, ale naukowcy je studzą, twierdząc, że na taki styl życia decydują się zupełnie zwykli ludzie. Oczywiście, kluczem do zadowolenia z wieloosobowego związku jest zgoda wszystkich zainteresowanych. Zawsze jednak pozostaje niepokój (to już wyłącznie moje zdanie, a nie wnioski z badań), że to zadowolenie niektórych zaangażowanych w poliamorię osób jest nieco udawane.

Po tematach związanych z psyche przechodzimy do czystej biologii. Mitochondria – elektrownie organizmu, tak zwykle się o nich myśli (*s. 40*). Określenie „elektrownia" sugeruje coś dość schematycznego w działaniu, a mitochondria, co zaskakujące, są „społecznością", i to z całkiem ciekawą organizacją i systemami wzajemnej pomocy. To niesłychanie ważne badania, bo dotyczą energii, a bez energii nasz organizm funkcjonował nie będzie, podobnie jak gospodarka.

Na koniec polecamy artykuł z gatunku „co by było, gdyby" poświęcony rozważaniom o tym, gdzie należałoby umieścić „kapsułę czasu" z przekazem dla przyszłych pokoleń (jakimkolwiek), tak by miała szansę przetrwać najprzeróżniejsze zachodzące na Ziemi procesy geologiczne (*s. 48*). Wypowiedzi geologów uświadamiają, jak zmienna jest skorupa ziemska w dłuższej skali czasowej.

Miłej lektury!

Elżbieta Wieteska

Zapraszamy na nasz portal popularnonaukowy **pulsar** (**www.projektpulsar.pl**). Znajdą w nim Państwo dużą porcję naukowych aktualności (w tym tłumaczenia tekstów ze strony internetowej „Scientific American"), pogłębionych artykułów, ciekawych rozmów z naukowcami, podcastów, a także bieżące i archiwalne wydania „Świata Nauki" oraz „Wiedzy i Życia".

TŁUMACZE, AUTORZY I KONSULTANCI BIEŻĄCEGO NUMERU

dr Michał Czerny
dr n. med. Ewa Grabowska
Andrzej Hołdys
mgr Marek Krośniak
Biblioteka Jagiellońska
Marek Penszko
dr Marcin Ryszkiewicz

Za treść ogłoszeń redakcja ponosi odpowiedzialność w granicach wskazanych w ust. 2 art. 42 ustawy Prawo prasowe.
Informujemy, że przesłanie listu do redakcji jest równoznaczne z udzieleniem zgody na jego publikację w czasopiśmie wraz z podaniem imienia i nazwiska jego autora, chyba że autor zastrzegł wyraźnie anonimową publikację.
Sprzedaż aktualnych i archiwalnych numerów czasopisma po cenie innej niż wydrukowana na okładce jest działaniem na szkodę wydawcy i skutkuje odpowiedzialnością sądową.

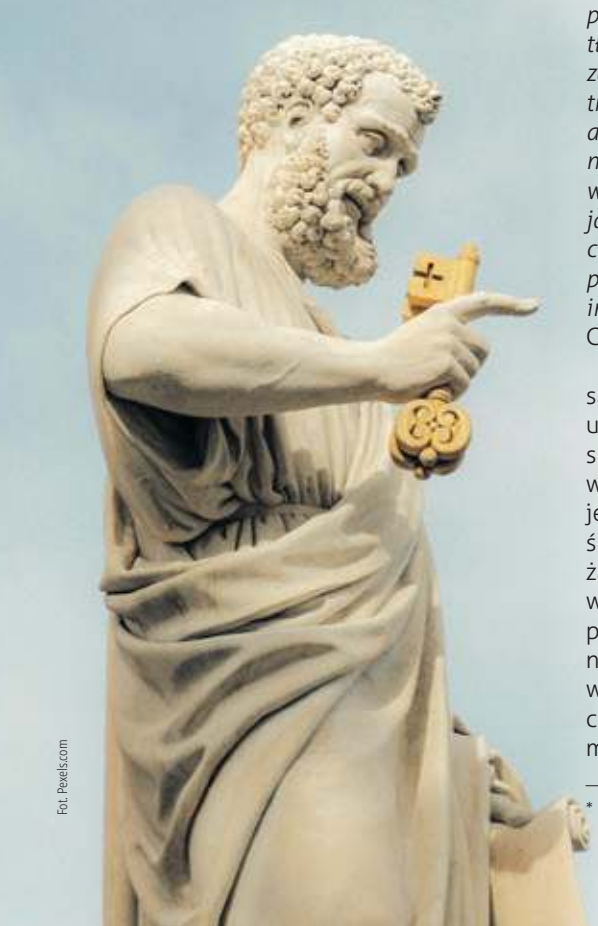
eprasa.pl fa61415544

Jasność wyjaśniania
– czyli w poszukiwaniu mądrości

Jak stać się mądrym? Być może kluczem nie jest tylko nasza wiedza, ale też sposób, w jaki ją przekazujemy.

Świat jest dziś tak złożony i przeładowany informacjami, że nawet naukowcy nie są w stanie wiedzieć wszystkiego o wszystkim. Możliwe jednak, że mądrość jest w zasięgu każdego z nas. Sęk w tym, by nie szukać jej w zaopatrzonych w modele generatywnej sztucznej inteligencji smartfonach, ale poznawać sposoby, jakimi możemy wyjaśniać skomplikowane kwestie.

Nietrudno wyobrazić sobie sytuację, gdy musimy wyjaśnić komuś – na przykład dziecku – problem, którego sami nie do końca rozumiemy. Badacze z Wydziału Filozofii Uniwersytetu Warszawskiego i Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych Uniwersytetu Jagiellońskiego, dr Grzegorz Gaszczyk i dr Jędrzej Grodniewicz, opracowali koncepcję trzech trybów wyjaśniania*. Pokazuje ona, że w procesie przekazywania rozumienia samo elementarne zrozumienie tematu przez osobę wyjaśniającą nie wystarcza, by skutecznie przekazać je innym.



Fot. Pexels.com

Tryby

Wyjaśnienie minimalne wymaga zrozumienia problemu po stronie wyjaśniającego, aby skutecznie przekazać rozumienie. *Wyjaśnienie dostosowane* jest bardziej wymagające, ponieważ zakłada, że wyjaśniający świadomie ukształtuje swoje wytłumaczenie do potrzeb odbiorcy i sytuacji, w jakiej się znajduje. I wreszcie, najbardziej złożone, *wyjaśnienie interaktywne,* a więc takie, w przypadku którego następuje interakcja między nadawcą a odbiorcą informacji, zaś osoba wyjaśniająca na bieżąco monitoruje postępy adresata, jednocześnie umożliwiając mu branie udziału w procesie nabywania rozumienia.

– W codziennym życiu wszyscy nieustannie przełączamy się między tymi trybami: wysyłamy przyjacielowi przepis na ciasto (wyjaśnienie minimalne), tłumaczymy rodzicom przez telefon, jak zainstalować aplikację, przewidując ich trudności (wyjaśnienie dostosowane), albo tłumaczymy dziecku jakieś zagadnienie (np. fotosyntezę), siedząc obok, wyjaśniając dany materiał i dostosowując poziom trudności, a także na bieżąco sprawdzając jego zrozumienie, np. poprzez zadawanie pytań (wyjaśnienie interaktywne) – tłumaczy dr Grzegorz Gaszczyk z Wydziału Filozofii UW.

Propozycja filozofów jest uniwersalna. Nie musimy pracować jako nauczyciele ani być rodzicami ciekawskich dzieci, aby znaleźć się w sytuacji wymagającej od nas świadomego przyjęcia jednego z trzech trybów wyjaśniania. Ponadto badacze wykazują, że żadne z wyjaśnień nie jest lepsze samo w sobie. Co z tego, że ktoś ze stopniem profesorskim i dekadami doświadczenia wyłoży bez zająknięcia zniuansowane zagadnienia z dziedziny fizyki cząstek elementarnych... jeżeli będzie mówił do licealistów?

– Najlepsze wyjaśnienie to nie wyliczenie faktów, ale podanie informacji, które są niezbędne w danym kontekście. Wyjaśnienie tego samego zjawiska dziecku, uczniowi w szkole, studentowi, doktorantowi i profesorowi powinno być radykalnie inne. Jednocześnie każda z tych osób jest w stanie nabyć jakieś rozumienie (nawet bardzo podstawowe). Dobre wyjaśnienie nie jest „wyczerpujące" albo „pełne", ale takie, które nie przeciąży odbiorcy i da szansę na nabycie rozumienia – podkreśla dr Gaszczyk. – *Przeładowanie informacyjne i hiperspecjalizacja sprawiają, że dostosowywanie wyjaśnień do odbiorców i ich potrzeb staje się jeszcze bardziej istotne* – dodaje filozof.

Poza AI

Autorzy podkreślają, że główna różnica między wyjaśnieniem dostosowanym a interaktywnym polega na tym, czy potrafimy rozpoznać, co druga osoba już rozumie, a czego jeszcze nie – i odpowiednio na to reagować. Ta zdolność pozostaje niedostępna chociażby dla sztucznej inteligencji.

– W artykule opisujemy to jako posiadanie modelu rozumienia odbiorcy – coś, co, jak argumentujemy, posiadają dobrzy wyjaśniający. Do budowania takiego modelu niezbędna jest teoria umysłu, której jak się obecnie wydaje modele AI nie posiadają. Problem z wyjaśnieniami AI często polega na tym, że oczekujemy od nich więcej (wyjaśnienie interaktywne) niż możemy dostać (wyjaśnienie dostosowane) – podsumowuje naukowiec.

Również dlatego, przynajmniej na chwilę obecną, propozycja badaczy z UW i UJ, oprócz tego, że niesie określoną wartość poznawczą, ma przede wszystkim wartość społeczną. Przypomina nam o tym, że edukacja – zarówno wyższa i niższa, jak i ta odbywająca się poza murami Akademii, w domowym zaciszu – to dużo więcej niż tylko transfer informacji. I że w dzisiejszych czasach, być może bardziej niż kiedykolwiek, powinniśmy cenić kompetentnych wyjaśniających. A w miarę możliwości dążyć do tego, aby samemu się takowymi stać.

UNIWERSYTET WARSZAWSKI | SERWIS NAUKOWY

Artykuł jest częścią cyklu poświęconego badaniom realizowanym na Uniwersytecie Warszawskim.

* https://academic.oup.com/pq/advance-article/doi/10.1093/pq/pqaf095/8300926

eprasa.pl fa61415544

SKANER

ETOLOGIA

Niedoceniane bydło

Krowa o imieniu Veronika pokazuje, jak korzysta ze szczotki

TO WIADOMOŚĆ, KTÓRA Z PEWNOŚCIĄ ucieszy fanów pewnego komiksowego rysunku Gary'ego Larsona, który z czasem stał się memem. Na obrazku z serii *The Far Side* z 1982 roku Larson przedstawił krowę stojącą za stołem, na którym leżą niekształtne przedmioty. Ilustrację opatrzył lakonicznym podpisem: „cow tools" („krowie narzędzia").

Teraz jednak okazuje się, że pewna oswojona krowa Veronika nie tylko posługuje się narzędziem, ale robi to w zaskakująco przemyślny sposób. Dzięki tej obserwacji znów wydłużyła się lista zwierząt, które potrafią używać przedmiotów do osiągnięcia celu. I świadczy ona także, że nie doceniamy zdolności poznawczych zwierząt hodowlanych.

Historia zaczęła się ponad dekadę temu w małym austriackim miasteczku Nötsch im Gailtal, gdzie piekarz i rolnik prowadzący gospodarstwo ekologiczne, Witgar Wiegele, zauważył, że należąca do jego rodziny krowa rasy Braunvieh (Brown Swiss), Veronika, podnosi patyki i się nimi drapie. Gdy biolog Alice M. I. Auersperg z Veterinärmedizinische Universität Wien obejrzała nagranie wideo, nie miała wątpliwości: „Od razu było jasne, że to nie przypadek. To jest znaczący przykład użycia narzędzia u gatunku, który rzadko bada się z perspektywy poznawczej".

Auersperg oraz jej współpracownik Antonio J. Osuna-Mascaró, odbywający staż podoktorski w tej samej instytucji, odwiedzili Veronikę i jej ludzką rodzinę, która powitała naukowców świeżo upieczonym chlebem i strudlem. „Veronika jest bardzo przyjazna – mówi Osuna-Mascaró, który obserwował ją przez całe lato. – Jest też mocno przywiązana do Witgara". Witgar nie tylko wypieka i sprzedaje chleb, ale także rozwozi go po okolicy. Ciekawe było obserwować, jak Veronika z uwagą śledzi każdy przejeżdżający samochód i próbuje zgadnąć, czy kierowcą jest Witgar. Jeśli uzna, że to on, z całych sił muczy".

Badacze przeanalizowali sposób, w jaki Veronika używała jednego konkretnego narzędzia – szczotki do szorowania na długim trzonku. Obserwując zachowanie zwierzęcia w dziesiątkach prób, stwierdzili, że przesuwała szczotkę tam i z powrotem wyłącznie po tylnej części ciała, obejmującej zad, lędźwie, wymiona oraz brzuch – obszary, do których w inny sposób trudno byłoby jej dotrzeć. Precyzyjnie manipulowała szczotką za pomocą pyska: używała języka, by ją podnieść, a zębów, by utrzymać w miejscu. Część z włosiem kierowała na grubsze, mniej wrażliwe partie ciała, natomiast gładki koniec trzonka na delikatniejsze obszary. Intensywniej szorowała miejsca o twardszej skórze, a bardziej wrażliwe traktowała łagodniej.

Dla przypadkowego obserwatora używanie szczotki do drapania się może nie wydawać się przejawem szczególnej inteligencji.

Veronika używa włosia szczotki do drapania górnej części swojego ciała, a gładkiego kijka do wrażliwszych jego miejsc, co świadczy, że potrafi korzystać z narzędzia w sposób zaskakująco zaawansowany.

Antonio J. Osuna-Mascaró

eprasa.pl fa61415544

Antonio J. Osuna-Mascaró

eprasa.pl fa61415544

Jednak sposób, w jaki Veronika zmieniała chwyt szczotki i jaki nią manipulowała, przewidując efekt, przywodzi na myśl zachowania związane z użyciem narzędzi u słynących z inteligencji naczelnych i krukowatych (m.in. kruki, wrony, sroki i sójki). Co więcej, fakt, że wykorzystywała dwa końce szczotki do różnych celów, „to przykład użycia narzędzia wielofunkcyjnego – wykorzystywania odmiennych właściwości jednego obiektu do różnych funkcji" – piszą Osuna-Mascaró i Auersperg w artykule opublikowanym w „Current Biology". U zwierząt taki rodzaj wielofunkcyjnego użycia narzędzi był dotąd systematycznie dokumentowany jedynie u szympansów.

Zdolności tego typu mogą być wśród bydła bardziej rozpowszechnione. „Nie uważamy, że Veronika jest Einsteinem wśród krów" – mówi Osuna-Mascaró. W połączeniu z anegdotycznymi doniesieniami o używaniu narzędzi przez bydło w Azji Południowej wyniki badania świadczą, że zdolność do rozwiązywania złożonych problemów – w tym używania narzędzi – może mieć ewolucyjne korzenie, ale ujawnia się tylko w sprzyjających warunkach.

Jako zwierzę towarzyszące ludziom Veronika, obecnie 13-letnia, długo żyła w stymulującym środowisku. Nötsch im Gailtal to „idylliczne miejsce, najlepsze, jakie można sobie wyobrazić dla austriackiej krowy – jak żywcem przeniesione z filmu *The Sound of Music* – mówi Osuna-Mascaró. Jego zdaniem gospodarze przyczynili się do rozwoju zdolności Veroniki, „zapewniając szczególne warunki, które umożliwiły jej rozwój". Choć nauczyła się korzystać z narzędzi samodzielnie – zaczynając od gałęzi spadających z drzew – Wiegele później podsuwał jej kije i grabie, które pozwoliły jej doskonalić technikę drapania. Większość zwierząt hodowlanych żyje znacznie krócej i spędza życie w ubogich w bodźce środowiskach, takich jak fermy przemysłowe, bez dostępu do przedmiotów, którymi mogłyby manipulować.

„To fantastyczne! Brawa dla autorów i brawa dla Veroniki" – mówi prymatolożka Jill Pruetz z Texas State University, która nie brała udziału w badaniu. Pruetz bada wpływ czynników środowiskowych na zachowanie szympansów używających narzędzi. Sama ma też dwie krowy-towarzyszki – Claire i Edith. „Nie jestem całkowicie zaskoczona, że bydło potrafi używać narzędzi – po około siedmiu latach życia w bliskim kontakcie z moimi dwiema krowami mam znacznie większy szacunek dla ich inteligencji – mówi. – To, co uderza mnie w sposobie, w jaki Veronika używa narzędzi, to precyzja oraz umiejętność zmiany końców narzędzia, by trafić nim w konkretne miejsce".

Nowa publikacja, dodaje Pruetz, pokazuje, jak ważne dla dobrostanu bydła jest zapewnianie mu stymulującego środowiska. „Na świecie mamy około 1,5 mld sztuk bydła, a ludzie żyją z nimi od co najmniej 10 tys. lat. To szokujące, że odkrywamy takie rzeczy dopiero teraz – mówi Osuna-Mascaró. – Wiemy więcej o używaniu narzędzi przez egzotyczne zwierzęta na odległych wyspach niż o krowach, które są tuż obok. Ale zaczynamy uważnie je obserwować i – przynajmniej niektórym z nich – zapewniać warunki, na jakie zasługują: dawać możliwość zabawy, interakcji z przedmiotami i samodzielnego odkrywania, jak z nich korzystać." *Kate Wong*

ETOLOGIA

Co śni się meduzom?

Aby spać, podobnie jak człowiek, nie trzeba mieć mózgu

MEDUZY I UKWIAŁY to niezwykłe stworzenia: wyewoluowały bez mózgu i – jak naukowcy odkryli w ciągu ostatnich kilku lat – nie potrzebują go, by spać. Zwierzęta te mają jednak neurony, czyli komórki nerwowe, które wydają się połączone w sieć rozciągającą się na całe ich ciało. Nowe badanie pokazuje, że sposób, w jaki te organizmy śpią, jest zaskakująco podobny do ludzkiego – co wskazuje, że sen przypominający ludzki mógł pojawić się jeszcze przed powstaniem nawet najbardziej prymitywnych mózgów.

Meduzy nie mają mózgu, lecz sieć neuronów obejmującą całe ciało, a mimo to zasypiają podobnie jak ludzie.

Humberto Ramirez/Getty Images

Wyniki, opublikowane w czasopiśmie „Nature Communications", rzucają również światło na jedną z najważniejszych zagadek nauki: dlaczego zwierzęta w ogóle śpią? Badanie wzmacnia wcześniejsze dowody – zarówno z badań na zwierzętach, jak z udziałem ludzi – że sen zapewnia swego rodzaju odpoczynek potrzebny do regeneracji mózgu i ciała, pomagając naprawiać uszkodzenia DNA i utrzymywać zdrowie neuronów.

„To potwierdza, że sen daje możliwość przeprowadzenia kluczowych procesów porządkowych w organizmie" – mówi Philippe Mourrain, profesor nadzwyczajny psychiatrii i nauk behawioralnych na Stanford University, który bada sen i nie brał udziału w nowym badaniu.

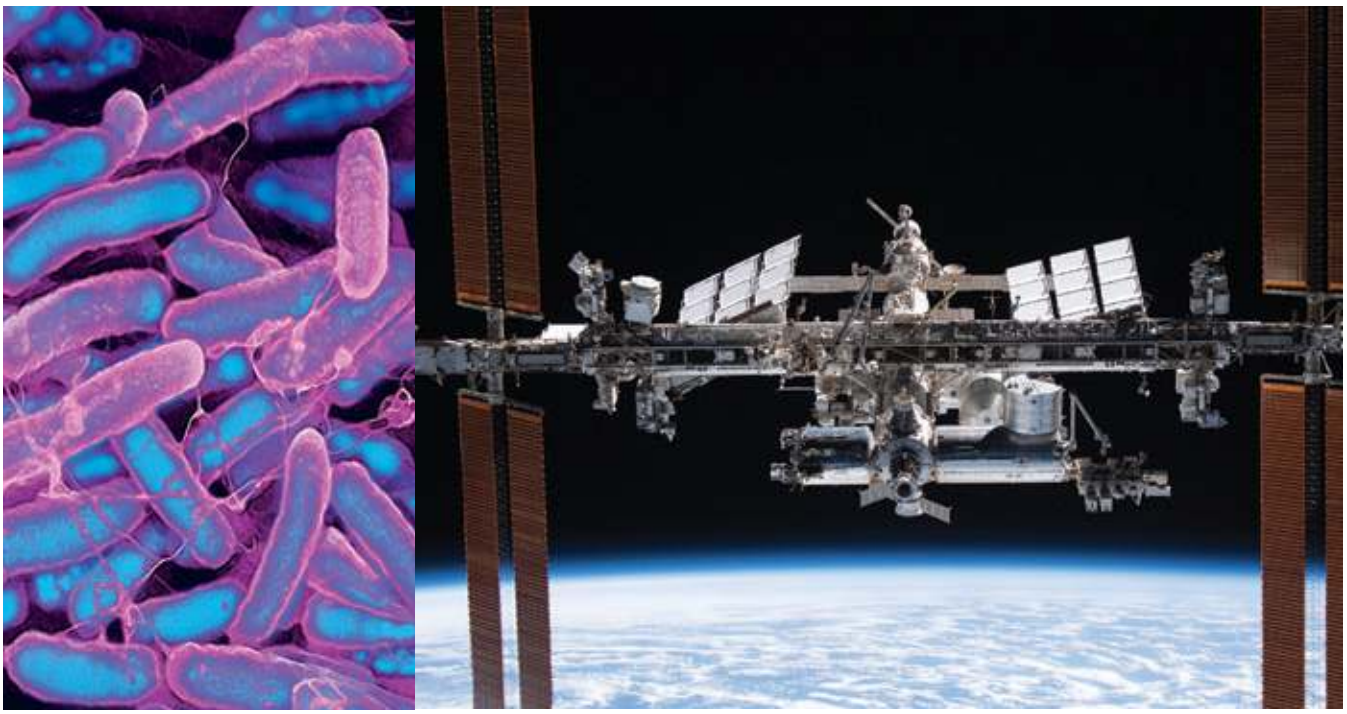
Jak podkreśla Mourrain, wyniki pokazują, że ta funkcja snu została zachowana w toku ewolucji – od zwierząt o bardzo złożonych mózgach, takich jak naczelne, po organizmy, które mózgu nie mają, jak meduzy i inne parzydełkowce.

Naukowcy badali jeden gatunek meduzy i jeden gatunek ukwiała, odkrywając, że meduza wchodzi w stan przypominający sen na około osiem godzin dziennie – zazwyczaj w nocy, według rytmu dobrze znanego ludziom. Analizowany ukwiał również „wyłącza się" na około jedną trzecią doby.

Co ciekawe, badane zwierzęta spały więcej, gdy naukowcy uszkadzali ich neurony – co, zdaniem Mourraina, dostarcza wskazówek na temat tego, co właściwie sprawia, że zasypiamy.

Claire Cameron

eprasa.pl fa61415544



Bakterie *Escherichia coli* zmierzyły się z wirusami na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej.

Cavallini James/BSIP/Universal Images Group/Getty Images (z lewej); NASA (z prawej)

MIKROBIOLOGIA

Wojny mikrobów

Warunki panujące podczas lotu kosmicznego zwiększają zdolność wirusów do zakażania bakterii

BAKTERIE ORAZ ATAKUJĄCE JE WIRUSY toczą ze sobą nieustanną walkę. Ich śmiertelne starcia zmuszają obie te kategorie mikroorganizmów do wykształcania nowych cech pozwalających sprostać wyzwaniom każdego środowiska, w którym przyszło im żyć – od ludzkiego przewodu pokarmowego po kominy hydrotermalne na dnie morskim, a nawet surowe warunki panujące w przestrzeni kosmicznej.

Aby sprawdzić wpływ warunków mikrograwitacji na niektóre mikroorganizmy, naukowcy wysłali wirusy zakażające bakterie, zwane bakteriofagami, na Międzynarodową Stację Kosmiczną i odkryli, że przystosowały się one w sposób, który sprawił, że stały się jeszcze efektywniejsze.

W eksperymencie, opisanym szczegółowo w czasopiśmie „PLOS Biology", zespół inkubował próbki powszechnie występującego laboratoryjnego bakteriofaga T7 wraz z jego przeciwnikiem, bakterią *Escherichia coli*, przez różne okresy. Ten sam eksperyment przeprowadzono zarówno na Ziemi, jak i w kosmosie; wirusy hodowane w warunkach ziemskich zakażały bakterie w ciągu dwóch–czterech godzin, natomiast przełamanie obrony bakterii w kosmosie zajmowało ponad cztery godziny. Naukowcy sugerują, że zainfekowanie w warunkach orbitalnych wymagało więcej czasu, ponieważ mikrograwitacja okazała się nieznanym czynnikiem stresogennym, do którego obie kategorie mikroorganizmów musiały się adaptować.

Jednakże po przystosowaniu się do mikrograwitacji poprzez subtelne zmiany kształtu, wirusy stały się jeszcze bardziej efektywnymi zabójcami bakterii. „Prosty eksperyment z mikrograwitacją wskazuje te z mutacji, które znacznie silniej przeciwstawiają się patogenom" – mówi główny autor badania, Srivatsan Raman, inżynier chemik i biolog z University of Wisconsin–Madison.

Różnica między Ziemią a przestrzenią kosmiczną może wynikać z wydajności tworzenia się mieszaniny. „W warunkach normalnej grawitacji ruch płynów nieustannie miesza środowisko, zwiększając szanse na zetknięcie się wirusów i bakterii – wyjaśnia Ester Lázaro, astrobiolożka, która nie brała udziału w opisanych badaniach. – W warunkach mikrograwitacji to naturalne mieszanie się jest drastycznie ograniczone lub w ogóle do niego nie dochodzi". Aby nadrobić ów brak mieszania się, wirusy hodowane w warunkach słabej grawitacji uległy zmianom na poziomie genetycznym. Bakteriofagi nabyły mutacji nieznacznie zmieniających kształt i strukturę ich błon zewnętrznych, co pomagało im na przykład przyczepiać się do atakowanych bakterii.

Po powrocie na Ziemię wirusy umieszczono razem z innym szczepem *E. coli*, który jest odpowiedzialny za szczególnie uporczywe infekcje dróg moczowych i często wykazuję wysoką oporność na bakteriofagi. Okazało się, że wyewoluowane wirusy były w stanie zabić tę bakterię, co według Ramana jest „naprawdę wysoce obiecujące". Skoro ekspozycja tych atakujących bakterie wirusów na nowe stresogenne czynniki środowiskowe zwiększa moc ich działania, naukowcy mogą być w stanie stworzyć wersje wystarczająco skuteczne, aby wspomóc organizm w walce z bakteriami lekoopornymi.

„T7 to jeden z naszych ikonicznych organizmów modelowych, zatem o tym bakteriofagu wiedzieliśmy już naprawdę bardzo dużo – mówi Evelien Adriaenssens, badaczka z Quadram Institute w Anglii, która nie brała udziału w tych badaniach. – Wspaniale było zobaczyć, że wystarczyła zmiana środowiska, aby zdobyć zupełnie nową wiedzę". *K. R. Callaway*

eprasa.pl fa61415544

Rój 2182 trzęsień ziemi w Yellowstone National Park dostarczył kluczowych informacji na temat mikrobiologicznego życia.

Cheryl Ramalho/Getty Images

MIKROBIOLOGIA

Trzęsienie ziemi a życie

Wstrząsy w Yellowstone pobudzają rozwój żyjących pod ziemią drobnoustrojów

DZIĘKI SPECJALISTYCZNEJ APARATURZE, obecności superwulkanu i wąskiemu otworowi wiertniczemu o głębokości 30 pięter badacze wykazali, że trzęsienia ziemi wstrząsają nie tylko skałami – pobudzają także populacje drobnoustrojów żyjących pod ziemią.

Nawet do 30% organizmów na Ziemi nigdy nie dociera światło słoneczne – czerpią energię, „żywiąc się" wodorem powstającym w wyniku reakcji chemicznych między wodą a skałami. Trzęsienia ziemi powodują pękanie skał, tworząc nowe powierzchnie reakcji i zmieniając drogi przepływu wody, co zwiększa produkcję wodoru. W badaniu opublikowanym w czasopiśmie „PNAS Nexus" naukowcy śledzili wpływ takich wstrząsów na mikroorganizmy znajdujące się na dnie 100-metrowego odwiertu w Yellowstone National Park.

Badacze siedem razy w ciągu siedmiu miesięcy pokonali tam i z powrotem 10-godzinną trasę do tego miejsca. Pobierali próbki skał, rozpuszczonych gazów i mikroorganizmów, zmagając się z awariami sprzętu i problemami logistycznymi. Mieli jednak wyjątkowe szczęście: prowadzili pomiary w idealnym momencie – i miejscu – by uchwycić wzrost i spadek aktywności rzadkiego „roju" 2182 trzęsień ziemi. Yellowstone doświadcza wielu wstrząsów, ale tak silne roje pojawiają się zwykle co 5–10 lat, mówi główny autor badania, geomikrobiolog z Montana State University Eric Boyd.

Podczas roju ilość życia mikrobiologicznego wzrosła 6,5-krotnie, po czym spadła do normy, gdy wstrząsy ustały. Zwiększył się także poziom wodoru, a skład gatunkowy mikroorganizmów uległ zmianie. „Wszystkie elementy doskonale do siebie pasowały – mówi Boyd. – Zebraliśmy te dane i pomyśleliśmy, że to niesamowite!"

Wyniki mogą pomóc w poszukiwaniu życia pod powierzchnią innych planet. „Ekstrapolacja na inne planety i księżyce wskazuje, że życie podpowierzchniowe najłatwiej znaleźć w miejscach aktywnych sejsmicznie" – mówi Steven D'Hondt z University of Rhode Island, który nie uczestniczył w badaniach. „To wspaniałe studium" – dodaje.

Z kolei astrobiolożka Caroline Freissinet z francuskiego instytutu badawczego LATMOS uważa, że choć to znakomity wynik dla zrozumienia procesów zachodzących na Ziemi, raczej niewiele zmieni w poszukiwaniach życia na naszym najbliższym planetarnym sąsiedzie, Marsie, z powodu „jego piekielnych warunków podpowierzchniowych".

„Mars w przeszłości był bardziej wilgotny – mówi – ale co pozostałoby dziś z tej chwilowo zwiększonej aktywności, 4 mld lat później?"

Badanie w Yellowstone było, jak podkreśla Boyd, „naprawdę trudnym projektem, ale bardzo istotnym". „Nikt wcześniej tego nie zrobił". Obecnie pracuje nad opracowaniem automatycznego próbnika uruchamianego przez trzęsienia ziemi, który ma znacząco zwiększyć ilość zbieranych danych.

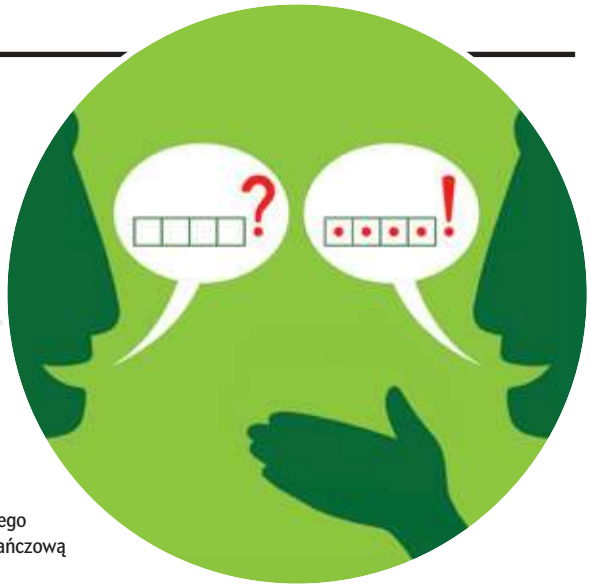
Damien Pine

eprasa.pl fa61415544

KRYPTOGRAFIA

Jak ukryć dowód

Efektywna wiedza zerowa przełamuje wieloletni kryptograficzny imposybilizm



W MATEMATYCE DOWODY można zapisać i udostępnić innym. W kryptografii, gdy chodzi o to, by nie ujawniać swoich tajemnic, to nie jest już tak proste – jednak nowe osiągnięcie znacząco zmniejsza tę lukę.

Dowody o zerowej wiedzy (zero-knowledge proofs) to coś, co najbardziej zbliża kryptografię do magii. [Po raz pierwszy tę koncepcję opisali w 1985 roku Shafi Goldwasser, Silvio Micali i Charles Rackoff w artykule zatytułowanym „The Knowledge Complexity of Interactive Proof-Systems".) Polega to na tym, że jedna osoba może przekonać drugą o prawdziwości jakiegoś faktu – na przykład że zna rozwiązanie łamigłówki sudoku – nie ujawniając przy tym żadnych informacji o samym rozwiązaniu. Takie dowody mogą pomóc w zdalnym uwierzytelnianiu tożsamości, realizowaniu transakcji bankowych online – a także budowaniu blockchainów czy uwierzytelnianiu urządzeń Internetu Rzeczy (Internet of Things, IoT).

Kryptografowie od dawna jednak wiedzą, że dowodów o zerowej wiedzy nie da się bezpiecznie zapisać jak typowego dowodu matematycznego. Zamiast tego osoba przedstawiająca dowód musi wejść w interakcję z tym, kogo chce przekonać. W rzadkich przypadkach może się też zdarzyć, że dowodzący przekona kogoś do czegoś nieprawdziwego (na przykład że sudoku ma rozwiązanie, choć w rzeczywistości go nie ma).

Informatyk Rahul Ilango zauważył, że istnieje rozbieżność między tym, jak definiuje się zerową wiedzę, a tym, jak się jej używa. Typowe dowody o zerowej wiedzy wymagają wykazania, jak zbudować tzw. symulator, który potrafi odtworzyć przebieg dowodu bez znajomości tajnego rozwiązania. Sam fakt istnienia takiego symulatora ma pokazywać, że proces dowodzenia nie ujawnia niczego o samym o rozwiązaniu.

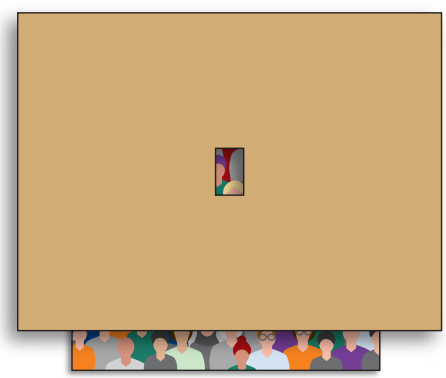
Ilango odkrył jednak, że w niektórych przypadkach wystarczy jedynie wykazać, iż nie da się wykluczyć istnienia symulatora. Wynik ten zaprezentował podczas IEEE Symposium on Foundations of Computer Science 2025 w Sydney.

Gdzie jest Charlie?

Aby zrozumieć, jak można wykazać, że rozwiązało się zagadkę, nie zdradzając rozwiązania, rozważmy następującą sytuację.

Zadanie polega na odnalezieniu Charliego na zdjęciu. Charlie ma na sobie pomarańczową koszulę, fioletową czapkę i okulary.

Alice przeszukuje fotografię i go znajduje. Chce udowodnić Bobowi, że odnalazła Charliego, nie ujawniając jego położenia. Bob wycina niewielki otwór w dużym kawałku kartonu i przekazuje go Alice.



Alice przykłada karton do zdjęcia w taki sposób, że w otworze widać wyłącznie Charliego, i pokazuje to Bobowi.

„Można sobie wyobrazić bardzo dziwną sytuację, w której system kryptograficzny jest niebezpieczny [i ujawnia coś o ukrytych w nim danych], ale niemożliwe jest udowodnienie, że jest niebezpieczny – mówi Ilango, związany z Institute for Advanced Study. – A to oznacza, że dla wszystkich praktycznych celów jest on w zasadzie bezpieczny".

Ponieważ nowe kryterium jest nieco łatwiejsze do spełnienia niż klasyczna zerowa wiedza, Ilango mógł zbudować protokoły, które nie wymagają interakcji między stronami i które uniemożliwiają dowodzącemu przekonanie innych za pomocą fałszywych odpowiedzi.

Konstruując nowy system dowodów, nazwany „efektywnie zerową wiedzą", Ilango sięgnął do idei matematyka Kurta Gödla z jego twierdzenia o niezupełności z 1931 roku, które w skrócie mówi, że wiele systemów aksjomatów zawiera twierdzenia, których nie da się w ich ramach ani udowodnić, ani obalić. Ilango wykazał, że może skonstruować system dowodów, w którym takie założenia – w tym zbiór aksjomatów znany jako ZFC [aksjomaty Zermelo-Fraenkla wraz z aksjomatem wyboru – przyp. red.], stanowiący fundament znacznej części matematyki – nie są w stanie obalić istnienia symulatora, nawet jeśli on w rzeczywistości nie istnieje.

Informatyk z University of California, Los Angeles, Amit Sahai, który nie brał udziału w tych badaniach, twierdzi, że to podejście już teraz okazuje się bardziej użyteczne, niż początkowo sądził. „To po prostu piękne – mówi Sahai. – Artykuł Ilango jest, moim zdaniem, najbardziej twórczą i doniosłą pracą w dziedzinie dowodów o zerowej wiedzy – przynajmniej w ostatniej dekadzie".

Peter Hall

Grafika Amanda Montañez; ilustracja Thomas Fuchs

eprasa.pl fa61415544

KOSMOLOGIA

Kosmiczny łańcuch

Setki galaktyk tworzą nieznaną dotąd olbrzymią rotującą strukturę

GDY ASTRONOMKA z University of Oxford Lyla Jung po raz pierwszy zobaczyła tę kosmiczną konfigurację na swoim monitorze, nie mogła wprost uwierzyć, że jest to coś realnego. A jednak było – Jung i jej współpracownicy zidentyfikowali właśnie jedną z największych rotujących struktur, jakie kiedykolwiek znaleziono w kosmosie – łańcuch galaktyk osadzony w obracającym się kosmicznym włóknie oddalonym od Ziemi o 400 mln lat świetlnych.

To opublikowane w „Monthly Notices of the Royal Astronomical Society" odkrycie pozwoli astronomom spojrzeć inaczej na powstawanie, ewolucję i różnorodność galaktyk, twierdzi Jung.

Galaktyki we Wszechświecie nie są rozmieszczone przypadkowo ani też równomiernie, lecz układają się w struktury zwane włóknami, które wraz z ciemną materią łączą je ze sobą poprzez całą przestrzeń. Wspólnie z pustkami – obszarami zawierającymi bardzo mało materii – i grupami setek tysięcy galaktyk znanymi jako gromady, włókna te tworzą coś, co astronomowie nazywają kosmiczną siecią.

Włókna te są głównymi kanałami, przez które przepływa materia, zasilając galaktyki i gromady w miarę ekspansji struktur. „Badanie włókien daje wgląd w to, jak dochodzi do powstania struktur wielkoskalowych oraz jak galaktyki nabywają rotacji" – mówi astrofizyk Peng Wang z Obserwatorium Astronomicznego w Szanghaju, który nie brał udziału w tych nowych badaniach.

W 2021 roku Wang i jego współpracownicy donieśli, że na podstawie obliczeń i zdjęć satelitarnych kilka włókien wydawało się obracać. W ramach kolejnych badań przyjrzano się bliżej jednej z tych struktur. Korzystając z danych z radioteleskopu MeerKAT w RPA uzyskanych w ramach mapowania zimnego wodoru w pobliskich galaktykach, zespół Jung odkrył 14 bogatych w wodór galaktyk ułożonych w cienką strukturę o długości 5,5 mln lat świetlnych osadzoną z kolei we włóknie o długości 50 mln lat świetlnych zawierającym ponad 280 galaktyk.

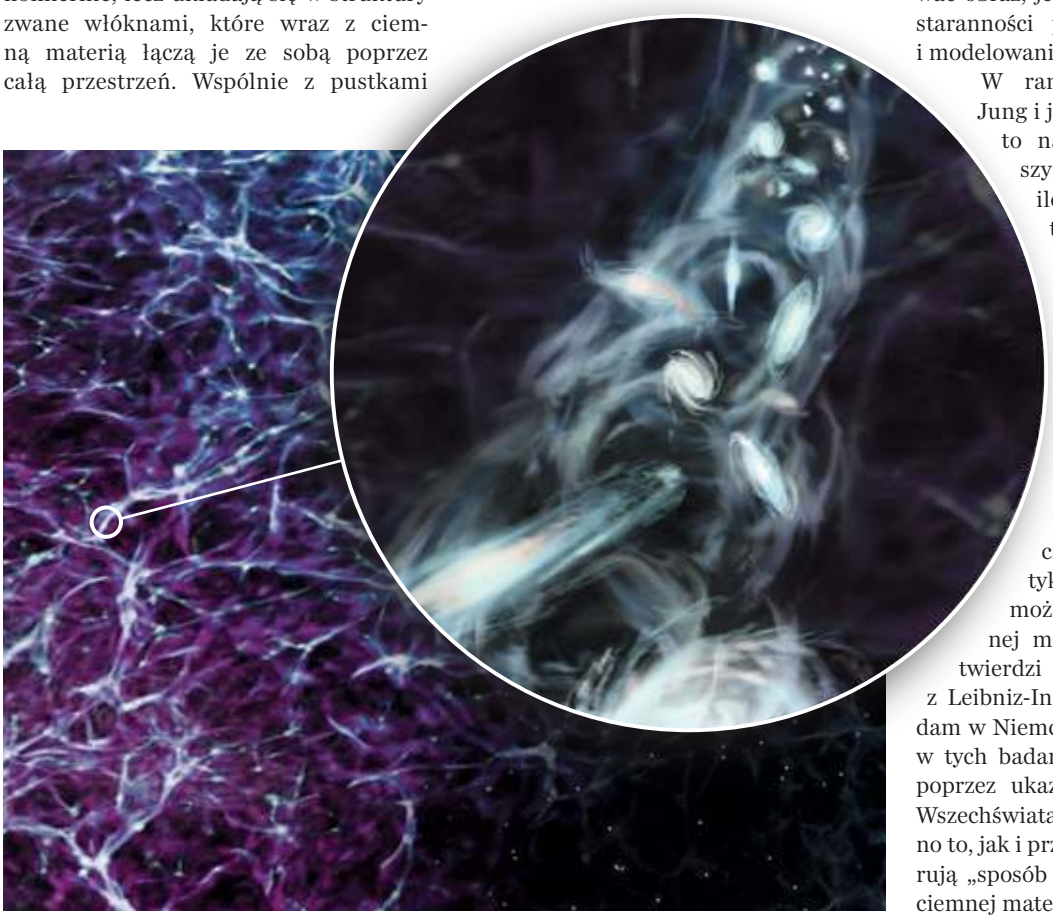
Badacze zaobserwowali, że wiele z indywidualnych galaktyk wykrytych przez MeerKAT wykazywało rotację – i ku swemu zaskoczeniu stwierdzili, że całe włókno, łącznie z pozostałymi galaktykami, wydawało się obracać synchronicznie z tą rotacją z prędkością około 110 km/s, coś, czego astronomowie dotąd nigdy nie widzieli. „Zaczęłam wątpić, czy to prawda, czy może popełniłam jakiś błąd w analizie" – mówi Jung.

Wykrycie tego zjawiska „jest doprawdy czymś wyjątkowym", dodaje Wang, ponieważ sygnał obserwacyjny jest niezwykle słaby, a nakładające się na siebie obiekty wzdłuż linii widzenia mogą zafałszować obraz, jeśli nie dochowa się wielkiej staranności przy gromadzeniu danych i modelowaniu.

W ramach późniejszych analiz Jung i jej zespół odkryli, że włókno to najprawdopodobniej w dalszym ciągu przyjmuje kolejne ilości materii. Wiele z zawartych w nim galaktyk wydaje się znajdować we wczesnej fazie wzrostu, mówi, ponieważ ewidentnie są bogate w wodór, który stanowi paliwo dla nowych gwiazd.

Jednego z najbardziej przekonujących dowodów na istnienie ciemnej materii są w stanie dostarczyć pomiary rotacji galaktyk. Badanie rotacji włókien może z kolei ujawnić, ile ciemnej materii się w nich znajduje, twierdzi astronom Noam Libeskind z Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam w Niemczech, który nie uczestniczył w tych badaniach. Zdaniem Libeskinda, poprzez ukazanie, jaki ułamek materii Wszechświata stanowią te włókna, zarówno to, jak i przyszłe badania tego typu oferują „sposób na wyznaczenie zawartości ciemnej materii we Wszechświecie".

Humberto Basilio



Artystyczna wizja nowo odkrytego rotującego włókna

Ilustracja Ron Miller

eprasa.pl fa61415544

NEURONAUKA

Poszatkowany potok słów

Badacze pokazują, jak mózg dzieli mowę na rozpoznawalne wyrazy

MOWA BRZMI tak, jakby składała się z wyraźnie oddzielonych słów, lecz to wrażenie ma więcej wspólnego z tym, co dzieje się w naszych głowach, niż z tym, co faktycznie opuszcza nasze usta. W naturalnej mowie nie istnieją wyraźne granice akustyczne oddzielające słowa; robimy pauzy mniej więcej tak samo często w obrębie słów, jak i między nimi. Szczególnie wyraźnie widać to podczas słuchania nieznanego języka: słowa zdają się „zlewać" w jeden rozmyty strumień dźwięku. Zgodnie z doświadczeniem większości, dopiero gdy nauczymy się tego języka, zaczynamy precyzyjnie wyodrębniać poszczególne wyrazy. Jak zatem mózg „tnie" mowę na rozpoznawalne fragmenty?

Najnowsze badania neurologa i neurochirurga Edwarda Changa z University of California w San Francisco oraz jego współpracowników dostarczają w tym zakresie przekonujących wskazówek. W jednym z badań, opublikowanym w czasopiśmie „Neuron", naukowcy analizowali szybkie fale mózgowe o częstotliwości 70–150 Hz w obszarze mózgu zaangażowanym w percepcję mowy.

Odkryli, że amplituda wysokoczęstotliwościowych fal gamma (high gamma) spada gwałtownie po około 100 ms od końca słowa. Podobnie jak odstęp w tekście drukowanym, ten nagły spadek wyznacza koniec słowa dla osób biegle posługujących się danym językiem.

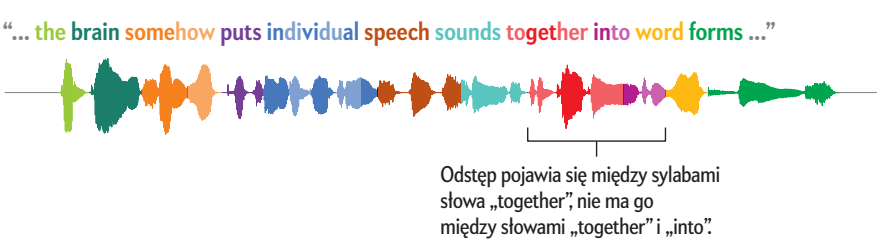
„Z tego, co wiem, to pierwszy bezpośredni neuronalny korelat słów w mózgu – mówi z entuzjazmem Chang. – To naprawdę duża rzecz".

W innym badaniu, opublikowanym w „Nature", naukowcy wykazali, że rodzimi użytkownicy języka angielskiego, hiszpańskiego i mandaryńskiego wykazują takie reakcje w odpowiedzi na swój język ojczysty, natomiast słuchanie języka obcego nie wywołuje spadków sygnału równie wyraźnie i konsekwentnie. Osoby dwujęzyczne przejawiały wzorce podobne do rodzimych użytkowników w obu językach, a aktywność mózgu dorosłych uczących się angielskiego stawała się tym bardziej „rodzima", im większa była ich biegłość.

„To znakomity pierwszy krok w badaniu tego, jak mózg wyznacza granice słów" – mówi neuronaukowczyni Evelina Fedorenko z Massachusetts Institute of Technology, która nie brała udziału w tych pracach. Dodaje jednak, że nadal nie wiadomo, czy rzeczywiste rozumienie języka jest konieczne do rozpoznawania granic słów. Być może mózg po prostu wychwytuje wzorce dźwiękowe, które często słyszy – niezależnie od zrozumienia. A może znaczenie odgrywa w tym rolę, tak jak w przypadku przytłumionej mowy w filmie, która nagle wydaje się wyraźniejsza po włączeniu napisów. Nawet jeśli dźwięki mowy i wyższe struktury językowe są przetwarzane w mózgu odmiennie, oba poziomy mogą na siebie wzajemnie oddziaływać. Eksperymenty z językami sztucznymi, naśladującymi brzmienie języków naturalnych, mogłyby pomóc rozstrzygnąć te kwestie – mówi z przekonaniem Fedorenko.

Jeśli natomiast chodzi o rozszyfrowywanie słów, Chang podejrzewa, że może nie istnieć wyraźna granica między tymi różnymi typami przetwarzania – sygnał, który on i jego współpracownicy powiązali z granicami słów, pojawia się w regionie mózgu odpowiedzialnym także za rozpoznawanie dźwięków mowy. Kiedyś, mówi Chang, badacze wyobrażali sobie, że różne poziomy struktury języka, od dźwięków przez słowa aż po znaczenie, są przetwarzane w odrębnych, wyspecjalizowanych obszarach mózgu. Nowe ustalenia, dodaje, „w pewnym sensie wywracają te przekonania do góry nogami. To wszystko – jak się okazuje – dzieje się w tym samym miejscu. Gdy przetwarzamy dźwięki, jednocześnie przetwarzamy słowa."

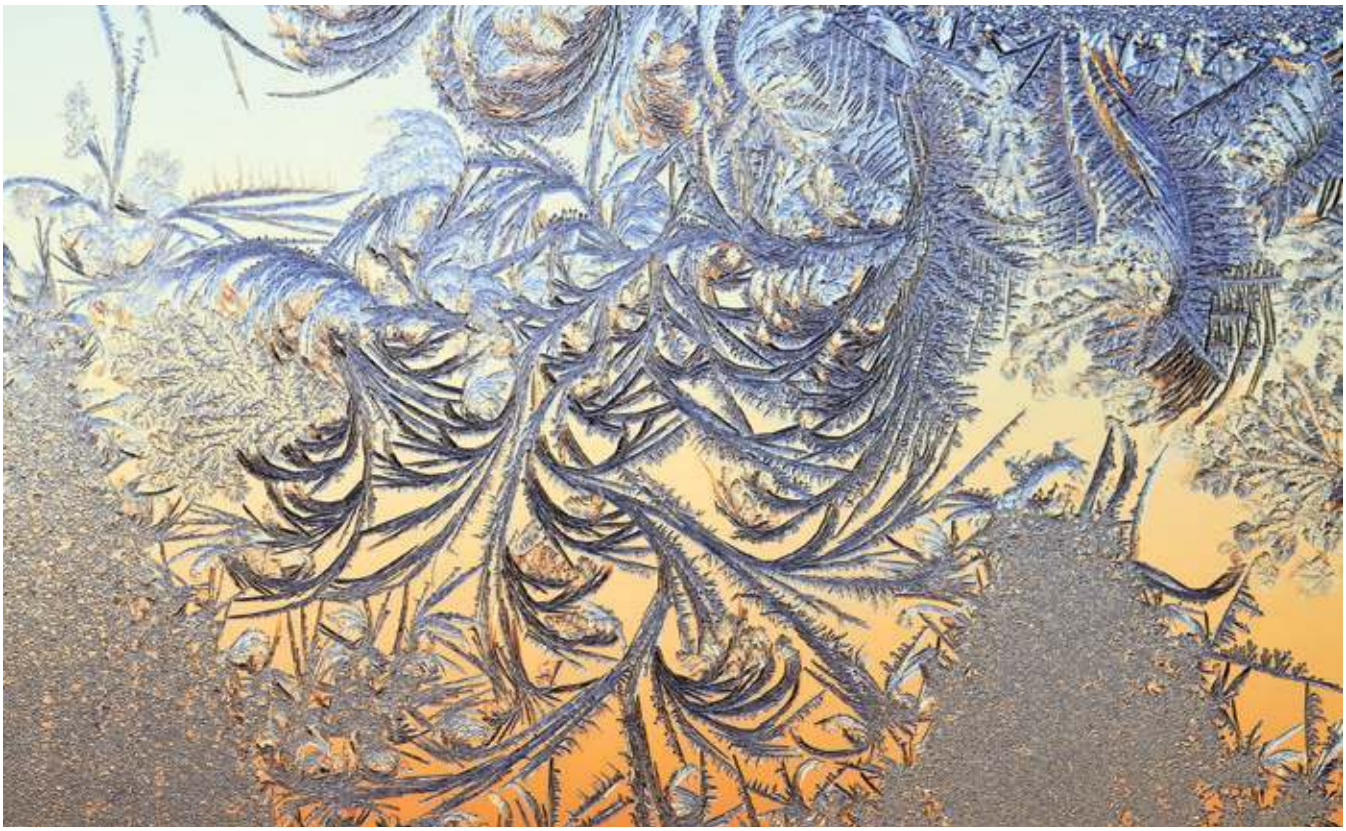
Elise Cutts



ŹRÓDŁO: "Human Cortical Dynamics of Auditory Word Form Encoding", Yizhen Zhang i in., „Neuron", tom 114; 7 stycznia 2026; opracowanie graficzne Amanda Montañez.

Ilustracja Thomas Fuchs

eprasa.pl fa61415544



MaximGurtovoy/Getty Images

CHEMIA

Oblicza lodu

Ta, wydawałoby się, prosta substancja ma wiele zaskakujących właściwości

NAJPEWNIEJ wszystkie nasze spotkania z zamarzniętą wodą – czy to podczas brnięcia przez pośniegową breję zimą, czy przy popijaniu chłodnej lemoniady latem – ograniczały się do jednej strukturalnej formy lodu, oznaczanej jako Ih, gdzie „h" odnosi się do heksagonalnej (sześciokątnej) budowy sieci krystalicznej. Tymczasem lód może mieć znacznie więcej postaci.

Od ponad wieku naukowcy próbują poddawać go ekstremalnym warunkom, tworząc coraz bardziej egzotyczne struktury – do tej pory otrzymali już ponad 20 krystalicznych odmian, z którymi najpewniej nie zetkniemy się w codziennym życiu. „Woda to piękny, elegancki układ, który nieustannie ujawnia nowe, niezwykłe właściwości – mówi Ashkan Salamat, chemik fizyczny z University of Nevada w Las Vegas. – Jak na coś tak prostego, ma zdumiewającą złożoność."

U podstaw wszystkich tych egzotycznych odmian lodu – podobnie jak zwykłego lodu, wody i pary wodnej – leży ta sama cząsteczka: H_2O, czyli atom tlenu połączony z dwoma atomami wodoru pod kątem 104,5 stopnia. W każdej postaci lodu cząsteczki H_2O oddziałują ze sobą poprzez słabe wiązania zwane wodorowymi, tworzące się między atomem tlenu jednej cząsteczki a atomem wodoru innej. Różne układy tych wiązań mogą nadawać lodowi odmienne struktury krystaliczne – od sześciokątnego pryzmatu po sieć sześcienną, a także mniej znane układy, takie jak romboedryczny czy tetragonalny.

Wiązania wodorowe między cząsteczkami wody są niezwykle wrażliwe na zmiany temperatury i ciśnienia, podkreśla Salamat, co sprawia, że woda przejawia „zachowanie przypominające kwantowe". Przy przekroczeniu określonych progów tych warunków cząsteczki zostają zmuszone do radykalnie odmiennych relacji między sobą. Dlatego on i inni badacze w pogoni za nowymi formami lodu stosują niemal alchemiczne receptury – na przykład poddają wodę ciśnieniu 3000 razy wyższemu od atmosferycznego albo na tydzień schładzają ją (z dodatkiem wodorotlenku potasu) do –200°C.

Najnowszym odkryciem jest lód XXI, opisany na łamach „Nature Materials". (Salamat nie brał udziału w tych badaniach, choć jego zespół opublikował w 2022 roku odkrycie nowej fazy przejściowej nazwanej lodem VIIt). Lód XXI to ulotna, masywna struktura krystaliczna powstająca z ekstremalnie sprasowanej wody. Naukowcy mogli ją zaobserwować jedynie dzięki niezwykle potężnemu rentgenowskiemu laserowi na swobodnych elektronach, który działa jak ultraszybka kamera.

„Obserwowanie zjawisk w bardzo, bardzo krótkich skalach czasowych pozwala nam dostrzec dziwne, wspaniałe zjawiska" – mówi Salamat, nazywając laser „niezwykle ekscytującą nową zabawką". Urządzenie to umożliwia wykrywanie egzotycznych form lodu istniejących tylko przez ułamki sekund, wprowadzając czas jako kolejny parametr obok temperatury i ciśnienia.

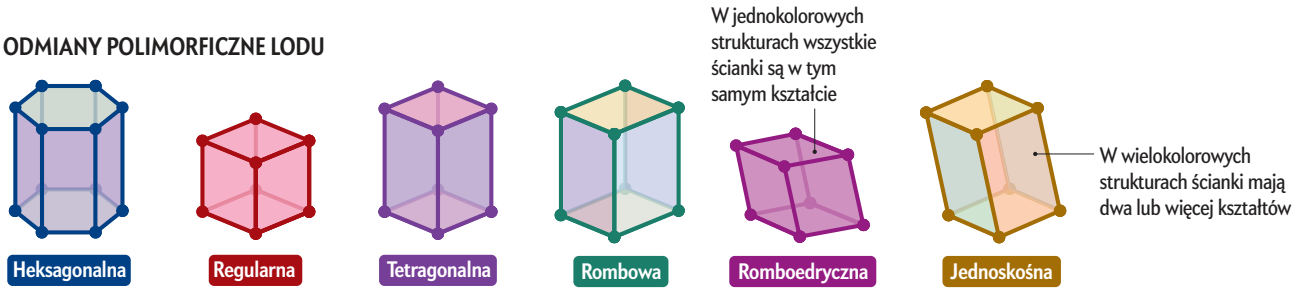
Choć te niezwykłe odmiany lodu nie występują naturalnie na Ziemi, mogą powstawać gdzie indziej – głęboko we wnętrzu Neptuna, uwięzione w odległym księżycu lub w jeszcze bardziej obcym zakątku kosmosu. Dla Salamata jednak laboratorium bywa równie egzotyczne. „Wciąż są przed nami nowe, fascynujące odkrycia" – mówi.

Meghan Bartels

eprasa.pl fa61415544

Różne postacie lodu

ODMIANY POLIMORFICZNE LODU



RODZAJE KRYSTALICZNEGO LODU

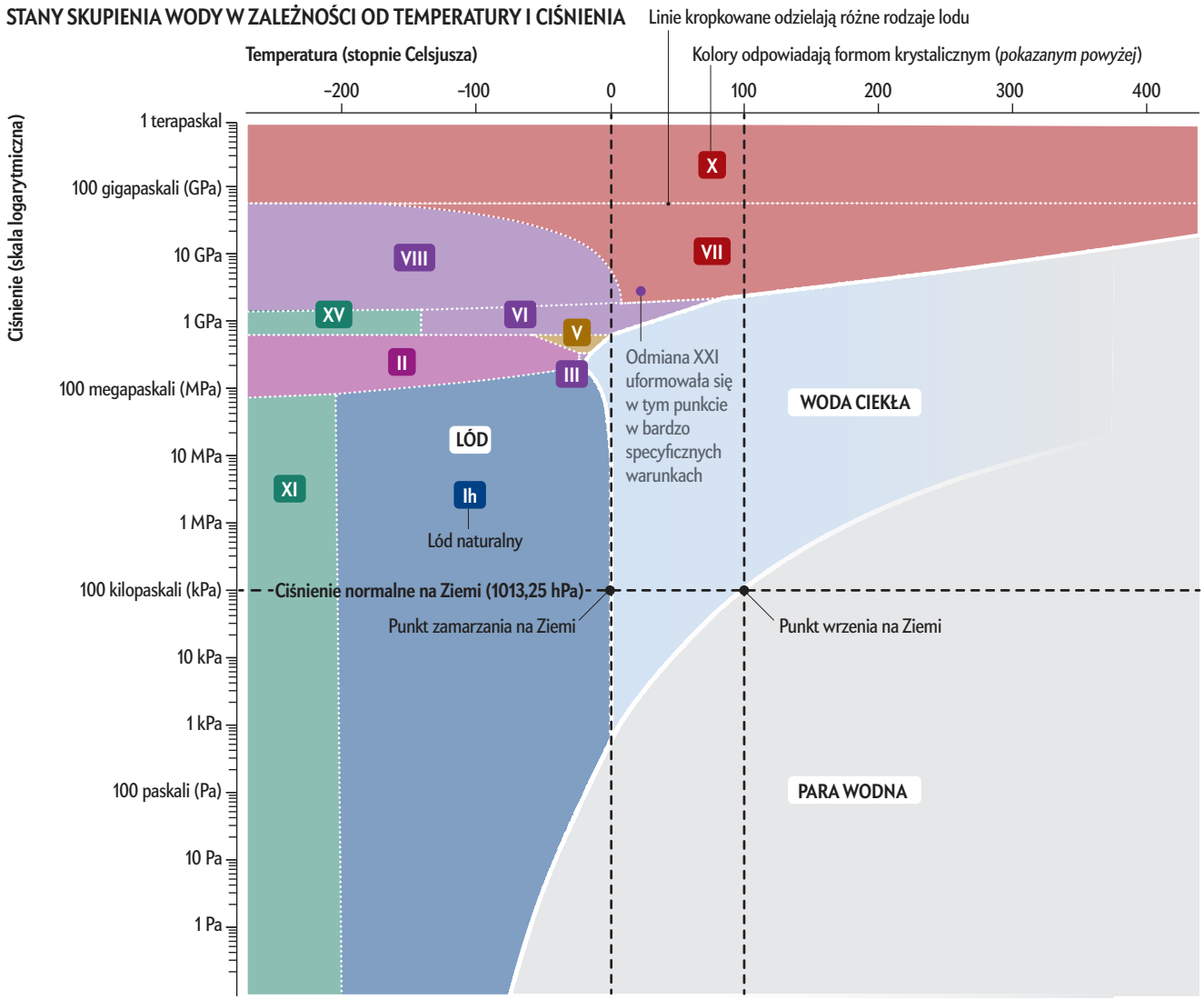
Na Ziemi naturalnie fomują się kryształy heksagonalne

Ostatnio odkryta polimorficzna odmiana lodu wytworzona pod bardzo wysokim ciśnieniem w temperaturze pokojowej

Ih Ic II III IV V VI VII VIII IX X XI XII XIII XIV XV XVI XVII XVIII XIX XX XXI

Sześcienne kryształy lodu tworzą się w chmurach

STANY SKUPIENIA WODY W ZALEŻNOŚCI OD TEMPERATURY I CIŚNIENIA



Grafika Amanda Montañez

eprasa.pl fa61415544

MEDYCYNA

Sztuczny oddech

Sztuczne płuca pozwoliły utrzymać przy życiu pacjenta czekającego na transplantację

W 2023 ROKU CHIRURG klatki piersiowej Ankit Bharat z Northwestern Memorial Hospital został wezwany do umierającego 33-letniego pacjenta. Bharat wspomina, że u mężczyzny rozwinęło się wtórne zakażenie jednym z „najgroźniejszych szpitalnych drobnoustrojów" – bakterią *Pseudomonas aeruginosa* – i że został on podłączony do respiratora. Płuca pacjenta wypełniały się płynem i ropą, nerki przestawały działać, a serce biło szczątkowo, mówi Bharat. „On faktycznie umierał".

W pewnym momencie serce pacjenta się zatrzymało. „Udało nam się go przywrócić do życia, ale było jasne, że natychmiast trzeba coś zrobić" – mówi Bharat.

Mężczyzna potrzebował przeszczepu obu płuc, ale pojawił się problem: był zbyt ciężko chory, by Bharat i jego zespół mogli podjąć się operacji. Jednocześnie było oczywiste, że bez funkcjonujących płuc pacjent umrze. Był już podłączony do systemu podtrzymywania życia zwanego pozaustrojową oksygenacją membranową (extra corporeal membrane oxygenation, ECMO) , który natlenia krew, ale – jak wyjaśnia Bharat – ta metoda nie jest w stanie utrzymać przy życiu pacjenta pozbawionego płuc.

Dlatego Bharat wraz z zespołem opracował plan: stworzą „sztuczne płuca", które pomogą przepompowywać krew z prawej strony serca na lewą, natleniać ją i kierować dalej do reszty ciała.

Bharat porównuje ten nowatorski system do dobudowania mostu na międzystanowej autostradzie: podobnie jak ruch drogowy, krew przepływa z prawej strony serca do płuc, następnie do lewej strony serca, a stamtąd do całego organizmu. Bez płuc „autostrada" kończy się ślepą ulicą. Sztuczne płuca Bharata dosłownie wypełniły tę lukę – transportując i natleniając krew zamiast usuniętych płuc pacjenta. Aby zapobiec „korkowi" na tym moście, zespół stworzył również „zjazd", którym krew mogła wracać do prawej strony serca.

System utrzymywał pacjenta przy życiu przez dwa dni – faktycznie bez płuc – dając mu czas na rozpoczęcie walki z infekcją. „To było niemal jak zdjęcie klątwy – mówi Bharat. – Nagle wszystko zaczęło się goić".

Pacjent został wpisany na listę oczekujących na przeszczep płuc – a już po kilku godzinach znalazł się dawca. Zespół przeprowadził transplantację, a po paru dodatkowych tygodniach rekonwalescencji w szpitalu mężczyzna został wypisany – osłabiony, ale żywy.

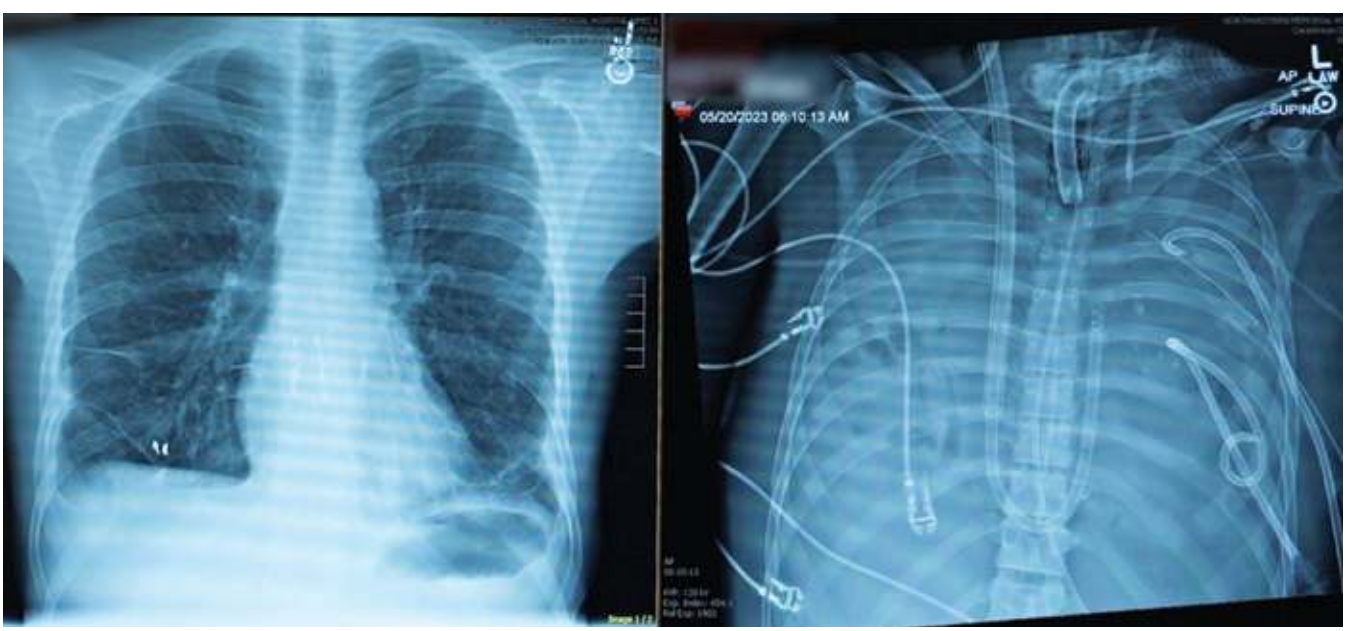
Dziś, ponad dwa lata później, „świetnie sobie radzi", mówi Bharat.

Systemy podobne do sztucznych płuc Bharata były już wcześniej opisywane przez lekarzy, zauważa Matthew Hartwig, profesor chirurgii na Duke University, który nie brał udziału w leczeniu tego pacjenta. Jednak, jak podkreśla, metoda Bharata stanowi „nowatorskie podejście" do „problemu, z którym wszyscy w tej dziedzinie się mierzą". Cały proces został opisany w artykule opublikowanym w czasopiśmie „Med".

Bharat ma nadzieję, że jego system będzie mógł być stosowany w innych szpitalach jako „ostateczna opcja ratunkowa" dla pacjentów w stanie krytycznym. „Opisaliśmy w tej publikacji wszystkie wnioski, jakie wyciągnęliśmy – jak doszliśmy do każdej konfiguracji, jakie było jej uzasadnienie – i każdy może to odtworzyć – mówi. – Nie ma tu nic zastrzeżonego".

Liczy, że dzięki temu pojawi się więcej historii takich, jak ta z 2023 roku. „Nawet jeśli ostatecznie uda się uratować choć jedno dodatkowe życie, będziemy szczęśliwi" – dodaje. *Jackie Flynn Mogensen*

Zdjęcia rentgenowskie pokazują klatkę piersiową pacjenta – najpierw z płucami, a następnie po ich usunięciu. Sztuczny system podtrzymywał chorego przy życiu przez dwa dni – całkowicie bez płuc.



Northwestern Medicine

eprasa.pl fa61415544

Ilustracja Thomas Fuchs

ROBOTYKA

Zaraźliwy strach

Kudłate, szybko oddychajace roboty, mogą budzić u ludzi niepokój

WSZYSCY INTUICYJNIE lgniemy do drugiej osoby w chwili strachu – na przykład dzieci ściskają dłoń matki. Jeśli jednak ta osoba również się boi, takie zachowanie może nie przynieść oczekiwanego uspokojenia. Nowe badanie, opublikowane na łamach czasopisma „Emotion", wskazuje, że także robot naśladujący ludzki oddech może przekazywać uczucie strachu.

Naukowcy stworzyli okrągłe, puszyste roboty wyposażone w zmechanizowane „klatki piersiowe", które symulują oddychanie poprzez rozszerzanie się i kurczenie. Ponad setka uczestników trzymała te roboty – oddychające w rytmie równym lub przyspieszonym albo w ogóe nie oddychające – podczas oglądania przerażającej sceny z filmu *Lśnienie*.

Zespół badawczy ustalił, że tętno osób trzymających „hiperwentylujące się" roboty wzrastało najbardziej, w porównaniu do tych, które miały w rękach roboty spokojne lub nieruchome. Uczestnicy badania relacjonowali, że postrzegali te roboty jako „przestraszone", co potwierdza tezę, iż „przejęli" ich stan emocjonalny.

„To pierwsze badanie pokazujące, że możemy nasilać emocje za pomocą oddychających robotów – mówi psycholog Zachary Witkower z holenderskiego Universiteit van Amsterdam, kierujący badaniem. – Ma to istotne konsekwencje dla zrozumienia interakcji człowiek–robot."

Interakcje między ludźmi a robotami bada się zazwyczaj poprzez komunikację wizualną i werbalną. „Aspekt dotyku jest nowy i niezwykle interesujący – zauważa Eric Vanman, psycholog z University of Queensland w Australii, zajmujący się badaniem relacji ludzi z nowymi technologiami. – Prawdopodobnie skłoni to innych badaczy do przyjrzenia się informacjom, jakie odbieramy poprzez dotyk."

Co więcej, uczestnicy trzymający roboty spokojnie oddychające wykazywali wolniejsze tętno. Różnica ta nie była istotna statystycznie, ale świadczy, że kontakt z „równomiernie oddychającym" obiektem może działać kojąco. Wcześniejsze badania to potwierdzają. „Istnieją dowody na to, że dotyk zwierząt i ludzi może uspokajać" – podkreśla Vanman.

Jeśli tak jest, naukowcy mogliby opracować urządzenia terapeutyczne pomagające osiągać pożądane stany emocjonalne. „Już rozpoczęliśmy rozmowy z psychologami klinicznymi – mówi Witkower. – Koncentrujemy się na tworzeniu dynamicznych robotów do regulacji lęku." Badania te mogą również stanowić inspirację do konstruowania urządzeń noszonych na ciele, które w kontrolowany sposób wzmacniałyby intensywność doznań – na przykład podczas grania w gry wideo czy oglądania horrorów, dodaje Vanman.

Vanman chciałby, aby przyszłe badania obejmowały także pomiar oddechu, co pozwoliłoby sprawdzić, czy zmiany tętna są związane z dostosowywaniem się ludzi do wzorca oddychania robotów, a także uwzględniały inne wskaźniki fizjologiczne. Witkower i jego współpracownicy planują śledzić dodatkowe parametry w kolejnych eksperymentach oraz zbadać, czy roboty oddechowe mogłyby automatycznie wykrywać parametry fizjologiczne i odpowiednio reagować. *Simon Makin*

REKLAMA

26 NAGRODY NAUKOWE POLITYKI

Przez 25 lat wsparliśmy 407 naukowców!

Jesteś młodym ambitnym naukowcem?
Prowadzisz niebanalne, ważne społecznie projekty badawcze?
Wystartuj w konkursie o nasze stypendia naukowe!

Formularz zgłoszeniowy: **polityka.pl/stypendia**

Na zgłoszenia czekamy do 14 czerwca!

Partner Główny Nagród Naukowych POLITYKI 2026

KOPIPOL®

Partnerzy Nagród Naukowych POLITYKI 2026

Dr Irena Eris

CONSULTRONIX®

zaks sprzyjamy wyobraźni

Patron honorowy

Marcin Kulasek
Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Patroni medialni

tokfm

FORUM AKADEMICKIE

eprasa.pl fa61415544

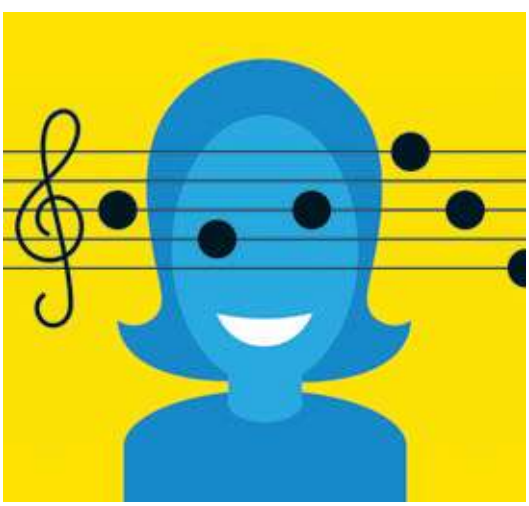
NEURONAUKA

Zatracić się w muzyce

Nasze oczy kochają taniec

MUZYKA SPRAWIA, że ludzie się poruszają i wpadają w rytm – często w sposób zaskakująco mimowolny. Jak się okazuje, nawet mrugamy w takt muzyki, donoszą badacze na łamach „PLOS Biology". „Nasze oczy – które zwykle uważamy wyłącznie za narządy wzroku – spontanicznie tańczą w rytmie tego, co słyszymy" – mówi współautorka badania Du Yi, neuronaukowiec poznawczy z Chińskiej Akademii Nauk w Pekinie. Dodatkowe badania wykazały, że niektóre utwory skłaniają do określonych typów ruchu – albo do „podskakiwania" w rytmie (bop), albo do „kołysania się" (sway).

Korzystając z wysokoczęstotliwościowego okulografu, Du i jej zespół ze zdumieniem odkryli, że osoby bez wykształcenia muzycznego instynktownie mrugają w synchronizacji ze strukturą rytmiczną chorałów Bacha (choć – jak zaznacza – nie przy każdym pojedynczym uderzeniu", co byłoby „dość wyczerpujące"). Du przypuszcza, że efekt ten występowałby w przypadku każdej muzyki o „wyraźnym groove", a nie tylko u Bacha.



Synchronizacja mrugania zanikała, gdy badacze przyspieszali chorały Bacha do tempa 120 uderzeń na minutę. Znikała również wtedy, gdy uczestników proszono o znajdowanie czerwonej kropki na ekranie – co wskazuje, że konieczne jest aktywne słuchanie. „Nie chodzi o to, że muzyka traci swoją magię, gdy jesteśmy rozproszeni, lecz raczej o to, że mózg przekierowuje swoje zasoby na to, na czym najbardziej się skupiamy" – wyjaśnia Du.

Mruganie w rytmie nie było zaskoczeniem dla Elizabeth Margulis, dyrektorki Music Cognition Lab na Princeton University i autorki mającej się wkrótce ukazać książki o „muzycznych marzeniach na jawie". Jak zauważa, muzyka aktywuje obszary ruchowe mózgu. Nawet jeśli siedzimy nieruchomo – nie kiwamy głową, nie wystukujemy rytmu stopą ani nie tańczymy – „często pojawia się poczucie ruchu".

Ludzie mają tendencję do synchronizowania kroków z muzyką na siłowni i do szybszej jazdy samochodem podczas słuchania pulsujących, angażujących utworów. Z kolei osoby z chorobą Parkinsona poruszają się stabilniej, gdy towarzyszy im muzyka.

Nawet dobrowolne reakcje na muzykę wydają się mieć instynktowny charakter. Shimpei Ikegami, psycholog muzyki z Showa Women's University w Tokio, poprosił czterech japońskich muzyków popowych o skomponowanie krótkich fragmentów utworów: jednych zaprojektowanych tak, by wywoływać pionowe ruchy w górę i w dół (tzw. tate-nori), a innych – poziome kołysanie na boki (yoko-nori). Zgodnie z przewidywaniami, gdy studenci bez przygotowania muzycznego słuchali utworów o wyraźnym rytmie i nagłych zmianach dźwięku, spontanicznie odczuwali chęć podskakiwania. Natomiast utwory spokojne i o łagodnych przejściach skłaniały ich do kołysania.

Dla Ikegamiego – który zaprezentował wyniki badania na niedawnej konferencji – oznacza to, że muzyka w pewnym sensie „podpowiada" nam, jak się poruszać. W praktyce może to oznaczać, że biegacze lub pacjenci z chorobą Parkinsona osiągają lepsze efekty przy muzyce sprzyjającej ruchom pionowym, podczas gdy muzyka „pozioma" lepiej nadaje się do rozciągania czy jogi. Ogólnie rzecz biorąc – jak podkreśla Ikegami – nasze playlisty mogłyby być „znacznie bardziej dopasowane", abśmy w pełni mogli wykorzystać wrodzone reakcje na rytm i muzykę.

Jesse Greenspan

PALEONTOLOGIA

Tajemnicze wieże

Przedziwne skamieniałości *Prototaxites* mogą pochodzić z nowo odkrytej gałęzi życia

ZANIM PRZED OKOŁO 400 MLN LAT na Ziemi pojawiły się drzewa, krajobraz naszej planety był zdominowany przez enigmatyczne, przypominające wyniosłe wieże formy życia, które wznosiły się na wysokość ponad 7,5 m. Fragmenty tych podobnych do pni organizmów odkryto wśród skamieniałości zebranych w 1843 roku. Mimo ciągnących się przez ponad stulecie spekulacji, naukowcy wciąż nie znają odpowiedzi na najbardziej podstawowe pytanie dotyczące tych pierwotnych olbrzymów: co to było?

Według niedawno przeprowadzonych badań może to wynikać z faktu, że organizmy te należały do nieznanego wcześniej odgałęzienia na drzewie życia.

Pierwsze naukowe badania tej biologicznej osobliwości rozpoczęły się w roku 1856, a trzy lata później otrzymała ona systematyczną nazwę rodzajową *Prototaxites*, co oznacza dosłownie „pracis". Nazwa się przyjęła, choć eksperci szybko zdali sobie sprawę, że organizm ten wcale nie był drzewem. Spekulowano, że mogły to być jakieś słodkowodne wodorosty albo gigantycznych rozmiarów grzyby. „Mam wrażenie, że te formy nigdzie nie pasują – mówi Matthew Nelsen, paleontolog pracujący w Field Museum of Natural History w Chicago, który nie brał udziału w tych badaniach. – Ludzie próbowali wtłoczyć je do znanych przegródek, ale zawsze okazywało się, że nie wszystko się zgadza".

Z czasem wyłoniły się dwie główne hipotezy: albo *Prototaxites* są jakimś bocznym odgałęzieniem królestwa grzybów, albo należały do zupełnie odrębnej kategorii taksonomicznej. Teraz, po porównaniu skamieniałości tych tajemniczych organizmów z niekwestionowanymi grzybami kopalnymi z tych samych formacji skalnych, autorzy nowego badania, opublikowanego w „Science Advances", dochodzą do wniosku, że *Prototaxites* najpewniej stanowił odrębną linię ewolucyjną. To stawiałoby go na równi z innymi uznanymi królestwami życia: roślinami,

Ilustracja Thomas Fuchs

eprasa.pl fa61415544

Autentyczna skamieniałość *Prototaxites* (*po lewej*) ukazuje ich nieregularną strukturę wewnętrzną. Po prawej artystyczna wizja tych osobliwych tworów.

Matt Humpage/Northern Rogue Studios (*rekonstrukcja*); Laura Cooper/University of Edinburgh (*skamieniałość*)

zwierzętami, grzybami, protistami, bakteriami i archeonami.

Anatomicznie te dziwolągi były siecią przeplatających się rurek, co nadawało im powierzchowne podobieństwo do grzybów. Ale na tym analogie się kończą. Naukowcy odkryli, że te wewnętrzne rurki rozgałęziały się bezładnie, podczas gdy nitkowate strzępki u współczesnych grzybów układają się w bardziej uporządkowane wzory. Co więcej, nie wykryto również śladów chityny, polimeru występującego w ścianach komórkowych wszystkich dzisiejszych grzybów oraz w grzybach kopalnych, które znajdywano wraz z osobnikami *Prototaxites*. „Wydaje się, że te domniemane grzyby nie wykazywały żadnych cech charakterystycznych dla dzisiejszych grup grzybów" – mówi współautorka badania, Laura Cooper, doktorantka na University of Edinburgh.

Trudno powiedzieć, by odkrycie to było całkowitą niespodzianką. W artykule z 2022 roku Nelsen i współautor, paleobotanik Kevin Boyce ze Stanford University, pisali, że „jeśli *Prototaxites* rzeczywiście pochodzi od grzybów lub do nich należy, to może reprezentować wymarłą ich linię". Boyce nie chce jednoznacznie określać, gdzie należy umieścić *Prototaxites* i nie uważa, by należało go kategorycznie wykluczać z królestwa grzybów. Sądzi jednak, że nawet jeśli organizmy te są jedynie dziwacznymi grzybami, to wytworzyły niezależnie od innych własną unikalną formę wielokomórkowego życia. „Cokolwiek to było – mówi Boyce – żyło własnym, osobliwym życiem".

Cooper, bardziej kategoryczna, mówi, że *Prototaxites* „były tak fundamentalnie różne od grzybów, które znamy dzisiaj", że „próba wciśnięcia ich na siłę do tej kategorii jest pozbawiona sensu". Nawet gdyby to badanie rozstrzygnęło kwestię taksonomii, wciąż wiele pozostaje do odkrycia. Wcześniejsze prace Boyce'a sugerowały, że *Prototaxites* mogły odgrywać ekologiczną rolę podobną do grzybów: rozkładały i pochłaniały martwą materię organiczną. Tyle że w czasach tych „pracisów" takiej materii było niewiele, a jednak w świecie, gdy największe ówczesne rośliny sięgały najwyżej kolan, organizmy te wznosiły się na wysokość słupów elektrycznych. „Jak to się bilansowało energetycznie – mówi Cooper – wciąż pozostaje całkowitą zagadką".

Cody Cottier

eprasa.pl fa61415544

NEURONAUKA

Dźwiękowe halucynacje

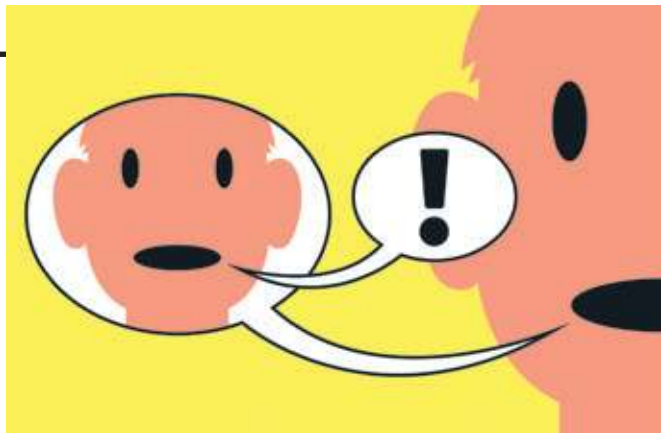
Dlaczego niektóre osoby chore na schizofrenię słyszą głosy?

SŁYSZENIE WYIMAGINOWANYCH GŁOSÓW jest częstą, lecz wciąż tajemniczą cechą zaburzeń ze spektrum schizofrenii. Nawet 80% osób z tymi schorzeniami doświadcza halucynacji słuchowych. Najnowsze badania przybliżają nas do zrozumienia mechanizmów mózgowych stojących za tym zjawiskiem.

Eksperci od dawna sądzili, że halucynacje słuchowe wynikają z postrzegania własnych myśli jako realnych głosów dochodzących ze świata zewnętrznego. Gdy osoby niecierpiące na schizofrenię mówią lub przygotowują się do mówienia, obszar mózgu odpowiedzialny za planowanie ruchu tłumi sygnały w korze słuchowej – części mózgu przetwarzającej dźwięki. Mechanizm ten pomaga odróżnić własną mowę od hałasu z otoczenia. Naukowcy wysunęli hipotezę, że podobny proces może dotyczyć także mowy wewnętrznej u zdrowych osób – choć jej badanie i weryfikacja są wyjątkowo trudne. Zaburzenia w komunikacji między tymi regionami mózgu mogłyby prowadzić do słyszenia głosów.

W badaniu opublikowanym na łamach „Schizophrenia Bulletin" naukowcy wykazali, że mowa wewnętrzna rzeczywiście tłumi aktywność kory słuchowej u dorosłych bez schizofrenii. U osób z tym zaburzeniem, które doświadczały halucynacji słuchowych, mowa wewnętrzna – jak stwierdzono – nasilała jednak reakcję kory słuchowej.

„Najtrudniejsze w badaniu mowy wewnętrznej jest to, że z natury jest ona prywatna" – mówi Thomas Whitford, neuronaukowiec poznawczy z University of New South Wales w Australii i współautor badania. Aby „podsłuchać" mowę wewnętrzną, Whitford i jego współpracownicy zastosowali elektroencefalografię (EEG) do pomiaru aktywności mózgu u osób ze spektrum schizofrenii – w tym uczestników słyszących głosy oraz takich, którzy ich nie słyszeli (choć mogli w przeszłości) – a także u osób bez tych zaburzeń. Naukowcy prosili badanych, by wyobrazili sobie wypowiadanie konkretnej sylaby, „bah" lub „bee", bez poruszania ustami. Jednocześnie w słuchawkach odtwarzano dźwięk, który albo odpowiadał sylabie, jaką mieli sobie wyobrazić, albo się z nią nie zgadzał. Następnie uczestnicy nie mieli niczego sobie wyobrażać i po prostu słuchali dźwięków.



U dorosłych bez schizofrenii jednoczesne słyszenie i mentalne „wytwarzanie" dźwięku osłabiało reakcję kory słuchowej w porównaniu z sytuacją, gdy badani jedynie słuchali bez wyobrażania sobie mówienia. Efekt był najsilniejszy wtedy, gdy słyszany dźwięk odpowiadał wyobrażonemu. Natomiast u uczestników ze schizofrenią, którzy doświadczali halucynacji słuchowych, zaobserwowano efekt odwrotny: gdy oba dźwięki się zgadzały, reakcja ich mózgu była jeszcze silniejsza. Osoby ze schizofrenią, które w danym momencie nie słyszały głosów, wykazywały silne tłumienie aktywności kory słuchowej przy dźwiękach niezgodnych, lecz brak tłumienia przy dźwiękach zgodnych. Whitford sugeruje, że może to wskazywać na potencjalną podatność tych uczestników na halucynacje.

Badanie jest kontynuacją wcześniejszych eksperymentów prowadzonych przez neuronaukowca Xinga Tiana z New York University Shanghai i jego współpracowników. Zespół Tiana przeprowadził liczne badania analizujące mechanizmy w obszarach ruchowych i słuchowych mózgu, w tym mapując nieprawidłowe sygnały, które u osób ze schizofrenią mogą prowadzić do mylenia dźwięków wewnętrznych z zewnętrznymi.

Nowe badanie Whitforda i jego zespołu pomaga wyjaśnić jeden z możliwych mechanizmów halucynacji słuchowych w schizofrenii – mówi Albert Powers, psychiatra z Yale School of Medicine, który nie brał udziału w pracach. Zaznacza jednak, że potrzebne są dalsze badania, aby ustalić, czy ten wzorzec aktywności mózgu odpowiada za wszystkie rodzaje halucynacji dźwiękowych, których mogą doświadczać osoby ze schizofrenią – a nie tylko za słyszenie głosów.

Mimo to, zdaniem Mahesha Menona, psychologa i współkierownika programu badań nad schizofrenią na University of British Columbia, który również nie uczestniczył w badaniu, praca ta jest „bardzo pomysłowa", zwłaszcza że mechanizmy wewnętrzne są wyjątkowo trudne do eksperymentalnego testowania. Menon dodaje, że nowe ustalenia mogą być cenne dla zrozumienia, w jaki sposób powstają podobne objawy psychotyczne.

Powers podkreśla, że doświadczanie halucynacji słuchowych nie zawsze oznacza ciężką schizofrenię, a osoba z ciężką postacią schizofrenii niekoniecznie musi mieć halucynacje. Rozwikłanie różnych ścieżek w mózgu, które mogą prowadzić do tych zjawisk, może otworzyć drogę do nowych metod leczenia – a „ten artykuł nas do tego celu przybliża" – mówi.

Whitford ma nadzieję, że opracowany przez jego zespół test EEG mógłby w przyszłości służyć do oceny ryzyka rozwoju objawów psychotycznych i halucynacji. Taka zdolność predykcyjna byłaby – jak mówi – „Świętym Graalem", który pomógłby kierować osoby zagrożone na zapobiegawcze wczesne leczenie.

Hannah Seo

ZAGADKA MATEMATYCZNA

Trudne rachunki

Emma R. Hasson

UŻYWAJĄC tylko liczb 1, 2, 3, 4, 5 i 6 (każdej dokładnie raz) oraz czterech podstawowych działań: dodawania, odejmowania, mnożenia i dzielenia – należy utworzyć wyrażenie arytmetyczne równe 456. Wolno korzystać z nawiasów.

Rozwiązanie na stronie 74.

Ilustracja Thomas Fuchs

eprasa.pl fa61415544

Terapia testosteronem dla kobiet?

Suplementy mogą zwiększać popęd płciowy u kobiet, jednak efekty mogą być niewielkie LYDIA DENWORTH

PONAD 20 LAT PO TYM, jak hormonalna terapia menopauzy wypadła z łask, obserwujemy jej odrodzenie. Obecnie lepiej rozumiemy korzyści i zagrożenia związane ze stosowaniem estrogenu i progesteronu u kobiet w określonym wieku. Kobiety domagają się także zwracania większej uwagi na ich potrzeby. To wszystko pomaga zrozumieć eksplozję popularności innego pokrewnego suplementu: testosteronu. Media społecznościowe próbują przekonać nas, że o ile estrogen może łagodzić uderzenia gorąca, o tyle testosteron może sprawić, że kobiety staną się gorące w łóżku. Jednak czy to prawda?

Testosteron, podobnie jak estrogen i progesteron, występuje naturalnie zarówno u kobiet, jak i mężczyzn, chociaż względne poziomy tych hormonów zależą od płci. Poziom testosteronu u kobiet stanowi około jednej dziesiątej jego stężenia u mężczyzn. Estrogen i progesteron są szczególnie ważne dla zdolności rozrodczych kobiety. Jednak, co zaskakujące, „testosteron jest być może równie ważny", mówi ginekolożka i położniczka Jill Liss, pracująca na wydziale medycyny University of Colorado Anschutz.

U kobiet i u mężczyzn testosteron wpływa na siłę i budowę ciała. Wpływa także na szlaki mózgowe związane z motywacją seksualną i satysfakcją oraz zwiększa przepływ krwi i wrażliwość. „Mamy wybitnie dobre dane na temat wpływu działania testosteronu na niemal wszystkie aspekty funkcjonowania seksualnego u kobiet" – mówi ginekolog-położnik James Simon ze School of Medicine and Health Sciences na George Washington University. Zgodnie z dokumentem 2019 Global Consensus Position Statement, opublikowanym przez ekspertów w zakresie menopauzy i zdrowia seksualnego, testosteron stosowany na skórę w postaci kremu lub żelu może zwiększać popęd seksualny, podniecenie, zdolność do osiągania orgazmu oraz reaktywność seksualną.

Dotąd wszystko wskazuje na ogień w łóżku. Jednak eksperci ostrzegają, że nie każda kobieta powinna dostawać testosteron. W publikacji z 2019 roku rekomenduje się jego stosowanie jedynie u kobiet po menopauzie, cierpiących na bardzo niskie libido, które powoduje u nich dyskomfort, klinicznie diagnozowane jako zespół obniżonego popędu seksualnego (hypoactive sexual desire disorder, HSDD). W uzupełniającej publikacji z 2021 roku, zawierającej wytyczne kliniczne, poszerzono zalecenia dotyczące suplementacji o kobiety w późnym wieku rozrodczym, u których ciąża jest mało prawdopodobna. Suplementy testosteronu u kobiet mogących zajść w ciążę są niebezpieczne, ponieważ niosą ryzyko maskulinizacji płodów płci żeńskiej. Ponadto w każdym przypadku terapia „powinna skutkować utrzymywaniem poziomu [tego hormonu] w zakresie prawidłowym dla kobiet w wieku rozrodczym" i go nie przekraczać, mówi Sharon Parish, internistka z Weill Cornell Medicine. Prowadzi ona badania nad menopauzą i zdrowiem seksualnym, jest też współautorką obu wspomnianych publikacji.

Ponadto, chociaż badania i terapia koncentrują się na kobietach w okresie menopauzy, testosteron jest tak naprawdę „powiązany z menopauzą", mówi Liss. Poziom estrogenu gwałtownie spada w czasie menopauzy, natomiast testosteronu często zaczyna obniżać się o dekadę wcześniej, wkrótce po ukończeniu 40. roku życia. Poza ryzykiem dla płodów płci żeńskiej, pojawiającym się w przypadku zajścia w tym wieku w ciążę, wyższe dawki testosteronu, przekraczające standardowy poziom, mogą prowadzić do wirylizacji – obniżenia głosu, nadmiernego owłosienia na twarzy i cofania się linii włosów nad czołem, a także zmian masy mięśniowej. Dotychczas w żadnym z badań nie stwierdzono związków z ryzykiem chorób układu sercowo-naczyniowego lub chorób nowotworowych, należy jednak zaznaczyć, że żadne z nich nie trwało dłużej niż 24 miesiące.

Ponadto leczenia obniżonego libido lekarze nie rozpoczynają od podawania testosteronu, mówi Liss. W przypadkach HSDD niezbędna jest wszechstronna ocena potencjalnych przyczyn fizycznych, psychicznych i społecznych. Standardowe metody stosowane w okresie menopauzy, na przykład suplementacja estrogenu, mogą poprawić funkcjonowanie seksualne poprzez zmniejszanie bólu i dyskomfortu. Dodatkowe stosowanie testosteronu nie pomaga natomiast każdemu, prawdopodobnie przede wszystkim dlatego, że jego poziom we krwi u kobiet jest niski. „Skutki działania testosteronu u kobiet mogą być niewielkie, a w rezultacie trudne do wykazania" w porównaniu do efektów u mężczyzn, mówi Simon.

Nie ma również na razie wiarygodnych dowodów na inne rzekome korzyści, jakie miałyby odnosić kobiety, takie jak poprawa funkcji poznawczych,

Lydia Denworth jest nagradzaną dziennikarką naukową i redaktorką „Scientific American". Jest autorką książki *Friendship* (W. W. Norton, 2020).

Ilustracja Jay Bendt

eprasa.pl fa61415544

ogólnego samopoczucia czy gęstości kości. Liss zauważa, że – jak to często bywa – zamieszanie wokół testosteronu w mediach społecznościowych wyprzedziło naukę. „Testosteron może stanowić przydatne narzędzie. Oczywiście go przepisuję, ale nie traktuję jako panaceum na młodość i siłę".

Nawet jeśli kobiety chcą stosować testosteron, nie jest łatwo go dostać. Na przeznaczonych dla kobiet preparatach do terapii hormonalnej do niedawna umieszczano ostrzeżenia przed nowotworami. Amerykańska Agencja ds. Żywności i Leków (Food and Drug Administration) dopiero niedawno z tego zrezygnowała. Ich obecność wynikała z jednego badania z 2002 roku, zakończonego przedterminowo ze względu na obserwowany wzrost ryzyka raka piersi i chorób serca. Obecnie naukowcy oraz FDA uważają, że te ostrzeżenia stanowiły przesadzoną reakcję, ponieważ w badaniu tym koncentrowano się na osobach w starszym wieku i o gorszym stanie zdrowia. We wspominanym badaniu nie uwzględniano testosteronu, jednak na zasadzie skojarzenia również uznano go za winny.

W 2004 roku wykazano skuteczność plastrów z testosteronem u kobiet po zabiegu histerektomii. Nie zostały mimo to dopuszczone przez FDA, głównie z powodu obaw o ryzyko chorób sercowo-naczyniowych, mimo że nie wykazano jednoznacznie ich występowania, mówi Simon. Obecnie bariery utrudniające rejestrację produktów z testosteronem dla kobiet w Stanach Zjednoczonych są tak wysokie, że nieliczne firmy farmaceutyczne próbowały od tego czasu je pokonać.

Wszystko to sprawia, że kobiety w USA mają obecnie jedynie kilka możliwości. Mogą zamówić online (pod kontrolą lekarza) jedyny na świecie produkt zawierający testosteron przeznaczony dla kobiet, wytwarzany przez australijską firmę farmaceutyczną Lawley Pharmaceuticals. Lekarze mogą jednak również (i z tej możliwości korzystają) przepisywać produkty przeznaczone dla mężczyzn, udzielając pacjentkom dokładnych instrukcji co do stosowania odpowiednio mniejszej dawki. Nie zaleca się natomiast preparatów testosteronu przygotowywanych ręcznie przez farmaceutów, ponieważ mogą one ogromnie różnić się mocą.

Testosteron może nie spełnić do końca pokładanych w nim nadziei, jednak bez wątpienia pomaga niektórym kobietom i ich partnerom. ■

Nowe wojenne paliwo

Pentagon potrzebuje energii jądrowej. Start-up planuje pozyskiwać ją z radioaktywnych odpadów, które obecnie w USA nie są wykorzystywane SARAH SCOLES

KAŻDY ATOM JEST potencjalnym źródłem energii, tylko nie z każdego da się ją opłacalnie pozyskiwać. Radioaktywne pierwiastki zasilające reaktory jądrowe można skłonić do generowania tak ogromnej ilości energii, że w połowie lat 50. Lewis Strauss, ówczesny przewodniczący U.S. Atomic Energy Commission, przewidywał, iż energia elektryczna wkrótce stanie się „zbyt tania, by był sens ją mierzyć".

Richard Dickin/Tri-Valley Herald/Tribune News Service via Getty Images

eprasa.pl fa61415544

Cywilna energetyka jądrowa nie spełniła tych utopijnych oczekiwań, ale odniosła sukces w wytwarzaniu ogromnych ilości odpadów. Pozostałości te nie są świecącą na zielono mazią znaną z popkultury – choć są niebezpieczne: niektóre składniki zużytego paliwa pozostają gorące przez lata, a radioaktywne przez tysiąclecia.

W niektórych krajach ta pulsująca energia stanowi jednak potencjalny zasób. Project Omega, start-up z Rhode Island, który wyszedł z trybu „stealth" w lutym, chce przejąć te odpady i nadać im nowe życie. „Dziś robimy tak, że wyjmujemy zużyte paliwo z reaktora, umieszczamy je na kilka lat w basenie z wodą, żeby ostygło, a następnie przenosimy na betonową płytę obok reaktora" – mówi Stafford Sheehan, założyciel i dyrektor generalny Project Omega. Chce on przenieść odpady z betonowej płyty do kąpieli gorących soli, wydobyć z nich użyteczne pierwiastki i ponownie wykorzystać je w reaktorach jądrowych – albo w innych urządzeniach, takich jak długowieczne czujniki dla satelitów wojskowych.

Wydobywanie energii z tych „atomowych śmieci" jest szczególnie atrakcyjne dla zastosowań wojskowych. Na przykład konwoje pojazdów są łatwymi celami. Energia jądrowa mogłaby je zasilać, eliminując potrzebę tankowania. Odległe placówki mogłyby korzystać z zaawansowanych reaktorów działających na przetworzonym paliwie. Rząd federalny chce wzmocnić sektor jądrowy – także w obszarze wojskowym – ale brakuje mu infrastruktury do recyklingu odpadów.

Sheehan zamierza wykorzystać tę lukę. „Energetyka jądrowa ma swoje pięć minut" – twierdzi. W maju 2025 roku prezydent Donald Trump podpisał rozporządzenia wykonawcze wspierające rozwój zaawansowanych reaktorów, a nawet nakazał Departamentowi Obrony budowę jednego z nich w krajowej bazie wojskowej. Na razie jednak odpady – i uwięziona w nich energia – będą zakopywane. „To całkowicie zmarnowana szansa" – mówi Sheehan.

Inne kraje ją wykorzystują. Francja, Chiny i Rosja przetwarzają swoje odpady jądrowe, stosując metodę opartą na kwasach, aby oddzielić użyteczne pierwiastki.

Start-up Project Omega planuje pozyskiwać do zasilania sprzętu wojskowego zużyte paliwo jądrowe, jak pręt paliwowy widoczny w otwartym rdzeniu reaktora (*zdjęcie na sąsiedniej stronie*).

Konwoje pojazdów są łatwymi celami. Energia jądrowa mogłaby je zasilać bez potrzeby tankowania.

Stany Zjednoczone tego nie robią – głównie z powodu obaw o proliferację. W wyniku standardowego przetwarzania odpadów radioaktywnych powstaje bowiem czysty pluton. A pluton to „magiczny składnik" broni jądrowej. Jego produkcja zwiększa ryzyko jej rozprzestrzeniania, czemu USA od dekad starają się przeciwdziałać. „Przekonywaliśmy różnych partnerów – sojuszników – że skoro my nie przetwarzamy odpadów, oni też nie muszą – mówi Jenifer Shafer, była pracowniczka Departamentu Energii, obecnie związana z Colorado School of Mines. – To postawiło nas w sytuacji, w której politycznie trochę związaliśmy sobie ręce."

Sarah Scoles jest dziennikarką i popularyzatorką nauki z Kolorado, współpracowniczką „Scientific American". Jej najnowsza książka to *Countdown: The Blinding Future of Nuclear Weapons* (Bold Type Books, 2024).

Jednocześnie USA nadal potrzebują innych radioaktywnych pierwiastków niż pluton – na przykład specjalistycznych izotopów do zastosowań medycznych czy paliwa do własnych reaktorów – więc często kupują je za granicą. „Wiele z tych izotopów pozyskiwaliśmy z Rosji" – mówi Shafer. Ta zależność stanowi strategiczne wąskie gardło: jeśli Moskwa zakręcałaby kurek, kluczowy amerykański sektor przestałby działać. Project Omega proponuje krajowe źródło materiałów z recyklingu – bez ryzyka związanego z plutonem – co uczyniłoby Stany Zjednoczone bardziej samowystarczalnymi bez popadania w hipokryzję.

Firma planuje zastosować inny proces: reakcję w stopionych solach. Podgrzewa sól, na przykład chlorek litu, aż stanie się ciekła, a następnie miesza ją z odpadami – toksycznym koktajlem tlenków metali pierwiastków promieniotwórczych. W wyniku reakcji chemicznej powstają czyste metale. Trafiają do kolejnej kąpieli soli, gdzie pozyskuje się uran, a w dalszych etapach tego procesu inne pierwiastki.

Podejście firmy przypomina połączenie huty aluminium i rafinerii ropy. W procesie nadal powstaje pluton, ale pozostaje on chemicznie „uwięziony" w chaotycznej mieszaninie innych materiałów – co czyni go mało użytecznym dla kogoś próbującego wyprodukować broń jądrową.

Nie jest to jednak łatwe zadanie. Produkt końcowy jest trudniejszy do obróbki niż ten pozyskany standardową metodą chemiczną. W procesie tym ponadto jest generowany tlen, który powoduje korozję urządzeń. Shafer uważa jednak, że inwestycje w badania i rozwój tej metody mogą rozwiązać oba problemy naraz. Spowolnienie przyrostu odpadów zmniejsza potrzebę importu materiałów radioaktywnych z Rosji i pozwala cywilom oraz wojsku maksymalnie wykorzystać potencjał uranu.

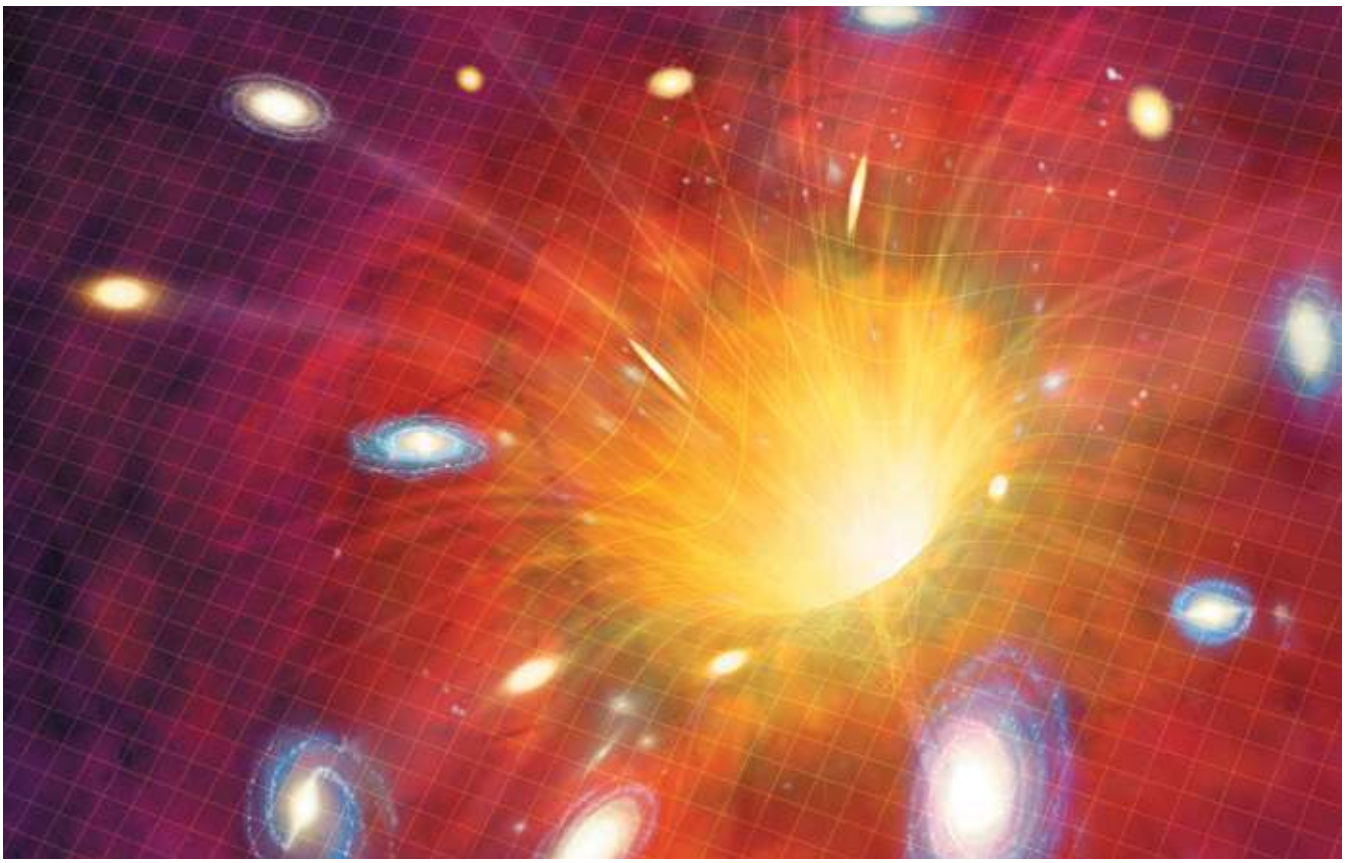
Po przetworzeniu odpady przyjmują kilka form. Pozostały uran może wrócić do reaktorów. Mniej istotne izotopy – według wizji Project Omega – mogłyby zasilać małe urządzenia. „Wyobraź sobie iPhone, który nigdy się nie rozładowuje" – mówi Sheehan, nieco koloryzując.

Pentagon może mieć jednak inne wyobrażenie o non stop działających urządzeniach. Powstające projekty mogą wymagać izotopów do zasilania czujników w przestrzeni kosmicznej, autonomicznych dronów zdolnych do wielomiesięcznego lotu oraz komputerów przetwarzających dane wywiadowcze. W przypadku sprzętu operującego na obszarach bez dostępu do sieci energetycznej rozwiązywałoby to problem jego zasilania.

Aby to osiągnąć, Project Omega chce współpracować z rządem. Niedawno firma otrzymała obietnicę finansowego wsparcia od agencji DARPA. Na razie prace z materiałami promieniotwórczymi są prowadzone we współpracy z Pacific Northwest National Laboratory, należącym do Departamentu Energii.

Ostatnio Project Omega we współpracy z laboratorium państwowym zbudowała źródło zasilania mikroprocesora wykorzystujące izotop strontu-90. Gdy naukowcy wprowadzili materiał promieniotwórczy do urządzenia, mikroprocesor zadziałał i żadna zielona maź się nie wylała. ■

eprasa.pl fa61415544



W poszukiwaniu najdalszej galaktyki

Rekordowe obiekty mogą dostarczyć informacji o najpotężniejszych zjawiskach we Wszechświecie

PHIL PLAIT

JAKO POPULARYZATOROWI NAUKI rzadko zdarza mi się przeżyć cały tydzień bez znalezienia w skrzynce odbiorczej komunikatu prasowego informującego o jakimś nowym, bijącym rekordy obiekcie odkrytym przez astronomów.

Czasami jest to najmniejsza z dotychczas odkrytych planet lub gwiazda o najmniejszej ilości żelaza. Jednak bardzo często w grę wchodzi rekordowa odległość – na przykład najodleglejsza galaktyka, jaką kiedykolwiek zaobserwowano.

Jeśli chodzi o tego rodzaju rekordy, to mam mieszane uczucia i wynika to z mojego wieloletniego doświadczenia jako naukowca i popularyzatora. Do takich doniesień należy podchodzić ostrożnie, ponieważ czasami nie są one aż tak wielką sensacją – niemniej zdarza się, że zwiastują ogromną zmianę w rozumieniu Wszechświata.

Rekordy odległości są doskonałym wskaźnikiem stanu wiedzy w astronomii. Odkrywanie niezwykle odległych galaktyk jest trudne. Generalnie rzecz biorąc, obiekty wydają się coraz mniejsze i słabiej widoczne wraz ze wzrostem odległości, a zatem do ich wykrycia potrzebne są gigantyczne teleskopy.

Następnie pojawia się trudność z określeniem ich rzeczywistej odległości. Nie potrafimy tego zrobić bezpośrednio; to nie jest tak, że po prostu wskakujemy na pokład statku międzygwiezdnego *Enterprise* i obserwujemy licznik przebytych kilometrów w miarę pokonywania tuneli czasoprzestrzennych. Dlatego wyznaczamy odległości w inny sposób.

Najbardziej uznaną metodą jest obserwacja przesunięcia ku czerwieni – Wszechświat ekspanduje, a wraz z nim przestrzeń ze znajdującymi się w niej galaktykami. Światło wyemitowane przez odległą galaktykę traci energię, przeciwstawiając się temu rozszerzaniu, zanim więc do nas dotrze, jego długość fali ulega zwiększeniu, co astronomowie określają mianem przesunięcia ku czerwieni. Ze względów historycznych (i matematycznych) mówimy, że foton, którego długość fali wzrosła dwukrotnie, ma przesunięcie ku czerwieni równe jedności; jeśli długość fali jest trzykrotnie większa, przesunięcie ku czerwieni wynosi dwa itd. Ponieważ prędkość, z jaką dana galaktyka się od nas oddala,

Phil Plait jest profesjonalnym astronomem i popularyzatorem nauki z Wirginii. Publikuje biuletyn „Bad Astronomy". Można go śledzić na Beehiiv.

Science Photo Library/Mark Garlick/Getty Images

eprasa.pl fa61415544

jest powiązana z jej odległością, możemy wykorzystać wielkość jej przesunięcia ku czerwieni jako miernik odległości.

To też nie jest wcale zadaniem łatwym, ponieważ przeliczenie przesunięcia ku czerwieni na odległość wymaga zrozumienia niektórych dość tajemniczych właściwości Wszechświata – takich jak ilość zawartej w nim zwykłej materii, ciemnej materii i ciemnej energii, by wymienić tylko kilka z nich. Mamy jednak wystarczająco dokładne dane liczbowe dotyczące tych parametrów, aby uzyskać rzetelne wyobrażenie o odległościach.

I tu właśnie w grę wkracza pojęcie „bicia rekordów". Czasami widzę artykuł lub komunikat o nowej galaktyce, która pobiła rekord – lecz ma ona przesunięcie ku czerwieni, powiedzmy, 7,34, a wcześniejszy rekord wynosił 7,33. Ta zmiana jest doprawdy niewielka! I w zależności od przyjętych wartości parametrów kosmicznych może się przełożyć na zaledwie milion lat świetlnych. W naszym przykładzie obiektu o przesunięciu ku czerwieni wynoszącym 7,34 mówimy o odległościach rzędu 13 mld lat świetlnych, czyli rekordowa galaktyka nie wyprzedza poprzedniego rekordzisty nawet o własną długość. W każdym razie nie dowiadujemy się zbyt wiele o naturze kosmosu, gdy znajdujemy jakąś galaktykę, która wygrywa z inną o włos (czy raczej powinno się powiedzieć o ramię spiralne).

Bywają jednak przypadki, kiedy takie rekordy *naprawdę* mówią nam coś ważnego.

Gdy pod koniec lat 90. pracowałem przy teleskopie Hubble'a, coraz częściej znajdowano obiekty o przesunięciu ku czerwieni wynoszącym około 6, ponieważ obserwatorium to zostało zaprojektowane m.in. po to, by wykrywać niezwykle odległe galaktyki. Hubble odkrył kilka obiektów, które być może znajdowały się jeszcze dalej, lecz trudno było to potwierdzić. Z biegiem czasu astronomom korzystającym z tego i innych teleskopów udało się jednak dostrzec takie skrajnie dalekie galaktyki dzięki zastosowaniu przemyślnych technik, takich jak soczewkowanie grawitacyjne.

Następnie, w 2021 roku, nasze możliwości ogromnie się zwiększyły wraz z oddaniem do użytku Kosmicznego Teleskopu Jamesa Webba, którego oko w zakresie podczerwonym jest bardziej wyczulone na obiekty o ekstremalnym przesunięciu ku czerwieni, a zwierciadło o średnicy 6,5 m, ogromne jak na obserwatorium kosmiczne, przewyższa mniejsze układy optyczne Hubble'a w zakresie możliwości zbierania fotonów. Niebawem pojawiły się artykuły, w których donoszono o galaktykach, których przesunięcie ku czerwieni wynosi 10, 11 lub nawet więcej – i chociaż wiele z tych wstępnych pomiarów okazało się później błędnych, ostatecznie potwierdzono kilka przesunięć ku czerwieni powyżej 14. Jest to właśnie jeden z tych momentów, w których pobicie rekordu okazuje się ważne – uświadamia, że oto zyskaliśmy nowy sposób obserwacji kosmosu, co zazwyczaj inicjuje nową erę odkryć astronomicznych.

Rekordy odległości są doskonałym wskaźnikiem aktualnego stanu astronomii.

Warto nadmienić, że w momencie pisania przeze mnie tego tekstu rekord odległości należy do bardzo jasnej, czerwonej plamki – galaktyki o nazwie MoM-z14, której przesunięcie ku czerwieni wynosi 14,44. Ale kto wie, jak będzie wyglądać sytuacja, wtedy gdy będziecie to czytać?

Rekordy te mają również istotne znaczenie naukowe. Przykładowo prędkość światła w próżni jest bardzo duża, lecz nie nieskończona. Światło wyemitowane przez te odległe galaktyki potrzebuje miliardów lat, aby do nas dotrzeć, co oznacza, że im są dalej, we wcześniejszym momencie historii kosmosu je widzimy. Każdy kolejny rekord świadczy, że poszerzyliśmy naszą wiedzę o wczesnym Wszechświecie, a czasami wręcz, że patrzymy na Wszechświat w innym stadium jego rozwoju.

Na przykład bardzo młody kosmos był zupełnie nieprzezroczysty. Ale później w pewnym momencie powstały gwiazdy oraz supermasywne czarne dziury wyrzucające energię, co nadało mu przezroczystość. Przyglądając się galaktykom z tego okresu, możemy poznać środowisko kosmiczne w tamtym czasie, zaledwie kilkaset milionów lat po powstaniu Wszechświata.

Dowiadujemy się również nowych rzeczy o samych galaktykach. Dlaczego świecą tak jasno już w tym wieku? Znajdują się w nich supermasywne czarne dziury, które w ogromnym tempie pochłaniają napływającą materię, lecz jak to się stało, że urosły one tak szybko do tak wielkich rozmiarów? Im bardziej odległą galaktykę odkrywamy, tym więcej danych mamy do dyspozycji, rozwikłując tego typu tajemnice.

Ponadto możemy wykorzystać tę bazę danych odległych obiektów, aby dowiedzieć się czegoś więcej o nich samych. Być może okaże się, że gros odległych galaktyk ma określoną średnią jasność, przy czym kilka z nich nieznacznie ją przewyższa, lecz żadna nie jest dużo jaśniejsza. To dostarczyłoby nam wiedzy na temat fizyki powstawania galaktyk, a także tego, w jaki sposób galaktyki rozrastają się i emitują światło. Gdyby istniała pojedyncza, najjaśniejsza odległa galaktyka, fakt ten mógłby nałożyć ścisłe ograniczenia na to, jak się one zachowują.

Istnieje też inny rekord, który będzie trudny do pobicia, a nawet zweryfikowania. Gdy spojrzymy wystarczająco daleko w przeszłość, nie zobaczymy ani jednej galaktyki. Dlaczego? Ponieważ żadne jeszcze nie powstały! Formowanie się galaktyk zajęło kilkaset milionów lat, przy czym ciemna materia służyła jako grawitacyjne rusztowanie, pozwalając normalnej materii gromadzić się i kondensować w kolosalnych ilościach, w wyniku czego ostatecznie utworzyły się mgławice, gwiazdy i planety. Jeśli tylko uda nam się zajrzeć wystarczająco daleko w głęboki kosmos – a tym samym wystarczająco daleko w przeszłość – dotrzemy do czasu, w którym te struktury w ogóle jeszcze nie istniały.

Prawdę mówiąc, już to zrobiliśmy – teleskopy mikrofalowe zarejestrowały ognistą kulę Wielkiego Wybuchu, promieniowanie pozostałe po pierwotnej ekspansji Wszechświata, które wypełnia sferę niebieską jako delikatna poświata długofalowa (to dopiero prawdziwy rekord – przesunięcie ku czerwieni promieniowania tła wynosi około 1000!). Jednakże pomiędzy tym momentem a czasem, kiedy zaczęły powstawać pierwsze galaktyki, istnieje licząca kilkaset milionów lat luka, o której praktycznie niczego nie wiemy. Każdy kolejny zarejestrowany rekord nieco ją zmniejsza.

Wszechświat jest przepiękny, ciemny i rozległy, lecz dzięki naszym potężnym teleskopom i bystrym umysłom penetrujemy go coraz dogłębniej. Z tego względu z radością witam kolejne rekordy. Na tym etapie naszych poszukiwań każdy z nich stanowi krok do odkrycia nowych astronomicznych terytoriów. ■

eprasa.pl fa61415544

Jak zarobić na prognozach kosmicznej pogody

Nowo powstała firma chce sprzedawać prognozy oparte na nowym modelu aktywności Słońca SARAH SCOLES

10 MAJA 2024 ROKU firma John Deere, producent maszyn rolniczych, leśnych i drogowych, rozesłała dość osobliwy komunikat. „Prosimy zwrócić uwagę na znaczącą aktywność słoneczną" – głosił tekst.

Przedsiębiorstwo produkujące traktory i czapki z daszkiem, niekoniecznie jest instytucją, do której byśmy się zwrócili po porady dotyczące Słońca. A jednak burze na naszej gwieździe zakłócały działanie systemów GPS w precyzyjnych maszynach rolniczych John Deere, w których wykorzystuje się nawigację satelitarną, by pomagać rolnikom precyzyjnie siać, opryskiwać i zbierać plony. „Przepraszamy za niedogodności" – kontynuowano w komunikacie, choć trudno kogokolwiek obarczać odpowiedzialnością za kosmos.

Zwykle myślimy o Słońcu w kategoriach codziennych, regularnych rytuałów (wschód, zachód). Tymczasem „aktywność słoneczna" to erupcje na jego powierzchni, które wyrzucają w przestrzeń energię i naładowane cząstki. Zjawiska te mają głęboki wpływ na życie na Ziemi. Burze słoneczne mogą stanowić zagrożenie dla astronautów i pasażerów samolotów, zakłócać elektronikę satelitów i obniżać ich orbity, a nawet wpływać na sieci energetyczne i zasięg telefonii komórkowej.

Właśnie dlatego naukowcy starają się przewidywać poziom aktywności Słońca – aby móc ostrzec rolników, że ich traktor może zboczyć z drogi na sąsiedni rząd lucerny, albo uprzedzić firmy energetyczne o możliwych przerwach w dostawie prądu. Jest tylko jeden problem: tak naprawdę nie rozumiemy dobrze, jak Słońce obecnie działa – nie mówiąc już o tym, jak zachowa się ono w przyszłości. Mimo to heliofizycy, czyli badacze Słońca, opracowują różne – choć niedoskonałe – modele naszej najbliższej gwiazdy, by lepiej prognozować jej zachowanie.

Jedna ze stosunkowo nowych koncepcji, która może w tym pomóc, to tzw. model terminatora. Nazwa modelu nie ma nic wspólnego z końcem świata – odnosi się do specyficznego zjawiska słonecznego zidentyfikowanego przez naukowców i nazwanego przez nich „terminatorem". Przyjmuje się w nim, że Słońcem rządzą pierścieniowe pasma magnetyczne, przypominające kształtem obwarzanki przemieszczające się po jego powierzchni. Zgodnie z tą teorią – odmienną od tradycyjnych modeli aktywności słonecznej – pojawianie się, zanik i ruch tych pasm determinują kapryśne zachowanie naszej gwiazdy.

Model ten sprawdził się tak dobrze w przypadku ostatniego cyklu słonecznego, że jeden z jego współtwórców założył firmę sprzedającą oparte na nim prognozy.

SŁOŃCE porusza się we własnym (wciąż nie w pełni rozszyfrowanym) rytmie, przechodząc przez cykl trwający około 11 lat. Zaczyna się on stosunkowo spokojnie – z niewielką liczbą plam słonecznych i słabą aktywnością. Z czasem liczba plam i aktywność rosną, osiągając maksimum mniej więcej w połowie cyklu. Wtedy biegunowe pole magnetyczne Słońca zmienia kierunek, po czym aktywność stopniowo maleje aż do minimum, rozpoczynając cały proces od nowa. Dwa takie cykle tworzą większy – cykl Hale'a – w którym pole magnetyczne wraca do pierwotnego stanu.

Dokładny poziom aktywności Słońca w danym momencie cyklu pozostaje jednak przedmiotem sporów. Na początku każdego cyklu eksperci spotykają się na konferencji organizowanej przez NASA i amerykańską National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Tam ustalają najlepszą możliwą prognozę dotyczącą siły aktywności słonecznej i momentu jej wystąpienia. „Wszyscy chcą wiedzieć, jak będzie wyglądał cykl słoneczny, żeby móc planować" – mówi Lisa Upton z Southwest Research Institute w Teksasie, współprzewodnicząca ostatniego panelu z 2019 roku.

Od tego czasu, na podstawie rzeczywistych obserwacji, Mark Miesch z Centrum Prognoz Pogody Kosmicznej NOAA regularnie aktualizuje tę prognozę – której timing okazał się nietrafiony, a przewidywana aktywność plam słonecznych zbyt niska. Aktualizacje uwzględniają to, co „już wiemy o cyklu i czego możemy się w związku z tym spodziewać", mówi Upton.

Prognoza z 2019 roku – opracowana przez czołowych ekspertów – wymagała korekt, ponieważ Słońce jest niezwykle złożone. Przede wszystkim, mówi Mausumi Dikpati, starsza badaczka w National Center for

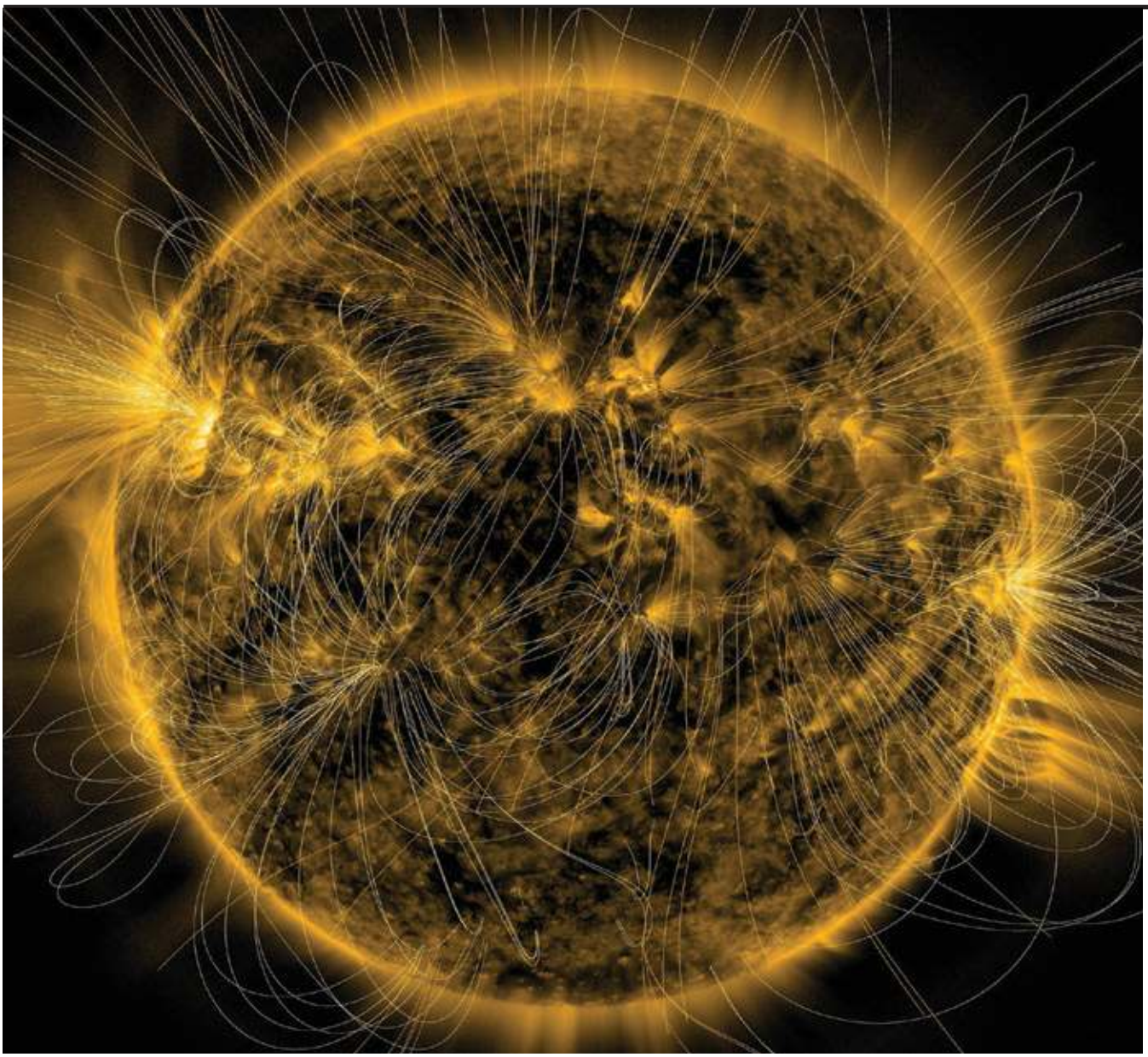
Sarah Scoles jest dziennikarką i popularyzatorką nauki z Kolorado, współpracowniczką „Scientific American". Jej najnowsza książka to *Countdown: The Blinding Future of Nuclear Weapons* (Bold Type Books, 2024).

Mcmaster Studio/Alamy

eprasa.pl fa61415544

Burze słoneczne mogą zakłócać sygnały GPS, na których polegają zaawansowane technicznie ciągniki.

eprasa.pl fa01115544



GSFC/NASA

Naukowcy zaczynają przekuwać modelowanie pola magnetycznego w działalność biznesową, sprzedając prognozy, które pomagają liniom lotniczym i firmom satelitarnym unikać skutków szkodliwych zjawisk pogody kosmicznej.

Atmospheric Research (NCAR) High Altitude Observatory w Boulder, jego pola magnetyczne powstają i organizują się pod powierzchnią. „Bardzo trudno jest zobaczyć, co się dzieje wewnątrz Słońca" – mówi Dikpati.

Dodatkowo, dodaje Upton, naukowcy muszą analizować zjawiska obejmujące ogromne zakresy – od bardzo małych do gigantycznych skal przestrzennych, od tysięcy do milionów stopni Celsjusza, od ogromnych ciśnień, które zmiażdżyłyby człowieka, po miliony razy większe. Nie jest łatwo to wszystko jednocześnie uchwycić.

Mimo tych trudności badacze tworzą modele symulujące różne aspekty działania Słońca. Jedni analizują dane historyczne i szukają wzorców statystycznych. Inni badają interakcje plazmy i pól magnetycznych lub zmiany pola magnetycznego na powierzchni gwiazdy. Jeszcze inni wykorzystują oscylacje słoneczne (coś w rodzaju „trzęsień" gorącej cieczy), by pośrednio zajrzeć do jej wnętrza. Coraz większą rolę odgrywają sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe, łączące dane z teorią fizyczną, mówi Dikpati.

Postęp jest stopniowy, ale zauważalny. Naukowcy zaczynają rozpoznawać „pory roku" aktywności słonecznej – okresy wzmożonej aktywności przeplatane spokojniejszymi fazami trwającymi od sześciu do 18 miesięcy. Wiedza o tym, kiedy w obrębie większego cyklu może wystąpić taki wzrost aktywności, mogłaby umożliwić wydawanie ostrzeżeń przed burzami w średniej skali czasowej – czegoś na kształt heliofizycznej agendy dla operatorów satelitów i… traktorzystów.

NIEWIELKA GRUPA BADACZY, kierowana przez Scotta McIntosha, wcześniej zastępcę dyrektora NCAR, proponuje jednak inne podejście.

eprasa.pl fa61415544

Ich model terminatora zyskuje popularność, ponieważ jego przewidywania dla obecnego cyklu okazały się bliższe rzeczywistości niż oficjalne prognozy rządowe USA.

Według McIntosha zarówno cykl Hale'a, jak i cykl plam słonecznych są kontrolowane przez pasma magnetyczne oplatające Słońce niczym pierścienie. W pobliżu maksimum tradycyjnego cyklu słonecznego na wysokich szerokościach heliograficznych – zarówno na półkuli północnej, jak i południowej Słońca – pojawiają się dwa nowe pasma o przeciwnych biegunowościach. W miarę trwania cyklu stopniowo przemieszczają się one w kierunku równika, a na dużych szerokościach znów tworzą się kolejne pasma – można to sobie wyobrazić jako układ przypominający taśmę transportową.

Terminacja następuje wtedy, gdy starsze pasma magnetyczne w końcu zderzają się na równiku. To spotkanie nie jest wcale miłe: prowadzi do anihilacji obu starych pasm, ponieważ ich przeciwnie skierowane pola wzajemnie się znoszą.

W modelu McIntosha ta anihilacja stanowi definitywny koniec cyklu słonecznego. Pole magnetyczne na biegunach Słońca zaczyna się odwracać, a plamy słoneczne związane z następnym cyklem pojawiają się na średnich szerokościach heliograficznych w ciągu dni lub tygodni. „To jak ogromny, globalny system komunikacji" – mówi McIntosh o magnetyzmie gwiazdy. Scenariusz ten burzy tradycyjne koncepcje, czyniąc pole magnetyczne głównym motorem aktywności słonecznej i ujmując początek oraz koniec cyklu w kategoriach pasm, a nie plam słonecznych.

Czas między dwiema terminacjami – nigdy dokładnie 11 lat – jest, według modelu, silnym wskaźnikiem siły następnego cyklu. Krótsza przerwa wskazuje większą aktywność Słońca – co właśnie zespół modelu terminatora przewidział dla obecnego cyklu.

Sam model ma jednak pewne ograniczenia. Na przykład nie zawiera on podstawowej teorii fizycznej wyjaśniającej, dlaczego Słońce miałoby działać w ten sposób; jest raczej stwierdzeniem, że – zdaniem tych naukowców – nasza gwiazda rzeczywiście tak funkcjonuje. „Ich podejście jest czysto obserwacyjne" – mówi Dikpati, choć ona i jej współpracownicy opublikowali pracę proponującą mechanizm, który mógłby wyjaśnić, w jaki sposób terminacje inicjują nowe cykle plam słonecznych.

Zanim McIntosh i jego zespół opublikowali tę koncepcję, przeanalizowali wcześniejsze cykle, przeprowadzając „retrospektywne prognozowanie" na podstawie momentów wystąpienia terminacji. Model okazał się bardzo dokładny w testach przeprowadzonych dla cykli z lat 1996–2006.

Christian Möstl, szef Austriackiego Biura Pogody Kosmicznej, które prowadzi stronę Helio4Cast, twierdzi, że wykorzystywanie momentów zdarzeń terminacyjnych do prognozowania cykli słonecznych jest bardzo użyteczne. Choć metoda ta nieco przeszacowała siłę obecnego cyklu – 25. cyklu słonecznego [Obecny cykl, który rozpoczął się w grudniu 2019 roku, nosi taki numer, ponieważ jest 25. w kolejności od momentu rozpoczęcia przed astronomów obserwacji – w połowie XVIII wieku – przyp.red.] – Möstl mówi, że jego instytucja ponownie jej użyje do przewidywania następnego. „Jeszcze nie wiemy, co przyniesie, ale należy brać pod uwagę możliwość, że może być on nawet silniejszy niż cykl 25." – mówi

Opierając się na tych sukcesach McIntosh wraz z partnerką biznesową Katherine Monson założył firmę Hale SWx. Celem jest wykorzystanie modelu terminatora do dostarczania przedsiębiorstwom trafniejszych prognoz aktywności słonecznej. (McIntosh wcześniej odszedł z NCAR, aby dołączyć do firmy Lynker, która zajmuje się głównie badaniami Słońca i pogody kosmicznej na potrzeby NOAA). Jak mówi Monson, Hale działa m.in. w sektorach rolnictwa precyzyjnego, przemysłu naftowo-gazowego oraz lotnictwa. Współpracuje też z Lynker przy projektach dla Space Weather Prediction Center.

Kluczową grupą klientów będą operatorzy satelitów: pogoda kosmiczna zwiększa opory ruchu satelitów, co może prowadzić do ich przedwczesnego spadku z orbity lub wymuszać zużycie dużych ilości paliwa na zwiększanie wysokości. Firma Capella Space niedawno doświadczyła tych skutków.

W sierpniu 2024 roku opublikowała komunikat prasowy zatytułowany „Capella's Battle with the Sun", opisujący sytuację, w której atmosfera na niskiej orbicie okołoziemskiej była od dwóch do trzech razy gęstsza, niż przewidywano, z powodu aktywności słonecznej wyższej, niż ogłoszono w oficjalnych prognozach. Satelita Capella Space miał spaść na Ziemię wcześniej, niż planowano; w artykule konferencyjnym z 2024 roku jego autor, który był wówczas członkiem zespołu firmy, stwierdził, że jej pracownicy uznali prognozę opartą na terminatorach za trafną i zaczęli wykorzystywać ją w swoich modelach. Planet Labs, inna firma wykorzystująca małe satelity do obserwacji Ziemi, również chętnie sięga po prognozy terminatorowe w swoich analizach.

Niezależnie od tego, na czyich prognozach polegają użytkownicy, przewidywania dotyczące aktywności słonecznej są dziś ważniejsze niż kiedykolwiek, ponieważ my, mieszkańcy Ziemi, coraz bardziej uzależniamy nasze codzienne funkcjonowanie od elektroniki i satelitów.

Choć model terminatora zdobył popularność, istnieje wiele innych sposobów myślenia o Słońcu – niektóre z nich mają solidniejsze podstawy fizyczne. Biorąc to pod uwagę oraz złożoność samej gwiazdy, Dikpati stwierdza, że „Powinno się dopuścić wiele modeli", ponieważ tylko różnorodność ziemskich sposobów myślenia może uchwycić złożoność zjawisk niebieskich i pomóc użytkownikom maszyn John Deere przygotować się na rozbłyski słoneczne w przyszłości. ■

eprasa.pl fa61415544

Niebezpieczne przekąski

Czy wysokoprzetworzona żywność uzależnia? LAUREN J. YOUNG

NIEDAWNY WZROST popularności leków odchudzających będących agonistami GLP-1 sprawił, że do codziennego języka trafiły pojęcia z pogranicza uzależnień, takie jak „food noise" (szum jedzeniowy) czy „food cravings" (napady apetytu). Obecnie część neuronaukowców i badaczy zachowań żywieniowych próbuje ustalić, czy jedzenie – zwłaszcza żywność wysokoprzetworzona – może uzależniać w podobny sposób jak znane substancje, takie jak papierosy, alkohol czy kokaina.

Potencjalnie uzależniające produkty są często „tworzone tak, by były maksymalnie smakowite i atrakcyjne", mówi Alex DiFeliceantonio, neuronaukowiec badająca mechanizmy apetytu na Virginia Tech. „Kiedy przyjrzymy się środowisku żywieniowemu, to właśnie takie produkty najczęściej okazują się wysokoprzetworzone".

„Scientific American" rozmawiał z DiFeliceantonio o tym, czy uzależnienie od jedzenia jest realne, czy niektóre produkty mają większy potencjał uzależniający niż inne oraz jak można radzić sobie z powiązanymi z tym zaburzeniami odżywiania.

Poniżej skrócony zapis rozmowy.

Co to znaczy być uzależnionym od jedzenia?

Gdy myślimy o uzależnieniu od jedzenia i analizujemy, co jedzą osoby, które twierdzą, że „nie mogą przestać jeść", musimy rozpatrywać to w ramach zaburzeń używania substancji (ZUS). To zaburzenia, które znacząco utrudniają normalne funkcjonowanie. Uzależnienie od jedzenia nie znajduje się w Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM), w przeciwieństwie do uzależnień od substancji, ale pojawiła się propozycja, by je tam uwzględnić.

W praktyce klinicznej często korzysta się ze Skali Uzależnienia od Jedzenia Yale (Yale Food Addiction Scale), w której stosuje się te same kryteria, co w zaburzeniach używania substancji w DSM. Zawiera ona także wskaźniki kliniczne pokazujące, czy objawy uzależnienia negatywnie wpływają na życie – na przykład na relacje społeczne czy funkcjonowanie w pracy. Jeśli przyjąć, że uzależnienie od jedzenia istnieje, to badania populacyjne prowadzone w różnych krajach wskazują, że doświadcza go około 12% ludzi.

Na rozwój zachowań uzależnieniowych wpływa wiele czynników, ale najczęściej jest to połączenie potencjału uzależniającego danej substancji i podatności konkretnej osoby. W przypadku jedzenia również analizujemy oba te aspekty: składniki mogące mieć właściwości uzależniające oraz osoby bardziej na nie wrażliwe. Zwracamy też uwagę na cechy żywności, takie jak wysoka zawartość rafinowanych węglowodanów, które aktywują układ nagrody w mózgu.

Inne kryteria uzależnienia obejmują utratę kontroli nad spożyciem i powtarzalne wzorce jedzenia – co obserwujemy na przykład w zaburzeniu z napadami objadania się. Nie jest ono tym samym, co uzależnienie od jedzenia, ale istnieją między nimi podobieństwa. Produkty najczęściej spożywane podczas napadów to zwykle żywność wysokoprzetworzona – pizza, lody, słodycze czy chipsy – a bardzo rzadko owoce, orzechy czy rośliny strączkowe.

Czym właściwie jest żywność wysokoprzetworzona?

Istnieje kilka definicji, ale najczęściej stosowana – także w moim laboratorium – to klasyfikacja NOVA. Dzieli ona żywność na cztery poziomy, z których czwarty obejmuje produkty wysokoprzetworzone.

Zawierają one składniki lub przechodzą procesy technologiczne niedostępne w domowej kuchni. Mogą to być dodatki stabilizujące czy substancje poprawiające konsystencję. Samo wzbogacenie witaminami (np. witaminą D czy wapniem) nie czyni produktu automatycznie wysokoprzetworzonym. Termin ten odnosi się także do przemysłowych metod produkcji – takich jak ekstrudowanie, spienianie, obróbka w wysokiej temperaturze czy formowanie w sposób niemożliwy do odtworzenia w domu.

Dlaczego takie produkty silnie aktywują układ nagrody?

Współczesna nauka zakłada, że mamy jeden układ nagrody, który reaguje na różne bodźce. Wszystkie substancje uzależniające zwiększają poziom dopaminy w prążkowiu (części mózgu odpowiedzialnej za ruch i nagrodę). To dogmat obowiązujący od 1988 roku, kiedy farmakolodzy Gaetano Di Chiara i Assunta Imperato opublikowali na ten temat przełomową pracę. Podobnie jest w przypadku niektórych pokarmów. Jeśli poda się zwierzęciu cukier i tłuszcz do jamy ustnej, obserwuje się wzrost poziomu dopaminy. Jeśli te same substancje trafią bezpośrednio do jelit, efekt będzie podobny – również dojdzie do zwiększenia wydzielania dopaminy. Nie istnieje jednak żadna uzgodniona granica, która pozwalałaby jednoznacznie stwierdzić, kiedy dana substancja jest uzależniająca; nie mówimy przecież, że musi ona podnieść poziom

Lauren J. Young jest młodszą redaktorką „Scientific American"; zajmuje się tematyką medyczną.

Ilustracja Shideh Ghandeharizadeh

eprasa.pl fa61415544

dopaminy w prążkowiu o określoną wartość.

Żywność wysokoprzetworzona rozpowszechniła się w USA w latach 50. XX wieku i oddziałuje na układ nagrody, który ewoluował, by reagować na naturalne źródła przyjemności.

Takie produkty „uruchamiają" wiele mechanizmów naraz: zwiększają poziom soli, tłuszczu i rafinowanych węglowodanów, a ich smak i konsystencja są dodatkowo wzmacniane przez różne dodatki technologiczne. Nie myślimy o brokułach jako o czymś uzależniającym – raczej o produktach zawierających kombinacje składników, które razem mogą dawać taki efekt.

Jaką rolę mogą odgrywać leki GLP-1, takie jak Wegovy czy Ozempic?

Potrzebujemy jeszcze więcej danych, ale osoby przyjmujące te leki często mówią o zmniejszeniu „szumu jedzeniowego". Leki te działają także poprzez zwiększanie uczucia sytości. Część spadku apetytu wynika z nudności i szybszego nasycenia, ale nadal badamy, w jakim stopniu efekt wynika ze zmian w układzie nagrody.

Przeprowadziliście niewielkie badanie wśród młodych dorosłych w wieku od 18 do 25 lat, którzy stosowali dietę bogatą w żywność wysokoprzetworzoną. Jakie zmiany w nawykach żywieniowych zaobserwowaliście?

To, co odkryliśmy, jest – moim zdaniem – naprawdę interesujące. Zastosowaliśmy dwa warianty eksperymentu: przez dwa tygodnie uczestnicy spożywali posiłki, w których albo 81% kalorii pochodziło z żywności wysokoprzetworzonej, albo 0% kalorii pochodziło z takich produktów. Wszyscy badani przeszli przez obie diety, które były dopasowane pod względem wartości odżywczych, a pomiędzy nimi zastosowano czterotygodniowy okres „oczyszczania".

W jednym z testów uczestnicy po każdym okresie diety udawali się na posiłek w formie bufetu i mogli jeść bez ograniczeń. Okazało się, że starsza grupa (w wieku od 21 do 25 lat) nie jadła więcej po diecie wysokoprzetworzonej niż po diecie o minimalnym stopniu przetworzenia. Natomiast młodsza grupa spożywała więcej z bufetu po diecie wysokoprzetworzonej niż po tej drugiej.

W innym teście – tzw. teście braku głodu – uczestnicy mogli wybierać między przekąskami a korzystaniem z telefonu. Po diecie wysokoprzetworzonej młodsi uczestnicy częściej sięgali po jedzenie, nawet gdy nie byli głodni. To przykład bezrefleksyjnego podjadania.

Badania nie pokazało bezpośrednio stopnia uzależnienia, ale fakt, że żywność wysokoprzetworzona może zmieniać zachowania. Planujemy kolejne analizy dotyczące tego, które produkty mają profil uzależniający i jak różni się to między ludźmi.

Dlaczego niektórzy są bardziej niż inni podatni na takie zachowania?

Znamy warianty genetyczne zwiększające ryzyko uzależnienia od nikotyny, alkoholu czy kokainy. W przypadku uzależnienia od jedzenia wciąż ich nie zidentyfikowano. I właśnie w tym kierunku – lepszego zrozumienia indywidualnej podatności – zmierzają obecnie badania.

Dlaczego „uzależnienie od jedzenia" budzi tyle kontrowersji?

To naprawdę trudny temat. Od zaburzeń używania substancji (takich jak alkohol), które nie są niezbędne do przetrwania, przechodzimy do czegoś, co jest do życia konieczne – jedzenia. Musimy jeść. Dlatego bardzo trudno jest myśleć o jedzeniu w kategoriach uzależnienia i o nim w ten sposób rozmawiać.

Często słyszę argument, że nie powinniśmy nadmiernie wszystkiego patologizować. Ale jeśli około 12% populacji mówi, że ma z tym problem, to może jednak należałoby się temu przyjrzeć – a przynajmniej poważnie to zbadać i ustalić, czym to właściwie jest.

Inni twierdzą, że to uzależnienie behawioralne – że nie jesteśmy uzależnieni od jedzenia jako substancji, tylko od samego aktu jedzenia. Ten argument jednak szybko przestaje mieć sens, gdy przyjrzymymy się temu, co ludzie faktycznie jedzą. Gdyby chodziło o sam akt konsumpcji, ludzie wybieraliby produkty wymagające wysiłku – twarde, chrupiące, trudne do spożycia. Tymczasem obserwujemy utratę kontroli nad jedzeniem produktów bogatych w tłuszcz, cukier i rafinowane węglowodany.

Myślę też, że część problemu ma podłoże moralne – jeśli jesteś uzależniony od jedzenia, to znaczy, że jesteś „złym człowiekiem". Na szczęście coraz częściej odchodzi się od takiego myślenia. Rozumiemy już, że na przykład zaburzenie używania alkoholu nie wynika z braku silnej woli. Osoby nim dotknięte nie są w stanie tego przezwyciężyć – potrzebują pomocy. Staram się podchodzić z taką samą empatią także do uzależnienia od jedzenia.

Jeśli żywność wysokoprzetworzona rzeczywiście uzależnia, jak można to leczyć? Jak wdrażać takie działania na poziomie społecznym i indywidualnym?

W przypadku uzależnień od substancji częścią terapii jest unikanie sytuacji i bodźców związanych z ich używaniem. Ale jak powiedzieć komuś, żeby unikał jedzenia? To niemożliwe. Żyjemy w środowisku, w którym jesteśmy nieustannie bombardowani bodźcami związanymi z jedzeniem – szczególnie tym wysokoprzetworzonym.

Uzależnienie ma wymiar społeczny i behawioralny. To my jako społeczeństwo decydujemy, które substancje są nielegalne i od jakiego wieku można z nich korzystać. Silnie przetworzone produkty – z dodatkiem czystego cukru, tłuszczu czy ich kombinacji, które nie występują naturalnie – aktywują układ nagrody w mózgu. Pojawia się więc pytanie: kiedy substancja dająca przyjemność staje się czymś, co powinniśmy regulować społecznie?

Do przeżycia potrzebujemy jedzenia, ale nie potrzebujemy większości produktów wysokoprzetworzonych, by zapewnić bezpieczeństwo żywnościowe jednostkom czy społeczeństwu. Oczywiście przetwarzanie żywności ma swoje uzasadnienie – dzięki wzbogacaniu produktów nie występują dziś powszechnie choroby takie, jak wole czy krzywica. Warzywa w puszkach czy mrożone owoce są ważne dla bezpieczeństwa żywnościowego. Ale jednocześnie nie ma żadnej konieczności, by dzieci były zasypywane reklamami bardzo słodkich płatków śniadaniowych. Te dwa światy można rozddzielić.

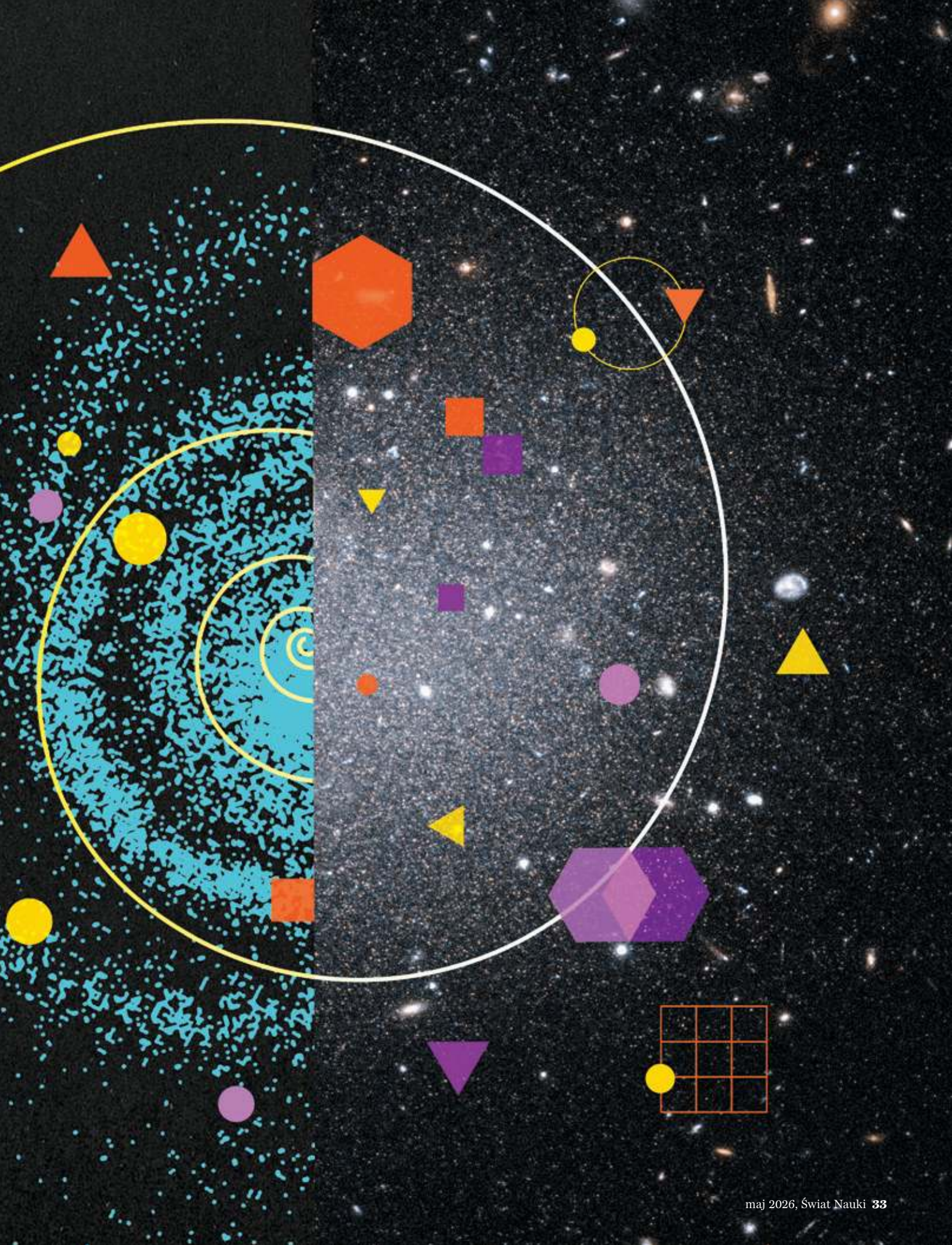
Często przedstawia się to tak, jakby regulacje oznaczały „odbieranie ludziom jedzenia". Tymczasem – jak powiedziała Nora Volkow, dyrektorka National Institute on Drug Abuse – „narkotyki odbierają mózgowi wolną wolę". Chcemy podejmować świadome wybory dla własnego zdrowia i zdrowia naszych rodzin. Jednak w przypadku substancji uzależniających przestajemy mieć nad tym kontrolę. Dlatego właśnie potrzebne są odpowiednie regulacje. Nie chodzi o odbieranie czegoś ludziom, lecz o stawianie barier ochronnych i pomoc w podejmowaniu świadomych decyzji – bo trudno mówić o świadomym wyborze, gdy mamy do czynienia z substancją uzależniającą. ■

eprasa.pl fa61415544

Galaktyczna tajemnica

Galaktyki karłowate bez ciemnej materii to wielka kosmiczna zagadka

MARIA LUÍSA BUZZO
Ilustracja CHAD HAGEN



KIEDY PO RAZ PIERWSZY USŁYSZAŁAM o galaktykach bez ciemnej materii, byłam na pierwszym roku studiów doktoranckich na Universidade de São Paulo. Był to rok 2018, i właśnie wtedy ogłoszono to odkrycie. Zespół naukowców wypatrzył małą, dziwną galaktykę, w której nie stwierdzono istnienia ciemnej materii – niewidzialnej substancji, która, jak się powszechnie uważa, stanowi większość materii we Wszechświecie i niezbędny składnik dla tworzenia się, ewolucji i stabilności galaktyk. Odkrycie to było tak ważne, że informacja o nim trafiła do brazylijskiej telewizji.

Nasz profesor wykorzystał tę wiadomość jako punkt wyjścia do wielomiesięcznych dyskusji. Galaktyki karłowate – mniejsze i bardziej rozdęte skupiska gwiazd niż galaktyki spiralne, jaką jest Droga Mleczna – od dawna uważano za obiekty zdominowane przez ciemną materię. Czy rzeczywiście mogłyby powstać i przetrwać bez niej? Czy wniosek o jej braku jest poprawny, czy też oparty na fałszywych założeniach lub błędach obserwacji? Czy jesteśmy świadkami pojawienia się problemu w modelach powstawania galaktyk?

Wciąż powracaliśmy do pozornie prostego, ale zaskakująco trudnego pytania: co definiuje galaktykę? Okazuje się, że nie ma jednej odpowiedzi. Dla przykładu, w 2011 roku dwaj astronomowie, Duncan Forbes ze Swinburne University w Australii i Pavel Kroupa z Universität Bonn w Niemczech, przeprowadzili ankietę „Czym jest galaktyka?". Jej wyniki pokazały, jak zróżnicowana może być definicja, nawet wśród ekspertów. Większość astronomów zgadza się, co do podstawowych założeń: galaktyki to masywne, powiązane grawitacyjnie układy gwiazd, gazu i pyłu z ważnym, ale słabo poznanym wkładem ciemnej materii. Zaskakujące odkrycie galaktyki, która najwyraźniej nie zawierała tej niewidzialnej substancji, podważyło tę definicję.

Nikt nie wie, z czego składa się ciemna materia, ale astronomowie są niemal pewni, że ona istnieje i że jest wszechobecna. Dowody na jej istnienie dostrzegamy wszędzie – od wielkoskalowej struktury Wszechświata po ruchy gromad galaktyk i orbity gwiazd. Wydaje się, że to właśnie ciemna materia spaja większość galaktyk – bez niej tworzące je gwiazdy rozpierzchłyby się na wszystkie strony. Koncepcja galaktyki pozbawionej ciemnej materii podważa wszystko, co wiemy o powstawaniu tych układów gwiezdnych.

ABY ZROZUMIEĆ, DLACZEGO te odkrycia budzą aż tak wiele wątpliwości, musimy cofnąć się do 2015 roku, kiedy to astronomowie zaczęli odkrywać tzw. galaktyki ultradyfuzyjne. Sieć teleskopów Dragonfly Telephoto Array w Nowym Meksyku wykryła setki takich obiektów w Gromadzie Warkocza Bereniki – skupisku galaktyk oddalonym o 300 mln lat świetlnych.

Galaktyki ultradyfuzyjne są rodzajem galaktyk karłowatych, ale na niebie wydają się znacznie większe niż typowe galaktyki karłowate. Jednym ze wskaźników opisujących galaktyki jest tak zwany promień półświatła, czyli promień okręgu wokół centrum galaktyki, który obejmuje połowę jej całkowitego światła.

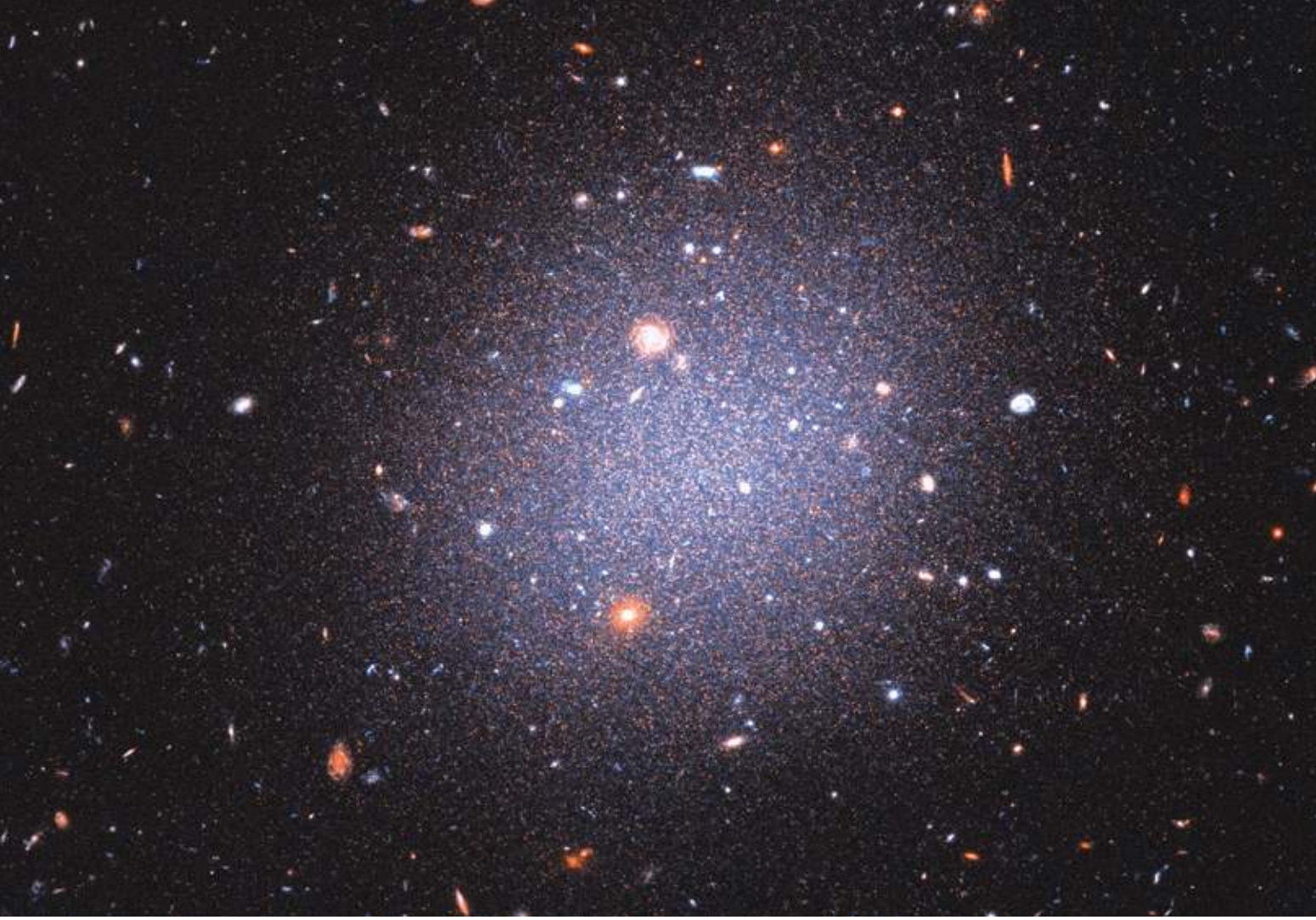
Galaktyki ultradyfuzyjne często mają duże promienie półświatła, takie jak znacznie masywniejsze galaktyki, ale zawierają o wiele mniej gwiazd. W rezultacie są one słabe, rozproszone i niezwykle trudne do wykrycia – wyglądają jak smugi na niebie. Ich upiorny wygląd i obecność w środowiskach o dużej gęstości, takich jak gromady galaktyk, zaskoczyły astronomów i otworzyły nowy rozdział w badaniach nad powstawaniem galaktyk.

Przez długi czas uważano, że galaktyki ultradyfuzyjne są otoczone ogromnymi halo ciemnej materii. Rozumowanie było proste: w jaki sposób tak luźne i delikatne obiekty mogą utrzymać się w surowym środowisku, jakim są gromady galaktyk, nie ulegając niemal natychmiastowemu rozerwaniu pod wpływem siły grawitacyjnej sąsiadów? Muszą być chronione przez coś, czego nie widzimy: ciemną materię.

Dodatkowym argumentem był fakt, że galaktyki te wydają się zawierać dużą liczbę gromad kulistych – zwartych, pradawnych skupisk gwiazd. Gromady kuliste powstają zazwyczaj podczas intensywnych epizodów formowania się gwiazd, kiedy rodzi się wiele młodych obiektów, tak jak działo się to w młodym Wszechświecie.

Maria Luísa Buzzo jest astrofizyczką na Yale University; bada powstawanie i ewolucję galaktyk.

eprasa.pl fa61415544



Odkryta w 2018 roku galaktyka ultradyfuzyjna NGC 1052-DF2 jest pierwszą znaną galaktyką, w której najwyraźniej nie ma ciemnej materii. Odkrycie to podważyło dotychczasowe modele powstawania galaktyk.

NASA, ESA, STScI, Zili Shen, Pieter van Dokkum/Yale University; Shany Danieli/IAS; Obróbka obrazu: Alyssa Pagan/STScI (*ta strona i i to na poprzednich stronach*)

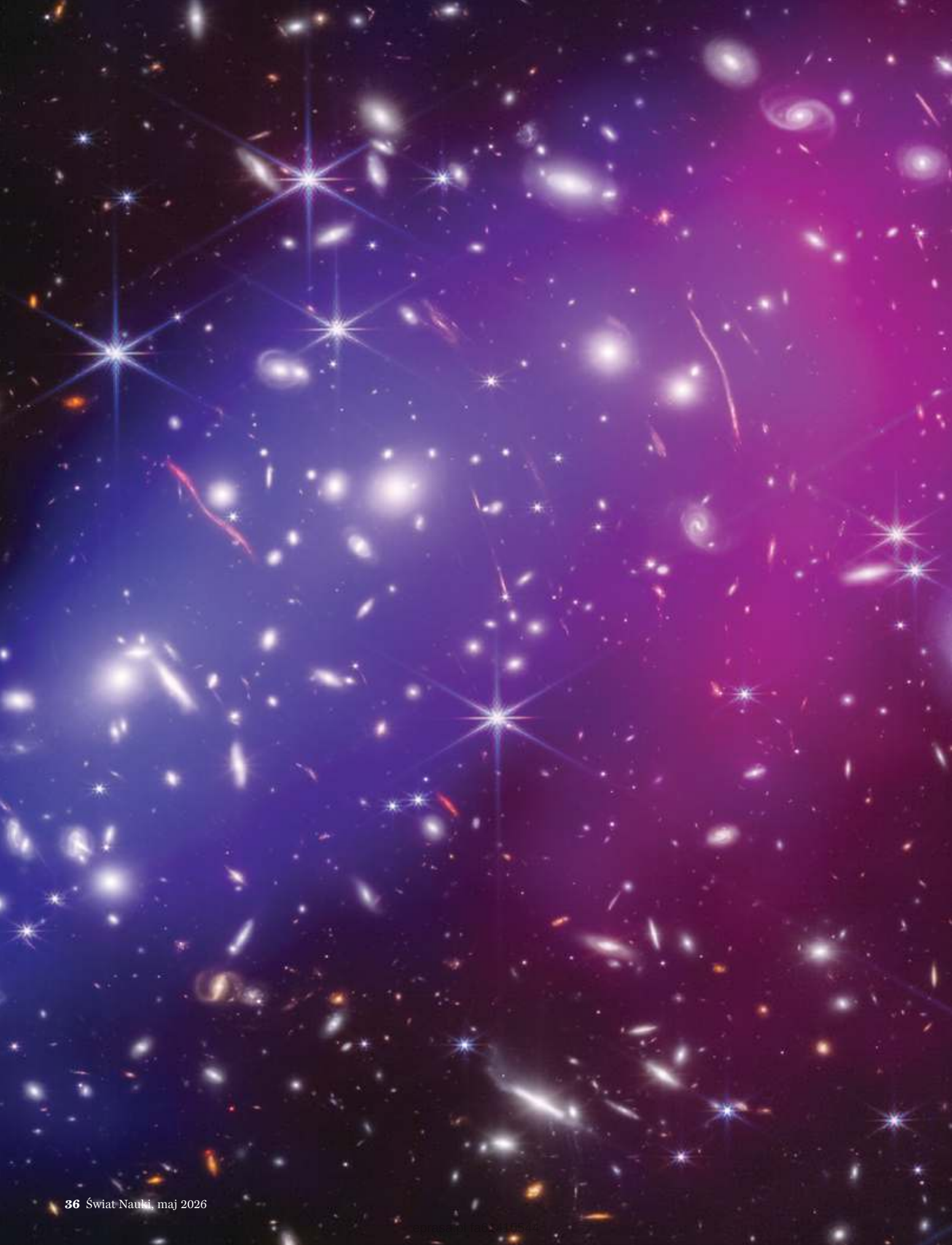
Liczba gromad kulistych krążących wokół galaktyki jest ściśle powiązana z całkowitą masą galaktyki, w tym z jej ciemną materią. Im większa masa galaktyki, tym bardziej sprzyja ona wczesnemu, intensywnemu procesowi powstawania gwiazd, w którym tworzą się gromady kuliste. Ponieważ w galaktykach ultradyfuzyjnych znajduje się wiele gromad kulistych, ale bardzo mało gwiazd, naukowcy doszli do wniosku, że muszą one mieć niezwykle dużą masę, ale zawartą głównie w czymś, czego nie widzimy. Wszystko wskazywało na to, że w znacznym stopniu dominuje w nich ciemna materia.

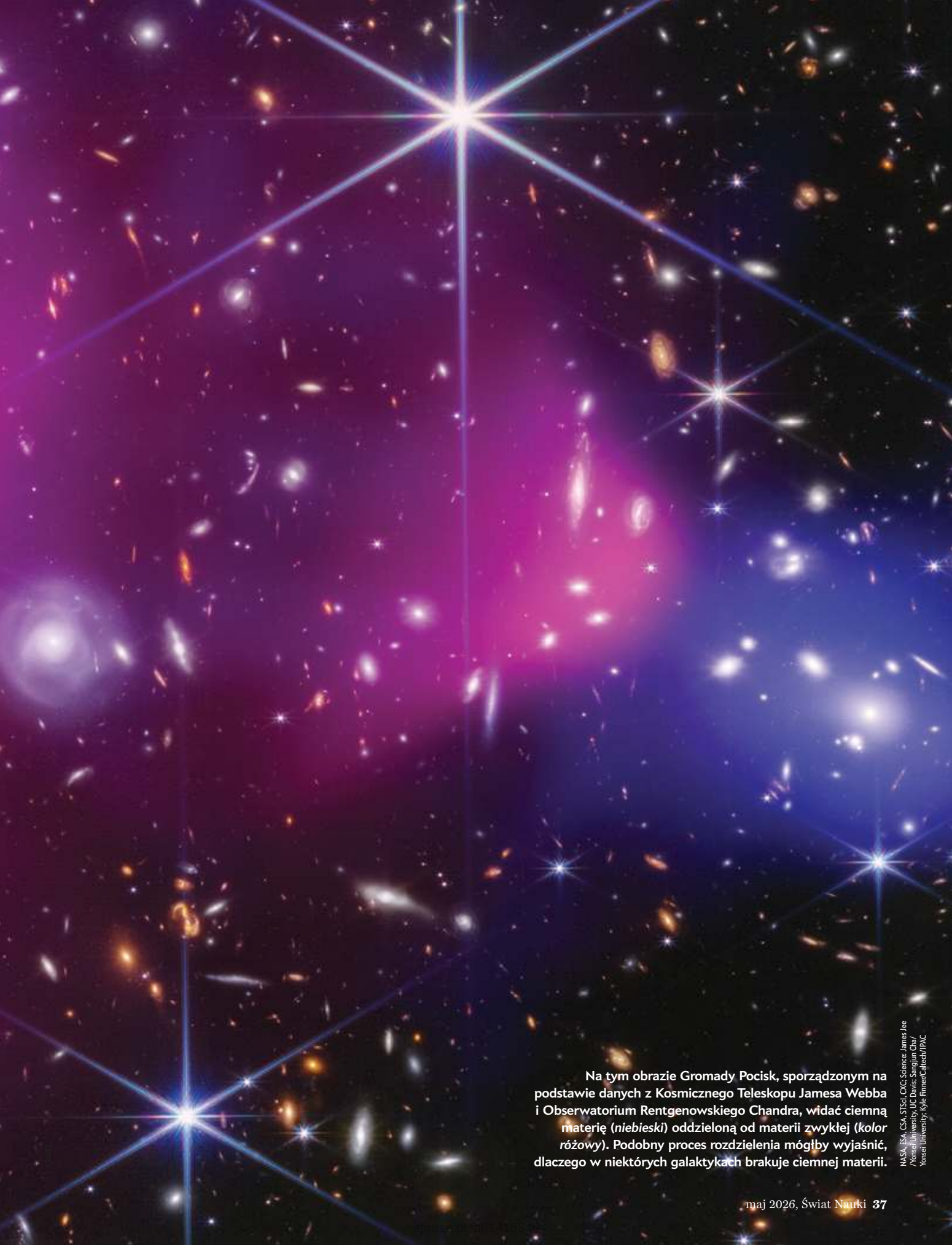
Jednak założenie to zostało podważone w 2018 roku, kiedy Pieter van Dokkum i Shany Danieli – oboje pracujący wówczas na Yale University – oraz ich współpracownicy donieśli o odkryciu, które zdominowało dyskusje podczas mojego pierwszego semestru studiów doktoranckich: wyglądało na to, że w galaktyce ultradyfuzyjnej NGC 1052-DF2 (w skrócie DF2) nie ma ciemnej materii. Ta galaktyka ma bardzo nietypowy układ gromad kulistych: wszystkie są znacznie jaśniejsze niż obiekty występujące w typowych galaktykach. Na podstawie pomiarów prędkości gwiazd i gromad kulistych w DF2 zespół doszedł do wniosku, że całkowita masa galaktyki jest mniej więcej równa masie jej widzialnej materii. Nie było żadnych dowodów na istnienie niewidzialnego halo, które utrzymywałoby układ w całości.

Powodem, dla którego astronomowie mierzą prędkości gwiazd i gromad kulistych, jest chęć wyznaczenia siły grawitacji, co pozwala oszacować masę galaktyki. Tak jak z prędkości planet krążących wokół Słońca można określić masę naszej gwiazdy, tak ruch gwiazd wokół galaktyki ujawnia działającą na nie całkowitą siłę grawitacji. Im szybciej poruszają się gwiazdy, tym większa musi być masa galaktyki. Jeśli zmierzone prędkości są większe, niż da się wyjaśnić istnieniem samych widocznych gwiazd, wnioskujemy, że dodatkowej siły dostarcza niewidzialna masa (ciemna materia). Jeśli jednak prędkości są małe i da się je wytłumaczyć istnieniem samych gwiazd, ciemnej materii może być niewiele lub nie być jej wcale.

NIE WSZYSCY ZGODZILI SIĘ z wnioskiem, że galaktyka DF2 jest pozbawiona ciemnej materii. Jednym z głównych punktów spornych była jej odległość od Ziemi. Niektórzy badacze sugerowali, że galaktyka ta może znajdować się bliżej, niż początkowo szacowano, co zmniejszyłoby jej wyznaczony rozmiar i całkowitą masę, a w ten sposób sugerowałoby jednak konieczność uwzględnienia ciemnej materii w wyjaśnieniu jej dynamiki. Była to kwestia kluczowa, ponieważ masa galaktyki zależy zarówno od prędkości jej gwiazd, jak i od jej fizycznego rozmiaru, który wyznaczamy na podstawie jej odległości. Z tego powodu zespół van Dokkuma

eprasa.pl fa61415544





Na tym obrazie Gromady Pocisk, sporządzonym na podstawie danych z Kosmicznego Teleskopu Jamesa Webba i Obserwatorium Rentgenowskiego Chandra, widać ciemną materię (*niebieski*) oddzieloną od materii zwykłej (*kolor różowy*). Podobny proces rozdzielenia mógłby wyjaśnić, dlaczego w niektórych galaktykach brakuje ciemnej materii.

NASA, ESA, CSA, STScI, CXC; Science: James Jee /Yonsei University, UC Davis; Sangjun Cha/ Yonsei University; Kyle Finner/Caltech/IPAC

przeprowadził jedną z najdłuższych obserwacji pojedynczego obiektu wykonaną za pomocą Kosmicznego Teleskopu Hubble'a, przeznaczając 42 orbity tego instrumentu (czyli około 66 godzin) na uściślenie pomiaru odległości. Wyniki tego badania potwierdziły poprawność pierwotnego wyniku, co wzmocniło przekonanie, że w DF2 nie ma ciemnej materii.

Mimo to inne grupy nadal wysuwały alternatywne interpretacje, w tym nowe metody szacowania odległości galaktyki. Debata nasiliła się, gdy zespół van Dokkuma ogłosił, że w innej galaktyce leżącej w pobliżu DF2 – o nazwie DF4 – gwiazdy poruszają się podobnie wolno, co również sugerowałoby brak ciemnej materii. Astronomowie początkowo wątpili we własne odkrycie. Jakie jest prawdopodobieństwo, że w dwóch galaktykach, położonych blisko siebie na niebie, zabraknie ciemnej materii? Jak opowiada van Dokkum, po około 48 nieprzespanych godzinach obserwacji wysłał do Danieli wiadomość zawierającą tylko jeden znak: cyfrę 7. Była to obliczona przez niego wartość dyspersji prędkości gromad, czyli miary rozrzutu ich prędkości. Tak mała dyspersja oznacza, że DF4, podobnie jak DF2, zawiera niewiele ciemnej materii (lub nie zawiera jej wcale). W tym momencie idea, że galaktyki mogą istnieć bez ciemnej materii, przestała być spekulacją, a stała się poważnym, choć kontrowersyjnym kierunkiem badań.

Zgodnie z naszym obecnym stanem wiedzy modele powstawania galaktyk dopuszczają istnienie układów bez ciemnej materii, ale są to zazwyczaj duże, rzadkie obiekty, takie jak galaktyki reliktowe – niezwykłe, niedokończone galaktyki utworzone w młodym Wszechświecie. Dla galaktyk karłowatych, takich jak DF2, DF4 i większości obiektów ultradyfuzyjnych, teoria przewiduje coś zupełnie innego. Ponieważ mają one niewielką masę, powstaje w nich zazwyczaj mniej gwiazd i uważa się, że ich masa jest zdominowana przez ciemną materię.

Jedynym typem galaktyki karłowatej, która według teorii może powstać bez ciemnej materii, są pływowe galaktyki karłowate, czyli układy gwiezdne powstałe z gruzów większych galaktyk po zderzeniach lub bliskich spotkaniach. Pływowe galaktyki karłowate są jednak zazwyczaj młode i nie powinny zawierać gromad kulistych. Zwykle są to po prostu skupiska gwiazd wyrwane ze znacznie starszych galaktyk macierzystych. Jednakże DF2 i DF4 są stare, a otaczają je duże populacje jednych z najbardziej masywnych i jasnych gromad kulistych, jakie kiedykolwiek zaobserwowano. Obiekty te nie są pływowymi galaktykami karłowatymi, ale czymś zupełnie nowym, nieprzewidzianym przez żaden obecny model powstawania galaktyk.

Jak do tego doszło? Według jednej z hipotez siły grawitacyjne mogły z biegiem czasu wyrwać ciemną materię z galaktyk – proces ten znany jest jako wyrywanie pływowe. Jednakże gwiazdy i układy gromad kulistych nie pasowały do przewidywań takiego scenariusza. Do 2019 roku żaden model ani symulacja nie potrafiły w pełni wyjaśnić wszystkich zaobserwowanych cech tych obiektów.

W 2019 roku Joseph Silk, astrofizyk z Johns Hopkins University, zaproponował „scenariusz karłowatego pocisku", który wyjaśniał cechy DF2. Jego modele wykazały, że zderzenie dwóch galaktyk karłowatych, zachodzące z dużą prędkością i pod odpowiednim kątem, mogłoby oddzielić materię widzialną od ciemnej. Wytworzyłoby się również intensywne ciśnienie, które mogłoby zainicjować powstawanie niezwykle jasnych gromad kulistych. Za inspirację do opracowania modelu posłużyła znacznie większa, dobrze znana grupa galaktyk zwana Gromadą Pocisk.

Gromada Pocisk to jeden z najbardziej spektakularnych dowodów obserwacyjnych na istnienie ciemnej materii. Porównując mapy rentgenowskie (które odzwierciedlają rozkład gorącego gazu) z mapami grawitacji stworzonymi na podstawie zakrzywienia światła przechodzącego przez ten obszar (które przedstawiają rozkład całkowitej masy), astronomowie wykazali, że są one różne. Rozkłady ciemnej materii i materii widzialnej w gromadzie nie nakładają się na siebie. Najbardziej prawdopodobne wyjaśnienie jest takie, że po zderzeniu dwóch mniejszych gromad ciemna materia poleciała dalej, ale gwiazdy i gaz splotły się ze sobą i materia widzialna pozostała w tyle.

Hipoteza karłowatego pocisku to miniaturowa wersja tego samego scenariusza. Dwie karłowate galaktyki zderzyły się, a ciemna materia przemknęła przez nie nietknięta. Doszło jednak do zderzenia gazu, w którym fale uderzeniowe wywołały gwałtowne procesy gwiazdotwórcze i powstanie masywnych gromad kulistych. Uformowały się nowe galaktyki, bogate w gwiazdy, ale pozbawione ciemnej materii.

Jeśli ten obraz jest prawidłowy, to układy te są czymś więcej niż tylko egzotycznymi osobliwościami. Stanowią laboratoria do badania fundamentalnej natury samej ciemnej materii. Fakt, że ciemna materia w trakcie zderzenia nie wchodzi ze sobą w interakcje, podczas gdy gaz tak, nakłada ograniczenia na siłę oddziaływań cząstek ciemnej materii między sobą. Innymi słowy, galaktyki karłowate pozbawione ciemnej materii mogą pomóc wykluczyć pewne hipotezy i udoskonalić nasze modele powstawania galaktyk.

Następnie Van Dokkum i jego współpracownicy rozszerzyli tę koncepcję. Zaproponowali, że DF2, DF4 i potencjalnie cała seria innych galaktyk powstały w wyniku tego samego dawnego zderzenia, które zaszło w grupie NGC 1052. Ponieważ galaktyki macierzyste nie uległy zniszczeniu, przemieszczały się dalej, a z wyrzuconego przez nie gazu tworzyły się nowe galaktyki. Obiekty te, pozbawione ciemnej materii, ale z gwiazdami i gromadami kulistymi, leżą obecnie na linii przecinającej grupę. W zależności od tego, jak rozprzestrzeniła się materia, liczba gromad kulistych w tych galaktykach może być różna, ale wszystkie powinny mieć te same podstawowe cechy. Liczba galaktyk powstałych w wyniku takiego zdarzenia zależy od ilości dostępnego gazu i sposobu rozproszenia materii. W przypadku grupy NGC 1052 proces ten mógł doprowadzić do powstania od siedmiu do 11 galaktyk.

Jeszcze do niedawna koncepcja ta była rozważana wyłącznie w przypadku galaktyk z grupy NGC 1052,

eprasa.pl fa61415544

których powstanie uznano za efekt rzadkiego zbiegu okoliczności. Jednakże naukowcy wysuwający tę hipotezę oszacowali, że tego rodzaju zjawisko może wystąpić około ośmiu razy na każde 65 mln kwadratowych lat świetlnych. A zatem takich galaktyk powinno być naprawdę dużo, ale aż do tego roku nie znaleziono żadnych innych potwierdzonych przypadków.

W TYM MIEJSCU DO AKCJI WKRACZAJĄ moje badania. Aby sprawdzić, czy galaktyki z niedoborem ciemnej materii są rzadkie, czy też należą do szerszej klasy ciał niebieskich, postanowiłam poszukać wraz z kolegami podobnych obiektów gdzie indziej. To doprowadziło nas do FCC 224 – galaktyki znajdującej się na obrzeżach oddalonej o około 60 mln lat świetlnych Gromady w Piecu. Obiekt ten został po raz pierwszy zidentyfikowany w 2020 roku, a astronomów od razu zaintrygowała jasność jego gromad kulistych podobna do jasności gromad w DF2 i DF4.

Do zbadania tej galaktyki zastosowaliśmy trzy różne podejścia. Wystąpiliśmy o czas obserwacyjny na Kosmicznym Teleskopie Hubble'a, który dzięki wysokiej rozdzielczości umożliwiłby nam szczegółowe zbadanie gromad kulistych. Złożyliśmy również wnioski o możliwość obserwacji za pomocą dwóch największych teleskopów naziemnych: Obserwatorium Kecka na Hawajach i Bardzo Dużego Teleskopu (Very Large Telescope; VLT) w Chile. Każde z tych obserwatoriów ma swoje zalety. Keck Cosmic Web Imager oferuje wysoką rozdzielczość, ale małe pole widzenia, podczas gdy instrument Multi Unit Spectroscopic Explorer na VLT obejmuje większy obszar nieba, ale oferuje niższą rozdzielczość. Na nasze szczęście przyznano nam czas na wszystkich trzech teleskopach. Doktorant Yimeng Tang z University of California w Santa Cruz, wykorzystując dane z teleskopu Hubble'a wykazał, że gromady kuliste są niezwykle jasne. Dokonane za pomocą teleskopu Kecka pomiary prędkości gwiazd potwierdziły brak ciemnej materii. Dane z teleskopu VLT nadeszły później i jeszcze je analizujemy.

Tak bogate zbiory danych ujawniły, że oprócz braku ciemnej materii galaktyka FCC 224 ma wiele wspólnego z galaktykami DF2 i DF4. Podobieństwa pozwoliły stworzyć coś w rodzaju „przepisu" na odkrywanie kolejnych galaktyk pozbawionych ciemnej materii. Wszystkie trzy znane ich przykłady charakteryzują się jasnymi i licznymi układami gromad kulistych, we wszystkich występują stare gwiazdy, a ponadto wszystkie zawierają gwiazdy w tym samym wieku co gromady kuliste. Ta ostatnia cecha jest szczególnie niezwykła. Gromady kuliste są zazwyczaj znacznie starsze niż ogólna populacja gwiazd w galaktyce macierzystej. Wydaje się jednak, że w tych trzech galaktykach gwiazdy i gromady kuliste powstały w tym samym czasie i z tego samego materiału.

Jeśli FCC 224 powstała w wyniku tego samego scenariusza karłowatego pocisku jak dwie pozostałe galaktyki, to w pobliżu mógłby znajdować się również łańcuch galaktyk, które utworzyły się w trakcie tej samej kolizji. Postanowiłam więc wyruszyć na polowanie. Wtedy właśnie odkryłam FCC 240, która ma uderzająco podobny wygląd i zawiera identyczne populacje gwiazd. Wszystko wskazuje na to, że FCC 224 i FCC 240, podobnie jak DF2 i DF4, stanowią bliźniaczą parę. Odkrycie to było na tyle ekscytujące, że złożyłam, pozytywnie rozpatrzony, wniosek o udostępnienie teleskopu VLT dla dokonania pomiaru prędkości gwiazd w FCC 240. Badania te wciąż trwają i nie znam jeszcze ich wyniku, ale udział w tym projekcie jest pasjonujący. Jeśli okaże się, że w FCC 240 również brakuje ciemnej materii, może to wskazywać, że układy takie zawsze występują w parach lub grupach.

Pomysł, że niektóre galaktyki mogą tworzyć się bez ciemnej materii, zaprzecza jednemu z najbardziej fundamentalnych założeń naszej wiedzy o powstawaniu galaktyk.

ODKRYCIE WIELU GALAKTYK o takich właściwościach postawiło przed nami wiele nowych pytań. Galaktyki te nie mogą być rzadkimi anomaliami związanymi z jedną grupą lub środowiskiem. Występują one w różnych częściach Wszechświata, co nasze modele muszą uwzględnić. W jaki sposób galaktyka karłowata może powstać lub przetrwać bez ciemnej materii? Obecnie toczy się na ten temat gorąca dyskusja.

Aby lepiej zrozumieć istotę tych galaktyk, musimy odkryć ich więcej oraz udoskonalić nasze symulacje i modele teoretyczne Wszechświata. Niezbędne będą rozległe badania głębokiej przestrzeni. Niedawno ukończone Obserwatorium Very C. Rubin w Chile jest jednym z narzędzi, które mogą w tym pomóc. W ciągu następnej dekady w ramach prowadzonego na nim projektu Legacy Survey of Space and Time będą wielokrotnie wykonywane bardzo szczegółowe zdjęcia południowego nieba. Wśród znalezionych galaktyk niektóre mogą mieć te same cechy, co DF2, DF4, FCC 224, a może i FCC 240.

Ma to pewien symboliczny aspekt. Nowe obserwatorium nosi imię astronomki Very C. Rubin, której wczesne badania nad rotacją galaktyk były jedną z pierwszych wskazówek, że ciemna materia może istnieć. Teraz teleskop nazwany jej imieniem może pomóc zrozumieć galaktyki, w których ciemnej materii nie ma. Co ciekawe, dane z Obserwatorium Rubin będą prawdopodobnie przetwarzane z użyciem najnowszego układu sztucznej inteligencji firmy Nvidia, nazwanego właśnie „Rubin". A zatem, Rubin pomoże Rubin znaleźć galaktyki, które podważają odkrycie Rubin.

Dla mnie wszystko zaczęło się od dyskusji na zajęciach na studiach doktoranckich. Teraz jest to główny temat moich badań. Pomysł, że niektóre galaktyki mogą tworzyć się bez ciemnej materii, zaprzecza jednemu z najbardziej fundamentalnych założeń naszej wiedzy o powstawaniu galaktyk. Nie wiemy jeszcze, jak często to się zdarza, ani jak takie galaktyki powstały. Ale wiemy, że istnieją. I to jest zagadka, którą warto rozwiązać. ■

Z NASZEGO ARCHIWUM

Ukryty Świat, Kathryn Zurek; maj 2025.

eprasa.pl fa61415544

BIOLOGIA

Życie społeczne mitochondriów

Jeśli te centra energetyczne przetrwają, my również

MARTIN PICARD | Ilustracje JENNIFER N. R. SMITH

eprasa.pl

ZAWSZE CHCIAŁEM ZROZUMIEĆ ŻYCIE. Co nas napędza? Co pozwala goić się ranom i trwać? I co się psuje, gdy chorujemy, a w końcu przestajemy oddychać i umieramy? Moje poszukiwania odpowiedzi na te niesłychanie ambitne pytania, doprowadziły mnie, nie bez przyczyny jak teraz widać, do mitochondriów.

Na lekcjach biologii od szkoły średniej aż po studia uczono mnie, że mitochondria to małe obiekty znajdujące się w każdej komórce i pełniące funkcję „elektrowni", łączące tlen i związki odżywcze, by wytworzyć energię dla organizmu. To wyobrażenie mitochondriów jako małych akumulatorów z wbudowaną ładowarką – równie interesujących jak ten w moim telefonie – zupełnie nie przygotowało mnie na spotkanie z ich rzeczywistą, żywotną naturą, gdy w 2011 roku zobaczyłem je po raz pierwszy pod mikroskopem. Były świetliste dzięki świecącemu barwnikowi, który w nie wprowadziłem, i dynamiczne – nieustannie się poruszały, rozciągały, zmieniały kształt, dotykały nawzajem. Były piękne. Tamtej nocy, samotny doktorant w ciemnym laboratorium w Newcastle upon Tyne w Anglii, stałem się mitochondriakiem: uzależniłem się od mitochondriów.

Głęboka intuicja biolog Lynn Margulis pomogła mi zrozumieć to, co widziałem. W 1967 roku wysunęła ona hipotezę, że mitochondria pochodzą od bakterii, którą około 1,5 mld lat temu pochłonęła większa komórka przodków. Zamiast strawić tę zdobycz, większa komórka pozwoliła jej dalej żyć w swoim wnętrzu. Margulis nazwała to zdarzenie endosymbiozą, czyli mniej więcej „wspólnym życiem lub pracą od środka". Komórka gospodarza nie miała źródła energii wykorzystującego tlen – który, dzięki roślinom, był już obficie obecny w atmosferze; mitochondria wypełniły tę lukę. To niezwykłe połączenie pozwoliło komórkom komunikować się i współpracować, poszerzyć świadomość poza własne granice oraz umożliwiło powstanie bardziej złożonych, wielokomórkowych organizmów. Mitochondria uczyniły komórki społecznymi, wiążąc je kontraktem, zgodnie z którym przetrwanie każdej z nich zależy od wszystkich pozostałych – i w ten sposób umożliwiły istnienie nas samych.

Co zadziwiające i co odkryliśmy wraz ze współpracownikami, same mitochondria są istotami społecznymi. A przynajmniej zapowiadają społeczne zachowania. Podobnie jak bakteria, od której pochodzą, mają cykl życiowy: stare obumierają, a nowe rodzą się z już istniejących. Społeczności tych organelli żyją w każdej komórce, zwykle skupione wokół jądra. Mitochondria komunikują się zarówno wewnątrz swojej komórki, jak i z innymi komórkami, podając sobie „ręce" w potrzebie i ogólnie pomagając całej społeczności się rozwijać. Produkują ciepło, które utrzymuje nasze ciała w odpowiedniej temperaturze. Odbierają sygnały dotyczące cech środowiska, w którym żyjemy, takie jak poziom zanieczyszczeń powietrza czy czynniki stresowe, a następnie integrują te informacje i wysyłają sygnały w postaci cząsteczek regulujących procesy w komórce, a nawet w całym organizmie.

Kiedy nasze mitochondria mają się dobrze, my również. Gdy funkcjonują nieprawidłowo – na przykład gdy ich zdolność do przekształcania energii w formy wymagane do reakcji biochemicznych jest upośledzona – możemy doświadczać schorzeń tak różnorodnych, jak cukrzyca, rak, autyzm czy choroby neurodegeneracyjne. A ponieważ mitochondria gromadzą defekty w ciągu życia pełnego stresu i innych problemów, przyczyniają się do starzenia się organizmu i ostatecznie jego śmierci. Aby zrozumieć te procesy – by pojąć, jak utrzymać zdrowie fizyczne i psychiczne – trzeba zrozumieć, jak energia przepływa przez nasze ciała i umysły. To wymaga uważniejszego przyjrzenia się mitochondriom i ich życiu społecznemu.

NA DŁUGO ZANIM UJRZAŁEM MITOCHONDRIA po raz pierwszy, poznałem podstawy ich struktury i biologii. Dziedziczymy mitochondria po matce – a precyzyjniej, z komórki jajowej. Mitochondria mają własne DNA, obejmujące zaledwie 37 genów, w porównaniu z tysiącami genów w chromosomach w jądrze komórkowym. Ten pierścień mitochondrialnego DNA, czyli mtDNA, jest chroniony przez dwie błony. Zewnętrzna, przypominająca skórkę kiełbasy, otacza mitochondrium i selektywnie wpuszcza lub wypuszcza cząsteczki. Wewnętrzna składa się z gęsto upakowanych białek i ma wiele fałd, zwanych grzebieniami (cristae), które stanowią miejsce reakcji chemicznych, podobnie jak płyty w akumulatorze kwasowo-ołowiowym.

W latach 60. brytyjscy biochemicy Peter Mitchell i Jennifer Moyle odkryli, że elektrony pochodzące z węgla w pożywieniu łączą się z tlenem w grzebieniach, uwalniając iskrę energii, która jest przechwytywana jako gradient napięcia elektrycznego przez błonę. To napięcie zapewnia siłę napędową wszystkich procesów w ciele i mózgu – od ogrzewania, przez wytwarzanie cząsteczek, po myślenie. Mitochondria produkują również

Martin Picard
jest profesorem nadzwyczajnym medycyny behawioralnej na wydziałach psychiatrii i neurologii na Columbia University. Kieruje Mitochondrial Psycho-Biology Group i oddziałem energii i zdrowia w Robert N. Butler Columbia Aging Center.

eprasa.pl fa61415544

cząsteczkę zwaną adenozynotrójfosforanem (ATP), która służy jako molekularny nośnik energii, napędzając setki reakcji biochemicznych w każdej komórce.

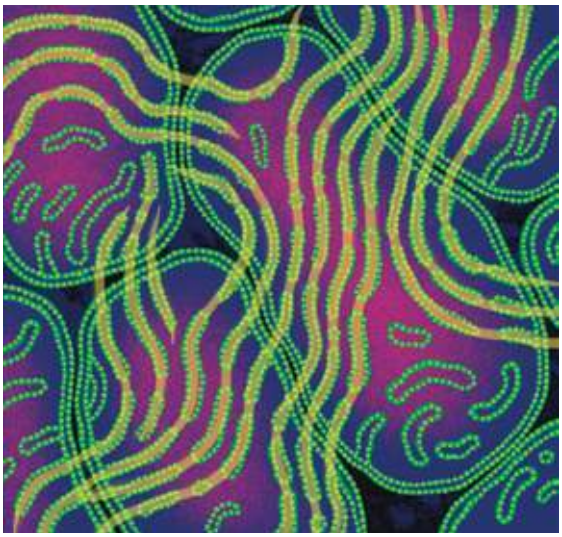
Po powrocie z Wielkiej Brytanii rozpocząłem staż podoktorski u genetyka i biologa ewolucyjnego Douglasa Wallace'a w Center for Mitochondrial and Epigenomic Medicine w Children's Hospital of Philadelphia. W 1988 roku Wallace odkrył pierwsze w historii powiązanie między mutacją w mtDNA a chorobą u człowieka. Następnie zmapował fundamentalne związki biologii mitochondrialnej z różnymi chorobami i procesem starzenia, kładąc podwaliny pod dziedzinę medycyny mitochondrialnej. W Filadelfii zacząłem współpracę z inną postdoktorantką, Meagan McManus, która chciała zrozumieć, w jaki sposób wadliwe mitochondria powodują choroby sercowo-naczyniowe i neurologiczne. McManus poprosiła mnie, abym sfotografował za pomocą mikroskopu elektronowego mitochondria w sercach myszy z określoną mutacją mtDNA prowadzącą do niewydolności serca.

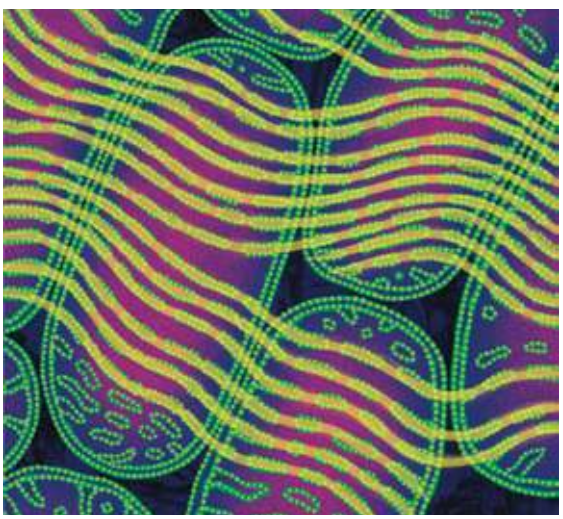
Nasz zespół eksperymentował także z trójwymiarowym obrazowaniem z użyciem tomografii elektronowej – tej samej techniki, która pozwala radiologowi oglądać narządy wewnętrzne pacjenta w 3D. Kilka tygodni później dyrektor tego projektu, Dewight Williams z University of Pennsylvania, zaprowadził mnie do pomieszczenia, w którym stał wart milion dolarów tomograficzny mikroskop – wysoki aż po sufit – aby pokazać mi zrekonstruowane filmy przedstawiające mitochondria.

Dzięki tomografii zobaczyliśmy grzebienie w trzech wymiarach. Niektóre mitochondria w sercach chorych myszy miały poszarpane, bardzo nieregularne grzebienie – ten niezdrowy wygląd widziałem już na obrazach 2D. Ale w trójwymiarze pojawiło się coś, czego nigdy nie widzieliśmy na płaskich obrazach: nawet wtedy kiedy mitochondria wyglądały niezdrowo, ich grzebienie wyglądały prawidłowo w miejscach, w których mitochondria się ze sobą stykały. Oddziaływały na siebie, pomagały sobie nawzajem w utrzymaniu wewnętrznej organizacji. Te połączenia mito-mito miały też więcej grzebieni niż jakakolwiek inna część tego samego mitochondrium. „Meagan musi to zobaczyć!" – pomyślałem i pobiegłem do laboratorium po drugiej stronie kampusu.

Gdy ponownie włączyłem film dla McManus, relacjonowałem to, co widziałem kilka minut wcześniej: „Mitochondria wpływają na siebie nawzajem!". Obejrzeliśmy zapętlone nagranie kilka razy. Wtedy McManus powiedziała napiętym z ekscytacji głosem: „I grzebienie się wyrównują! Wyrównują się między mitochondriami!". Narysowała palcem linię wzdłuż połączenia.

Przejrzałem tysiące obrazów z mikroskopów elektronowych uzyskanych przez najlepszych specjalistów. Nigdy nie słyszałem o tym, by grzebienie w jednym mitochondrium wyrównywały się z grzebieniami innego mitochondrium. W Newcastle czytałem artykuł z 1983 roku autorstwa rosyjskich naukowców Lory E. Bakeevej i Vladimira P. Skulacheva, opisujący „kontakty międzymitochondrialne", i wykazałem, że kontakty te zwiększają się po wysiłku fizycznym – być może zwiększając wydajność energetyczną. Jak mogliśmy





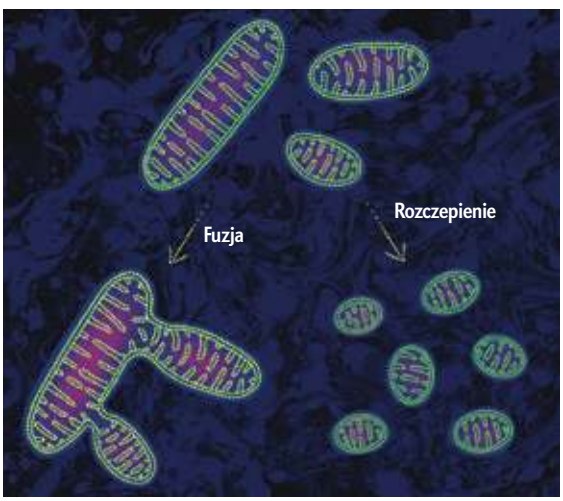
przeoczyć to wyrównywanie? A jednak zamiast tkwić tam jak równoległe płytki, jak przedstawiają to podręczniki, grzebienie tworzyły równoległe falujące wstęgi przechodzące przez mitochondria. Wyglądało to niemal tak, jakby grzebienie pomagały sąsiadom się organizować i osiągnąć typowy, zdrowy, regularny układ.

Na kolejnym spotkaniu zespołu laboratorium zasugerowałem, że te wzory wyglądają jak opiłki żelaza wokół magnesu. Grzebienie są pełne centrów żelazowo-siarkowych, które mogą być paramagnetyczne. Jeśli tak jest, być może wyrównywanie grzebieni mogło być skutkiem działania pól elektromagnetycznych indukowanych przez przepływ ładunku elektrycznego. Czy mogły zmuszać grzebienie do ustawiania się w linii? Do tej pory ta hipoteza wydaje się najlepszym wyjaśnieniem tego, jak grzebienie wyrównują się między mitochondriami. A mnie skłoniła także do myślenia o tym, w jaki sposób fizyczne siły mogły przyczynić się do ewolucji życia wielokomórkowego – aż do powstania ludzi.

TO ODKRYCIE I REFLEKSJA, którą wzbudziło, na zawsze zmieniły mój sposób patrzenia na mitochondria. Po setkach godzin w ciemnym pomieszczeniu, w którym badałem mitochondria, i współpracy z licznymi

eprasa.pl fa61415544

badaczami nauczyłem się jednej ważnej rzeczy: mitochondria wymieniają informacje. Świadectwem tej wymiany była konfiguracja grzebieni. Dalsze badania m.in. na Uniwersytecie w Tsukubie w Japonii, z użyciem komórek o różnym stopniu dysfunkcji mitochondrialnej spowodowanej mutacjami mtDNA, wykazały, że zdrowe mitochondria mogą przekazywać nienaruszone mtDNA mitochondriom zmutowanym. W warunkach ograniczonej podaży energii mitochondria łączą się ze sobą w długie pasma, aby dzielić się mtDNA. Izolowane mitochondria pozbawione mtDNA lub z mutacjami mtDNA mogą w podobny sposób łączyć się ze zdrowymi mitochondriami, w celu przywrócenia sobie prawidłowego funkcjonowania.

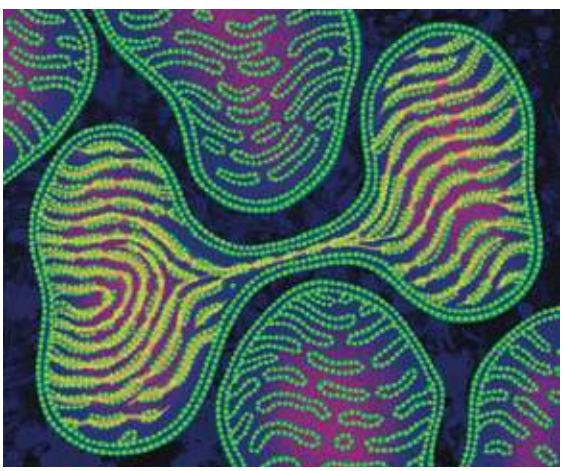


Fuzja zwiększa odporność nie tylko mitochondriów, lecz także komórek; zakłócenie tych interakcji prowadzi do izolacji mitochondriów, które gromadzą defekty mtDNA i ostatecznie obumierają – wraz z komórkami, w których żyją. U ludzi obniżony poziom mitofuzyny 2, białka zlokalizowanego w zewnętrznej błonie mitochondrialnej i wspomagającego fuzję, koreluje z neurodegeneracją. A myszy, u których inżynieryjnie utrudniono fuzję mitochondriów w jądrze półleżącym – obszarze mózgu zaangażowanym w regulację nagrody – są bardziej lękliwe.

Czy mogą istnieć jeszcze inne sposoby komunikacji mitochondriów? Czy mogą działać jak ich bakteryjni przodkowie, którzy tworzą biofilmy i wykorzystują wypustki błonowe, pola elektryczne oraz wydzielane cząsteczki, aby współpracować i podbijać świat, dzięki swojej wszechstronności? Czy mitochondrialna komunikacja może ujawnić szerszy wewnętrzny wszechświat wymiany energii i informacji? Czy mitochondrialne połączenia i wyrównane grzebienie mogą funkcjonować jak synapsy neuronalne, a powstała w ten sposób mitochondrialna zbiorowość – zachowywać się zasadniczo jak wewnątrzkomórkowy mózg?

W 2016 ROKU, niedługo po uruchomieniu własnego laboratorium na Columbia University, znów byłem w Newcastle, odwiedzając Wellcome Center for Mitochondrial Research Douga Turnbulla. Siedziałem ponownie przy mikroskopie elektronowym, tym razem z wybitną brytyjską doktorantką, Amy Vincent. Obrazowaliśmy próbki mięśnia z łydki kobiety z mutacją mtDNA powodującą rzadką chorobę mitochondrialną. Przypadkowo jej mutacja była podobna do tej, którą miały myszy badane przez McManus.

To, co Vincent i ja odkryliśmy tamtego popołudnia, wytyczyło nową ścieżkę badań. Ujrzeliśmy mitochondrialne nanokanały: cienkie wypustki błonowe – dokładnie takie, jakich bakterie używają do wymiany swojego kolistego DNA! Po raz pierwszy u ludzi zobaczyliśmy z Vincent, że mitochondria wysyłają ku sobie cienkie, rurkowate struktury, niczym czułki, jakich używają niektóre samotne komórki, aby poszukiwać bardziej sprzyjającego środowiska albo zdrowej, sąsiedniej komórki. Analizując dziesiątki innych próbek mięśni, odkryliśmy, że osoby, których mitochondria działają źle, mają więcej nanokanałów. Jak gdyby chore mitochondria z mutacjami mtDNA wyciągały rękę po pomoc.



Być może jednak najbardziej niezwykłym aspektem mitochondrialnej zbiorowości jest to, że mitochondria z różnych części ciała komunikują się ze sobą, używając hormonów jako języka. Mitochondria produkują hormony steroidowe potrzebne do podtrzymywania i rozmnażania. Kortyzol, hormon zwiększający poziom glukozy we krwi, aby zasilić reakcję stresową, powstaje w mitochondriach nadnerczy położonych na nerkach. Testosteron, estrogen i progesteron są syntetyzowane głównie przez mitochondria w narządach rozrodczych. Co ciekawe, mitochondria mózgowe mają receptory zdolne wykrywać zarówno hormony stresu, jak i hormony płciowe. A zatem mamy populację mitochondriów w nadnerczach, które wysyłają sygnały bezpośrednio – poprzez krew – do mitochondriów w mózgu.

Co więcej, mitochondria nie są jednakowe. Tak jak ludzie rozwijają specjalizacje w różnych rolach społecznych i gospodarczych, a narządy wyspecjalizowały się w wykonywaniu komplementarnych funkcji (wątroba żywi inne narządy, serce pompuje, mózg integruje informacje i wydaje polecenia), tak i mitochondria się specjalizują. W różnych narządach i typach komórek mitochondria wyglądają inaczej. Różnią się zawartością białek. Inaczej się poruszają. A ich zdolność do wykrywania, integrowania i przekazywania określonych

eprasa.pl fa61415544

informacji zależy od komórki, w której się znajdują. Ta specjalizacja mitochondriów prawdopodobnie zwiększa wydajność, pozwalając organizmowi przetrwać przy niższym całkowitym koszcie energetycznym.

Niedawno wraz ze współpracownikami stworzyliśmy pierwszą mapę mitochondriów w ludzkim mózgu. Nawet w obrębie tego jednego narządu istnieją różne typy mitochondriów w różnych częściach kory mózgowej oraz w głębszych strukturach podkorowych. Mózg zużywa 20% energii organizmu, mimo że stanowi zaledwie 2% jego masy, więc wydajne źródło energii jest kluczowe dla jego funkcjonowania. Moi koledzy – w szczególności Michel Thiebaut de Schotten z francuskiego Centre national de la recherche scientifique (CNRS) oraz Eugene V. Mosharov z Columbia University – i ja odkryliśmy, że młodsze ewolucyjnie obszary mózgu, o najwyższym wykorzystaniu energii, cechują mitochondria silniej wyspecjalizowane w transformacji energii.

Mitochondria wewnątrz pojedynczej komórki również mogą bardzo się od siebie różnić. Na przykład w neuronach „dendrytyczne" mitochondria znajdują się we włóknach – dendrytach – którymi neurony odbierają sygnały od innych komórek. Te mitochondria są stabilnymi strukturami rozciągającymi się na 10–30 μm – to ogromna długość dla takich struktur – i zawierają wiele kopii mtDNA. „Aksonalne" mitochondria poruszają się wzdłuż liniowych aksonów, przewodzących sygnały do innych neuronów niczym po komórkowych autostradach. Są na ogół krótkie i pękate (do jednego mikrometra długości), a wiele z nich nie ma mtDNA. „Cytoplazmatyczne" mitochondria gromadzą się wokół jądra komórkowego i wyglądają jak coś pomiędzy typem dendrytycznym a aksonalnym. Podobne grupowanie i specjalizacja mitochondriów występują w komórkach mięśniowych i tłuszczowych.

Te ustalenia skłoniły mnie i neurobiolożkę behawioralną Carmen Sandi z École Polytechnique Fédérale de Lausanne w Szwajcarii do wysunięcia w 2021 roku hipotezy, że mitochondria są organellami społecznymi. Jeśli podobnie jak mnie dziwi cię określenie „społeczne" w odniesieniu do organellum subkomórkowego, to jest to w pełni uzasadnione. Niemniej jednak wraz z Sandi argumentujemy, że mitochondria wykazują wszystkie cechy istot społecznych – wspólne środowisko wewnątrz komórki lub organizmu, komunikację, tworzenie grup lub typów, synchronizację zachowań, współzależność oraz specjalizację wykonywanych zadań.

W kolejnej pracy, która wymagała mozolnego przeglądu ponad 400 badań, wraz z Orianem S. Shirihai z University of California w Los Angeles ustaliliśmy, że mitochondrialna zbiorowość funkcjonuje jako mitochondrialny system przetwarzania informacji (mitochondrial information-processing system, MIPS). Tak jak zwierzęta, w których mitochondria żyją i które wspierają, muszą elastycznie reagować na środowisko, tak mitochondria wykrywają sygnały, integrują tę informację w potencjale błonowym swoich grzebieni i produkują sygnały regulujące geny komórki i kształtujące jej zachowanie.

Twoje oczy przekształcają światło w impulsy elektryczne, które scalają się w obraz pola widzenia, a twoje uszy przekształcają fale ciśnienia powietrza w impulsy elektryczne, które ostatecznie odbierasz jako dźwięki. Podobnie mitochondria przekształcają dziesiątki strumieni – hormonalnych, metabolicznych, chemicznych i innych – w swój potencjał błonowy. Ten „bioenergetyczny" stan prowadzi następnie do produkcji cząsteczek wtórnych przekaźników, zrozumiałych dla jądra komórkowego. Tak jak ty odczytujesz wiadomości na swoim telefonie, który odbiera sygnały, przetwarza je i wyświetla zrozumiałe informacje na ekranie, tak jądro komórki może „czytać" środowisko przez otaczający je MIPS.

Mitochondria nie pełnią w komórce funkcji pomocniczej, jak ładowarki baterii, są bardziej jej płytą główną. Geny w jądrze pozostają bezczynne, dopóki nie pojawi się energia i odpowiedni sygnał, aby włączyć jedne, a inne wyłączyć. Mitochondria dostarczają te sygnały, posługując się językiem epigenomu – zestawu „przełączników" genów regulujących ich ekspresję w odpowiedzi na czynniki zewnętrzne.

Mój kolega Timothy Shutt z University of Calgary lubi nazywać mitochondria „CEO komórki": naczelnym organellum wykonawczym. Ta metafora oddaje, jak mitochondria nie tylko integrują informacje, ale także wydają polecenia. Dyktują, czy komórka ma się dzielić, różnicować czy umierać. W istocie mitochondria mają prawo weta wobec życia lub śmierci komórki. Jeśli MIPS uzna to za konieczne, wywołuje programowaną śmierć komórki, czyli apoptozę – formę poświęcenia się dla dobra organizmu.

Mitochondria są tak istotne, że w trudnych czasach komórki mogą przekazywać je w całości. „W nagłych sytuacjach komórkowych nowo przybyłe mitochondria mogą zapoczątkować naprawę tkanek, pobudzić układ odpornościowy lub uratować zestresowane komórki przed śmiercią" – napisała dziennikarka Gemma Conroy w artykule informacyjnym w „Nature" w kwietniu 2024 roku. W guzach nowotworowych komórki rakowe i komórki odpornościowe zdają się konkurować o mitochondria, używając ich jako rodzaju broni biologicznej. W ramach międzynarodowego przedsięwzięcia, w którym uczestniczyłem, kierowanego przez Jonathana R. Brestoffa z Washington University School of Medicine w St. Louis, opracowano niedawno zupełnie nowy leksykon, mający ukierunkować rozwijającą się dziedzinę transferu i transplantacji mitochondriów.

W PORZĄDKU, MOŻESZ POMYŚLEĆ. Ale co to wszystko oznacza dla mojego zdrowia albo dla tego, jak długo będę żyć?

Krótka odpowiedź brzmi: to może być fundamentalne. Cukrzyca, choroby neurodegeneracyjne, rak, a nawet zaburzenia zdrowia psychicznego zaczynają wyłaniać się jako zaburzenia metaboliczne związane z nieprawidłowo funkcjonującymi mitochondriami. A te odkrycia wskazują nowe kierunki interwencji.

Mitochondria odpowiadają za zdrowie – lub chorobę – na kilka sposobów. Jeden z nich wynika z ich roli przetwórców energii. W obwodzie elektrycznym, jeśli zbytnio podkręcimy napięcie wejściowe, możemy go spalić. Podobnie, jeśli nasze komórki są narażone na nadmiar

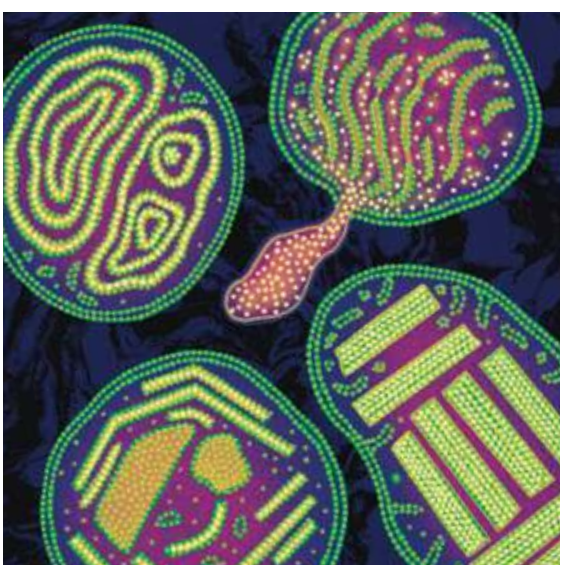
eprasa.pl fa61415544

glukozy lub tłuszczu – albo, co gorsza, obu naraz, co lekarze określają jako glukolipotoksyczność – mitochondria ulegają rozszczepieniu i rozpadają się na drobne fragmenty, gromadzą defekty mtDNA i wytwarzają sygnały, które ostatecznie prowadzą do przedwczesnego starzenia się lub śmierci komórki. Eksperymenty na komórkach i na myszach wykazały, że farmakologiczne lub genetyczne zapobieganie mitochondrialnemu rozszczepieniu wywołanemu nadmiarem glukozy i tłuszczów może chronić przed insulinoopornością.

Rak również może być zaburzeniem metabolizmu komórkowego. Komórki nowotworowe potrafią spalać glukozę bez udziału tlenu, co sugeruje albo że coś jest nie tak z ich mitochondriami, albo że wolą „zarezerwować" mitochondria na potrzeby podziału komórkowego – i proliferacji.

Drugi szlak oddziaływania prowadzi przez wpływ mitochondriów na ekspresję genów. Sygnały mitochondrialne zmieniają ekspresję ponad 66% genów znajdujących się w chromosomach jądrowych. Poprzez modyfikowanie tego, które geny i w jakim stopniu są aktywne, mutacje w mtDNA mogą całkowicie zmienić naturę, zachowanie i odporność na stres komórek, a ostatecznie całego organizmu.

Mitochondria mogą wyglądać naprawdę dziwnie, gdy są chore. U osób z defektami mtDNA, które powodują rzadkie choroby mitochondrialne – takich jak kobieta, u której w mitochondriach po raz pierwszy zaobserwowaliśmy nanokanały – szczególnie grzebienie (cristae) mogą wyglądać niemal obco: jak kręgi zbo-



żowe, parakrystaliczne inkluzje i inne dziwne kształty. Co istotne, nieprawidłowy kształt i funkcja mitochondriów wyłaniają się jako biomarkery i potencjalne przyczyny zaburzeń poznawczych oraz neurodegeneracyjnych, takich jak choroba Alzheimera czy Parkinsona. Kliniczny obraz neurobiologicznego podtypu zaburzeń ze spektrum autyzmu obejmuje defekty w biologii mitochondriów.

Trzeci szlak to stan zapalny. Kiedy komórki są uszkodzone lub zestresowane, mogą uwalniać mtDNA do wnętrza komórki, czyli cytoplazmy, a nawet do krwi. Wraz z Caroline Trumpff z Columbia University, Anną Marsland oraz Brettem Kaufmanem z University of Pittsburgh i innymi współpracownikami odkryłem, że stres psychiczny wywołany koniecznością wygłoszenia pięciominutowej wypowiedzi publicznej zwiększa ilość swobodnie pływającego mtDNA we krwi. Osoby bardzo ciężko chore, przebywające na oddziałach intensywnej terapii, mają tendencję do bardzo wysokich poziomów mtDNA we krwi. Ponieważ pierścienie mtDNA przypominają bakteryjne DNA, komórki odpornościowe widzą je jako patogeny i uruchamiają atak, który może przekształcić się w stan zapalny. A zapalenie, co dobrze wiedzą klinicyści, jest związane z początkiem i postępem wielu przewlekłych schorzeń.

W jaki dokładnie sposób wadliwe mitochondria prowadzą do chorób ciała i umysłu – to pytanie wciąż pozostaje bez odpowiedzi. Są jednak proste sposoby, aby utrzymać mitochondria w dobrej kondycji. Jednym z nich jest ruch. Gdy energicznie się poruszasz, twoje komórki szybko zużywają energię, „podkręcając" potencjał błonowy twoich mitochondriów. Jeśli ćwiczenie pozbawia cię tchu, to znak, że twoje mitochondria intensywnie pracują. Ponieważ układ ciało–mózg jest mistrzem w przewidywaniu i przygotowywaniu się na przyszłość, jeśli ruszasz się w sposób aktywujący mitochondria, twoje ciało myśli: „Następnym razem będę na to gotowe!". Aby się przygotować, tworzy więcej mitochondriów i utrzymuje je w jak najlepszej formie.

Co zaskakujące, także relacje społeczne mogą sprzyjać zdrowiu mitochondriów w naszym mózgu. W dużym badaniu kierowanym przez Davida A. Bennetta z Rush Medical College w Chicago naukowcy poprosili setki osób w wieku 65 lat i starszych z rejonu Chicago o wypełnianie ankiet, wykonywanie testów poznawczych i oddawanie krwi każdego roku aż do śmierci. Po śmierci pobierano ich mózgi, aby móc zbadać mitochondria. Moja współpracowniczka, Trumpff, wykorzystała te dane, aby sprawdzić, czy pozytywne stany psychiczne – takie jak poczucie celu w życiu, optymizm i poczucie więzi – lub przeciwnie, negatywne stany psychiczne – takie jak stres, depresja i izolacja społeczna – mogą być powiązane ze zdolnością mitochondriów do przetwarzania energii.

To, czego się dowiedziała, było niezwykłe: ilość białek przekształcających energię w mitochondriach kory przedczołowej była istotnie skorelowana z liczbą pozytywnych i negatywnych doświadczeń zgłaszanych przez ludzi w roku poprzedzającym śmierć. Wynik ten był zgodny z wcześniejszymi badaniami łączącymi wczesne przeciwności życiowe lub codzienne wskaźniki nastroju – takie jak uczucie miłości, bliskości czy zaufania – z mitochondriami w komórkach odpornościowych krwi. Nasze stany umysłu mogą wpływać na biologię naszych mitochondriów, modulując to, jak efektywnie przetwarzają energię.

Inną interwencją, która może być wyjątkowo skuteczna, jest dieta. Medyczna terapia ketogeniczna, czyli „ketoza żywieniowa", polegająca na całkowitym wyeliminowaniu rafinowanych cukrów, ograniczeniu spożycia węglowodanów oraz uzupełnieniu różnicy kalorycznej większą ilością białek i tłuszczów, potrafiła

eprasa.pl fa61415544

trwale odwrócić insulinooporność i cukrzycę typu 2. Dieta ketogeniczna była przez dziesięciolecia stosowana w celu zapobiegania napadom padaczkowym i tym samym „stabilizowania" mózgu u dzieci i dorosłych z padaczką lekooporną i nieuleczalną innymi metodami. Dieta ketogeniczna może nawet poprawić stan psychiczny i funkcje poznawcze osób z chorobą Alzheimera. Zwiększa stabilność sieci mózgowych – marker starzenia się mózgu – a funkcja ta może tłumaczyć, dlaczego niektóre osoby na tej diecie lepiej sypiają.

Dieta ketogeniczna może dawać zadziwiające efekty także w innych chorobach, czego przykładem jest historia Lauren Kennedy West, Kanadyjki, u której w wieku 25 lat zdiagnozowano schizofrenię i chorobę afektywną dwubiegunową. Życie stawało się dla niej coraz trudniejsze, „jakby nie było dla mnie miejsca na świecie" – mówiła w poruszającej relacji opublikowanej na YouTube w ubiegłym roku. W grudniu 2023 West rozpoczęła ketogeniczną terapię żywieniową. Kilka tygodni później zauważyła, że ma więcej energii. Wiele objawów złagodniało. Po około dziewięciu miesiącach była wolna od objawów, w porozumieniu ze swoimi lekarzami odstawiła część leków i nadal czuła się coraz lepiej. Pod koniec 2024 roku przyjęła ostatnią dawkę leków przeciwpsychotycznych.

Doświadczenie West odzwierciedla początkowe pozytywne wyniki pilotażowego badania obejmującego 21 osób z chorobą dwubiegunową i schizofrenią. Na całym świecie trwają liczne inne badania kliniczne dotyczące stosowania diety ketogenicznej u osób z ciężkimi zaburzeniami psychicznymi, takimi jak schizofrenia, depresja, lęk i zaburzenie obsesyjno-kompulsyjne. (Wiele z tych badań finansuje Baszucki Group, fundacja filantropijna założona po tym, jak Matt Baszucki, syn jej fundatorów, skutecznie wyleczył swoją chorobę dwubiegunową dietą ketogeniczną. W 2024 roku otrzymałam nagrodę Baszucki Prize in Science, która pomaga finansować moje laboratorium na Columbia University).

Nowe badanie obejmujące 28 995 osób w USA, z których 4484 miało znaczące objawy depresji, również potwierdza ochronne działanie diet niskocukrowych na zdrowie psychiczne. Osoby, których dieta była „bardziej ketogeniczna" – uboga w węglowodany i cukry w porównaniu z lipidami i białkami – ryzyko rozwoju depresji w porównaniu z osobami, których dieta była stosunkowo bogata w cukry, było połowę mniejsze.

Jak to działa? Z perspektywy „mitocentrycznej" dieta ketogeniczna robi trzy rzeczy. Po pierwsze, prowadzi do dostarczania przez wątrobę wydajnego źródła paliwa, które odżywia inne narządy organizmu. Jeśli pościsz lub stosujesz dietę ketogeniczną, twoja wątroba pobiera tłuszcze z twojej tkanki tłuszczowej lub pożywienia i rozkłada je na mniejsze cząsteczki zwane ciałami ketonowymi. Proces ten zachodzi wewnątrz mitochondriów wątroby. Po drugie, po przedostaniu się do krwi, ciała ketonowe docierają do narządów, z których niektóre – w tym mózg – preferują je jako paliwo w porównaniu z glukozą, białkami czy tłuszczami. A więc w obecności różnych źródeł energii mózg będzie preferencyjnie spalał ketony. Trzecia rzecz może mieć związek z wydajnością – i może wyjaśniać, dlaczego ciała ketonowe są preferowanym paliwem dla mózgu. Glukoza musi pokonać wiele przeszkód, zanim dotrze do mitochondriów neuronów – przedostaje się przez astrocyty, przekracza kilka błon i przechodzi przez wiele reakcji enzymatycznych. Ciała ketonowe są natomiast pobierane bezpośrednio przez mitochondria w neuronach, gdzie są spalane. Jest to ścieżka znacznie mniej zawiła. A zatem ketoza, czyli spalanie ciał ketonowych, może działać na mózg, umożliwiając energii bezpośredni przepływ między mitochondriami. Ketony we krwi otwierają strumień komunikacji między mitochondriami produkującymi i konsumującymi energię, wspierając ich „społeczność" w całym organizmie.

Kiedy zaczynamy postrzegać mitochondria jako dynamiczne procesory energii i informacji, otwiera się zupełnie nowa perspektywa. Pomyśl o sobie jak o wodospadzie. Wodospad istnieje pod warunkiem, że cząsteczki wody wciąż spływają w dół. Niczego nie dowiesz się o wodospadzie, badając kilka z nabranych z niego obojętnych cząsteczek H_2O. Podobnie jest ze zdrowiem człowieka i sekwencjonowaniem jego genomu. Wodospadu nie da się zrozumieć z jego części, lecz tylko z ruchu. A gdy przepływ ustaje – wodospad znika. Wodospad nie jest rzeczą, jest procesem. I człowiek jest – procesem energetycznym, mówiąc precyzyjnie.

Są dwie główne konsekwencje naszej fundamentalnie energetycznej natury. Pierwsza: jako dynamiczny proces jesteś skazany na zmiany. Twoje ciało nieustannie zrzuca, zabija i tworzy komórki. Twój umysł również się zmienia. Niektóre jego części, takie jak osobowość, są stosunkowo stabilne. Ale i one mogą się zmieniać – na przykład kiedy jesteś głodny, rozdrażniony z głodu, stajesz się mniej sobą. To deficyt energetyczny zmienia twój umysł. Niektóre substancje mogą mieć nań wpływ dramatyczny. Psychodeliki na przykład działają na układ serotoninowy i desynchronizują ludzki mózg. Niejako „zawieszają" też świadome „ja", czyli ego. Zmienisz wzorce energetyczne mózgu – zmienisz umysł. Umysł może więc być zasadniczo wzorcem energii. Co więcej, energię przepływającą przez twój mózg w jakiś sposób „czuje się" jak coś. Jak niedawno postulowaliśmy w pracy naukowej z Niroshą Murugan z Wilfrid Laurier University w Ontario, ludzie mogą być „okablowani" tak, by odczuwać nadmierny opór w przepływie energii jako coś awersyjnego. Natomiast gładko płynąca energia – jak ta po przyjemnym wysiłku fizycznym albo podczas pracy nad inspirującym projektem – daje poczucie dobrostanu. Kiedy przepływ energii do mózgu ustaje – jeśli na przykład serce się zatrzyma – świadomość szybko zanika i już cię nie ma.

Czy to wszystko wnosi coś użytecznego do moich pierwotnych problemów? Sądzę, że właśnie mamy odpowiedź. Kluczem do życia i zdrowia może być to, jak łatwo energia przepływa przez mitochondria z każdym wdechem. A więc następnym razem, gdy zrezygnujesz z kuszącego, słodkiego przysmaku, pójdziesz na spacer, na siłownię lub zdecydujesz się spędzić czas z bliskimi, wiedz, że wspierasz swoje mitochondria. Utrzymywanie przepływu energii przez twoją mitochondrialną wspólnotę może być kluczem do zdrowia i dobrego życia. ■

Z NASZEGO ARCHIWUM

Nowe spojrzenie na komórkę. Philip Ball; marzec 2025.

eprasa.pl fa61415544

GEOLOGIA

Czy kapsuła czasu może wygrać z geologią?

Osobliwy, lecz dający do myślenia eksperyment myślowy dotyczący odległej przyszłości, tektoniki płyt, erozji i powolnego zamierania Słońca

PETER BRANNEN

Ilustracje FEDERICO TRAMONTE

epresa.pl fa61415544

eprasa.pl fa61415544

TAM, GDZIE MIESZKAM, w aglomeracji Bostonu, jest wiele starych rzeczy. Na drewnianych domach, obitych deskami i pochylonych ze starości, wiszą tabliczki informujące o tym, że niegdyś mieszkali w nich miejscowy szewc albo handlarz żywnością. Na przekrzywionych nagrobkach, surowo potraktowanych przez ostre zimy Nowej Anglii, widnieją archaiczne biblijne imiona – tu jakiś Lemuel, tam Ephraim. Stare są również lokalne kościoły, w których wiele z tych dusz odprawiono w zaświaty.

A jeśli chodzi o materiał budowlany, z którego wzniesiono te kościoły, to on… jest jeszcze trochę starszy. Zlepieniec Roxbury – cętkowana skała wydobywana w okolicy i wykorzystana do budowy większości starych kamiennych kościołów w Bostonie – powstał 600 mln lat temu. Jest produktem gwałtownych podmorskich osuwisk powstających u wybrzeży jałowego, wulkanicznego mikrokontynentu, który oderwał się od Afryki. Te dramatyczne wydarzenia rozgrały się dawno temu gdzieś w pobliżu bieguna południowego. Miękkie początkowo osady stwardniały, przeobrażając się w skałę, po czym odbyły podróż przez nieistniejący od dawna ocean jako fragment wędrującej płyty tektonicznej, nim zostały „przyszyte" do kawałka równikowej Ameryki Północnej, co nastąpiło około 140 mln lat przed pojawieniem się pierwszego dinozaura.

Dziś ta skała wystaje spod opadłych liści, skrajach parkingów przy centrach handlowych w okolicach Bostonu. Bardzo niewiele innego materiału skalnego przetrwało tutaj przez minione pół miliarda lat, poza cienką warstwą gliny morenowej pochodzącej z niedawnej epoki lodowej. Ta glina jest bez wątpienia skazana na niebyt i zniknie w ciągu kilkudziesięciu tysięcy lat. Gdyby 250 mln lat temu, w okresie triasu, ktoś pozostawił kapsułę czasu dla dzisiejszych Bostończyków, nic by z niej nie pozostało. Taki sam los spotkałby kapsułę pozostawioną zaledwie 4 mln lat temu, w epoce pliocenu. Jeśli ktoś dziś marzy o wysłaniu takiego posłańca w odległą geologiczną przyszłość, musi wiedzieć, że nic z tego nie wyjdzie. Doczesne szczątki Ephraima i Lemuela czy też centrum handlowe z parkingiem nie przetrwają w geologicznej skali czasu. „Czy jakiekolwiek góry albo jakikolwiek kontynent mogą się oprzeć takiemu niszczeniu?" – pisał Charles Darwin w swojej książce *The Voyage of the Beagle* z 1839 roku, odnosząc się do niszczycielskich sił erozji.

ŚWIADOMY TEGO, że wiek skał w mojej okolicy jest liczony w eonach, gdy otrzymałem od „Scientific American" zadanie ustalenia, jak daleko w przyszłość dałoby się wysłać kapsułę czasu tu na Ziemi, zacząłem zgłębiać temat i natknąłem się na pouczającą pracę stratygrafa Stevena Hollanda z University of Georgia. Skontaktowałem się z nim, a on chętnie zgodził się na wzięcie udziału w moim myślowym eksperymencie.

„Znad naszych głów zniknęło od pięciu do piętnastu kilometrów skał" – powiedział Holland, mając na myśli nieistniejące już dziś łańcuchy górskie, które zagrzebałyby jego biuro głęboko we wnętrzu planety. Zniknięcie

Peter Brannen
jest dziennikarzem naukowym mieszkającym w Cambridge w stanie Massachusetts. Jego najnowsza książka nosi tytuł *The Story of CO_2 Is the Story of Everything* (Ecco, 2025).

eprasa.pl fa61415544

tych gór może mówi nam wiele o spustoszeniach, jakie powoduje czas. Około 300 mln lat temu powstawał superkontynent Pangea, północno-wschodnia część Afryki zwana dziś Maghrebem zderzyła się ze wschodnim wybrzeżem Ameryki Północnej, wypychając wysoko Appalachy – były to „amerykańskie Himalaje", które pogrzebałyby cały stan Georgia. Podczas tego zderzenia ogromne bąble magmy zostały wypchnięte z płaszcza Ziemi do jej skorupy i utknęły kilkanaście kilometrów pod powierzchnią globu. Dziś ta dawna magma wystawia do słońca swoją granitową twarz, ponieważ wszystko, co znajdowało się ponad nią, zostało całkowicie zerodowane. „To się nie mieści w głowie" – powiedział Holland.

Gdybyśmy jednak zechcieli wysłać kapsułę czasu w odległą przyszłość, badania Hollanda podziałałyby na nas otrzeźwiająco. W jednej ze swoich prac przedstawia on mapę Ameryki Północnej pokazującą, gdzie jeszcze zachowały się osady, a więc i skamieniałości, z całego trwającego 20 mln lat okresu neogenu (od 23 do 2,6 mln lat temu). Poza dwiema maleńkimi, osamotnionymi wyspami pośrodku kontynentu oraz wąskim pasem dawnych osadów wzdłuż wybrzeży, na tej mapie jest pusto. „Zostały nam resztki tych sedymentów rozsiane po całych Stanach Zjednoczonych – mówi Holland o osadach z epoki neogenu. – Ale wszystkie te obszary, gdzie takie osady pozostały, są obecnie wypiętrzane, czyli wypychane ku górze przez siły tektoniczne. Erozja nieubłaganie je usunie. Skały liczące po kilkadziesiąt milionów lat nie przetrwają już zbyt długo."

Aby mógł powstać długookresowy zapis kopalny, żywe organizmy muszą zostać zagrzebane w sedymentach, które z upływem czasu przeobrażą się w skałę osadową. Istnieją dość niezwykłe wyjątki od tej reguły – w północno-zachodniej części USA natrafiono w bazaltach na jaskinię w kształcie nosorożca. Powstała tam, gdzie 15 mln lat temu został przykryty lawą prawdziwy nosorożec, pozostawiając po sobie karykaturalną pustą formę. Zwykle jednak nic nie zachowuje się w lawie, inaczej niż w takich osadach, jak muły, iły i gliny. Niektóre organizmy pomijają ten etap zagrzebania w osadach i od razu same tworzą skałę – tak czynią rafy koralowe.

ALE SAMO ZAGRZEBANIE W SEDYMENTACH to zdecydowanie za mało. Aby bezpiecznie dotrzeć w odległą przyszłość, trzeba zadbać o to, aby znaleźć się w miejscu zwanym przez geologów basenem sedymentacyjnym – obszarze zapadającym się w wyniku działania większych, tektonicznych procesów, i w ten sposób tworzącym przestrzeń, która może zostać wypełniona przez osady. Mastodont zagrzebany na bagnie może przetrwać w ziemi kilka tysięcy lat, lecz jeśli znajduje się na obszarze, który jest wypiętrzany, wówczas wszystko bez wyjątku zostanie usunięte i gładko wyrównane przez erozję.

Wiele jest przykładów takiej nieubłaganej erozyjnej demolki. Potężne niegdyś Archaiczne Góry Skaliste ciągnęły się i wznosiły wysoko tam, gdzie przebiega obecny łańcuch górski, lecz dawno temu zostały starte z powierzchni Ziemi i stały się płaskie niczym stół bilardowy. Skoro nawet takie masywne góry, jeśli znajdą się w niewłaściwym miejscu, nie mają większych szans na przetrwanie, to jeszcze mniejsze szanse miałyby puste w środku budynki wzniesione ze szkła i stali, nie mówiąc już o naszej kapsule czasu.

Czy możemy umieścić w skale kapsułę czasu, którą za 250 mln lat znajdą mieszkańcy kolejnego superkontynentu, tak jak my znajdujemy skamieniałości z Pangei sprzed 250 mln lat?

W tych nielicznych strefach na globie, gdzie skorupa ziemska aktywnie się zapada – na obrzeżach młodych łańcuchów górskich albo tam, gdzie skorupa ziemska jest rozciągana jak toffi, tam, gdzie kontynent, próbuje się rozerwać – nowe osady wypełniają przestrzeń powstającą ponad zanurzającymi się warstwami. Właśnie w takich regionach może zacząć powstawać zapis kopalny. Jednakże takie baseny sedymentacyjne stanowią dziś tylko 16% powierzchni ziemskich lądów.

„Inną lokalizacją, która mogłaby nam przyjść do głowy jako dogodne miejsce dla umieszczenia kapsuły czasu, jest równina abysalna na dnie oceanu, prawda?" – powiedział Holland. To byłoby jednak niezbyt mądre. O ile lekka skorupa kontynentalna praktycznie zawsze unosi się ponad płaszczem Ziemi, o tyle skorupa oceaniczna mająca większą gęstość jest nieustannie wciągana do stref subdukcji na krawędziach oceanicznych płyt litosfery i tam niszczona. W efekcie połowa powierzchni dna oceanicznego liczy mniej niż 85 mln lat. Wydaje się, że to dużo, ale wciąż jest to wiek tak młody, że nie objął pierwszych 80% historii życia zwierząt (i ponad 98% całych dziejów Ziemi). Jeśli chcielibyśmy zostawić kapsułę czasu dla mieszkańców następnego superkontynentu, aby znaleźli ją, dajmy na to, za 250 mln lat, tak jak my znajdujemy dziś skamieniałości z Pangei mające właśnie taki wiek, to dno oceanu byłoby fatalnym wyborem. „Najstarsza litosfera oceaniczna na Ziemi liczy 180 mln lat, a jej przeznaczaniem jest zasadniczo subdukcja – powiedział Holland. – Jeśli więc umieścisz kapsułę na dnie oceanu, to przetrwa tam ona maksymalnie 200 mln lat, a my celujemy w naprawdę długi dystans."

NA ZIEMI DYSPONUJEMY jednak rozległym i znacznie starszym zapisem kopalnym z oceanów aniżeli jakakolwiek współczesna skorupa oceaniczna. Część takich skał pochodzi z tych kawałków skorupy oceanicznej, które podczas kolizji z kontynentami zostały „przyklejone" do ich boków i przetrwały dłużej niż macierzysta płyta litosfery. Jednakże znacznie częściej zapis ten przetrwał do naszych czasów dlatego, że w odległej przeszłości morza podnosiły się i zajmowały skorupę kontynentalną, pozostawiając ślady życia oceanicznego

eprasa.pl fa61415544

w zaskakujących miejscach, takich jak przydrożne odsłonięcia skalne w stanie Kansas, z których dosłownie wysypują się zęby rekinów oraz kości olbrzymich morskich gadów. Dziś także mamy na Ziemi duże i płytkie morza znajdujące się ponad skorupą kontynentalną. Są to szelfy kontynentalne – łagodnie opadające przedłużenia lądów, które na brzegu skrywają się pod falami, a potem biegną daleko w morze, aby na koniec zanurzyć się w głębiny. Skoro głupotą byłoby umieszczanie naszej kapsuły czasu na dnie równiny abysalnej, którą czeka zagłada, to może te węższe przybrzeżne półki nadawałoby się do tego lepiej?

„Trzeba wziąć pod uwagę parę rzeczy, jeśli chce się coś umieścić na szelfie kontynentalnym" – powiedziała mi Hannah Sophia Davies z Freie Universität Berlin, zajmująca się tektoniką i systemami sedymentacyjnymi, która podobnie jak ja była zafascynowana moim dziwacznym projektem i zgodziła się w nim uczestniczyć. Klimat nieustannie się zmienia – pewnie o tym słyszeliście. W praktyce oznacza to, że na przykład w ciągu kilku ostatnich milionów lat, gdy planeta pogrążała się w kolejnych zlodowaceniach i z nich wychodziła, temu klimatycznemu rytmowi towarzyszyły cykliczne wahania poziomu mórz – od niższego o ponad 120 m w porównaniu ze współczesnym w maksimach zlodowaceń, po wyższy o 6–7 m podczas przerw w chłodach trwających wiele tysięcy lat, jak ta, w której obecnie się znajdujemy. Nasze spisane w źródłach historycznych dzieje są bardzo krótkie, dlatego wydaje nam się, że przebieg linii brzegowych jest również stabilny, ale w rzeczywistości zmiany zasięgu mórz były w przeszłości olbrzymie. I wszędzie tam, gdzie morza się zatrzymały, zaczynały nadgryzać krajobraz.

„W miarę jak poziom morza się podnosi, wkracza ono coraz śmielej na ląd i może zniszczyć sedymenty tam, gdzie chciałoby się zachować kapsułę czasu" – powiedziała Davies. Jest to poważny problem, ponieważ poziom mórz na pewno będzie się zmieniał – najpierw być może podniosą się one o wiele metrów w geologicznie krótkim czasie na skutek globalnego ocieplenia wywołanego przez ludzi. Finalnie jednak ten nasz dwutlenek węgla zostanie usunięty z systemu i być może gdzieś za 400 tys. lat wejdziemy w kolejne zlodowacenie. W takim przypadku poziom morza obniży się o dziesiątki metrów, szelfy kontynentalne znów zostaną wystawione na działanie rześkiego powietrza i zacznie się panowanie erozji.

A gdybyśmy umieścili naszą kapsułę czasu nieco głębiej w morzu, przy krawędzi szelfu kontynentalnego, która zawsze jest zalana przez wodę i zarazem znajduje się powyżej skorupy oceanicznej? „Uznałabym, że nie jest to zbyt dobry pomysł. Strefa krawędziowa szelfu jest regularnie niszczona przez potężne podwodne osuwiska i towarzyszące im prądy zawiesinowe, które transportują materiał z dna mórz przybrzeżnych do głębin oceanicznych. Wszystko, co znajdzie się na takiej krawędzi, może zostać zniszczone" – powiedziała Davies.

Co gorsza, atlantycki szelf kontynentalny oraz inne – jak się je określa – pasywne marginesy, na których odbywa się, z dala od ruchów tektonicznych, spokojna akumulacja osadów, nie pozostają pasywne na zawsze. W 1755 roku zaskakująco potężne trzęsienie ziemi zrównało z ziemią Lizbonę, zabijając we Wszystkich Świętych dziesiątki tysięcy ludzi zmierzających do kościołów. Wstrząs o magnitudzie 8,7 okazał się tak destrukcyjny, że niektórzy oświeceniowi filozofowie porzucili wtedy ideę wszechmocnego, dobrego i kochającego Boga. Niespodziewany kataklizm mógł zapoczątkować zagładę całego Oceanu Atlantyckiego. Być może były to pierwsze pomruki skorupy ziemskiej związane z narodzinami nowej strefy subdukcji – tektonicznej paszczy, która pewnego dnia przeniknie do Atlantyku przez Cieśninę Gibraltarską, pożerając skorupę oceaniczną w miarę ekspansji. Gdyby do tego doszło, wówczas powstałoby lustrzane odbicie podobnych struktur już istniejących po drugiej stronie Atlantyku: dwóch łuków rowów oceanicznych, w których dno morskie jest wciągane do płaszcza. Te amerykańskie strefy subdukcji mogą z kolei rozszerzyć się na pozostałą część zachodniego Atlantyku, skutecznie odwracając tektoniczny trend, który od 180 mln lat rozszerza ocean. Finalnie mogłoby dojść do pochłonięcia całego Atlantyku i uformowania się kolejnego superkontynentu. Nie trzeba dodawać, że dla miękkich osadów akumulujących się na szelfie kontynentalnym Atlantyku byłby to wyrok śmierci.

W innej części planety na zniknięcie skazany jest rozległy szelf ciągnący się od Australii po Wietnam. W epoce lodowej gościł niezliczone stegodonty, a później także ludzi – ich skamieniałe szczątki znajdują się dziś głęboko pod wodą. „Kiedy Australia zderzy się z Azją Południowo-Wschodnią, w miejscu kolizji wyrośnie olbrzymi łańcuch górski. Stanie się to bardzo szybko, powiedzmy, że w ciągu następnych 30 mln lat" – powiedziała Davies.

Wróćmy na ląd i przyjrzyjmy się tym 16% powierzchni skorupy kontynentalnej zajmowanym przez baseny sedymentacyjne. W większości są to pustynie, na których napotykamy kolejną przeszkodę – tafonomię, czyli proces fosylizacji. Jeśli ktoś ma dużo szczęścia, wówczas pionowe ściany piaskowców Navajo odsłonią przed nim permineralizowane kości jakiegoś pechowego prozauropoda, zabitego w okresie jurajskim przez osuwającą się wydmę. Jednak nie będzie to idealnie zachowana skamieniałość. „Piaskowce są porowate i nie zachowują drobnych detali szczątków organicznych – powiedział Holland. – Dlatego zdecydowanie nie byłoby to najlepsze miejsce do umieszczenia kapsuły".

NA TYM ETAPIE MOICH POSZUKIWAŃ, po wyeliminowaniu większości miejsc na świecie, utknąłem w martwym punkcie. Dowiedziałem się, że powinniśmy umieścić kapsułę w basenie sedymentacyjnym, hermetycznie odizolowaną od szalejących na powierzchni procesów utleniania, ale raczej nie na pustyni i nie w oceanie, a być może nawet nie w jego pobliżu. Gdy tak przyglądałem się mapie Hollanda, doszedłem do wniosku, że chyba już wiem, co należy zrobić. Trzeba zakopać kapsułę na dnie Morza Czarnego! W końcu znajduje się ono w basenie sedymentacyjnym wewnątrz lądu, a w jego głębinach brakuje

eprasa.pl fa61415544

tlenu. Dzięki temu zakonserwowało wraki rzymskich galer z wszystkimi, zapierającymi dech detalami. Okazało się, że źle wybrałem. „Cały ten obszar, poczynając od Himalajów przez Bliski Wschód i Azję Mniejszą aż po Alpy, to, mówiąc wprost, strefa grozy – powiedział Holland, mając na myśli bardzo skomplikowane i wciąż trwające zderzenie Eurazji z Afryką. – Występuje tam tyle mniejszych kolizji, że cała te strefa nie nadaje się do tego, aby cokolwiek w niej ukryć. Na przykład Morze Śródziemne zniknie."

Skoro tak, to co nam pozostało? „Mnie podoba się Ryft Wschodnioafrykański – stwierdził Holland. – Prawdopodobnie tam umieściłbym naszą kapsułę."

Około 200 mln lat temu, gdy Ziemia postanowiła rozbić Pangeę, pierwsze próby oderwania Ameryki Północnej od Afryki okazały się nieudane, a pozostał po nich łańcuszek głębokich, wąskich jezior ryftowych biegnący od Massachusetts na północy po Karolinę Południową na południu. Coś podobnego może dziać się obecnie we wschodniej Afryce, w której znajdują się jeziora Malawi i Tanganika. W Ameryce Północnej prastare warstwy skalne wciąż oddają skamieniałości łuskowatych ryb i ukazują odciski krokodylich śladów pozostawionych na brzegach jezior. Można ich poszukać w wychodniach na skrajach parkingów w Newark albo w kamieniołomach sąsiadujących z międzynarodowym lotniskiem imienia Dullesa w Waszyngtonie. Być może więc powinniśmy wynająć łódź, wypłynąć nią na środek jeziora Malawi i wrzucić naszą kapsułę czasu do jego najgłębszych, prawie pozbawionych tlenu wód, a potem zacisnąć kciuki i liczyć na pozytywny scenariusz. Dobrze byłoby też jakoś wspomóc sam proces zakonserwowania kapsuły w dobrym stanie.

Do tej pory nie było mowy o tym, z czego właściwie taka kapsuła powinna być wykonana. Metalowy pojemnik wystarczyłby najwyżej na kilka dekad. Skoro więc zamierzamy odbyć dłuższą podróż w przyszłość, musimy być bardziej wybredni. Metal koroduje, szkło ulega dewitryfikacji. Nawet nasza niesławna plastikowa spuścizna nie przetrwa długo w zapisie geologicznym – ulegnie rozłożeniu, przeobrażając się w osobliwą mieszaninę długołańcuchowych biomarkerów organicznych. „Wietrzenie chemiczne to prawdziwy zabójca" — powiedział Holland. Sięgnięcie po granit byłoby wręcz idiotycznym pomysłem, ponieważ wietrzenie i erozja skał krzemianowych, takich jak granit, należy do najpowszechniejszych i najbardziej niezawodnych procesów zachodzących na naszej planecie. „Można uszeregować minerały według ich podatności na wietrzenie chemiczne. Coś wykonanego z kwarcu mogłoby być niezwykle trwałe. Ale najbardziej odporną rzeczą, jaką potrafię sobie wyobrazić, jest cyrkon, choć nie wiem, jak zdobyć jego większą ilość" – powiedział Holland.

Do naszych czasów przetrwały niemal niezniszczalne ziarenka cyrkonu pochodzące z wczesnodziecięcego wieku Ziemi, sprzed prawie 4,4 mld. Nic innego nie przetrwało z początku hadeiku, pierwszego eonu w dziejach planety. „Mamy zatem cyrkony, które są prawie tak stare, jak glob. Gdybym więc miał stworzyć coś, co miałoby trwać wiecznie, zapewne zrobiłbym to właśnie z cyrkonu" – powiedział Holland.

Kiedy opisałem Davies pomysł Hollanda dotyczący Ryftu Wschodnioafrykańskiego, podeszła do niego z rezerwą (obawiała się, że kapsuła mogłaby przedwcześnie zakończyć swój żywot na dnie nowego Oceanu Wschodnioafrykańskiego). Ale gdy wspomniałem o planie wykorzystania cyrkonu, widać było, jak zaczyna gorączkowo myśleć. „Och tak, to dobre. Można by wytrawić coś w cyrkonie laserem. Miałby on szansę przetrwać nawet orogenezę" – stwierdziła, mając na myśli tytaniczne, górotwórcze kolizje, które miażdżą i „gotują" mniej odporne minerały. „Idea jest ciekawa, bo taka przesyłka nie musiałaby być znaleziona w wychodni skalnej. Równie dobrze mogłaby zostać odkryta w materiale detrytycznym" – zauważyła. Innymi słowy, kapsułę czasu można by znaleźć niekoniecznie w skałach, w których pierwotnie ją umieszczono i które mogłyby ulec erozji, ale również tam, gdzie finalnie by dotarła wraz z produktami erozji i wietrzenia.

Każda wiadomość potrzebuje odbiorcy, nawet jeśli będzie to zagadka cyrkonów, przez nas zmodyfikowanych i odnalezionych po setkach milionów lat.

„Gdyby erozja zabrała kapsułę z gór i zaniosła na wybrzeże, gdzie ktoś by ją znalazł, zanim wylądowałaby na szelfie kontynentalnym lub została zagrzebana na dnie głębin oceanicznych, wówczas to mogłoby zadziałać" – doszła do wniosku Davies, zauważając, że możliwe byłoby stworzenie cyrkonu o dziwnym, nienaturalnym składzie izotopowym, który jednoznacznie zdradzałby jego antropogeniczne pochodzenie. „Jeśli chodziłoby nam o to, by prostu zawołać do kogoś z przyszłości: »Hej, byliśmy tutaj«, moglibyśmy poumieszczać w skałach dużą ilość takich osobliwych cyrkonów, by przyszłe cywilizacje miały o czym myśleć. Ostatecznie wszystko sprowadza się do tego, jaki jest nasz cel. Czy chcemy stworzyć coś w stylu płytki z Voyagera? Czy chcemy powiedzieć: »To my, ludzkość. Oto, jacy byliśmy«?"

To pytanie prowadzi do ostatniej, zapewne najbardziej spekulatywnej części tego ćwiczenia, którego uczestnicy już dawno skręcili w stronę nieodpowiedzialnych spekulacji: ktoś musi przecież znaleźć tę cholerną kapsułę. Każda wiadomość potrzebuje odbiorcy, nawet jeśli miałby on jedynie łamać sobie głowę nad jakimiś zagadkowymi cyrkonami sprzed setek milionów lat. Ten wymóg prawdopodobnie eliminuje najbardziej oczywiste rozwiązanie naszych wszystkich problemów polegające na znalezieniu starego, stabilnego tektonicznie wnętrza kontynentu, wywierceniu tam dwukilometrowej dziury, umieszczeniu na jej dnie kapsuły i zapieczętowaniu otworu czymkolwiek,

eprasa.pl fa61415544

choćby cementem. Rzeczywiście takie podejście niemal na pewno zagwarantowałoby przetrwanie kapsuły. Jest tylko jeden problem. „Tak umieszczonej kapsuły nikt nigdy nie odnajdzie” – powiedział Holland.

Aby mieć pewność, że nasz wytrawiony laserowo i zmodyfikowany izotopowo blok cyrkonu zostanie odkryty w przyszłości, nie wystarczy umieścić go w osiadającym basenie sedymentacyjnym czy też wrzucić do głębokiego szybu wykonanego w litej skale. W końcu głęboko pod nami znajdują się wielokilometrowe warstwy skalne z niezliczonymi skamieniałościami, których nikt nie odkryje i nie zbada, bo nigdy nie ujrzą one światła dziennego. Aby skutecznie przekazać naszą wiadomość, potrzebujemy skał, które zostaną wypiętrzone za kilkaset milionów lat, aby uległy erozji i zostały odsłonięte. Wtedy jednak ktoś musiałby dostrzec kapsułę w odpowiednim miejscu i czasie, zanim zniknęłaby nieuchronnie w wyniku działania erozji. Załóżmy, że ów „odpowiedni czas” trwałby nie dłużej niż parę dekad. Cóż, przyznam, że cała ta idea zaczęła wyglądać w moich oczach dość absurdalnie.

Nasza wiedza na temat przyszłych wędrówek płyt tektonicznych obejmuje mniej więcej kolejne 250 mln lat, przy czym stwierdzenie, że jest to wiedza „niepewna”, byłoby sporym niedopowiedzeniem. Wiemy jednakże, że mniej więcej co 400–600 mln lat ziemskie lądy scalały się w jeden olbrzymi ląd obejmujący półkulę ziemską i zwany superkontynentem. Najmłodszy przykład to Pangea. Na podstawie znajomości tektoniki płyt oraz współczesnego położenia stref subdukcji można z użyciem modeli próbować przewidzieć konfigurację następnego superkontynentu, który powinien powstać za 200–250 mln lat. Takie próby podjęło kilka grup naukowych. Trzy z nich przewidują, że kolejny olbrzym uformuje się wokół strefy tropikalnej (choć fakt, że według jednej z grup taki gigant zarazem sięgnie bieguna północnego, pokazuje, że w tych prognozach jest doza spekulacji). Kanoniczną wersję przyszłego superkontynentu nazwaną Pangea Ultima przedstawił swego czasu geolog Christopher Scotese z Northwestern University.

Cóż za ironia, że nasz eksperyment myślowy jest niemal niemożliwy do przeprowadzenia z tego samego powodu, któremu zawdzięczamy istnienie.

Pangea Ultima jest w zasadzie powtórką poprzedniej Pangei: Ocean Atlantycki finalnie zamyka się w sposób podobny do opisanego wcześniej, a obie Ameryki oraz Afryka zmieniają kierunek wędrówki i powoli dryfują ku sobie, aby po 250 mln lat znów się połączyć – nieśpiesznie, choć gwałtownie. W tym scenariuszu Davies upatrzyła sobie Namibię.

Namibia wyróżnia się wśród basenów sedymentacyjnych. Jest bardzo mało prawdopodobne, by w przyszłości, nawet tej odległej, jej geologiczna egzystencja została zakłócona przez poważne procesy tektoniczne – aż do owego szczęśliwego dnia, gdy zderzy się z Amerykami i zostanie wypiętrzona, wchodząc w skład wielkiego łańcucha górskiego biegnącego równoleżnikowo w samym sercu superkontynentu, niczym Centralne Góry Pangei przed setkami milionów lat.

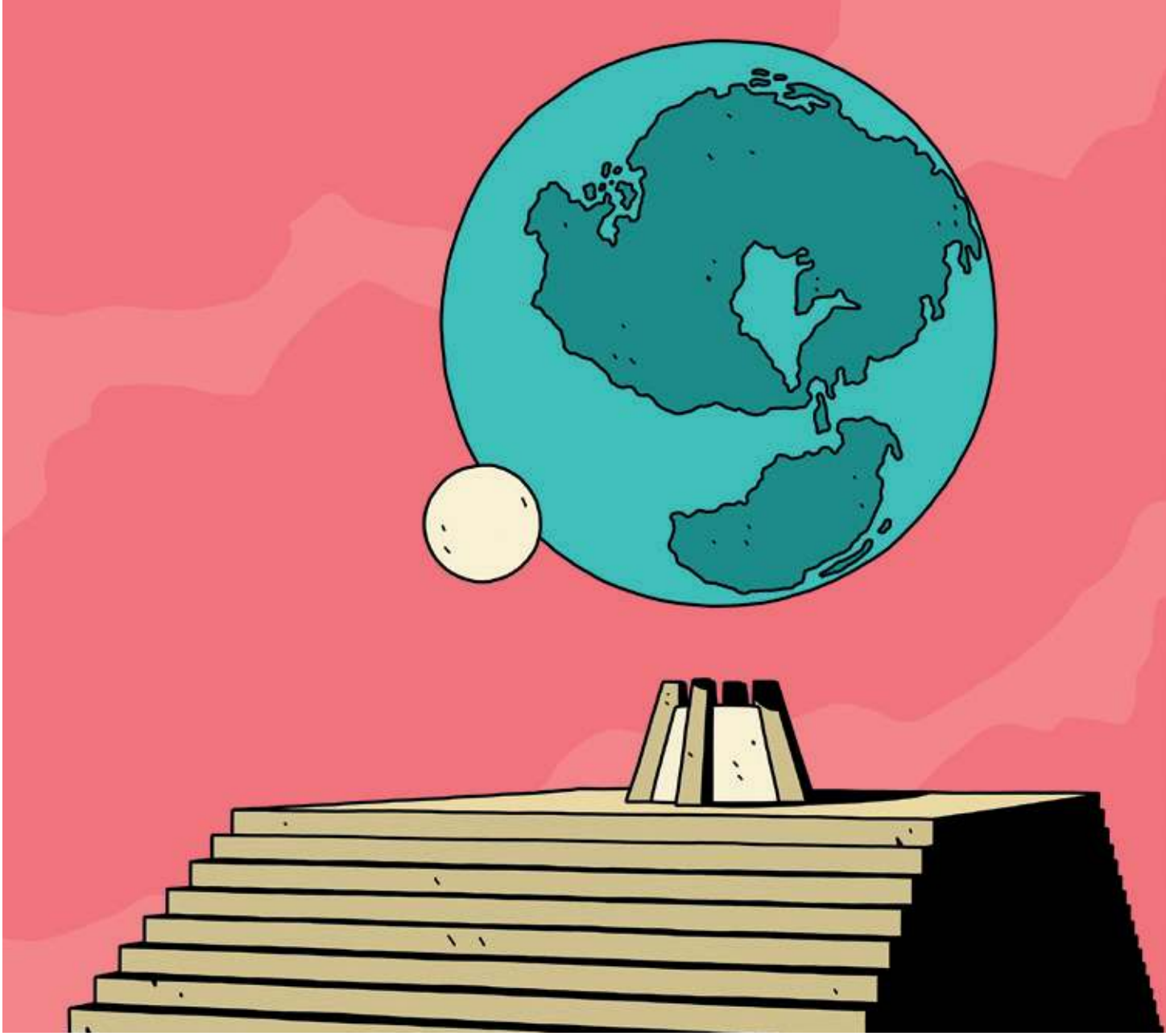
Zniechęcająco wygląda natomiast taka oto perspektywa, że nawet jeśli za 250 mln lat na Pangei Ultima mieszkać będą paleontolodzy i nawet jeśli wszystko pójdzie po naszej myśli, to skały, którym powierzymy naszą kapsułę, muszą się znaleźć w tej części planety, którą ci przyszli badacze rzeczywiście będą studiowali. Może to się wydawać mało znaczącym problemem, ale dziś nasza wiedza na temat dziejów życia na Ziemi pochodzi głównie z zapisów kopalnych na półkuli północnej, co wynika z rozmaitych historycznych powodów, wliczając w to globalny rozwój gospodarczy. I choć spekulowanie na temat ekonomii politycznej następnego superkontynentu wydaje się jeszcze bardziej absurdalne niż rozważania o jego tektonice, istnieją powody, by wątpić, że ktokolwiek, niezależnie od miejsca takiej istoty na drzewie życia, zechce prowadzić badania terenowe na większości obszaru Pangei Ultima, a to dlatego, że z wyjątkiem stref polarnych, będzie to prawdziwe piekło.

Zacznijmy od tego, że superkontynenty są kiepskimi miejscami do życia. Na przykład Pangea miała w strefie tropikalnej bardzo rozległe, suche wnętrze, które było niemal całkowicie pozbawione życia, skrajnie gorące i usiane toksycznymi, żrącymi solniskami. Wnętrze następnego superkontynentu będzie prawdopodobnie jeszcze mniej gościnne, ponieważ za 250 mln lat Słońce będzie świecić o około 2,5% jaśniej.

Paleoklimatolog Alexander Farnsworth z University of Bristol wraz ze współpracownikami przedstawił raczej przerażający obraz warunków klimatycznych panujących w tym świecie. Temperatury dobowe na całym superkontynencie mogłyby miesiącami utrzymywać się na trudnym do wyobrażenia poziomie 50–60°C. Ssaki nie są w stanie przetrwać, jeśli temperatura przez dłuższy czas przekracza 40°C, o czym może zaświadczyć ćwierć miliarda lat naszej ewolucji. Składniki fotosyntezy rozpadają się w temperaturze 40–60°C. Jeśli przyszli paleontolodzy wyjdą poza strefy polarne Pangei Ultima, zginą. „Załóżmy, że nasza kapsuła czasu przetrwa kolizję kontynentów i erozja odsłoni ją w Centralnych Górach Pangei Ultima. Jak do niej się dostać, gdy na zewnątrz jest 60°C” – zaważyła Davies.

CZEGO ZATEM SIĘ DOWIEDZIELIŚMY? Ten z pozoru absurdalny eksperyment myślowy przynajmniej uświadamia nam, jak dynamiczną i niespokojną planetą jest Ziemia. Na Marsie lub Księżycu nasze zadanie byłoby trywialnie łatwe, ponieważ są to globy martwe i depresyjne. Na Marsie nietrudno znaleźć osady rzeczne i jeziorne sprzed 4 mld lat, odsłonięte dziś

eprasa.pl fa61415544



Przybliżona lokalizacja Pangei Ultima (za 250 mln lat) na podstawie map Christophera Scotese.

na powierzchni. Na Księżycu ślad po uderzeniu planetoidy sprzed 4,3 mld lat wciąż wygląda świeżo. Na Ziemi nie znaleźliśmy nawet jednego kawałka skały, która byłaby tak stara, a krater impaktowy Chicxulub, największy znany nam z ostatniego miliarda lat, dziś jest ledwie widoczny na powierzchni, przykryty wapieniami liczącymi dziesiątki milionów lat i porośnięty dżunglą. Jeśli w tym ogromnym przedziale czasowym zdarzyły się jeszcze większe uderzenia niż to, które zabiło dinozaury, zostały wymazane.

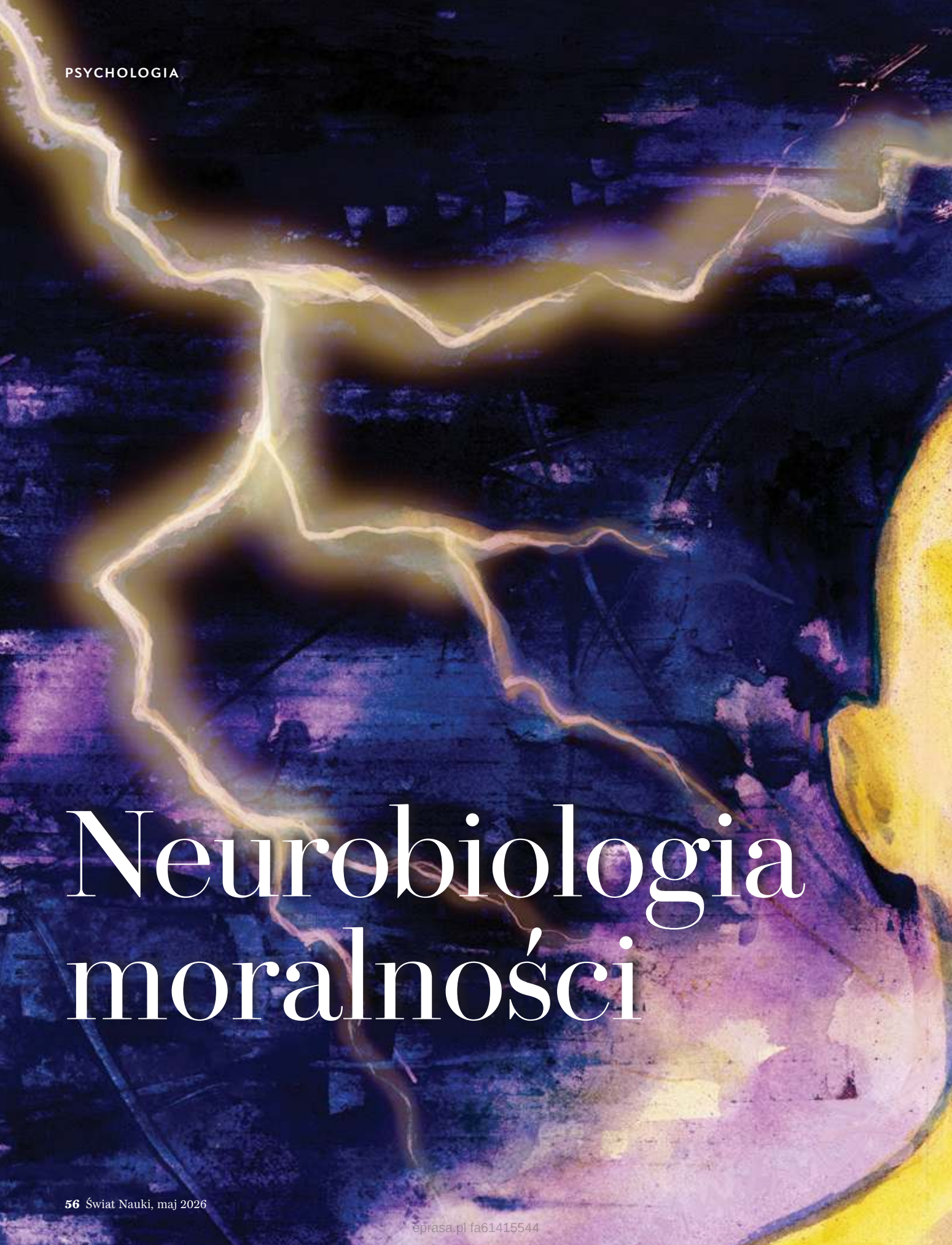
Nasza planeta jest żywa. Tektonika płyt nieustannie przekształca jej powierzchnię: wypiętrza góry oraz tworzy i niszczy oceany. Czynniki atmosferyczne niszczą te wypiętrzone góry, a rzeki wycinają w skałach kaniony, wzbogacając oceany w pochodzące z lądu składniki mineralne, które podtrzymują życie. Ten powolny proces denudacji pomaga również w usuwaniu CO_2 z atmosfery i tym samym w utrzymaniu temperatury odpowiedniej dla złożonego życia – wszystko to dzięki chemicznej alchemii wietrzenia i erozji, która przeobraża węgiel atmosferyczny w wapienną skałę na dnie oceanów, co trwa setki tysięcy lat. To magazynowanie CO_2 jest niemal idealnie zrównoważone z jego ponownym uwalnianiem do atmosfery za pośrednictwem wulkanów, które z kolei są napędzane subdukcją, powstawaniem ryftów i innymi procesami nieustannie przekształcającymi nasz świat. Dla życia na Ziemi jest to korzystne. Cóż za ironia, że nasz eksperyment myślowy jest niemal niemożliwy do przeprowadzenia z tego samego powodu, któremu zawdzięczamy istnienie.

„Dla geologów staje się coraz bardziej oczywisty fakt, że tektonika płyt jest w długim okresie niezbędna dla podtrzymywania życia na Ziemi – stwierdziła Davies, zastanawiając się nad eksperyment myślowym, do którego ją wciągnąłem. – To dość interesujący paradoks, taki w stylu Paragrafu 22: cywilizacje potrzebują tektoniki płyt, która zarazem może łatwo zatrzeć wszelkie po nich ślady.” ■

Z ARCHIWUM

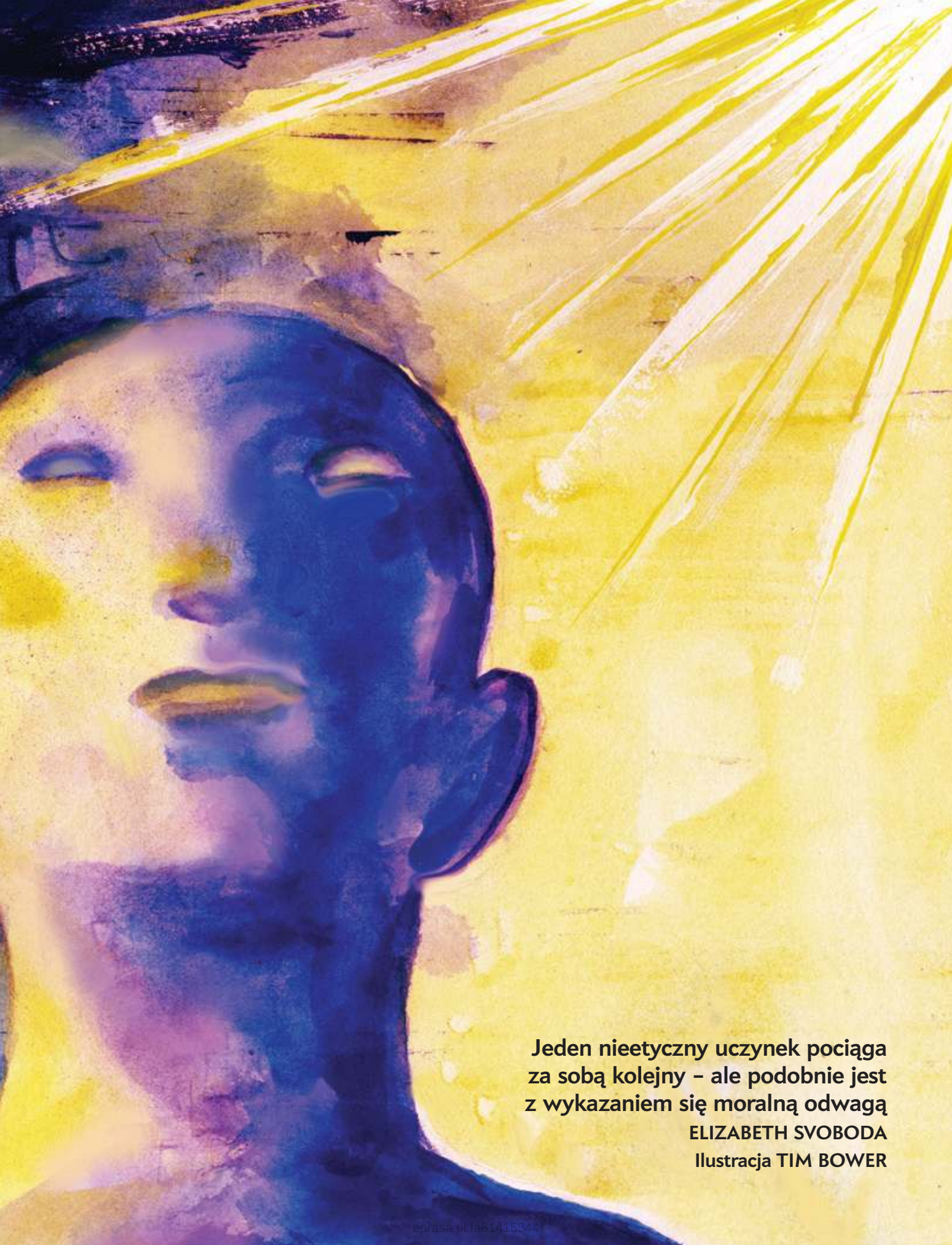
„The Breakup of Pangaea”. Robert S. Dietz i John C. Holden; październik 1970. Scientific American.com/archive

eprasa.pl fa61415544



Neurobiologia moralności

eprasa.pl fa61415544



Jeden nieetyczny uczynek pociąga za sobą kolejny – ale podobnie jest z wykazaniem się moralną odwagą

ELIZABETH SVOBODA

Ilustracja TIM BOWER

eprasa.pl fa61415344

ZACZĘŁO SIĘ OD NIEWINNEJ POMYŁKI. Teksański przedsiębiorca Chris Bentley założył firmę zajmującą się skupowaniem praw do odwiertów ropy i gazu. W którymś momencie zorientował się, że partia listów, które wysłał do właścicieli gruntów z ofertą dzierżawy ich praw, zawierała błędne informacje – w tym nieprawidłowe kwoty.

Zamiast jednak sprostować pomyłkę, poszedł w zaparte, nie chcąc przyznać się do błędu. Gdy oferta nie przyniosła wystarczającej liczby umów dzierżawy, pozwalającej osiągnąć zyski, Bentley próbował nadrobić straty, lokując pieniądze inwestorów w nowe, ryzykowne przedsięwzięcia. Część z nich zakończyła się fiaskiem i uszczupliła środki jego firmy, Bellatorum Resources. Następnie, gdy źródła pieniędzy zaczęły wysychać, aby móc wypłacać pensje pracownikom, zaczął księgować fikcyjne transakcje. Nie zaprzestał procederu, aż suma oszustw osiągnęła 40 mln dolarów. „W gruncie rzeczy zrobiłem to, co ludzie robią od wieków – okradałem Piotra, żeby opłacić Pawła – mówi Bentley, który niedawno wyszedł z więzienia i obecnie odbywa karę w areszcie domowym. – I wtedy wszystko zaczęło się sypać".

Takie moralne spirale śmierci, jak ta Bentleya, zdarzają się w każdej sferze życia publicznego – od biznesu, przez samorządy, aż po najwyższe szczeble przywództwa politycznego. Często rzecz się zaczyna od drobnej nieuczciwości – takiej, jak decyzja Bentleya, by blefować z powodu pomyłki – i narasta, aż osiąga punkt, z którego nie ma już powrotu. Część eskalujących przestępstw ma charakter finansowy; inne prowadzą do naruszeń praw człowieka lub jeszcze poważniejszych konsekwencji.

Badacze mózgu i psycholodzy starają się zrozumieć, jak zaczynają się takie moralne zjazdy po równi pochyłej i co podtrzymuje ich dynamikę. Początkowo sama myśl o kłamstwie, oszustwie czy skrzywdzeniu innego człowieka może nas przerażać. Jednak gdy dopuszczamy się niewłaściwych czynów raz za razem, nasz mózg stopniowo się na nie znieczula. Znacznie trudniej jest sprzeniewierzyć pieniądze lub zabić po raz pierwszy niż po raz dziesiąty.

Taka moralna „kula śnieżna" może jednak poruszać się także w przeciwnym kierunku. Co zaskakujące, podobnie jak neuronalna habituacja prowadzi często do etycznego upadku, bywa też, że napędza spiralę cnoty – jeden uczciwy lub odważny czyn sprawia, że kolejny przychodzi łatwiej. A ponieważ nasze mózgi dostosowują się do powtarzanych zachowań, ruch w określonym kierunku może się utrwalać – co czyni szczególnie istotnym ustalenie, gdzie i w jaki sposób się on rozpoczyna.

Podejmowanie aktów moralnej odwagi – takich jak omijanie min, by dostarczyć zaopatrzenie irackim cywilom podczas służby w armii USA – pomogło byłemu funkcjonariuszowi policji Kapitolu, Aquilinowi Gonellowi, zachować niezłomność w czasie szturmu z 6 stycznia 2021 roku. To traumatyczne doświadczenie i odniesione podczas starcia rany dały mu również determinację, by publicznie opowiedzieć o agresji napastników – mimo że wiedział, iż mówienie prawdy może uczynić go celem ekstremistów. „Nie mógłbym spojrzeć w lustro, gdybym milczał" – powiedział.

Ludziom łatwiej jest postępować moralnie, wtedy gdy kierują się fundamentalnymi wartościami, których są gotowi bronić bez względu na okoliczności. Dziadek Gonella często mu powtarzał: „Nigdy nie kłam" – zasada ta pozostała z nim na całe życie. A gdy ludzie decydują się podążać za własnym sumieniem, często odkrywają, że emocjonalne korzyści przewyższają ryzyko. Ci, którzy słuchają swoich lepszych impulsów, nie tylko unikają samopotępienia wynikającego z rezygnacji z tego, co uważają za słuszne, lecz mogą także odnaleźć głęboki sens i radość w zgodności działań z własnym systemem wartości – tak jak Gonell, gdy zdecydował się mówić. „Im częściej to robiłem, tym bardziej traktowałem to jak terapię dla zdrowia psychicznego – mówi. – Wiem, że sprostałem tej chwili w czasie i historii".

GDY PO RAZ PIERWSZY UŚWIADAMIAMY sobie naruszenie norm etycznych – na przykład sprzeniewierzenie pieniędzy przez współpracownika albo skryte, wewnętrzne pragnienie wyrządzenia komuś krzywdy – jesteśmy biologicznie zaprogramowani, by reagować podobnie, jak na widok krowiego łajna. W badaniu przeprowadzonym w 2020 roku przez naukowców w Szwajcarii osoby, które przed chwilą rozmyślały o moralnie problematycznej sytuacji, reagowały silniej na odrażające zapachy niż uczestnicy z grupy kontrolnej. Aktywniejsze były u nich także obszary mózgu przetwarzające fizyczne obrzydzenie, takie jak przednia część wyspy, co wskazuje, że naruszenie norm moralnych działało na nich jak smród obornika. „Obrzydzenie i obrzydzenie moralne są ze sobą w wyjątkowy sposób powiązane" – mówi neurobiolog Gil Sharvit, główny autor tego badania.

Jedynym jednak pewnym wnioskiem, do którego doszli neurobiolodzy próbujący rozwikłać złożone procesy rządzące decyzjami moralnymi, jest to, że żaden pojedynczy obwód mózgowy nie dominuje w tego typu wyborach. W badaniach z wykorzystaniem czynnościowego jądrowego rezonansu magnetycznego (fMRI) w momentach podejmowania kluczowych decyzji uaktywnia się rozległa sieć obszarów mózgu odzwierciedlająca szerokie spektrum czynników społecznych, emocjonalnych i instynktownych, które ważą na każdej decyzji moralnej. Oprócz automatycznego odruchu cofnięcia się aktywuje się także ciało migdałowate, odpowiedzialne za przetwarzanie strachu, gdy ludzie

Elizabeth Svoboda jest popularyzatorką nauki z San Jose w Kalifornii i autorką książki *What Makes a Hero?: The Surprising Science of Selflessness* (Current, 2013). Obecnie pracuje nad książką o tym, jak nauka może pomóc utrzymać stałe tempo życia w przyspieszającym świecie.

eprasa.pl fa61415544

rozważają ryzyko związane z niewłaściwym postępowaniem. Zajęcie stanowiska etycznego może bowiem wywoływać lęk – choćby przed odwetem.

W miarę jak refleksja się pogłębia, podejmowanie decyzji moralnych przekształca się jednak w wewnętrzną debatę, w której logika łagodzi początkowe, impulsywne reakcje. Wiele obszarów mózgu, w tym kora przedczołowa – ogólny ośrodek decyzyjny – pomaga regulować instynktowne reakcje, takie jak strach i obrzydzenie, osadzając je w szerszym kontekście. Przednia kora zakrętu obręczy, wraz z przednią wyspą i jądrem półleżącym, ocenia bilans nagród i kar, jakie niesie ze sobą moralnie ryzykowna decyzja, oraz zarządza emocjami z nią związanymi, czyniąc ją bardziej – lub mniej – akceptowalną. Taka synteza może sprawić, że dalsza droga staje się wyraźniejsza.

Choć podstawowe sieci neuronalne są u ludzi podobne, czynniki takie, jak osobista historia, to, co dana osoba uznaje za nagradzające, oraz bieżące okoliczności mogą głęboko zmieniać sposób przetwarzania informacji i późniejszą reakcję moralną. Gdy Bentley zastanawia się nad tym, co zapoczątkowało jego ciąg fikcyjnych transakcji, nieustannie wraca do swojej silnej skłonności do podejmowania ryzyka – ukształtowanej podczas służby w Korpusie Piechoty Morskiej USA w Afganistanie, gdzie obowiązywała zasada „improwizuj, dostosuj się, zwyciężaj" za wszelką cenę.

W terenie Bentley odpowiadał za dostarczanie niezbędnego zaopatrzenia bojowego zespołom działającym w odległych lokalizacjach. Pewnego razu odstąpił od procedur, angażując grupę afgańskich tłumaczy, którzy mieli pojechać pick-upem i dostarczyć sprzęt amerykańskim żołnierzom. „Gdyby to ukradli i nigdy nie wrócili – a ufałem, że tego nie zrobią – to ja poniósłbym konsekwencje – mówi Bentley. – Ale uznałem, że to jedyny sposób, by dostarczyć to, czego potrzebowano". Sukces misji utwierdził go w przekonaniu, że ryzyko daje nieproporcjonalnie duże nagrody.

Gdy ludzie rozwijają w sobie zamiłowanie do ryzyka i osobistych korzyści, ta nabyta pewność siebie wpływa nie tylko na to, co są skłonni postawić na szali, lecz także na rodzaj podejmowanych decyzji moralnych. W badaniu opublikowanym w 2024 roku przez naukowców z Indii osoby przyzwyczajone do ryzykownych gier hazardowych okazały się bardziej skłonne do podejmowania decyzji moralnych, które inni uznaliby za nie do przyjęcia – takich jak (teoretycznie!) zepchnięcie jednej osoby pod rozpędzony wagonik, by ocalić innych. Wynik ten pokazał, że zamiast kierować się bezwzględnymi zasadami moralnymi, takimi jak „nie wolno zabić człowieka", gracze tolerujący ryzyko częściej opierali swoje decyzje na utylitarnych kalkulacjach kosztów i korzyści. To, co Bentley miał nadzieję zyskać dzięki swojemu procederowi w Bellatorum – uznanie, zyski, możliwość stworzenia szans dla innych weteranów – miało w jego umyśle większą wagę niż jakakolwiek absolutna wartość moralna.

Jak mówi, rozważając etyczne zejście z właściwej drogi, czuł się jednocześnie pod ogromną presją. Niezależnie od tego, jak ludzie opisują swój system wartości w chwilach spokoju, system ten może się gwałtownie załamać pod wpływem stresu. Jako przedsiębiorca prowadzący niewielką, dynamiczną firmę Bentley odczuwał potężną presję, by sprostać oczekiwaniom klientów, i nie widział miejsca na błąd. „Mój fundusz nie dopuszczał strat – mówi. – Dosłownie funkcjonowaliśmy w systemie zerowej tolerancji dla pomyłek". On i jego zespół pracowali po nocach przez tydzień, aby przygotować i wysłać 5 tys. listów ofertowych do właścicieli gruntów. Gdy odkrył, że listy zawierają błędy, sama myśl o wycofaniu się i przyznaniu do pomyłki była dla niego tak przerażająca, że w panice próbował błąd ukryć. „Byłem spanikowany" – przyznaje.

„Kiedy się boimy, nasze ciała zachowują się tak, jakbyśmy znaleźli się w sytuacji zagrożenia życia" – mówi konsultantka etyczna Brooke Deterline, założycielka firmy doradczej Courageous Leadership. W takim stanie organizm zalewany jest hormonami stresu, takimi jak kortyzol, które – jak wiadomo – zaburzają wyższe funkcje poznawcze. To poznawcze „zawieszenie" może tłumaczyć, dlaczego ludzie, którym nakazuje się pośpiech, bo są spóźnieni, rzadziej pomagają potrzebującym niż ci, którzy nie odczuwają presji czasu. Sokratejska maksyma „wiedzieć, co dobre, to czynić dobro" w ferworze chwili może przestać działać.

Przynajmniej na początku, gdy ludzie kłamią, kradną lub wyrządzają komuś krzywdę, często ogarnia ich silne obrzydzenie wobec samych siebie. Smród krowiego placka dochodzi tym razem z wnętrza domu i jest nie do zniesienia. Kiedy była pracownica WorldCom, Betty Vinson, po raz pierwszy w zapisach księgowych zawyżyła zyski firmy, odczuła tak dotkliwy lęk, że złożyła rezygnac1ę.

Podobnie jednak jak przyzwyczajamy się do utrzymujących się zapachów, tak, jak się wydaje, adaptujemy się również do początkowych wykroczeń i jesteśmy skłonni do dalszych naruszeń. W eksperymencie przeprowadzonym na Arizona State Univeristy, w którego ramach 73 studentów rozwiązywało zadania matematyczne, uczestnicy mogli zarabiać niewielkie kwoty za każdą poprawną odpowiedź, ale mieli też okazję zabrać z koperty więcej pieniędzy, niż im się należało. Gdy możliwość kradzieży zaczynała się od drobnych sum (zaledwie kilku centów) i stopniowo rosła, dwa razy więcej osób kradło niż wtedy, gdy kwota możliwa do ukradzenia była cały czas taka sama.

Psycholog organizacji David Welsh, główny autor badania, nie był zaskoczony tymi wynikami. Przeprowadził je częściowo dlatego, że nie mógł przestać myśleć o pracy Stanleya Milgrama. W tym klasycznym eksperymencie uczestnikom określanym jako „nauczyciele" polecano razić „uczniów" wstrząsami elektrycznymi za błędne odpowiedzi.

Najczęściej przywoływanym wnioskiem z badań Milgrama była skłonność ludzi do podporządkowywania się niemoralnym poleceniom. To jednak, co szczególnie uderzyło Welsha, to zachodząca stopniowo habituacja moralna. „Zaczynano od instruowania uczestników, by aplikowali bardzo słabe wstrząsy – mówi – a potem stopniowo je zwiększano". Gdy „nauczyciele" wyrażali wątpliwości, prowadzący eksperyment zachęcali ich do kontynuowania, używając sformułowań w rodzaju:

eprasa.pl fa61415544

„Nie masz wyboru, musisz iść dalej”. Tego rodzaju moralny nacisk ułatwiał współudział i sprawiał, że osoby, które nigdy nie wyobrażały sobie rażenia kogoś napięciem 450 V, stawały się gotowe to zrobić, jeśli dochodziły do tego poziomu stopniowo.

Stopniowa adaptacja moralna wystąpiła także w mniej dramatycznym scenariuszu zaprojektowanym przez Welsha, gdzie stawką były jedynie pieniądze, a nie zdrowie ludzi. Początkowe, drobne wykroczenie zdawało się ośmielać uczestników do popełnienia większego przy kolejnej okazji. Gdy tylko ludzie zaczynają przekonywać samych siebie, że „to nic wielkiego – podrasować liczby w bilansie albo przypisać sobie cudzą pracę – tworzą się warunki sprzyjające śliskie moralnie równi pochyłej – mówi Welsh. – Jeśli raz wejdą w tryb racjonalizowania własnego złego zachowania, staje dla nich coraz łatwiejsze robić to znowu i znowu”.

Badacze z University College London opisali biologiczne podłoże tej habituacji. Podczas badania z użyciem fMRI uczestnicy grali w grę, w której mogli wzbogacać się, oszukując innych. Im częściej kłamali innym graczom, tym zuchwalsze były ich kolejne kłamstwa. U tych nawykowych kłamców obserwowano również obniżoną aktywność ciała migdałowatego, związanego z pobudzeniem emocjonalnym – a im niższa była aktywność tego obszaru, tym bardziej rażące stawały się kłamstwa w następnej rundzie gry. Badacze sądzą, że kluczową rolę odgrywa tu stopniowa adaptacja neuronalna: im częściej ludzie kłamią, tym mniejszy dyskomfort emocjonalny odczuwają, co pozwala im coraz swobodniej lawirować.

Podobnie jednak jak przyzwyczajamy się do utrzymujących się zapachów, tak, jak się wydaje, adaptujemy się również do początkowych wykroczeń i jesteśmy skłonni do dalszych naruszeń.

Vinson padła ofiarą tego mechanizmu wtedy, gdy została wciągnięta w wielomiliardowy proceder korupcyjny WorldCom. Choć po pierwszej fałszywej transakcji chciała odejść z pracy, przełożony odwiódł ją od tego zamiaru, zapewniając, że nie będzie już proszona o nic niewłaściwego. Została więc, a gdy kierownictwo poprosiło ją o kolejną fikcyjną operację, ponownie rozważała odejście, lecz ostatecznie z niego zrezygnowała. Wkrótce fałszywe transakcje stały się dla Vinson regularnym, kwartalnym obowiązkiem – tak rutynowym jak włączenie ekspresu do kawy – mimo że ich skala była porażająca, sięgając nawet 941 mln dolarów.

To, co mogło ułatwić Vinson przystosowanie się do oszustw na tak ogromną skalę, to fakt, że wokół niej było wiele osób, które zdawały się akceptować takie działania. Presja grupy w przewidywalny sposób wypacza zdolność rozumowania. W klasycznych eksperymentach psychologa Solomona Ascha niektórzy uczestnicy konsekwentnie twierdzili, że dwie linie na kartce mają tę samą długość, jeśli inni w pomieszczeniu utrzymywali, że tak jest – nawet wtedy, gdy jedna linia była wyraźnie dłuższa od drugiej.

W niektórych grupach groźby ze strony kierownictwa dodatkowo wzmacniają gotowość pracowników do porzucenia własnych wartości. Firma energetyczna Enron zwalniała ludzi, którzy ujawniali lub kwestionowali jej podejrzane praktyki finansowe. Gdy taka konformizacja się utrwali, osoby mówiące prawdę stają się outsiderami – zbędnymi jak najsłabsze szczenię w miocie i równie jak ono narażonymi na odrzucenie.

Jako prezes Bellatorum Bentley nigdy nie czuł, by ktoś stawiał go pod ścianą w sensie etycznym. I choć jego fikcyjne transakcje stały się rutyną, twierdzi, że nigdy całkowicie nie zobojętniał na to, co robił. „Sam się rozpadałem – mówi. – Piłem na potęgę, żeby zagłuszyć niepokój”. Tym, co powstrzymywało Bentleya przed przyznaniem się do przestępstw – choć na pewnym poziomie bardzo tego pragnął – było przekonanie, że jego masowe oszustwo stanowi mniejsze zło z dwóch. W jego ocenie alternatywa była następująca: przyznać się i zamknąć Bellatorum, rujnując pracowników i inwestorów, którzy mu zaufali, albo kontynuować proceder przekierowywania pieniędzy, by móc wypłacać pensje zatrudnionym, z których wielu było emerytowanymi weteranami.

„Nie potrafiłem po prostu zamknąć firmy i pozwolić jej upaść, skoro sprowadziłem do niej tylu ludzi z całego kraju” – mówi. Takie wybory typu „przegrana–przegrana” mogą wywoływać silne cierpienie i wewnętrzną walkę. W badaniu z 2016 roku, prowadzonym przez Natalie Claes z Katholieke Universiteit Leuven w Belgii, uczestnicy wybierający między dwiema złymi opcjami potrzebowali więcej czasu na podjęcie decyzji niż ci, którzy mieli do dyspozycji przynajmniej jedno dobre rozwiązanie, i zgłaszali też silniejszy lęk w trakcie procesu decyzyjnego.

Lekarka Catherine Caldicott, prowadząca programy szkoleniowe dla lekarzy na Florydzie, często spotyka się z medykami uwikłanymi w dylematy „mniejszego zła”. Gdy podczas ubiegania się o licencję lub jej odnowienie są proszeni o ujawnienie wcześniejszych wyroków karnych, mogą przekonywać samych siebie, że kłamstwo jest lepsze niż odmowa wydania licencji i niemożność pomagania pacjentom. Kiedy ludzie przedstawiają niemoralne postępki lub swój w nich udział jako szlachetne, łatwiej im dalej się pogrążać – po części dlatego, że skupiają się na wąskiej perspektywie, iż mogą wnieść większy wkład, sprzeniewierzając się ogólnym wartościom i zasadom zawodowym. „Nie dostrzegają, że mogą istnieć inne możliwości albo bardziej moralnie uzasadnione drogi postępowania – mówi Caldicott. – Ich zdolność racjonalnego myślenia zostaje zaburzona”.

CHOĆ POCZĄTKOWE WYKROCZENIA moralne mogą z czasem eskalować, prawdą jest również coś odwrotnego. Gdy ludzie reagują odważnie w sytuacjach obciążonych silnym napięciem, odwaga stopniowo staje się łatwiejsza – mózg adaptuje się bowiem do narastającego dyskomfortu.

W sugestywny sposób pokazało to badanie przeprowadzone przez naukowców w Izraelu. Członkowie grupy eksperymentalnej, wszyscy odczuwający lęk przed

eprasa.pl fa61415544

wężami, zostali umieszczeni w skanerze fMRI, a tuż obok nich, na przesuwającej się platformie, spoczywał zwinięty półtorametrowy wąż zbożowy. Badacze poinformowali uczestników, że ich zadaniem jest zbliżyć się do węża na możliwie najmniejszą odległość i – na ile potrafią – przezwyciężyć strach.

Uczestnicy mieli w skanerze przyciski sterujące, którymi mogli przesuwać węża bliżej lub dalej, a w każdej rundzie eksperymentu wybierali jedną z tych opcji. Gdy decydowali się przyciągnąć węża bliżej, zachodziło coś niezwykłego: obserwowano zwiększoną aktywność w obszarze kory przedczołowej zwanym podkolanową częścią przedniej kory zakrętu obręczy (subgenual anterior cingulate cortex, sgACC), zaangażowanym w regulację emocji, a także w prawym biegunie skroniowym, który uczestniczy w kształtowaniu reakcji behawioralnych. Jednocześnie malała aktywność ciała migdałowatego, odpowiadającego za przetwarzanie strachu i zagrożenia.

Krótko mówiąc, gdy ludzie decydowali się przybliżyć węża, ich mózg skutecznie tłumił reakcję lękową tak, by umożliwić realizację zamiaru. Po przystosowaniu się do nowej sytuacji wielu uczestników czuło się na tyle pewnie, by kontynuować zbliżanie się do węża.

Ugruntowane ustalenia dotyczące neuroplastyczności sugerują, że podobnie drobne akty odwagi moralnej mogą rodzić kolejne, bardziej wymagające. „Możemy zdecydować się przybliżyć węża odrobinę – mówi psychiatra kliniczny Christian Heim z University of Queensland. – Albo stwierdzić, że to wszystko, na co mnie stać. Odsuwam go'". Były funkcjonariusz policji Kapitolu Aquilino Gonell nauczył się stopniowo „przybliżać węża". W wieku 12 lat wyemigrował do Stanów Zjednoczonych z Dominikany. Gdy odwiedzał swoją rodzinę w ojczyźnie jego dziadek Fillo przypominał mu, by żył uczciwie i z zasadami.

Mimo to Gonell nie zawsze miał odwagę postępować zgodnie ze swoimi wartościami. Świadomy, że jego akcent czynił go outsiderem w brooklyńskiej dzielnicy, bał się wychylać. Później jednak, gdy armia USA wysłała go na Bliski Wschód w ramach operacji „Iraqi Freedom", wystawił swoją rodzącą się odwagę na próbę, zgłaszając się na ochotnika do przewożenia zaopatrzenia do irackich szkół i oddziałów amerykańskich, mimo stałego zagrożenia przydrożnymi ładunkami wybuchowymi. Za swoją postawę otrzymał odznaczenia wojskowe, w tym National Defense Service Medal.

Służba w policji Kapitolu 6 stycznia 2021 roku postawiła Gonella przed kluczowym wyborem moralnym. Broniąc budynku w masce przeciwgazowej i pełnym rynsztunku, starł się z dziesiątkami uczestników zamieszek i odniósł liczne obrażenia – został poparzony chemicznymi substancjami i miał zmiażdżoną stopę, co wymagało operacji. W trakcie rekonwalescencji zaczął obserwować, jak wiele osób – w tym także niektórzy członkowie Kongresu – rozpowszechniało dezinformację na temat wydarzeń z tego dnia. Twierdzono, że był to protest inspirowany przez Antifę albo że osoby, które wtargnęły na Kapitol, zachowywały się pokojowo.

Kierując się maksymą dziadka, Gonell postanowił sprostować fałszywy obraz wydarzeń. „To część naszej historii, której nie wolno przemilczeć" – mówi. Zgodził się opowiedzieć CNN o tym, co widział i czego doświadczył 6 stycznia: kogo spotkał i jak on oraz inni funkcjonariusze zostali potraktowani. Bał się reakcji widzów, zwłaszcza sympatyków zamieszek, ale mimo to udzielił wywiadu.

To pierwsze wystąpienie zapoczątkowało serię kolejnych, w tym zeznania przed Kongresem. Za każdym razem mówienie prawdy przychodziło mu nieco łatwiej, mimo realnego zagrożenia. Jak podkreśla, doświadczenie zabierania głosu było w większości pozytywne: „Mogłem spojrzeć w lustro i w oczy swojemu synowi i powiedzieć, że zrobiłem to, co należało'".

W porównaniu z działaniami Bentleya postawa Gonella wydaje się należeć do zupełnie innego moralnego wszechświata. Z perspektywy neurobiologii jednak moralna degradacja i moralna eskalacja przypominają pociągi jadące równoległymi torami w przeciwnych kierunkach. U ich podstaw leżą podobne struktury neuronalne odpowiedzialne za nagrodę i habituację. Tak jak zbliżone procesy mózgowe wywołują wstręt fizyczny i moralny, tak powiązane szlaki neuronalne oceniają zarówno moralność, jak i piękno. Ten sam obszar mózgu – przyśrodkowa kora orbitofrontalna (medial orbitofrontal cortex, mOFC) przetwarzająca sygnały nagrody – ocenia atrakcyjność twarzy oraz prawość planowanego działania. Nic więc dziwnego, że przedsięwzięcia moralne mogą być satysfakcjonujące w podobny sposób, jak tworzenie dzieła sztuki. Jak wykazało międzykulturowe badanie opublikowane w 2025 roku, osoby uznawane przez otoczenie za bardziej moralne cechują się także wyższym poziomem dobrostanu.

Ponadto ludzie adaptują się do zachowań, które często powtarzają, co zwiększa prawdopodobieństwo osiągnięcia ich bardziej skrajnych form. Mają też tendencję do ponawiania działań, które przynoszą im korzyści – czy to zewnętrzne (np. uniknięcie finansowej katastrofy), czy wewnętrzne (satysfakcję z mówienia prawdy władzy).

SKŁONNOŚĆ MÓZGU DO HABITUACJI wskazuje, że kluczowe są najwcześniejsze etapy trajektorii moralnej. „Wszystkie nasze sieci neuronalne podlegają zmianom – mówi Heim. – Jeśli z nich korzystamy, wzmacniają się. Jeśli nie – słabną". Gdy ludzie rozumieją, jak mózg przyzwyczaja się do powtarzalnych zachowań, mogą świadomiej dokonywać wyborów na samym początku, pytając sami siebie, z jakimi działaniami chcą się oswoić oraz do jakiego rodzaju piękna czy prawości pragną dążyć. Choć ciało migdałowate niemal na pewno będzie wysyłać sygnały lęku w sytuacjach wymagających odwagi, kluczowe jest ich wystarczające stłumienie, by umożliwić prawe działanie – oraz dostrzeżenie wewnętrznych nagród, jakie ono przynosi.

Heim stara się kształtować taką habituację w swojej praktyce psychiatrycznej. Ponieważ uczciwość sprzyja dobrostanowi psychicznemu, czasem zadaje pacjentom „pracę domową", na przykład polegającą na zakomunikowaniu przełożonemu, że czują dyskomfort wobec określonego zadania. Jego celem jest pomóc pacjentom w utrzymaniu własnej linii moralnej, dlatego dba o to, by zadania nie były zbyt trudne. Jak pokazuje jego

eprasa.pl fa61415544

Skłonność mózgu do habituacji wskazuje, że kluczowe są najwcześniejsze etapy trajektorii moralnej.

doświadczenie kliniczne, gdy ludzie udowadniają sami sobie, że potrafią działać odważnie, wzmacniają szlaki mentalne sprzyjające pozytywnej dynamice i chroniące przed moralnym upadkiem.

Istotną rolę w zmianie „kalkulacji nagrody" w mózgu – a tym samym w podejmowaniu decyzji etycznych – może odgrywać autorefleksja. W badaniu z 2023 roku przeprowadzonym w Chinach uczestnicy przez osiem tygodni brali udział w treningu uważności, obejmującym medytację. W porównaniu z grupą kontrolną byli mniej zmotywowani do zarabiania pieniędzy, jeśli wiązało się to z krzywdzeniem innych. Ta zmiana preferencji znalazła odzwierciedlenie w zachowaniu: osoby po treningu były mniej skłonne do rażenia kogoś prądem w zamian za gotówkę, podczas gdy członkowie grupy kontrolnej z czasem coraz chętniej się na to decydowali.

Praktyki uważności mogą wpływać na sądy moralne częściowo dlatego, że sprzyjają bardziej obiektywnej perspektywie. Ułatwiają przyjmowanie punktu widzenia drugiej osoby, co skłania do unikania wyrządzania innym krzywdy. „Dzięki umiejętności przyjmowania czyjejś perspektywy – zauważa Sharvit – zawsze możemy się uratować: identyfikowanie się z innymi pomaga chronić się przed moralnym zobojętnieniem i uruchamianiem przez nie spirali negatywnych zachowań. Nie dojdzie wtedy do habituacji.

Na poziomie instytucjonalnym jednym ze sposobów zapobiegania moralnemu upadkowi może być zwiększanie sankcji przypisanych do kolejnych jego etapów – na przykład poprzez ogłaszanie polityki zerowej tolerancji wobec nadużyć finansowych – oraz jednoczesne podkreślanie, jak procentuje prawość. Liderzy organizacji mogą na przykład szybko reagować na wykroczenia i pomagać pracownikom oswajać się z przyznawaniem do błędów. W badaniu przeprowadzonym na Universiteit Maastricht w Niderlandach osoby, których przełożeni wykazywali się etycznym przywództwem, rzadziej dopuszczały się działań korupcyjnych, takich jak wręczanie łapówek. Ogólnie rzecz biorąc, w etycznej kulturze pracy oszustwa i tuszowanie faktów są mniej kuszące, a mówienie prawdy jawi się jako obowiązek, a nie akt zawodowego samobójstwa.

Gdy ludzie zdecydują się postępować uczciwie, ich determinacja często zaraża. Kiedy w eksperymentach Stanleya Milgrama badanym polecano razić „uczniów" prądem za błędne odpowiedzi, osoby, które widziały innych odmawiających wykonania polecenia, same częściej również odmawiały. Z kolei badacze, m.in. z Eastern Michigan University, zauważyli, że w zespołach, w których członkowie otwarcie afirmują uczciwość i sprawiedliwość, pracownicy są bardziej skłonni zabierać głos wtedy, gdy dostrzegają naruszenia norm moralnych – być może pod wpływem „presji rówieśniczej".

Gdyby Bentley spróbował wcześniej skorygować własną „kalkulację opłacalności", zanim uruchomił Bellatorum, najprawdopodobniej nie zabrnąłby tak daleko. Dziś przyznaje, że mimo strachu powinien był natychmiast przyznać się do błędu, gdy tylko wadliwe listy ofertowe trafiły do właścicieli gruntów. Uderzyłoby to w reputację firmy, ale – jak sądzi – na tym wczesnym etapie mógłby się jeszcze podnieść. „Mógłbym zredukować zespół do minimum i prawdopodobnie dalej prowadzić działalność – mówi. – Teraz obawiam się, że spaliłem za sobą wszystkie mosty".

Bentley podejrzewa też, że sztywny zestaw „żelaznych zasad" („flat-ass rules – określenie zapożyczone od generała Jamesa Mattisa z czasów operacji Iraqi Freedom) – mógłby uchronić go przed zatraceniem. Badania potwierdzają tę intuicję: metaanaliza przeprowadzona przez badaczy z University of Sheffield pokazuje, że im silniejsza jest u kogoś wcześniejsza intencja, by zachowywać się w określony sposób, tym większe prawdopodobieństwo, że rzeczywiście tak postąpi.

Psychologowie, tacy jak Zeno Franco z Medical College of Wisconsin, proponują rozwijanie tego, co nazywa on „wyobraźnią heroiczną" – zdolności do wcześniejszego rozważania, jak zachowamy się w sytuacjach wymagających odwagi moralnej i jakich wartości będziemy bronić nawet pod skrajną presją. W takich scenariuszach typu „co bym zrobił?", kora czołowa pomaga przewidywać, jak będziemy się czuli po dokonaniu określonych wyborów moralnych, a te przewidywane emocje mogą długofalowo wpływać na nasze decyzje.

KIEDY BENTLEY ZACZYNAŁ SWÓJ ZJAZD po moralnej równi pochyłej, nie zdawał sobie sprawy, że życie w kłamstwie będzie go wypalać niczym kwas. „Jechałem jedną z tych wysokich estakad, których w Houston jest mnóstwo, i myślałem, że mógłbym po prostu skręcić w bok" – wspomina. W końcu, niezdolny dłużej do niesienia ciężaru winy, w kwietniu 2021 roku sam zgłosił się do władz federalnych.

Zbliżając się do końca pięcioletniego wyroku, wciąż ma nadzieję się zrehabilitować. Napisał pamiętnik, w którym opisuje własny upadek moralny jako przestrogę i pokazuje, jak odwrócenie się od prawdy prowadzi do coraz większego głodu utraconego ideału. „Nigdy nie idź na kompromis z własnym sumieniem – powtarza dziś innym – nawet wtedy, gdy wydaje ci się, że od tego zależy twoje przetrwanie".

Gonell natomiast nadal mówi i pisze o wydarzeniach z 6 stycznia na Kapitolu oraz o tym, co uważa za trwające zagrożenia dla praworządności w Stanach Zjednoczonych. Wciąż otrzymuje groźby, ale pozostaje niewzruszony. „Co jeszcze możecie mi zrobić? Przeżyłem wojnę, wróciłem, zostałem ranny, byłem wyśmiewany – mówi. – Nie martwię się o swoje życie, nawet teraz, gdy niektórzy mnie ostrzegają".

Po zastanowieniu się, jak daleko jest gotów się posunąć, by prawda zwyciężyła, Gonell doszedł do wniosku, że w zasadzie nie ma granicy – bo zasada jest dla niego dużo ważniejsza niż własne bezpieczeństwo. Trzynastowieczny scholastyk i teolog Tomasz z Akwinu utożsamiał prawość z pięknem przekraczającym zewnętrzne pozory, a dążenie do takiego ideału moralnego nadaje życiu głęboki sens. ■

Z NASZEGO ARCHIWUM

Empatia jest łatwiejsza, gdy wszyscy ją okazują. Elizabeth Svoboda; listopad 2024.

eprasa.pl fa61415544

POSZERZAMY HORYZONTY

Już w sprzedaży w punktach z prasą

Numer 5/2026
KUP TERAZ

Bieżące wydanie możecie kupić także we wszystkich sklepach sieci Lidl.

Prenumerata cyfrowa:
projektpulsar.pl

Prenumerata papierowa:
sklep.polityka.pl/wiz

CREDIT

eprasa.pl fa61415544

Wszystko, co chcielibyście wiedzieć o poliamorii (ale baliście się zapytać)

Badania wskazują, że praktyka ta nie jest przelotną modą ani wygodną wymówką

REBECCA J. LESTER | Ilustracje KLAUS KREMMERZ

Za pierwszym razem, gdy jej mąż poszedł na randkę z inną kobietą, Kelly poczuła mdłości. Zżerana zazdrością, zwymiotowała dwa razy i płakała bez przerwy przez trzy godziny, aż wrócił do domu. Za drugim razem – znów z inną kobietą – siedziała na kanapie owinięta kocem i oglądała z niechęcią, ale i fascynacją, program *90 Day Fiancé*, dopóki nie usłyszała, jak jego samochód wjeżdża na podjazd. Za piątym razem po prostu położyła się wcześniej spać. Za ósmym po jego randce poszła z mężem na drinka. A potem – jak mówi – wrócili do domu i przeżyli najlepszy seks w swoim życiu.

Kelly, prawniczka procesowa, nie jest osobą nieśmiałą ani wycofaną. Sama również umawia się na randki z innymi mężczyznami, a jej mąż Tim jest tym zachwycony. (Imiona zostały zmienione, by chronić prywatność rozmówców).

„Nie ma nic lepszego niż ten moment, kiedy Kelly wraca z randki, promieniejąca i podekscytowana, bo wszystko poszło świetnie – mówi. – A ja wtedy mówię, że to wspaniale i że się cieszę z jej szczęścia!". I naprawdę tak jest.

Kelly i Tim praktykują poliamorię: tworzą głębokie, znaczące relacje romantyczne z więcej niż jedną osobą jednocześnie, przy pełnej wiedzy i zgodzie wszystkich zaangażowanych. To odejście od tradycyjnego modelu randkowania i małżeństwa jest – według badaczy – najszybciej rozwijającą się praktyką seksualną w Stanach Zjednoczonych. W popularnych mediach jest jednak najczęściej wyśmiewane i zbywane machnięciem ręki.

Krytycy przedstawiają poliamorystów jako dekadenckich, liberalnych hedonistów, którzy szukają etycznego alibi dla swojej chęci sypiania z wieloma osobami. W artykule w „The Atlantic" napisano, że poliamoria jest emblematyczna dla „banalnego poszukiwania przyjemności przez zamożne, elitarne środowiska lat 2020.", pozwalając ludziom usprawiedliwiać

eprasa.pl fa61415544

eprasa.pl rab 415544

przypadkowy seks i unikać trudnej pracy nad trwałością związku. „Nikt nie może naprawdę czuć się bezpiecznie w małżeństwie, w którym przysięgi są opatrzone gwiazdką” – twierdzą autorzy tekstu opublikowanego przez Institute for Family Studies. „Zresztą ci ludzie są szaleni” – pisze Rod Dreher, były publicysta „The American Conservative”.

Te wyobrażenia na temat poliamorii są całkowicie błędne.

Jestem antropolożką i licencjonowaną terapeutką. Przez ostatnich siedem lat badałam poliamorię tak, jak robią to antropolodzy: spędzając dużo czasu z wieloma osobami, które ją praktykują. Przeprowadziłam pogłębione wywiady z ponad setką osób żyjących w związkach poliamorycznych. Rozmawialiśmy o ich doświadczeniach, motywacjach i aspiracjach, ale też o żalach i wyciągniętych lekcjach. Słuchałam, jak postrzegają siebie i świat, oraz obserwowałam, jak żyją na co dzień. To, co odkryłam, w wielu aspektach znajduje potwierdzenie w innych badaniach naukowych – choć zupełnie nie przystaje do obiegowych opinii.

Po pierwsze, poliamoryści nie są uprzywilejowaną elitą. Według jednego z badań częściej niż osoby monogamiczne zarabiają mniej niż 40 tys. dolarów rocznie, choć przeciętnie są lepiej wykształceni. To zwykli ludzie. Mają pracę i dzieci. Organizują wspólne podwożenie pociech do szkoły, płacą czynsz, robią zakupy spożywcze i oglądają wiadomości. W samej praktyce nie ma nic, co byłoby przypisane do konkretnej klasy społecznej. (Nie jest ona też ograniczona do określonej rasy czy grupy etnicznej, choć statystycznie przeważają osoby białe).

To rzadkie miejsce, w którym spotykają się lewica i prawica: równie łatwo można tu natknąć się na libertarianina czy zwolennika Donalda Trumpa, jak na entuzjastę Berniego Sandersa.

Filozofia i praktyka poliamorii przemawiają do ludzi ponad podziałami politycznymi i nie są jedynie liberalną fanaberią – w istocie wpisują się także w libertariański i konserwatywny etos głęboko zakorzeniony w amerykańskim społeczeństwie, gdzie ludzie buntują się przeciwko narzucaniu im, jak mają żyć.

Jednak tym, gdzie popularne wyobrażenia o poliamorii najbardziej rozmijają się z rzeczywistością, jest przekonanie, że chodzi w niej przede wszystkim o seks z wieloma partnerami. Osoby praktykujące poliamorię podkreślają, że chodzi o bliskość, nie o seks – a u jej podstaw leży etyka. Moje obserwacje to potwierdzają, podobnie jak inne badania z zakresu nauk społecznych.

W szczegółowym badaniu z 2021 roku, opublikowanym w czasopiśmie „Archives of Sexual Behavior”, psycholożka Jessica Wood z Sex Information and Education Council of Canada wraz z zespołem przeanalizowała odpowiedzi 540 osób. Badacze ustalili, że relacje oparte głównie na seksie są przez wielu poliamorystów postrzegane negatywnie. W takich związkach priorytetem jest wzajemne wsparcie emocjonalne. Szacunek, zgoda, zaufanie, komunikacja, elastyczność i uczciwość stanowią fundament tych niestandardowych relacji – wynika z obszernego przeglądu badań opublikowanego w 2023 roku przez naukowców z Virginia Tech.

Co więcej, zasady te niosą ze sobą wymierne korzyści. Psycholożka Terri Conley z University of Michigan wraz ze współpracownikami donosiła na łamach „Journal of Sexual Medicine”, że osoby żyjące w relacjach poliamorycznych stosują bezpieczniejsze praktyki seksualne niż ogół populacji, a ta ostrożność przekłada się na niższy niż średnia krajowa odsetek zakażeń chorobami przenoszonymi drogą płciową.

Krótko mówiąc, poliamoria jest czymś radykalnie innym, niż wielu osobom może się wydawać. Jej obecny rozkwit nie jest ani ciekawostką, ani przypadkiem. To znak czasu – sygnał, że w tym momencie kulturowym zmienia się sposób, w jaki ludzie przeżywają i wartościują bliskość oraz relacje.

Nie jestem apologetką poliamorii. W przeszłości byłam w takich relacjach i mam z nimi dobre doświadczenia, ale ostatecznie uznałam, że to nie dla mnie. Dała znać o sobie niepewność, którą latami usiłowałam wyciszyć, a ponadto nigdy nie poczułam, że poliamoria głęboko współgra z moim poczuciem tożsamości. Dla mnie funkcjonowanie w takiej relacji wymagałoby nieustannej, intensywnej pracy nad starymi ranami emocjonalnymi – a ja po prostu nie byłam gotowa w pełni się zaangażować.

Jasne jest jednak, że inni są. A wokół poliamorii – odkąd zyskała na popularności – narosło wiele poważnych nieporozumień. Wyjście poza te uproszczenia daje szansę, by lepiej zrozumieć siłę i znaczenie ludzkiej potrzeby bliskości w jej różnych formach.

PROGRAMY REALITY SHOW, takie jak *The Bachelor*, *Love Is Blind* czy *Say Yes to the Dress*, są popularne nie bez powodu – odwołują się do dominującej narracji kulturowej o „prawdziwej miłości” i monogamii. Historia jest dobrze znana: pewnego dnia znajdziemy tę jedyną, prawdziwą miłość, osobę, która nas „dopełni”. Będzie naszym najlepszym przyjacielem, kochankiem, partnerem intelektualnym i systemem wsparcia emocjonalnego w jednym. A jeśli nie czujemy się spełnieni, to znaczy, że coś jest z nami nie tak.

Poliamoria mówi: to nie z nami jest coś nie tak – problemem jest samo założenie monogamii. Jedna osoba nie jest w stanie zaspokoić wszystkich naszych potrzeb. „To działa tak — tłumaczy Kris, 37-letni agent nieruchomości. – Mamy różne grupy przyjaciół, prawda? Z jednymi chodzisz tańczyć w weekendy, do innych dzwonisz po fatalnym dniu, jeszcze z kimś innym chodzisz na mecze, bo interesujecie się sportem. To całkowicie normalne. Nie oczekujemy, że jeden przyjaciel będzie naszym jedynym przyjacielem, bo z różnymi ludźmi łączą nas różne relacje. Oczekiwanie, że jedna osoba zapewni nam wszystko, jest po prostu nierealistyczne.

Miłość – mówią osoby praktykujące poliamorię – działa podobnie. Podobnie jak przyjaźń nie jest zasobem ograniczonym; raczej się pomnaża. Więcej miłości rodzi jeszcze więcej miłości. „Kiedy masz kilkoro dzieci, nie kochasz żadnego z nich mniej tylko dlatego, że urodziło się kolejne – wyjaśnia John, 36-letni analityk biznesowy. – Wystarcza miłości dla wszystkich. Każde kochasz za to, kim jest – wyjątkowo i niepowtarzalnie”. W badaniu z 2024 roku autorstwa psycholożki i pisarki Meg-John

Rebecca J. Lester jest profesorką antropologii na Washington University w St. Louis, licencjonowaną kliniczną pracownicą socjalną specjalizującą się w traumie i zaburzeniach odżywiania oraz byłą prezeską Society for Psychological Anthropology. Napisała książkę *Famished: Eating Disorders and Failed Care in America* (University of California Press, 2019).

eprasa.pl fa61415544

Barker stwierdzono elastyczne definicje bliskości w społecznościach poliamorycznych, gdzie intymność nie jest utożsamiana wyłącznie z seksem. Relacje tego typu są na tyle powszechne, że mają własną nazwę: „poliamoria platoniczna" – określająca głębokie, znaczące więzi z wieloma osobami, niemające charakteru seksualnego.

I wbrew przekonaniu, że poliamoria to jedynie usprawiedliwienie dla „skakania z łóżka do łóżka", relacje poliamoryczne rzadko są przelotne. Mogą oznaczać zobowiązania trwające miesiące, lata, a nawet całe życie. W badaniu z 2017 roku obejmującym 1507 osób – monogamicznych i niemonogamicznych – Terri Conley i inni psychologowie nie stwierdzili różnic w długości związków między obiema grupami; średni czas trwania wynosił nieco ponad 10 lat. Obie grupy były też porównywalne pod względem satysfakcji ze związku, zaangażowania i namiętnej miłości. To sugeruje, że relacje poliamoryczne mogą być równie spełniające, znaczące i trwałe, jak monogamiczne.

Nie oznacza to jednak, że są łatwe. Jenna i Michael, oboje po czterdziestce, są małżeństwem od 23 lat. Latem 2023 roku spotkaliśmy się w kawiarni w Nevadzie, by porozmawiać o ich drodze do poliamorii i przez poliamorię. Przez pierwsze 10 lat małżeństwa byli szczęśliwie monogamiczni. Potem coś się zmieniło. Michael, rezerwista sił zbrojnych, został wysłany na zagraniczną misję i przeżył dramatyczne zdarzenie, w którym otarł się o śmierć. „Po tym – wspomina – naprawdę dużo myślałem o swoim życiu i o tym, czego chcę. Zrozumiałem m.in., że nie chcę już być monogamiczny. Kochałem żonę ponad wszystko i nie chciałem odchodzić z małżeństwa. Ale kiedy tak bardzo zbliżysz się do śmierci, uświadamiasz sobie, ile jeszcze masz do przeżycia."

Michael wrócił z misji i poruszył z Jenną temat otwarcia małżeństwa.

„Ona absolutnie nie była za – mówi. – Miała mnóstwo lęków i obaw, co jest całkowicie zrozumiałe. Ja zresztą też. Czytaliśmy wszystko, co wpadło nam w ręce na temat poliamorii, rozmawialiśmy ze znajomymi, którzy żyją w ten sposób. Działaliśmy powoli. Około roku po tej pierwszej rozmowie oboje byliśmy gotowi, by otworzyć związek."

„I jak to poszło?" – pytam.

„Michael na początku bardzo to przeżywał – mówi Jenna. – Choć to był jego pomysł. Nic tak naprawdę nie przygotuje cię na to, co poczujesz, kiedy zobaczysz partnera wychodzącego bez ciebie na randkę. Ale trzeba mu oddać jedno: nie wycofał się. Pracowaliśmy nad tym razem".

„Ważne było dla mnie, żeby uznać swoją zazdrość – dodaje Michael – i żebyśmy o niej rozmawiali. Ale nie tak jak w monogamii – nie chodziło o to, by Jenna zmieniła swoje zachowanie. Nie robiła niczego, czego wcześniej nie uzgodniliśmy. Musiałem się zmierzyć z zazdrością. Nie jestem właścicielem Jenny. Jenna jest odrębną osobą. To ogromne ryzyko, bo oznacza zaufanie, że partner wciąż będzie chciał z tobą być, mimo że ma wolność tworzenia innych relacji. Ale ostatecznie wolę, żeby była ze mną dlatego, że wybiera mnie każdego dnia – a nie dlatego, że wiąże ją ze mną prawo czy moralny obowiązek." Jenna dodaje: „To sprawia, że związek opiera się na tym, kim jesteśmy dla siebie jako ludzie i jak się nawzajem cenimy, a nie na zasadach posiadania i wyłączności."

Nie wszystkie relacje poliamoryczne mają w centrum jedną parę. W 2018 roku, podczas konferencji poświęconej poliamorii w Denver, rozmawiałam z Kim, Markiem i Mariną. Wszyscy byli po trzydziestce i pracowali w różnych segmentach branży gastronomicznej. Kim identyfikuje się jako biała, Mark jako osoba o mieszanym pochodzeniu (biało-czarnym), a Marina jako Latynoska. Kim i Mark byli razem od czterech lat i od początku żyli w relacji poliamorycznej, zanim poznali Marinę. „Kiedy ludzie widzą nas razem – zaczyna Marina – widzę w ich oczach pytanie, o co tu chodzi. Myślę, że zakładają, że Mark to jakiś samiec alfa z dwiema laskami pod ręką, ale to w ogóle nie tak. Jestem lesbijką. Nie interesuje mnie seks z mężczyznami – to Kim i ja jesteśmy w relacji seksualnej. I Kim z Markiem. Ale Mark i ja świetnie się dogadujemy, a całą trójką tworzymy jedną jednostkę. Mark spotyka się też z innymi kobietami i możliwe, że w przyszłości zaprosimy jedną z jego partnerek do naszej polikuli."

Mark dodaje: „Kim i ja nigdy nie byliśmy monogamiczni, więc nie chodziło o *otwieranie* związku. Wiedziałem, że Kim jest biseksualna, kiedy się poznaliśmy, i że będzie mieć potrzeby, których ja osobiście nie mogę zaspokoić. I to jest dla mnie w porządku."

„A gdyby Kim chciała spotykać się z mężczyzną?" – pytam.

„Och, spotykałam się z mężczyznami, odkąd jesteśmy razem – wyjaśnia Kim. – Gdyby Mark miał z tym problem, nie bylibyśmy dziś tutaj. Są jednak mężczyźni, którzy akceptują to, że ich partnerki mają innych partnerów, ale tylko pod warunkiem, że są to kobiety. To się nazywa *polityką jednego penisa*. W świecie poliamorii uważa się to za nieetyczne, bo oznacza, że jedna osoba narzuca zasady i kontroluje życie intymne drugiej – a przy okazji utrwala cały patriarchalny nonsens."

Mark bardzo chce podkreślić jedno: cała trójka to zupełnie zwyczajni ludzie.

„Nie jesteśmy jakimiś seksualnie rozszalałymi dziwakami ani nie prowadzimy *szalonego stylu życia*. Więcej czasu i energii niż na cokolwiek innego poświęcamy komunikacji oraz temu, by działać etycznie i z troską o wszystkich zaangażowanych".

Spostrzeżenia Kim, Marka i Mariny dobrze współgrają z wnioskami przedstawionymi przez socjolożkę Elisabeth Sheff w książce *The Polyamorists Next Door* z 2013 roku, opartej na ponad dekadzie badań. Sheff opisuje emocjonalne wymagania związane z utrzymywaniem wielu intymnych relacji: nieustanne negocjacje, wyzwania związane z podziałem czasu oraz konieczność regulowania emocji. Dochodzi do wniosku, że wysiłek psychiczny i logistyczny potrzebny do tego, by relacje poliamoryczne funkcjonowały, jest znaczący – wymaga poziomu samoświadomości i uważności wykraczającego poza to, co zazwyczaj jest potrzebne w związkach monogamicznych.

„W monogamii ludzie mają tendencję do przechodzenia na autopilota – mówi Jesse, 28-letni kierowca

eprasa.pl fa61415544

autobusu. – W poliamorii nie da się tak funkcjonować. Trzeba być skrajnie intencjonalnym w każdej relacji, przez cały czas. Inaczej sprawy mogą szybko się skomplikować."

Po raz kolejny naukowcy potwierdzają te tezy. W badaniu z 2022 roku psycholog Thomas R. Brooks wraz ze współpracownikami wykazał, że w porównaniu z osobami pozostającymi w związkach monogamicznych, ci funkcjonujący w relacjach opartych na konsensualnej niemonogamii deklarowali wyższy poziom zaangażowania, bliskości, miłości i namiętności. Częściej sięgali po konstruktywne, pozytywne strategie rozwiązywania problemów z partnerami, podczas gdy uczestnicy badania będący w związkach monogamicznych częściej uciekali się do taktyki wycofania.

Częścią tej intencjonalności – oraz konsekwencją złożoności relacji z wieloma osobami – są szczegółowe ustalenia dotyczące tego, co jest dozwolone, a co nie. Moi rozmówcy opisywali różne zasady: używanie prezerwatyw z nowymi partnerami do czasu wykonania badań w kierunku chorób przenoszonych drogą płciową; szanowanie prywatności i autonomii partnera poprzez niepisanie do niego w trakcie randki; informowanie stałych partnerów o poznaniu kogoś nowego; nieprzenoszenie problemów z jednej relacji do drugiej – i wiele innych.

Pierwszą i najważniejszą zasadą, według wszystkich, z którymi rozmawiałam, jest zobowiązanie do szczerości w kwestii relacji z innymi osobami. To właśnie otwartość – podkreślają poliamoryści – odróżnia ich praktykę od zdrady. Larissa, 28-letnia wykładowczyni akademicka, miała w tej sprawie wiele do powiedzenia: „Ludzie mówią, że poliamoria to tylko racjonalizacja zdrady, ale nic bardziej mylnego. Zdrada polega na nieuczciwości, podczas gdy poliamoria opiera się na fundamencie prawdomówności i przejrzystości. Moja przyjaciółka była z partnerem przez około cztery lata. Mieli całkowitą otwartość, mogli spotykać się z innymi. Potem odkryła, że on spotykał się z ich sąsiadką i jej o tym nie powiedział. To była zdrada. W relacji poliamorycznej jak najbardziej można zdradzić. Ale po co? Miał wolność, mógł się się umawiać z kim chciał – pod warunkiem, że będzie szczery. Nie był. I to był koniec ich związku".

Nacisk na autonomię – kolejny kluczowy filar – sprawia, że za nieetyczne uznaje się wszelkie próby kontrolowania czy ograniczania zachowań partnera poza kwestiami bezpieczeństwa i wzajemnego szacunku. „Nikt nie powinien mieć władzy nad czyjąś seksualnością – mówi André, doktorant po trzydziestce. – Jeśli dyktujesz partnerowi, z kim może, a z kim nie może budować relacji, to jest problem". Psychologowie Denisa Derevjaniková i Gabriel Bianchi ze Słowackiej Akademii Nauk wykazali w badaniu opublikowanym w 2022 roku, że pragnienie autonomii jest dla wielu osób jednym z głównych motywów wejścia w poliamorię. Inne badania psychologiczne pokazują z kolei, że poczucie kontroli nad własnym życiem silnie sprzyja satysfakcji ze związku.

Ogromne znaczenie w relacjach poliamorycznych mają także kwestie dynamiki władzy. Na przykład tzw. polowanie na jednorożca – sytuacja, w której para poszukuje samotnej kobiety, by włączyć ją jako trzecią osobę do związku – jest w środowisku poliamorycznym uznawane za etyczne tabu. „To jest nieetyczne, bo traktuje samotną kobietę jak seksualną zabawkę dla pary – tłumaczy Maria, pracownica biurowa po trzydziestce. – Istnieje ogromna nierównowaga sił między parą a tą trzecią osobą. Para w każdej chwili może ją »odstawić« i nadal mieć siebie nawzajem. Ona jest w znacznie trudniejszym położeniu".

Innym naruszeniem zasad jest tzw. cowgirling (lub cowboying) – sytuacja, w której ktoś wchodzi w relację poliamoryczną z zamiarem „odbicia" jednego z partnerów do związku monogamicznego. Aarti, 29-latka, doświadczyła tego osobiście. W czasie naszej rozmowy była w trakcie rozwodu.

„Mój mąż i ja byliśmy w relacji poliamorycznej przez kilka lat bez większych problemów – mówi. – Potem zaczął spotykać się z nową kobietą, która wcześniej była wyłącznie w związkach monogamicznych. To była jej pierwsza sytuacja poliamoryczna i bardzo trudno było jej to wszystko zrozumieć. Czułam wobec niej dużo empatii, więc robiłam wszystko, by czuła się komfortowo. Bywało w porządku, ale nie idealnie. A kiedy wybuchła pandemia, zdecydowaliśmy się zamieszkać razem: on z nią, ja z moją partnerką. W czwórkę. To był ogromny błąd".

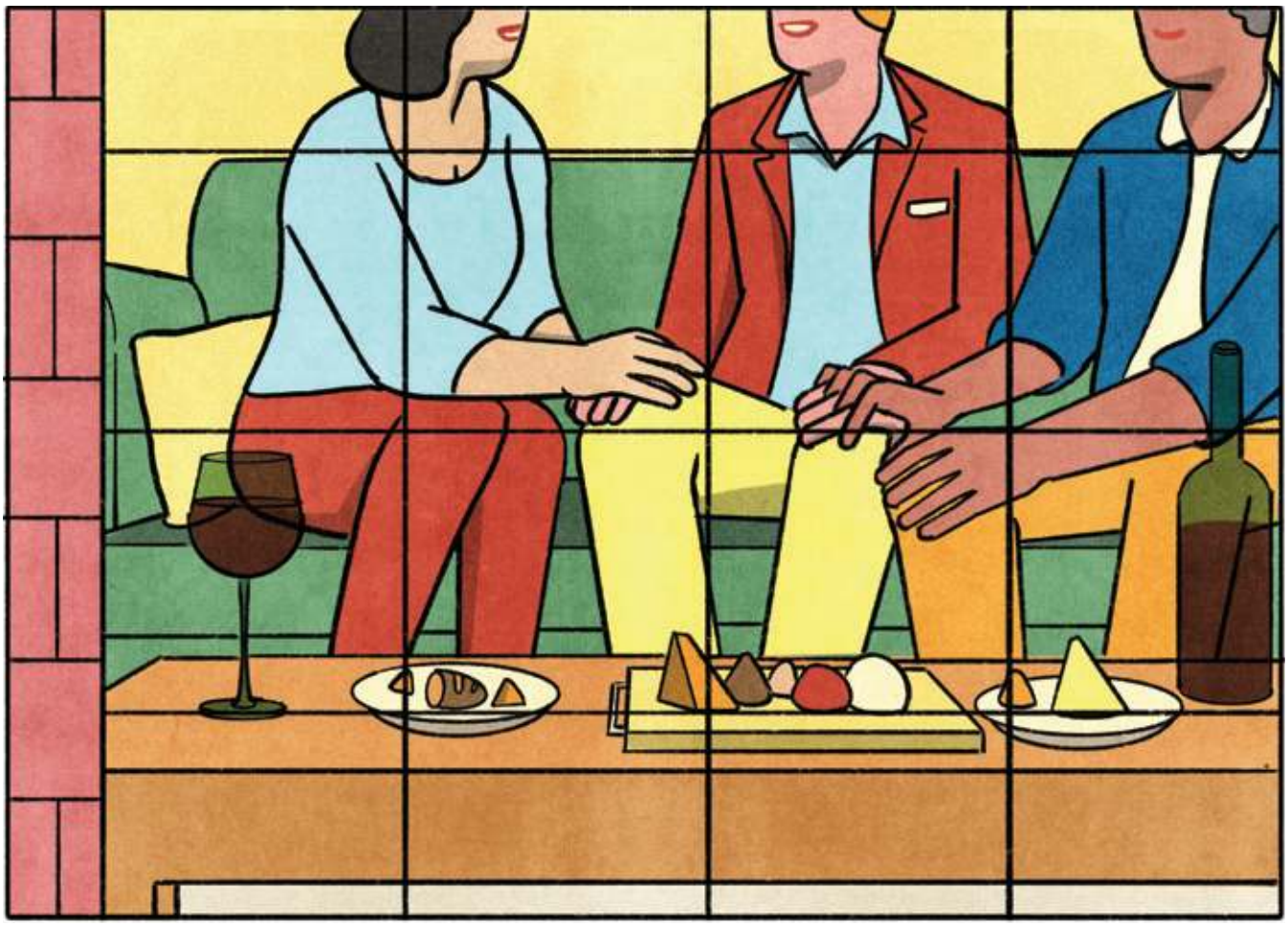
Jak mówi Aarti, pojawiło się dużo zazdrości i lęku. „W końcu powiedziała mojemu mężowi, że się wyprowadza i że może pójść z nią albo zostać – opowiada. – Wtedy oznajmił mi, że chce rozwodu, i razem z nią się wyprowadził".

Aarti uważa, że kluczowym problemem była zazdrość i niepokój partnerki jej męża – emocje, które wiąże z jej doświadczeniem monogamii i niemożnością przestawienia się na poliamoryczny sposób myślenia. To spostrzeżenie jest zgodne z ustaleniami psycholożki klinicznej Deborah Anapol, przedstawionymi w książce *Polyamory in the 21st Century* z 2010 roku, gdzie autorka zauważa, że przejście od monogamii do poliamorii często wiąże się z silnymi turbulencjami emocjonalnymi – i że nie każdy chce lub potrafi dokonać takiej zmiany. Z kolei Amy C. Moors z Chapman University i jej współpracownicy wskazali w publikacji z 2019 roku, że osoby o bardziej lękowym stylu przywiązania osiągają niższą satysfakcję w relacjach poliamorycznych niż osoby o bezpiecznym stylu przywiązania. To potwierdza, że poliamoria nie jest rozwiązaniem „dobrym dla wszystkich".

Aarti stanowczo podkreśla, że przyczyną rozpadu jej małżeństwa była nie poliamoria sama w sobie, lecz niedopasowanie potrzeb i priorytetów. „To nie miało nic wspólnego z tym, że byliśmy poliamoryczni – mówi. – Małżeństwa monogamiczne kończą się rozwodami cały czas i nikt nie mówi: „Aha! To przez monogamię!". W naszym przypadku były inne problemy, niezwiązane z poliamorią. Kiedy jego partnerka nie była w stanie dokonać tej zmiany, myślę, że zobaczył w tym łatwe wyjście i podjął decyzję.

Z rozmów, które przeprowadziłam z Timem, Kelly, Michaelem, Jenną, André, Marią i dziesiątkami innych

eprasa.pl fa61415544



osób identyfikujących się jako poliamoryczne – a także z rosnącej liczby badań nad tą praktyką jasno wynika, że mało kto wchodzi w ten styl życia pochopnie. Ludzie spędzają miesiące, jeśli nie lata, czytając i ucząc się, zanim spróbują. A potem nadal sięgają po książki, uczestniczą w grupach internetowych i konsultują się z innymi osobami żyjącymi w ten sposób, by lepiej radzić sobie z pojawiającymi się emocjami i etycznie poruszać się w złożonych sytuacjach.

I choć z zewnątrz poliamoria może sprawiać wrażenie antysystemowej, w wielu aspektach jest wręcz kwintesencją amerykańskiego indywidualizmu. Każdy jest wolnym podmiotem, budującym relacje i więzi w taki sposób, by odpowiadały jego indywidualnym potrzebom – co pozwala na maksymalną personalizację i elastyczność. „Poliamoria to przede wszystkim budowanie relacji, które do ciebie pasują" – mówi Carl, 42-letni prawnik.

W tym sensie rosnący ruch poliamoryczny wpisuje się w inne społeczne przemiany XXI wieku: przejście od telewizji sieciowej do streamingu online, preferowanie zakupów internetowych zamiast wizyt w galerii handlowej czy wzrost popularności platform takich, jak Uber i Lyft. Chodzi o personalizację. Gdy tworzymy playlistę na siłownię w Spotify, kontrolujemy nastrój, klimat i całe doświadczenie. Jest ono dopasowane do naszych gustów i potrzeb. Ludzie chcą decydować o tym, w co inwestują czas i pieniądze, i pragną spersonalizowanych doświadczeń, które mają dla nich znaczenie. Nie chcą, by korporacje, przemysł muzyczny, rząd czy inne instytucje społeczne – w tym monogamia – dyktowały im, co powinni lubić i jakie mają mieć opcje. W tym kontekście gwałtowny wzrost popularności poliamorii w ostatniej dekadzie nie tyle jest dowodem na chwilową modę, ile elementem szerszej zmiany kulturowej w sposobie, w jaki ludzie odnoszą się do własnych pragnień – oraz do swojej gotowości i zdolności, by za nimi podążać.

Potrzeba bliskości wydaje się uniwersalna. Jest jednak złożona. To, czym dla kogoś jest intymność i dlaczego ma znaczenie, zależy od wielu czynników: nie tylko od osobistych predyspozycji oraz potrzeb fizjologicznych, emocjonalnych i intelektualnych, lecz także od tego, czego dana osoba uczy się z kultury na temat „właściwych" form więzi.

Jedną z ważnych lekcji płynących z poliamorii jest to, że dominujące modele miłości i bliskości nie są tak „naturalne", jak często zakładamy. Istnieją alternatywne sposoby życia i kochania, które dla wielu osób otwierają nowe możliwości spełnienia, radości i więzi społecznej – wykraczające poza ramy tradycyjnych związków. Takie podejścia mogą być wymagające, ale co istotne, mogą być także realizowane w sposób etyczny i satysfakcjonujący dla wszystkich zaangażowanych. ■

Z NASZEGO ARCHIWUM

Rozwiązli mężczyźni, cnotliwe kobiety i inne mity związane z płcią. Cordelia Fine i Mark A. Elgar; październik 2017.

eprasa.pl fa61415544

Paradoks 99% dokładności

Jak błąd pominięcia wartości bazowej zniekształca postrzeganie informacji, bezpieczeństwa i statystyk

JACK MURTAGH

ZAPEWNE WIELE OSÓB zetknęło się z błędem wartości bazowej lub go popełniło. Ten po części matematyczny paradoks, a po części błąd poznawczy lub przeoczenie, ma zaskakująco duży wpływ na wiele sytuacji życiowych – od związanych ze zdrowiem publicznym po programy masowej inwigilacji. Przykładem mogą być dwie łamigłówki. Pierwsza pochodzi z popularnonaukowej książki psychologa Daniela Kahnemana *Pułapki myślenia*.

> Ktoś opisał pewną osobę następująco: „Steve jest bardzo nieśmiały i wycofany, chętny do pomocy, ale niezbyt zainteresowany ludźmi i światem rzeczywistym. Jest łagodny, schludny, drobiazgowy i dba o porządek". Czy bardziej prawdopodobne jest, że Steve zostanie bibliotekarzem czy rolnikiem?

Kahneman pisze, że zdecydowana większość osób, którym zadano to pytanie, wskazała na bibliotekarza, argumentując, że osobowość Steve'a bardziej pasuje do tego stereotypu. Pomijano jednak istotny fakt statystyczny: liczba rolników w Stanach Zjednoczonych przewyższa liczbę zawodowych bibliotekarzy ponad 11-krotnie. Opis czyjejś osobowości nie powinien przesłaniać ogromnych różnic w liczebności badanych grup zawodowych. Przy tak dużej przewadze rolników należy oczekiwać, że jest wśród nich wielu na przykład nieśmiałych z zamiłowaniem do szczegółów. To statystyczne odchylenie staje się bardziej oczywiste, gdy możliwości kariery różnią się znacznie w kontekście liczebności w populacji: czy jeśli Steve pasjonuje się astronomią, to jest większa szansa, że zostanie bankierem czy astronautą?

Druga łamigłówka jest bardziej liczbowa. Załóżmy, że lekarz podejmuje losowo (np. profilaktycznie) decyzję o wykonaniu badania krwi w celu wykrycia choroby, na którą zapada jedna na 1000 osób. Test jest niezwykle skuteczny: nigdy nie daje wyniku fałszywie negatywnego, co oznacza, że jeśli choroba występuje, zostanie wykryta. Wyniki fałszywie pozytywne mogą się zdarzyć, ale są rzadkie: jeśli nie jesteśmy chorzy, test wykryje to w 99% przypadków. Test dał nam wynik pozytywny. Biorąc pod uwagę podane parametry, jakie jest prawdopodobieństwo, że chorujemy? Po przykładzie Steve'a wypada zachować czujność i oczekiwać podstępu. Wczujmy się w sytuację: otrzymaliśmy pozytywny wynik wyjątkowo dokładnego testu – jak bardzo należy się tym martwić?

Okazuje się, że przy podanych parametrach prawdopodobieństwo, że faktycznie jesteśmy chorzy, wynosi zaledwie około 9%. Po przetestowaniu 1000 osób oczekujemy, że w tej grupie chora będzie jedna osoba – wynik testu będzie u niej prawdziwie pozytywny. Z pozostałych 999 testów 1% da wynik fałszywie pozytywny, co stanowi 10 osób. Spodziewamy się więc 11 pozytywnych testów: 10 fałszywie dodatnich i 1 prawdziwie dodatniego, a nasz pozytywny jest jednym z tych 11. Stąd tylko niespełna 9-procentowa szansa, że mamy pecha.

Te łamigłówki ilustrują błąd wartości bazowej; druga jest także przykładem paradoksu wyniku fałszywie pozytywnego. Przy ocenie szansy, że coś nastąpi, ludzie mają tendencję do przywiązywania nadmiernej wagi do konkretnych szczegółów, a niedoceniania ogólnej częstości występowania danego zjawiska. Przypisują nadmierne znaczenie opisowi Steve'a jako „cichego i schludnego", a pomijają przewagę liczebną rolników nad bibliotekarzami. Skupiają się głównie na pozytywnym wyniku w 99% dokładnego testu, a ignorują rzadkość występowania choroby.

Oczywiście nie ma to nic wspólnego z lekceważeniem badań lekarskich. Paradoks wyniku fałszywie dodatniego pokazuje tylko, że decydowanie o badaniach i interpretacja wyników wymaga znajomości statystyki. Zazwyczaj lekarze zlecają testy, gdy są powody, by podejrzewać chorobę. Kiedy jednak skierowanie na test jest losowe, wtedy prawdopodobieństwo bycia chorym będzie po prostu zgodne z częstością występowania choroby w ogólnej populacji. Przychodząc do lekarza na przykład z charakterystyczną wysypką i wysoką gorączką, trafiamy do innej kategorii statystycznej. Nie jesteśmy już porównywani z ogółem społeczeństwa,

Jack Murtagh jest niezależnym autorem tekstów matematycznych i twórcą łamigłówek. Pisze felietony o matematycznych ciekawostkach w „Scientific American" i tworzy łamigłówki do „Morning Brew". Uzyskał doktorat z informatyki teoretycznej na Harvard University. Aktywny w serwisie X (@JackPMurtagh).

Ilustracja Nigel Holmes

eprasa.pl fa61415544

ale z innymi osobami z takimi samymi objawami. W tej mniejszej grupie choroba występuje znacznie częściej i pozytywny wynik testu jest bardziej prawdopodobny.

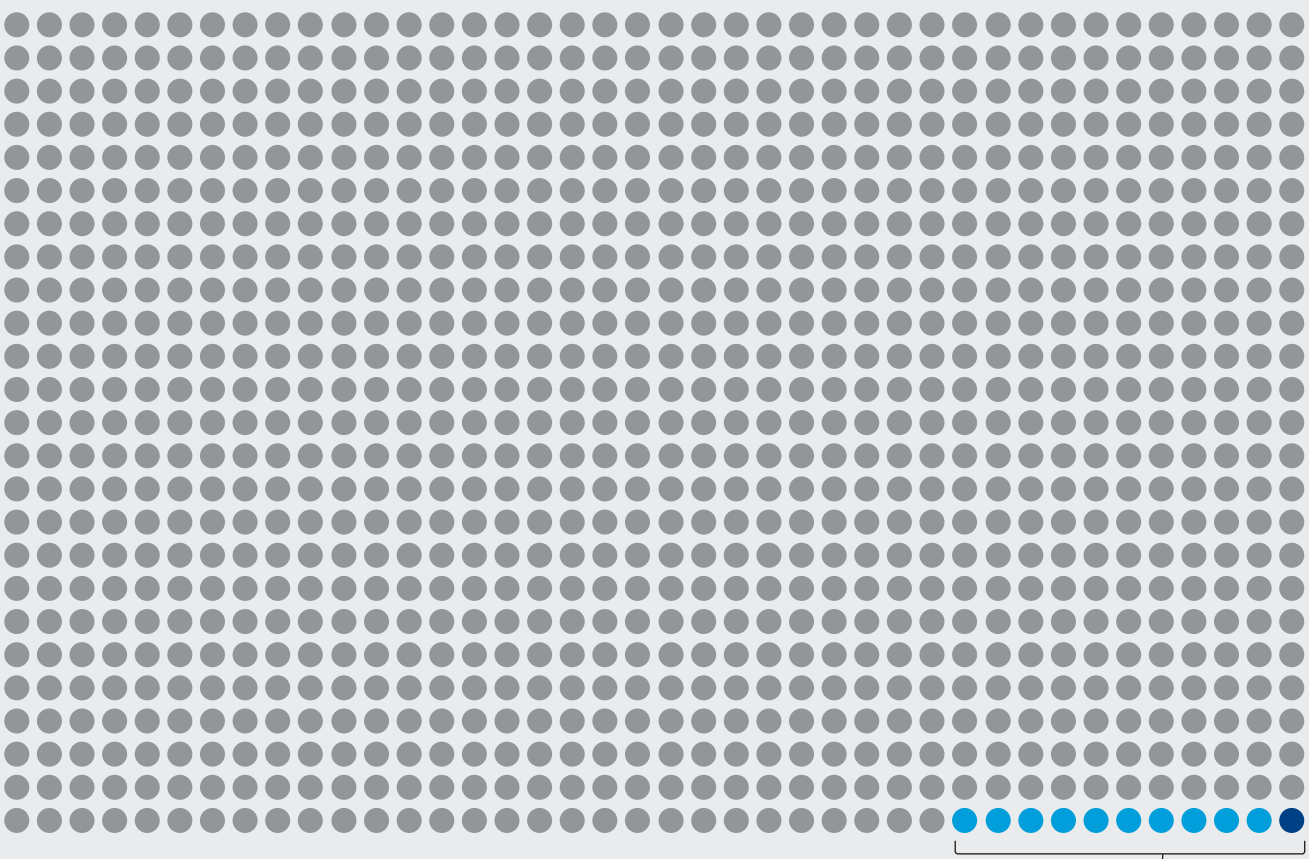
Stąd jest jasne, dlaczego nie prowadzi się masowych badań przesiewowych w kierunku rzadkich chorób. Gdy choroba występuje znacząco rzadko w populacji, wtedy nawet bardzo dokładne testy dadzą więcej wyników fałszywie dodatnich niż prawdziwie dodatnich. Korzyści z wykrycia kilku przypadków są mniejsze niż szkody medyczne, finansowe i psychiczne spowodowane falą wyników fałszywie dodatnich.

Walijska policja doświadczyła tego na własnej skórze podczas finału Ligi Mistrzów UEFA w 2017 roku. Rozmieszczono kamery w całym Cardiff, gdzie odbywał się mecz i wykorzystano automatyczne oprogramowanie do rozpoznawania twarzy na nagraniach. Zeskanowano twarze około 170 tys. kibiców, wyszukując podejrzane osoby. System wskazał 2470 potencjalnych przestępców, z czego 2297 dało wyniki fałszywie dodatnie. Oprogramowanie działało prawidłowo – jak każdy system z niewielkim prawdopodobieństwem błędu. Sprawa stała się tematem medialnym w całym kraju i doprowadziła do sporu prawnego dotyczącego sposobów rozpoznawania twarzy.

Z podobnych powodów zawodzą wszelkie techniki eksploracji danych stosowane w celu wyłapywania potencjalnych terrorystów, o czym szerzej pisał ekspert ds. bezpieczeństwa Bruce Schneier. Programy te przeszukują rejestry połączeń, dane o lokalizacji i sieci społecznościowe w poszukiwaniu wzorców, które mogą wskazywać na spiski terrorystyczne. Problemem jest to, że z takimi spiskami nie zawsze wiążą się wyraźnie rozpoznawalne sygnały ostrzegawcze (to oznacza pewne prawdopodobieństwo fałszywych alarmów), a większość ludzi nie jest terrorystami (to wskazuje na mikroskopijną wartość bazową w populacji). Z prostej kalkulacji Schneiera wynika, że na każde wykryte realne zagrożenie przypadają miliony fałszywych alarmów, które mogłyby zmylić agentów federalnych, pociągając za sobą koszty i naruszenia wolności.

Nie oznacza to oczywiście, że należy zaprzestać badań przesiewowych pod kątem rzadkich przypadków, ale trzeba uwzględniać kompromisy. Większość alarmów przeciwpożarowych to alarmy fałszywe, ale stanowią one niewielką niedogodność w porównaniu z ratowaniem życia wtedy, gdy dochodzi do katastrofy. Błąd wartości bazowej uczy umieszczać fałszywe alarmy we właściwym kontekście i przestać mylić dokładność testu na zdarzenie z prawdopodobieństwem samego zdarzenia. Przypomina, że gdy brniemy przez zawiłości probabilistyki, najbardziej istotne szczegóły mogą nie być najbardziej istotne statystycznie. ■

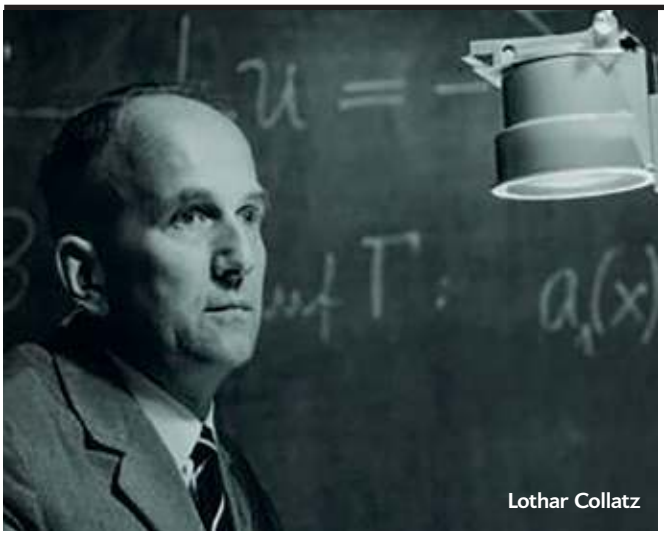
Układ kropek reprezentuje 1000 osób przebadanych na obecność choroby. Spośród osób, które nie są chore, 99% otrzymuje wynik negatywny, a 1% fałszywie pozytywny. Jedna osoba otrzymuje prawdziwie pozytywny wynik.



Aby określić prawdopodobieństwo faktycznego zachorowania, osoba, która otrzymała wynik pozytywny, powinna porównać wskaźnik występowania choroby w populacji (1 na 1000) ze wskaźnikiem zarówno prawdziwie, jak i fałszywie pozytywnych wyników testów (11 na 1000).

Grafika Amanda Montañez

eprasa.pl fa61415544


Lothar Collatz

Drogi ku jedności

czyli hipoteza 2–3–1 MAREK PENSZKO

ZACZYNAMY OD DOWOLNEJ LICZBY naturalnej dodatniej. Parzystą dzielimy przez 2, a nieparzystą mnożymy przez 3 i dodajemy 1. Tak samo postępujemy – na jeden z dwóch sposobów – z pierwszym wynikiem i z każdym następnym dotąd, aż pojawi się 1.

Opis bardzo podobnej „zabawy liczbowej" znalazł się pod datą 1 lipca 1932 roku w notatniku 22-letniego studenta wydziału matematyki Humboldt-Universität zu Berlin Lothara Collatza, a 18 lat później został przez niego (doktora matematyki), zaprezentowany na międzynarodowym kongresie dokładnie w takiej formie, jak przedstawiona wyżej. Efektem propozycji „zabawy" okazał się jeden z najtwardszych orzechów w teorii liczb – hipoteza Collatza. Próbowało jej dowieść (bezskutecznie) wielu matematyków wspieranych obliczeniami komputerowymi. Sformułowanie problemu jest zrozumiałe dla pierwszoklasisty, a sam problem wydaje się niemal trywialny: czy opisany proces zawsze kończy się liczbą 1 (ściślej: cyklem ...1→4→2→1 ...); a jeśli tak (albo nie), to dlaczego? Inaczej mówiąc, czy każdy ciąg Collatza kończy się jedynką?

Mnożenie przez 3 to jakby dwa względnie małe kroki do przodu ze śladowym poślizgiem (+1). Poślizg oczywiście jest po to, by w ciągu działań pozostać w zbiorze liczb naturalnych: na przykład 7-krok-14-krok-21-poślizg-22. Dzielenie przez 2 to jeden większy krok do tyłu – 22-krok-11. Przy takim kroczeniu na dowolnie długim dystansie teoretycznie możliwe jest stałe posuwanie się do przodu z okresowymi cofnięciami na z góry upatrzone pozycje. Stąd pierwsza podhipoteza: prawdopodobne jest znalezienie liczby, od której zacznie się ciąg permanentnie rosnący, choć nie monotoniczny.

Druga podhipoteza wskazuje na domniemaną nieuchronność trafienia podczas wspinaczki na potęgę dwójki, co oznacza skokowe stoczenie się po mniejszych potęgach do jedynki.

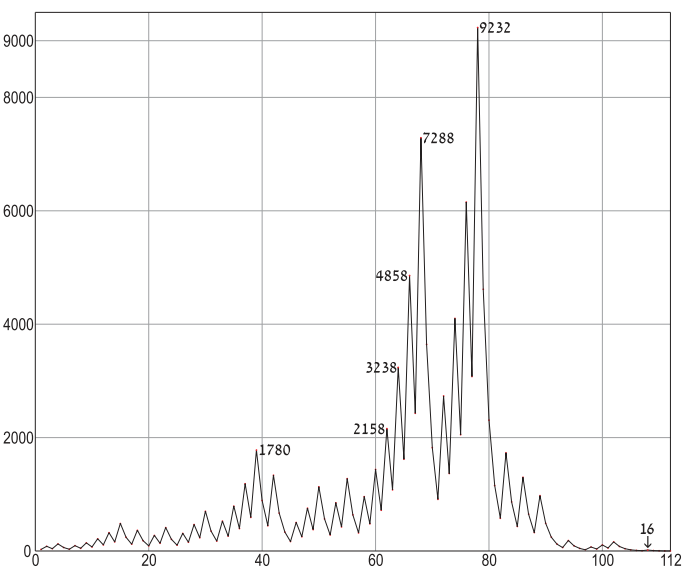
Trzecia podhipoteza uwzględnia możliwość wpadnięcia w cykl inny niż „jedynkowy". Trudno to wykluczyć, ponieważ po osiągnięciu liczby parzystej zawsze następuje powrót do wcześniej odwiedzonego zakresu liczb, a tam istnieje szansa na bisowanie.

Marek Penszko, z wykształcenia inż. poligrafii, jest znawcą i popularyzatorem gier i rozrywek umysłowych, głównie matematyki rekreacyjnej. Współpracuje z wieloma czasopismami, m.in. pisze blog dla „Polityki".

Większość matematyków nie wyklucza trzeciej podhipotezy, ale preferuje drugą. Liczb naturalnych jest nieskończenie wiele i potęg dwójki również, więc przy dostatecznie długich obliczeniach któraś z potęg dwójki w końcu pojawi się jako wynik działania $3x+1$. Tak będzie dla wartości $x=(4^n-1)/3$, czyli należących do zbioru {1, 5, 21, 85, 341, ...}.

Początkowo informacja o hipotezie Collatza rozchodziła się wśród matematyków pocztą pantoflową i była traktowana jako problem rekreacyjny, czyli nie całkiem poważnie. Mimo to przykuła uwagę takich tuzów, jak Paul Erdős i Stanisław Ulam, a później zajmowały się nią hobbystycznie grupy badaczy na kilku uniwersytetach amerykańskich. Zanim za obróbkę kolejnych liczb zabrały się komputery, największym zaskoczeniem była liczba 27.

Dla wszystkich liczb N mniejszych od 27 droga (d) do jedynki jest stosunkowo krótka, a maksymalna wysokość (w) wspinaczki niewielka. Na przykład, trasa zaczynająca się od $N=5$ ma długość $d=5$, czyli obejmuje 6 liczb, a jej szczytem jest $w=16$: 5→1**6**→8→4→2→1 (to jedyna droga z $N=d$); najdalej przed $N=27$ sięga droga dla $N=25$ ($d=23$), a najwyżej droga startująca od $N=15$ ($w=160$). Tymczasem przy $N=27$ następuje gigantyczny skok zasięgów przedstawiony na wykresie (*rys. 1*) – droga obejmuje 112 liczb, czyli wydłuża się do $d=111$, a szczyt przekracza Himalaje ($w=9232$); wiodąca ku jedynce potęga dwójki (16) pojawia się dopiero jako 108. liczba.



Rys. 1

Można powiedzieć, że ustanowione przez 25 i 15 rekordy (23 i 160) są ekstremalnie bite przez 27 – pierwszy z 23 na 111, a zatem prawie 5-krotnie; drugi ze 160 na 9232, więc niemal 58-krotnie. Nigdy później, czyli dla większych N, żaden rekord – ani w konkurencji dystansu, ani wysokości – nie jest poprawiany aż tylokrotnie. Dotyczy to oczywiście zakresu liczb naturalnych N dotąd przeszukanego komputerowo, który jest gigantyczny – sięga 2^{71}, czyli około $2{,}36\times10^{21}$ (2 tryliardy 360 trylionów).

Tabele (*rys. 2*) zawierają dwa ciągi 10 początkowych rekordów (R_N) obok liczb ($N\geq3$), które je ustanawiają w dwu konkurencjach – długości (D)

WIKIPEDIA

Ilustracje Marek Penszko

eprasa.pl fa61415544

i wysokości (W). Pominięto parzyste N (6, 18, 54) w konkurencji D, bo zwiększają one rekord schematycznie i minimalnie – zawsze tylko o 1.

D			W	
N	R_{ND}		N	R_{NW}
3	7		3	16
7	16		7	52
9	19		15	160
25	23		27	9232
27	111		255	13 120
73	115		447	39 364
97	118		639	41 524
129	121		703	250 504
171	124		1819	1 276 936
231	127		4255	6 810 136

Rys. 2

Pełne tabele znanych dziś rekordów są oczywiście dłuższe, ale i tak zaskakująco krótkie w porównaniu z zakresem N. Tabela D obejmuje 148 wierszy – w ostatnim R_{ND}=2442 odpowiada liczbie 20-cyfrowej. W tabeli W wierszy jest 97, ale tu odwrotnie – maksymalne R_{NW} jest supergigantem znacznie większym od jej startowego giganta N: R_{NW} składa się z 42 cyfr, N z 22.

Ponieważ teoretycy w konfrontacji z hipotezą Collatza ponieśli porażkę, do akcji wkroczyły komputery. Zaprzęgając je do obliczeń szukano przede wszystkim kontrprzykładu hipotezy, czyli najprawdopodobniej wpadnięcia w cykl inny niż jedynkowy. Poza tym spodziewano się ujawnienia w ciągach D i W jakichś prawidłowości, skoro są one generowane zgodnie z określonymi regułami, a nie losowo. Obliczenia upraszczano komputerom na kilka sposobów. Podstawowy sposób ograniczył start do liczb nieparzystych, bo parzyste są od razu dzielone, co oznacza powrót do liczb rozpracowanych wcześniej. Zauważono też, że wystarczy sprawdzać liczby nieparzyste postaci $4k+3$, ponieważ zaczynając od $N=4k+1$ zawsze po drodze schodzi się poniżej N ($4k+1 \rightarrow 12k+4 \rightarrow 6k+2 \rightarrow 3k+1$). Z tego samego powodu w praktyce sprawdzanie liczby N przerywano, gdy pojawiał się wynik mniejszy od N. Korzystano również z paru innych szczegółowych uproszczeń. Program szukający dostępny był na platformach obliczeń rozproszonych. Obecnie poszukiwacze kontrprzykładów stracili nadzieję na odkrycie permanentnie rosnącego ciągu Collatza albo trafienie w cykl inny niż jedynkowy. Wprawdzie formalnie na paru platformach programy są dostępne, ale od dawna prawie nikt z nich nie korzysta.

Cechą charakterystyczną rekordowych długości (R_{ND}) w tabeli D jest ich poprawianie o niewielkie wartości. Zdecydowana większość różnic między kolejnymi rekordami nie przekracza kilkunastu; największy skok to 205 dla N równych 3 732 423 (R_{ND}=744) i 63 728 127 (R_{ND}=949). Początkowo w tabeli D zaskoczeniem była także śladowa obecność parzystych N (tylko 6, 18 i 54 – pominięte na rys. 2). Ten brak okazał się jednak przyczynkiem do „wielkich praw małych liczb", bo gdy komputery przekroczyły zakres 10^8, zaczęły wyskakiwać parzyste N rekordzistki. Pierwszą była 31 466 382 z rekordem R_{ND}=705, poprawionym (oczywiście tylko o 1) w stosunku do poprzedniego, należącego do N=15 733 191.

Natomiast jeśli chodzi o charakterystyczne własności rekordów w tabeli W, dwie z nich łatwo udowodnić. Pierwsza dotyczy nieparzystości liczb N (parzyste nie mogą ustanawiać rekordów), druga – parzystości R_{NW} (nieparzyste nie mogą być rekordami). Najbardziej zaskakująca i trudna do wyjaśnienia wydaje się jednak trzecia własność: ostateczna suma cyfr każdej z 97 R_{NW} równa jest 7. Inaczej mówiąc, gdy zaczniemy dodawać do siebie cyfry R_{NW}, a potem cyfry otrzymanej sumy i każdej następnej, aż do uzyskania sumy jednocyfrowej, okaże się, że tą końcową sumą zawsze będzie 7. Jeszcze inaczej i krócej: każde $R_{NW} \equiv 7 \pmod 9$, czyli reszta z dzielenia R_{NW} przez 9 równa jest 7. Tę osobliwość odkryto przed 3 laty i dotąd nie wyjaśniono.

W ciągach długości dróg (d) i maksymalnych wysokości (w) dla kolejnych N trudno doszukać się jakichś regularności poza tym, że często – choć też nieregularnie – pojawiają się w nich klastry różnej długości. Klaster to fragment ciągu d lub w dla kolejnych N złożony z jednakowych liczb. 2- i 3-liczbowych klastrów d jest bardzo dużo, wysokościowych znacznie mniej. Pierwszy długościowy 3-liczbowy obejmuje N=28, 29 i 30 – dla każdej z nich d=18 (*rys. 3*). Im dłuższe klastry, tym są rzadsze, choć hipotetycznie ich długość nie jest ograniczona. Przykładem długościowy klaster „na 102", pierwszy 28-liczbowy: dla każdej z 28 wartości N – od 530 052 do 530 079 d=102.

Wśród klastrów wysokościowych najczęściej pojawia się w=9232, czyli wspomniana wcześniej wartość osiągana przez N=27. Tak jest np. w przypadku pierwszego klastra 5-liczbowego dla N od 107 do 111. Trudno tu o tabelę z przebiegiem dróg, bo cztery z pięciu dystansów od N do w=9232 obejmują ponad 60 liczb.

Osobliwością są klastry d i w odpowiadające tym samym N. Na przykład sześć liczb N – od 386 do 391 – generuje klaster długościowy z wartościami d=102 i równocześnie klaster wysokościowy ze znajomym w=9232.

N	d=18																	
28→	14	7	22	11	34	17	52	26	13	40	20	10	5	16	8	4	2	1
29→	88	44																
30→	15	46	23	70	35	106	53	160	80									

Rys. 3

eprasa.pl fa61415544

Paul Erdős, który na początku lat 80. mierzył się z hipotezą Collatza, uznał, że rozstrzygnięcie o jej prawdziwości nie jest możliwe przy obecnym stanie wiedzy matematycznej. Nie zniechęciło to kilkunastu śmiałków do podjęcia prób zwieńczonych publikacjami dowodów, w których po wnikliwej analizie (zgodnie z przewidywaniami) znaleziono błędy.

Teoretycznie dobrym sposobem poradzenia sobie z hipotezą może się wydawać analiza wsteczna, czyli odwrócenie problemu. Zakładamy, że wszystkie liczby generują jedynkę, więc wszystkie muszą tworzyć nieprzerwaną sieć. Jednak odwrócenie reguł powoduje niejednoznaczność. W liczbach postaci $6k+4$ (k=1, 2, 3, ...) sieć się rozgałęzia – na przykład od 22 można się cofnąć do 44 lub do 7. Co gorsza przy poruszaniu się wszystkimi gałęziami do określonej granicy wiele liczb jest pomijanych. Do granicy 100 dociera 13 gałęzi z 49 liczbami, na granicy 1000 gałęzi jest 84, a liczb 340 itd. Udział gubionych liczb w kolejnych zakresach stale wzrasta, co czyni tę metodę praktycznie nieskuteczną.

Potwierdzeniem atrakcyjności hipotezy Collatza jest jej wielu „ojców", a to zaowocowało paroma innymi nazwami. Alfabetycznie: algorytm Hassego (Helmut, matematyk niemiecki), problem Kakutaniego (Shizuo, matematyk amerykański pochodzenia japońskiego), problem syrakuzański (od nazwy amerykańskiej uczelni Syracuse University, gdzie grupa uczonych studiowała zagadnienie), hipoteza Thwaitesa (Bryan, angielski matematyk i pedagog, fundator nagrody 1000 funtów za uporanie się z hipotezą), problem Ulama (Stanisław, polski matematyk); i wreszcie „nazwa-sierota" – problem 3x+1 oraz najnowsza – jak w tytule. Dzięki podatności na modyfikacje hipoteza doczekała się także wielu wariantów, poczynając od najprostszych, polegających na uwzględnianiu liczb ujemnych. Ale to już całkiem inna historia, choć bliska opisanej.

ZADANIA

1. Jedyna droga, której długość równa jest jej liczbie startowej, zaczyna się od 5, czyli $N=d=5$. Natomiast dróg, dla których $N=w$, jest nieskończenie wiele. Od jakiej najmniejszej liczby N złożonej z różnych, ale kolejnych cyfr, zaczyna się droga, której maksymalną wysokością jest $w=N\neq 2^n$?

2. Trywialna modyfikacja ciągu Collatza polega na ograniczeniu liczb startowych do nieparzystych N i wykonywaniu zawsze tego samego działania określonego wzorem $(3N+1)/2k$, gdzie dzielnik jest największą potęgą 2 taką, że wynik działania jest liczbą całkowitą. Na przykład ciąg zaczynający się od 9 będzie następujący: 9, 7, 11, 17, 13, 5, 1. Które liczby – z pominięciem pierwszej – nigdy nie znajdą się w takim ciągu? Ściślej: jaka będzie wspólna specyficzna cecha zbioru tych nieobecnych liczb nieparzystych?

3. Regułę tworzenia ciągu Collatza można uogólnić: $a_{n+1}=a_n/b$, jeśli b jest dzielnikiem a_n albo $a_{n+1}=ca_n+d$ dla pozostałych a_n (d może być liczbą ujemną). Jeśli w klasycznej regule (b=2, c=3, d=1) wprowadzić jedną małą zmianę – $3x$-1 zamiast $3x$+1, czyli d=-1, to ciąg wpada w jeden z trzech cykli: {1, 2}, {5, 14, 7, 20, 10} lub {17, 50, 25, 74, 37, 110, 55, 164, 82, 41, 122, 61, 182, 91, 272, 136, 68, 34}. Drugi z tych cykli wyróżnia się tym, że zawiera tyle liczb, jakie N ma na początku (dwa pozostałe cykle są bliskie tej zbieżności – w każdym jest o jedną liczbę więcej od N).

Zadanie polega na utworzeniu innych reguł uogólnionego ciągu Collatza, czyli dobraniu odpowiednich wartości b (najmniejszej możliwej), c i d – takich, aby w ciągu pojawiał się cykl złożony z N liczb dodatnich, zaczynający się od najmniejszej w cyklu liczby N>3.

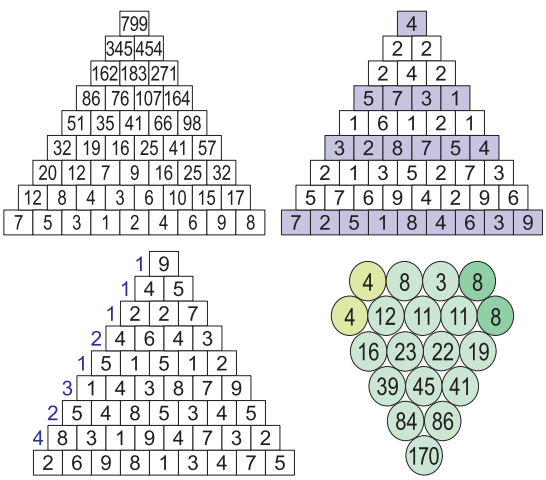
*Rozwiązania prosimy nadsyłać do 31 maja 2026 r. pocztą elektroniczną (*redakcja@swiatnauki.pl*), wpisując w temacie e-maila hasło* ***UG 5/26****. Spośród autorów poprawnych rozwiązań przynajmniej dwóch zadań wyłonimy pięciu zwycięzców i nagrodzimy ich książką* Historia pandy wielkiej, czyli z bambusowego lasu na dyplomatyczne salony *Piotra Parzymiesa ufundowaną przez Wydawnictwo Dialog. Warunkiem udziału w konkursie jest zamieszczenie w e-mailu z odpowiedzią oświadczenia:*

Zapoznałam/em się z regulaminem konkursu i akceptuję jego treść oraz wyrażam zgodę na przetwarzanie danych osobowych na potrzeby realizacji konkursu.

Regulamin konkursu jest dostępny na stronie www.swiatnauki.pl.

ROZWIĄZANIA ZADAŃ Z NUMERU MARCOWEGO

Rozwiązania piramid i winogrona na rys. 4.



Rys. 4

Za poprawne rozwiązanie przynajmniej dwóch zadań książkę Pabla Vierciego *Śnieżne bractwo. Brutalne świadectwo przetrwania*, ufundowaną przez Wydawnictwo Feeria, otrzymują: Waldemar Karpiński z Nowego Miasta Lubawskiego, Kacper Matuszewski z Serocka, Artur Swoboda z Wiślicy, Krzysztof Szeruga z Wrocławia, Mariusz Trzyna z Hyżnego.

Rozwiązanie zagadki matematycznej ze strony 20.

Zadanie ma kilka podstawowych rozwiązań. Dwa przykładowe:

3×(2+6)×(4×5-1)=456

lub

((((1+4)×5)×6)+2)×3=456.

eprasa.pl fa61415544

jeremkin/Getty Images

Naukowe łaskotki

Reakcja na łaskotanie może być stara ewolucyjnie, a mimo to nie wiemy, jaki jest jej mechanizm ani czemu miałaby służyć

KONSTANTINA KILTENI

KIEDY WCHODZĘ do swojego laboratorium rano w dni powszednie, nierzadko słyszę niekontrolowane piski albo wybuchy śmiechu. Śmiech nie jest czymś, co tradycyjnie kojarzy się z neuronauką, ale moja grupa badawcza jest dość nietypowa. W Laboratorium Dotyku i Łaskotania prosimy uczestników, by w imię postępu naukowego doświadczyli działania Hektora – łaskoczącego robota.

Podczas typowej wizyty badani zdejmują buty i skarpetki, a następnie siadają na czymś przypominającym fotel dentystyczny. Razem z kolegami ustawiamy ich stopy na platformie, pod którą znajduje się Hektor – robot napędzany trzema silnikami elektrycznymi. W trakcie sesji łaskotania Hektor przesuwa sondy wzdłuż podeszw stóp uczestników, a oni oceniają, jak bardzo każdy ruch ich łaskocze, w skali od jednego do dziesięciu. W tym samym czasie rejestrujemy mimikę twarzy, tętno, aktywność mięśni, oddech oraz przewodnictwo skóry (co pozwala stwierdzić, czy się pocą) badanych. Elektrody umieszczone na skórze głowy ujawniają aktywność mózgu.

Bycie łaskotanym to doznanie, które większość z nas natychmiast rozpoznaje, a jednocześnie zjawisko, które fascynowało kilku największych myślicieli w historii. Sokrates opisywał je jako mieszankę bólu i przyjemności. Arystoteles uważał, że łaskotliwość wynika z delikatności ludzkiej skóry. Z kolei Karol Darwin pisał o niej obszernie, przypuszczając, że najbardziej łaskotliwe są miejsca rzadko dotykane i tylko w określonych kontekstach psychologicznych.

Dziś ja i inni neuronaukowcy wciąż głowimy się nad wieloma podstawowymi zagadkami: czy łaskotanie pełni jakąś funkcję biologiczną – a jeśli tak, to dlaczego ewolucja ją wykształciła? Co dzieje się w naszym układzie nerwowym, że odczuwamy to tak wyjątkowe wrażenie? Dlaczego niektóre obszary ciała są bardziej wrażliwe niż inne? Dlaczego ludzie reagują różnie na potencjalnie łaskoczący dotyk? Odpowiedzi na te pytania mogą poszerzyć naszą wiedzę o tym, jak ludzkie ciało odbiera i przetwarza bodźce fizyczne. Łaskotanie daje neuronaukowcom okazję do badania, jak współdziałają złożone układy mózgu i ciała – odpowiedzialne za emocje, ruch i czucie – a przy okazji pomaga zrozumieć różnice w ludzkim zachowaniu i rozwoju.

Dotychczasowe badania wskazują, że łaskotanie – które naukowcy czasem nazywają gargalesis [z greckiego] – może być bardzo stare ewolucyjnie. Występuje u wielu naczelnych, w tym u szympansów, bonobo, goryli i orangutanów. Również gryzonie wykazują reakcje na pewne formy dotyku, które mogą mieć znaczenie dla badań nad łaskotaniem. Na przykład szczury głaskane po brzuchu wydają znacznie więcej dźwięków niż przy delikatnym dotyku, a taka stymulacja aktywuje obszary mózgu, które u ludzi uaktywniają się podczas łaskotania.

Łaskotanie wydaje się także przekraczać granice kulturowe. W jednym z badań uczestnicy reprezentujący ponad 20 kultur – w tym mieszańcy Wielkiej Brytanii, Polski, Indii i Hongkongu – słuchali nagrań spontanicznego śmiechu niemieckich mówców i potrafili rozpoznać, które wybuchy śmiechu zostały wywołane łaskotaniem, a które radością czy złośliwą satysfakcją.

Badania doprowadziły do powstania kilku teorii wyjaśniających, jak i dlaczego łaskotanie mogło się rozwinąć. Być może jest to odruch bez wyraźnej funkcji – produkt uboczny procesu rozwoju systemów percepcji dotyku. A może pomaga budować więzi społeczne, na przykład między rodzicami a dziećmi. Dotyk jest niezwykle ważnym sygnałem społecznym dla naszego gatunku – umożliwia komunikację i wzmacnia poczucie bliskości. Łaskotanie może szczególnie zbliżać ludzi, ponieważ wywołuje śmiech, często towarzyszący przyjemności. Inna teoria

Konstantina Kilteni jest profesorem nadzwyczajnym Karolinska Institutet w Szwecji i głównym naukowcem laboratorium Touch & Tickle Lab na Karolinska Institutet oraz Donders Centre for Cognition Radboud University w Holandii. Specjalizuje się w poznawczej neuronauce dotyku.

eprasa.pl fa61415544

głosi, że łaskotanie było sposobem, w jaki nasi przodkowie uczyli potomstwo, gdzie atakować przeciwnika lub jak się bronić. Opiera się ona na obserwacji, że „przepychanki" towarzyszące łaskotaniu dzieci i młodych małp przypominają „pozorowaną walkę", a niektóre łaskotliwe miejsca (jak pachy) byłyby szczególnie wrażliwe podczas prawdziwego ataku.

Nie wszyscy jednak reagują na łaskotanie w ten sam sposób – osoby z niektórymi zaburzeniami neurorozwojowymi lub psychicznymi mogą doświadczać go zupełnie inaczej. Na przykład w badaniu opublikowanym w 2024 roku japońscy naukowcy zaobserwowali, że dzieci z wyższym wynikiem w testach cech autystycznych były mniej wrażliwe na łaskotanie i rzadziej reagowały na nie pozytywnymi emocjami wobec rodziców niż ich rówieśnicy z niższym wynikiem. Takie badania pokazują, że łaskotanie może posłużyć za narzędzie do zrozumienia różnic między ludźmi – różnic, które mogą kiedyś pomóc wyjaśnić, jak przetwarzamy i odczuwamy bodźce.

Osoby ze schizofrenią również mogą inaczej doświadczać łaskotania. Gdy wykonujesz ruch – na przykład drapiesz się po głowie – mózg zazwyczaj potrafi przewidzieć, kiedy i gdzie dojdzie do kontaktu, jeszcze zanim to nastąpi. Dzięki temu własny dotyk wydaje się mniej intensywny niż dotyk kogoś innego, co częściowo wyjaśnia, dlaczego większość ludzi nie potrafi się sama połaskotać.

Jednak niektóre osoby ze schizofrenią mają trudności z przewidywaniem i przetwarzaniem takich doznań. W efekcie odbierają własny dotyk jako intensywniejszy i bardziej łaskoczący niż osoby o typowym przetwarzaniu bodźców. Podobne zjawisko obserwuje się u osób z wysokim poziomem cech schizotypowych, które wykazują nietypowe wzorce myślenia i zachowań społecznych, choć nie spełniają kryteriów zaburzenia psychicznego.

W naszym laboratorium badamy obecnie, jak i dlaczego mózg niektórych osób może „wyciszać" część doznań wywołanych własnym dotykiem. Podobnie jak w przypadku eksperymentów z robotem Hektorem, mamy nadzieję, że nasze badania pomogą lepiej zrozumieć, w jaki sposób ludzie przewidują i odczuwają dotyk fizyczny – i przy okazji rozwikłać niektóre tajemnice łaskotania. Bo za każdym chichotem kryje się fascynująca tajemnica neuronauki, która czeka na odkrycie. ■

nadia_bormotova/Getty Images

Powiedz to!

Opisanie słowami swoich emocji pomaga dorosłym zachować zdrowie psychiczne i fizyczne. Działa to również u dzieci

DAVID CRESWELL

W **AKCIE** rodzicielskiej desperacji powiedziałem do mojego sześcioletniego dziecka, które właśnie wybuchnęło złością: „Użyj słów!". Chwilę wcześniej syn zaczął krzyczeć i bić swoją ośmioletnią siostrę, bo nie chciała oddać mu pluszaka, który – jego zdaniem – należał do niego. Dzieci na moment zamarły, dając mi dokładnie tyle czasu, ile potrzebowałem, by opanować własne, gwałtownie narastające emocje.

Z perspektywy widzę, że nigdy tak naprawdę nie wyjaśniłem dzieciom, dlaczego słowa mogą pomagać. A jednak nazywanie uczuć słowami to pierwszy krok do rozpoznania tego, co dzieje się w naszym wnętrzu – a samo to nazwanie może zmienić doświadczenie. Czasem, jak pokazują badania, słowa, których używamy do opisywania swojego życia, potrafią kształtować nasze zdrowie psychiczne przez całe miesiące, a nawet lata.

Jako psycholog, który przez niemal dwie dekady badał stres i odporność psychiczną w Health and Human Performance Laboratory na Carnegie Mellon University, przyglądam się, w jaki sposób werbalizowanie uczuć potrafi przeobrażać doświadczenie. Pisanie o emocjach lub ich wyrażanie słowami pomaga dorosłym – zarówno psychicznie, jak i fizycznie. Ale dzieci nie są pod tym względem wyjątkiem. Taka praktyka pomaga radzić sobie w napiętych sytuacjach, a także po trudnych życiowych przejściach. Badania nad tzw. ekspresywnym ujawnianiem – dosłownie: używaniem słów – prowadzone przez ostatnich 40 lat pokazują, że może ono prowadzić do znaczącej poprawy zdrowia, zwłaszcza u osób zmagających się ze stresującymi wydarzeniami życiowymi. Po opisaniu trudnej sytuacji ludzie zgłaszają mniej wizyt u lekarza, mniejsze dolegliwości bólowe, większą odporność oraz lepsze wyniki leczenia takich schorzeń, jak astma czy artretyzm.

Z tych badań z udziałem dorosłych wyłoniło się kilka praktycznych zasad. Po pierwsze, pisanie o trudnym wydarzeniu

J. David Creswell jest kierownikiem katedry William Dietrich II Chair Professor of Psychology and Neuroscience na Carnegie Mellon University i dyrektorem naukowym w Equa Health. W jego laboratorium Health and Human Performance Laboratory są prowadzone badania nad odpornością ludzi na stres, medytacją uważności i dobrostanem.

eprasa.pl fa61415544

trzy lub cztery razy w krótkich odstępach (na przykład dzień po dniu) okazuje się skuteczniejsze niż rozkładanie sesji w czasie. Po drugie, optymalny czas jednej sesji to co najmniej 15 min – krótsze mogą wręcz przynieść odwrotny skutek i pogorszyć zdrowie. Po trzecie, dla tych, którzy nie lubią pisać, rozmowa o uczuciach działa równie dobrze. Co więcej, w jednym z badań bezpośrednio porównujących mówienie i pisanie, to rozmowa wypadła lepiej – ludzie potrafią wyrazić więcej w ciągu 15 min, gdy mówią, niż gdy piszą.

Jednym z powodów, dla których terapia rozmową bywa tak przełomowa, jest to, że pomaga ludziom ubrać własne doświadczenia w słowa w bezpieczny, uporządkowany sposób. W pewnym badaniu psycholog Jonathan M. Adler z Olin College of Engineering w Needham w stanie Massachusetts badał grupę dorosłych, którzy przez 12 sesji psychoterapii pisali o sobie samych. Zauważył, że gdy uczestnicy zaczynali opisywać siebie z większym poczuciem sprawczości – widząc się jako aktywnych kreatorów własnego życia – ich zdrowie psychiczne się poprawiało. Co istotne, najpierw zmieniały się opowieści, a dopiero potem następowała poprawa samopoczucia. Dla rodziców jest to ważne przypomnienie: pomaganie dzieciom w opowiadaniu własnych historii z poczuciem wyboru i autorstwa – czy to o konflikcie na placu zabaw, czy o przeprowadzce rodziny – może zasiewać ziarna odporności psychicznej.

Jednym z odkryć, które najbardziej mnie zaskoczyło, jest to, że przekładanie uczuć na słowa potrafi zmieniać same uczucia. Badania neuronaukowe pokazują, że akt nazywania własnego doświadczenia emocjonalnego (na przykład „jestem zły") aktywuje w korze przedczołowej mózgu obwody odpowiedzialne za regulację emocji. W literaturze naukowej proces ten nazywa się etykietowaniem afektu (affect labeling) i wiąże się z daleko idącymi korzyściami klinicznymi. W jednym z badań osoby cierpiące na arachnofobię, które podczas terapii ekspozycyjnej – siedząc obok ptasznika – nazywały swoje uczucia, wykazywały tydzień później słabszą fizjologiczną reakcję stresową na pająki niż uczestnicy stosujący inne strategie, takie jak odwracanie uwagi.

Nazywanie „gorącej" emocji słowami nie tylko może osłabić jej siłę. Ekspresywne ujawnianie uczuć potrafi również przekształcać nasze wspomnienia emocjonalne. Kiedy opowiadamy o trudnych doświadczeniach – czy to pisząc, czy mówiąc – nie tylko je przywołujemy. Wydobywamy je z pamięci długotrwałej, przekształcamy za pomocą słów, a następnie odkładamy z powrotem jako nowe, zmienione wspomnienia. Ten proces, znany jako rekonsolidacja pamięci, daje nam krótkie „okno", w którym możemy zmienić strukturę danego wspomnienia. Opisując bolesne lub przytłaczające wydarzenia, nie tylko je przeżywamy na nowo. My je porządkujemy. Dodajemy sens, kontekst emocjonalny i domknięcie. Dzięki temu możemy zmniejszyć cierpienie, jakie te wspomnienia wywołują, i uczynić je łatwiejszymi do udźwignięcia.

Jako doktorant na własne oczy zobaczyłem, jak potężne potrafią być słowa. Przez rok czytałem i kodowałem ekspresywne eseje pisane przez kobiety, które przeżyły raka piersi. Uderzyło mnie, jak często mówiły o poczuciu sensu, bliskich relacjach i osobistych wartościach. Te kobiety analizowały swoje życie emocjonalne, rekonsolidowały wspomnienia i doświadczenia oraz na nowo potwierdzały to, co było dla nich najważniejsze.

Podobne programy ekspresywnego pisania są obecnie badane także w pracy z dziećmi. Wywodzą się one z badań psychologa Johna Gottmana (dziś profesor emeritus na University of Washington), który już dwie dekady temu wprowadził metodę wychowawczą znaną jako coaching emocji. Najświeższy przegląd badań pokazuje, że nowsze programy ekspresywnego pisania przynoszą niewielkie, ale istotne efekty w poprawie dobrostanu emocjonalnego dzieci i młodzieży w wieku od 10 do 18 lat. Istnieją nawet przesłanki, że programy te mogą poprawiać osiągnięcia szkolne u dzieci z poważnymi trudnościami emocjonalnymi. Także w przypadku młodszych dzieci opowiadanie historii i rysowanie może pomagać w nadawaniu sensu silnym emocjom – zwłaszcza wtedy, gdy towarzyszy dziecku nauczyciel lub rodzic.

Oczywiście nie każde dziecko jest gotowe lub zdolne, by używać słów w ten sam sposób. Dzieci z wczesnymi opóźnieniami rozwoju mowy czy dzieci neuroatypowe mogą mieć szczególne trudności z werbalnym wyrażaniem emocji w chwilach silnego pobudzenia. W takich przypadkach coaching emocji może obejmować obrazy, podpowiedzi ruchowe lub współregulację – czyli praktykowanie spokojnej, tonującej obecności dorosłego. W moim laboratorium pracujemy nad nową aplikacją treningową opartą na medytacji uważności, która pomaga rodzicom rozwijać umiejętność spokojnej obecności. Wstępne badania kliniczne pokazują, że nauka tych kompetencji obniża biologiczne markery stresu i wzmacnia więzi społeczne. Umiejętności te rozwijają się stopniowo. Kluczem jest elastyczność, cierpliwość i towarzyszenie dziecku tu i teraz.

„Użyj słów" to narzędzie – i jak każde narzędzie wymaga praktyki, by korzystać z niego skutecznie. Jeśli próbowaliście powiedzieć to dziecku w samym środku ataku złości, wiecie, że nie zawsze działa. Silne emocje często blokują zdolność dziecka do jasnego myślenia, nie mówiąc już o mówieniu. W naszej rodzinie nauczyliśmy się, że najważniejsze zmiany zachodzą często poza tymi intensywnymi momentami. Moja żona i ja rozmawiamy z dziećmi wtedy, gdy są spokojne – pomagamy im zastanowić się, jakie silne emocje przeżyły wcześniej w ciągu dnia i jak chciałyby zareagować następnym razem, gdy poczują złość lub przytłoczenie. Takie rozmowy budują słownik emocji i dają dzieciom poczucie wyboru co do własnych działań.

Co jeszcze mogą zrobić rodzice? Warto spróbować wieczornej „odprawy" przed snem: „Co było dziś dla ciebie najtrudniejsze?". Delikatnie to zgłębić: „Co wtedy czułeś/czułaś?". Rodzice mogą też modelować język emocji, mówiąc na przykład: „Czuję teraz frustrację, więc wezmę głęboki oddech". Te drobne momenty poszerzają dziecięcy słownik emocjonalny i pomagają budować nowy, rodzinny sposób odnoszenia się do życia emocjonalnego. Takie techniki działają szczególnie dobrze wtedy, gdy są wplecione w codzienny rytm dnia – wtedy nazywanie uczuć staje się naturalną częścią życia rodzinnego.

Czasem widać tego efekty. Nasza ośmioletnia córka dziś potrafi oznajmić: „Jestem wściekła!", gdy coś ją frustruje – nazywa emocję zamiast działać pod jej wpływem. Mój sześcioletni syn próbuje nowych sposobów proszenia siostry, by podzieliła się zabawkami, i czasem to naprawdę działa. Kiedy używanie słów pomaga im osiągnąć to, czego chcą, albo rozwiązać problem, uruchamia się pętla nagrody. Z czasem te drobne momenty języka nie służą już tylko rozwiązywaniu konfliktów. Pomagają dzieciom zacząć postrzegać siebie jako sprawczych bohaterów własnych historii – a to, jak pokazują badania, stanowi fundament trwałego dobrostanu. ■

eprasa.pl fa61415544

Zobaczyć spektrum

Autyzmu nie można mierzyć zwykłą liniową skalą – jest zbyt powszechny, żywy i skomplikowany

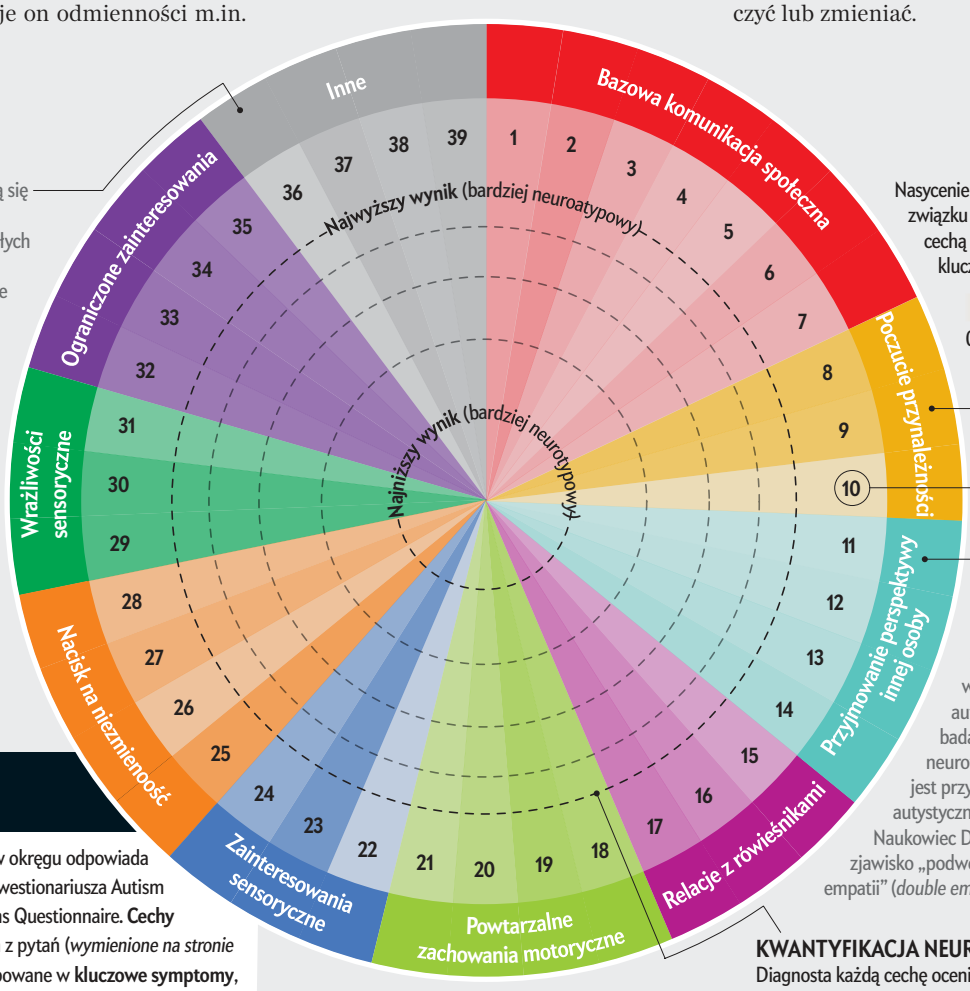
Tekst ALLISON PARSHALL | Infografiki AMANDA MONTAÑEZ

AUTYZM TO SPEKTRUM. Ta metafora pomaga w zrozumieniu, dlaczego autyzm wygląda i jest odczuwany tak różnie u różnych osób. Od 2013 roku określenie to zostało nawet włączone do nazwy diagnozy brzmiącej zaburzenie ze spektrum autyzmu (autism spectrum disorder, ASD). Ale jak właściwie wygląda to spektrum?

Nie jest to po prostu jednowymiarowa skala od osób „bardziej autystycznych" do „mniej autystycznych". Takie ujęcie znacznie zubożyłoby bowiem ogromną różnorodność, którą ta metafora ma pokazywać. Nie istnieje jedna cecha, która definiuje autyzm – obejmuje on odmienności m.in. w umiejętnościach komunikacji społecznej, zainteresowaniach czy wrażliwości sensorycznej. Profil każdej osoby jest wyjątkowy. Te wykresy, oparte na ocenach dotyczących rzeczywistych osób, ukazują znacznie bardziej zniuansowane „spektrum" różnic. Oceny powstały z wykorzystaniem kwestionariusza Autism Symptom Dimensions Questionnaire,

Warto podkreślić, że ten obraz nie uwzględnia tego, jak profile ludzie zmieniają się pod wpływem terapii, okoliczności życiowych czy też z powodu wieku. Ocena nie uwzględnia również ogólnych zdolności poznawczych, które badacze traktują jako odrębną, ale ważną cechę mogącą wpływać na indywidualną konfigurację cech danej osoby.

Nie wszystkie te cechy są zaburzeniami, które należy leczyć. „To, że ktoś nie utrzymuje kontaktu wzrokowego, jest przydatną informacją przy diagnozowaniu autyzmu, ale niekoniecznie będzie celem interwencji" – mówi Ari Ne'eman, współzałożyciel Autistic Self Advocacy Network i ekspert od polityki zdrowotnej na Harvard University. Naukowiec podkreśla, że na wiele cech należy patrzeć tak, jak na przejaw normalnej różnorodności w populacji, a nie jak na coś, co należy leczyć lub zmieniać.



Pytania 36–39 znajdują się w oddzielnej kategorii w stosunku do pozostałych kluczowych objawów, ponieważ niekoniecznie odnoszą się do małych dzieci lub osób o bardziej ograniczonych zdolnościach poznawczych.

Nasycenie barwy odpowiada sile związku pomiędzy konkretną cechą a odpowiadającym jej kluczowym objawem.

0% 100%

Kluczowy symptom

Czynnik

Trudność z przyjęciem perspektywy innej osoby lub „teorii umysłu" jest często wskazywana jako wyzwanie dla wielu osób autystycznych. Jednak badania pokazują, że osobom neurotypowym równie trudno jest przyjąć perspektywę autystycznych rówieśników. Naukowiec Damian Milton nazwał to zjawisko „podwójnym problemem empatii" (*double empathy problem*).

WIELE WYMIARÓW

Każdy z 39 wycinków okręgu odpowiada jednemu pytaniu z kwestionariusza Autism Symptom Dimensions Questionnaire. **Cechy** powiązane z każdym z pytań (*wymienione na stronie obok*) zostały pogrupowane w **kluczowe symptomy**, czyli te istotne zachowania, na które zwracają uwagę specjaliści, oceniając osoby pod kątem autyzmu.

KWANTYFIKACJA NEUROROŻNORODNOŚCI

Diagnosta każdą cechę ocenia w skali od 1 do 5 w zależności od tego, jak często dana osoba przejawia określone zachowanie.

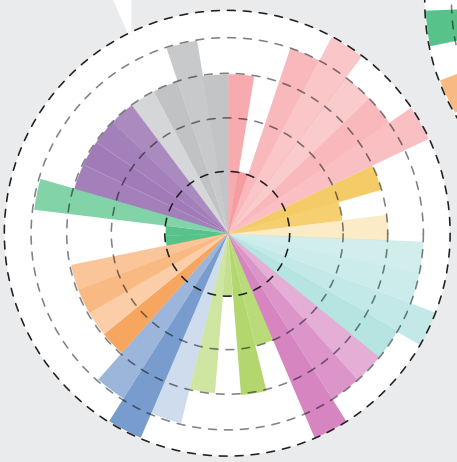
ŹRÓDŁO: *The Autism Symptom Dimensions Questionnaire: Development and Psychometric Evaluation of a New, Open-Source Measure of Autism Symptomatology*, Thomas W. Frazier i in., „Developmental Medicine & Child Neurology", tom 65, nr 8; sierpień 2023 (*dane*)

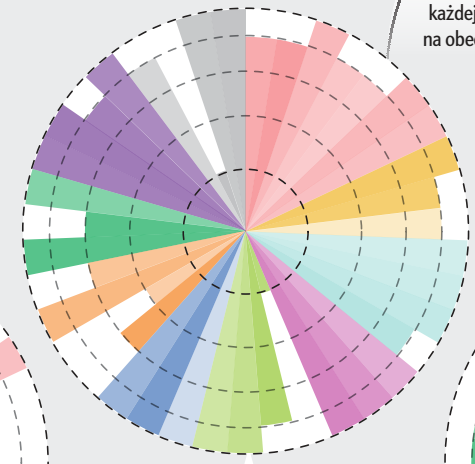
eprasa.pl fa61415544

ZRÓŻNICOWANIE POMIĘDZY JEDNOSTKAMI

Wykresy przedstawiają odpowiedzi z kwestionariuszy dla trzech różnych osób autystycznych. Dane odzwierciedlają mocne strony każdej osoby oraz wyzwania, jakie przed nią stoją na obecnym etapie jej rozwoju i z czasem mogą się zmieniać.

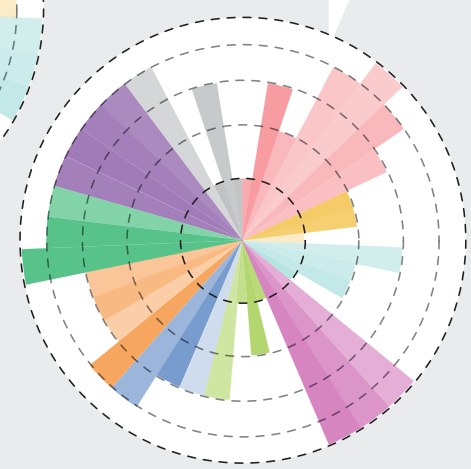
Ta osoba wykazuje silne zainteresowania sensoryczne i stosunkowo niewielką nadwrażliwość. Doświadczenia sensoryczne obejmują szeroki zakres aktywności i mogą być źródłem radości oraz regulacji emocjonalnej zarówno dla osób neuroatypowych, jak i neurotypowych.





Ta osoba wykazuje cechy autystyczne we wszystkich obszarach objawów, ale jest stosunkowo elastyczna w kwestii rutyny i zmiany aktywności.

Ta osoba mogłaby skorzystać z aktywności społecznych opartych na jej szczególnych zainteresowaniach, które pomogłyby jej nawiązywać przyjaźnie z rówieśnikami.



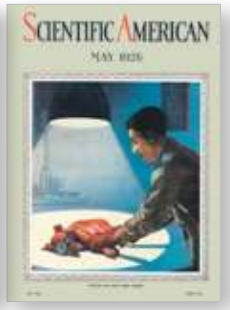
39 CECH MIERZONYCH PRZEZ KWESTIONARIUSZ AUTISM SYMPTOM DIMENSIONS QUESTIONNAIRE

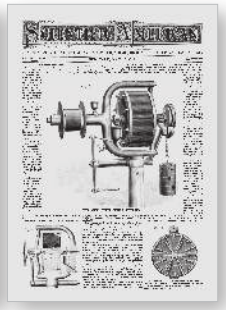
Kwestionariusz ocenia, w jakim stopniu każda z poniższych cech odnosi się do osoby badanej pod kątem autyzmu.

1. Trudność w rozpoczynaniu interakcji z innymi bez zachęty
2. Niechęć do kontaktu wzrokowego
3. Brak gestów (np. wskazywania) w komunikacji
4. Trudność w jasnym komunikowaniu innym swoich uczuć
5. Trudność w dzieleniu się z innymi radością z własnych zainteresowań lub aktywności
6. Trudność w reagowaniu w społecznie akceptowany sposób, gdy inni nawiązują kontakt
7. Preferowanie własnych zainteresowań i aktywności jako tematu rozmowy zamiast zainteresowań drugiej osoby
8. Preferowanie samotności zamiast przebywania z przyjaciółmi lub rodziną
9. Trudność w nawiązywaniu fizycznej i emocjonalnej więzi z rodziną i przyjaciółmi
10. Trudność w wyrażaniu znaczenia relacji
11. Trudność w pocieszaniu innych, gdy są zdenerwowani lub chorzy
12. Trudność w odczytywaniu sygnałów społecznych
13. Trudność w rozumieniu oczekiwanego zachowania w różnych sytuacjach społecznych
14. Trudność w rozumieniu, co inni myślą lub czują
15. Trudność w angażowaniu się w naprzemienną zabawę z rówieśnikami
16. Pozorny brak zainteresowania wspólną zabawą, towarzyszami zabaw lub przyjaźniami
17. Trudność w utrzymywaniu relacji z dwojgiem lub większą liczbą bliskich przyjaciół
18. Machanie rękami lub inne nietypowe ruchy dłoni
19. Powtarzalne skakanie, kołysanie się, obracanie lub inne ruchy całego ciała
20. Powtarzanie dźwięków, słów lub kwestii z filmów
21. Tendencja do powtarzalnej zabawy przedmiotami lub powtarzania czynności bez wyraźnego celu
22. Preferencja skupiania się na określonych częściach przedmiotów zamiast na całym obiekcie
23. Fascynacja doświadczeniami sensorycznymi
24. Zaabsorbowanie wzorami wizualnymi lub dźwiękami
25. Silna potrzeba stałego, przewidywalnego planu dnia
26. Trudność w przechodzeniu z jednej aktywności do drugiej
27. Skłonność do ścisłych zasad, rytuałów lub sekwencji czynności
28. Trudność w zmianie zdania i byciu elastycznym
29. Nadwrażliwość na głośne dźwięki
30. Niechęć do zatłoczonych lub bardzo ruchliwych miejsc
31. Niechęć do określonych świateł, dźwięków, faktur, pokarmów lub zapachów
32. Tendencja do wielokrotnego myślenia lub mówienia na ten sam temat
33. Silna fascynacja konkretną dziedziną lub aktywnością
34. Długotrwałe angażowanie się w określone gry lub tematy niezależnie od zainteresowań innych
35. Silne skupienie na bardzo specyficznych lub wąskich zainteresowaniach
36. Skłonność do tworzenia list, zapamiętywania faktów lub zainteresowanie techniką
37. Trudność w intuicyjnym rozumieniu norm społecznych, takich jak przestrzeń osobista czy mowa ciała
38. Trudność w rozumieniu sarkazmu lub innych form komunikacji niedosłownej
39. Nietypowa głośność, ton, rytm lub tempo mowy

eprasa.pl fa61415544

50, 100 i 150 lat temu





1976 ŚWIETLIKI

„Wiele z dobrze znanych świetlików, które latem migoczą nad naszymi trawnikami, jest nazywanych świetlikami wędrownymi, ponieważ samce latają pojedynczo, poszukując samic siedzących w niskiej roślinności. Samiec błyska rytmicznie, a gdy samica odpowiada błyskiem, oba owady rozpoczynają zaloty polegające na serii naprzemiennych błysków, które prowadzą samca do samicy.

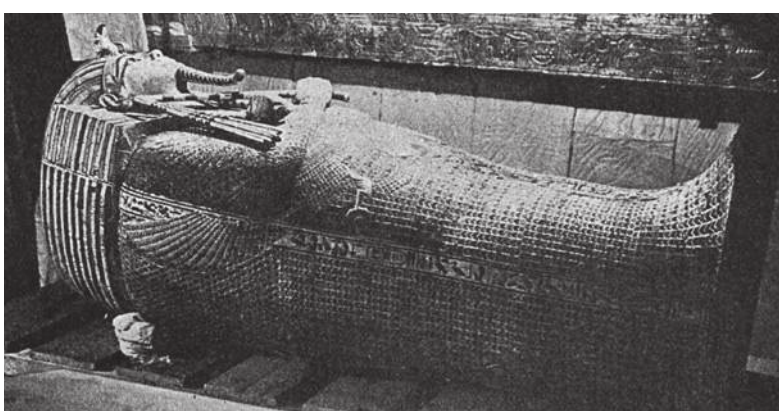
Od 300 lat podróżnicy i przyrodnicy opisują też inny rodzaj zachowania świetlików, obserwowany na obszarze od Indii po Filipiny i Nową Gwineę. Tam świetliki gromadzą się na drzewach w gęstych rojach, a samce migają synchronicznie, w tym samym rytmie."

Obserwatorzy zachwycali się pięknem tych synchronicznych błysków, ale samo piękno nie tłumaczy utrzymującej się fascynacji tym zjawiskiem. To, co przyciągało wielu, to pytanie, jak to możliwe, że tysiące świetlików tak dokładnie koordynują swoje błyski, cykl po cyklu? I dlaczego to robią? Mamy nadzieję pokazać, że te pytania są ze sobą powiązane – w tym sensie, że nie da się zrozumieć »dlaczego« bez zrozumienia »jak«."

1926 FAŁSZOWANIE NATURY

„Gdy nieżyjący już Theodore Roosevelt wymierzył celny i w pełni uzasadniony cios w zjawisko zwane »fałszowaniem natury«, oddał popularnej nauce przyrodniczej jedną z największych przysług. Jednak tę walkę trzeba kontynuować, ponieważ »fałszerze natury« wciąż istnieją – i jest ich coraz więcej. Nawet słynny Jean-Henri Fabre, bardziej chwalony i cytowany niż jakikolwiek inny zagraniczny autor piszący o przyrodzie, nie ustrzegł się błędów wynikających z przypuszczeń i niepełnej obserwacji. Jedno z nich – rzekome nakłuwanie centralnych zwojów nerwowych pająków przez polującą osę w celu ich sparaliżowania – okazało się nieprawdą. Takie przypadki, w których nawet skrupulatni badacze popełniają błędy, wynikają jednak z blisko powiązanych faktów i nie rodzą się wyłącznie z chęci opowiadania o cudach i rzeczach niezwykłych."

W numerze z maja 1926 roku można znaleźć więcej przykładów popularnych błędnych przekonań – takich jak wiara w to, że ptaki ulegają „urokowi" węży.



1926 Złote trumny Tutanchamona: „W komorze grobowej wykutej w litej skale mumia Tutanchamona była chroniona przez liczne osłony z drewna, kamienia i złota. Najpierw zobaczono trzy duże drewniane kaplice w kształcie skrzyń, ustawione jedna w drugiej. Po ich usunięciu odsłonięto wielki sarkofag z żółtego kwarcytu, przykryty granitową pokrywą."

SKAMIENIAŁE ŚLADY W WIELKIM KANIONIE

„Ślady wymarłych zwierząt, liczące co najmniej 25 mln lat, odkryto w Wielkim Kanionie rzeki Kolorado. Zachowały się w tak niezwykle dobrym stanie, że na szlaku Hermit Trail w kanionie przygotowano ich stałą ekspozycję, by ukazać, jak bardzo dawno zwierzęta przemierzały te pradawne piaski – miliony lat przed tym, jak rzeka Kolorado wydrążyła głęboki kanion, którym dziś płynie.

Skamieniałości z Hermit Trail występują w drobnoziarnistym piaskowcu z okresu permu, następującego po karbonie – głównym okresie powstawania złóż węgla.

Jedna z wydobytych płyt piaskowca zawiera ślady nieznanego do tej pory gatunku – stworzenie to było najwyraźniej niskim, krępym czworonogiem o szerokim ciele i poruszało się powoli, na co wskazuje krótki krok."

1876 REKULTYWACJA STEPÓW

„W Imperium Rosyjskim znajduje się ogromna niecka, położona poniżej poziomu oceanu. W niej leży Morze Kaspijskie, do którego wpadają także wielkie rzeki Ural i Wołga, odwadniające znaczną część centralnej Rosji.

Na przestrzeni wieków rzeki nanosiły osady, tworząc rozległe pokłady, które stopniowo wdzierały się w morze, zmniejszając jego powierzchnię i podnosząc jego dno, tak że duże statki nie mogą już po nim pływać."

„Wraz ze zmniejszaniem się morza malała ilość pary wodnej w przyległej atmosferze; przy mniejszej wilgotności okoliczne tereny stopniowo przekształcały się w pustynię. Przywrócenie tej pustyni dawnej żyzności jest celem gigantycznego projektu inżynieryjnego, zakładającego połączenie Morza Kaspijskiego z Morzem Czarnym kanałem. Główny inżynier projektu szacuje, że w ciągu 40 lat poziomy obu mórz wyrównają się tak, że kanał stanie się żeglowny, a step żyzny."

Scientific American, tom 134, nr 5; maj 1926

eprasa.pl fa61415544

ŚWIAT NAUKI

POLSKA EDYCJA

SCIENTIFIC AMERICAN

W NUMERZE CZERWCOWYM

W USA z powodu chorób układu krążenia umiera każdego roku około 920 tys. osób, mimo że u jednej czwartej nie wystąpiły wcześniej tradycyjnie uznawane czynniki ryzyka, takie jak wysokie ciśnienie krwi. Nowe badania wskazują, że prawdziwym winowajcą może być stan zapalny – nadmierna reakcja układu odpornościowego prowadziącą do zatykania naczyń krwionośnych. Istnieje już lek, który może temu zapobiegać. O tym w kolejnym numerze,

a ponadto:

Czy nowy rodzaj magnesu zrewolucjonizuje komputery?

Zagłada słodkowodnych małży

Dlaczego kredowe wymieranie przetrwały tylko ptaki?

RAPORT SPECJALNY

Naukowo o luksusie

Prócz tego m.in.:

Jak ocenia człowiek, a jak AI

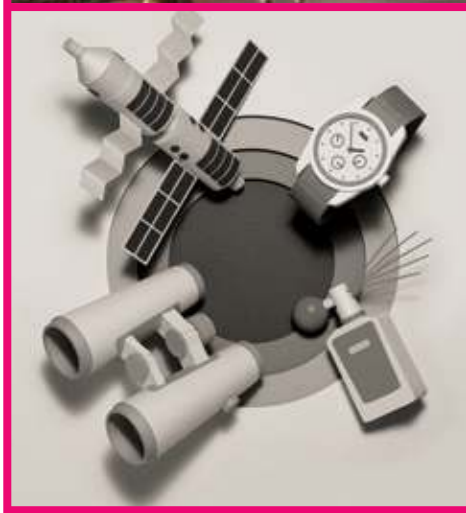
Ogólnoziemskie ucho

Nowe spojrzenie na ewolucję języka

Jak rozumuje serce

Nadprzewodnik ciepła

INNI OPISUJĄ NAUKĘ.
NASI AUTORZY JĄ TWORZĄ.

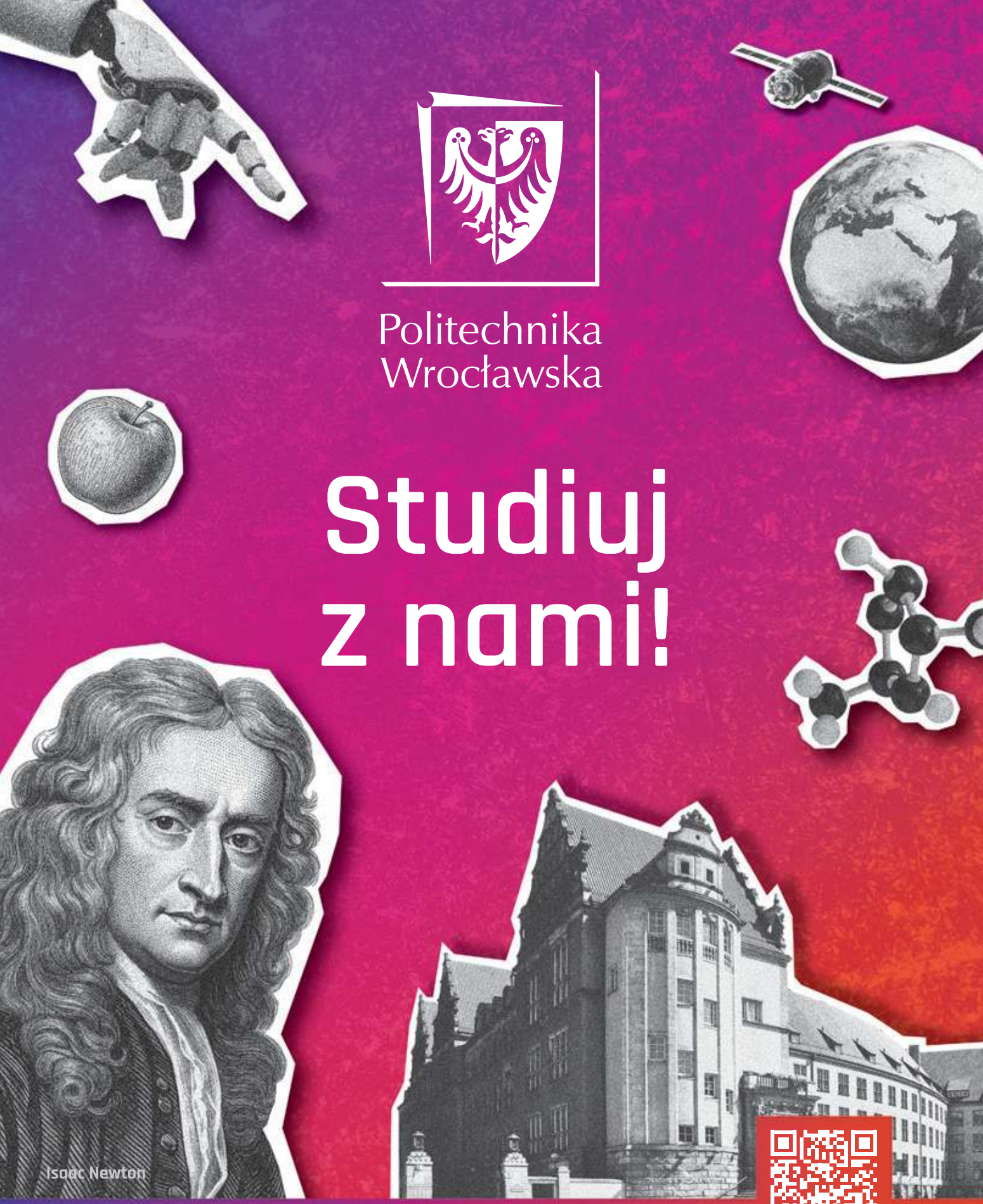


„Świat Nauki" w wersji cyfrowej: www.projektpulsar.pl

Prenumerata papierowa: www.sklep.polityka.pl/sn

W kioskach numer czerwcowy dostępny od 27 maja

eprasa.pl fa61415544



eprasa.pl fa61415544