ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
swiatnauki.pl • projektpulsar.pl

SCIENTIFIC AMERICAN

Wrzesień 2026 nr 9 (421)
Cena 21 zł (w tym 8% VAT)

Największa zagadka współczesnej matematyki

Ostatni wywiad z Craigiem Venterem

Pokolenie Z – jakie jest naprawdę?

NOCNE PRANIE MÓZGU

Jak zdrowy sen zapobiega demencji

ŚWIAT NAUKI 09/2026

ASTRONOMIA

Miał szpiegować. Teraz będzie szukać ciemnej materii i energii

INDEKS 378194
ISSN 0867-6380
09>
9 770867 638609

Politechnika
Wrocławska

Studiuj z nami!













Isaac Newton



rekrutacja.pwr.edu.pl

eprasa.pl 9667b7543e

POLSKA EDYCJA
ŚWIAT NAUKI
SCIENTIFIC AMERICAN

WRZESIEŃ 2026
NUMER 9 (421)

NEURONAUKA
24 SPRZĄTANIE MÓZGU
Usuwanie odpadów to jedna z podstawowych funkcji snu – i może chronić przed demencją.
LYDIA DENWORTH

ASTROFIZYKA
32 NIEOCZEKIWANA ZMIANA... FUNKCJI
Dawny teleskop przeznaczony do szpiegowania jest teraz potężnym narzędziem NASA mającym badać tajemnice ciemnej energii i ciemnej materii.
JONATHAN O'CALLAGHAN

SOCJOLOGIA
40 TO JAK W KOŃCU JEST Z TYMI DZIEĆMI?
Prawdopodobnie znacznie lepiej, niż sądzimy.
MELINDA WENNER MOYER

MATEMATYKA
46 NAJSTRASZNIEJSZY PROBLEM MATEMATYCZNY
Najważniejsza zagadka współczesnej matematyki pozostaje nierozwiązana od prawie 170 lat, choć za jej rozwiązanie ustanowiono nagrodę miliona dolarów. Dlaczego mało kto próbuje się z nią mierzyć?
JOSEPH HOWLETT

EKOLOGIA
52 KRONIKA ROZPADU
Badania rozkładających się od czterech dekad pni ściętych drzew ujawniają nieznane wcześniej biologom procesy. Obserwacje zaplanowano na 200 lat.
STEPHEN ORNES

EKOLOGIA
62 TAJEMNICA ZNIKAJĄCYCH MIĘCZAKÓW
Dlaczego amerykańskie małże słodkowodne znalazły się na skraju zagłady?
ROBERT KUNZIG

Ilustracja DTAN Studio

ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
SCIENTIFIC AMERICAN

WRZESIEŃ 2026
NUMER 9 (421)

6 SIŁA MYŚLI
Wyostrzyć pamięć
JANE ASPELL I UTKARSH GUPTA

7 ZDROWIE
Jak chronić mięśnie
LORI YOUMSHAJEKIAN

10 SKANER
Najstarsi zwierzęcy przodkowie ◆ Bić się jak szympans z szympansem ◆ Metropolitarna meteorologia ◆ Ziemski hamulec ◆ Bez słodkości nie ma miłości ◆ Pod wodą jak na orbicie ◆ Same geny nie wystarczą

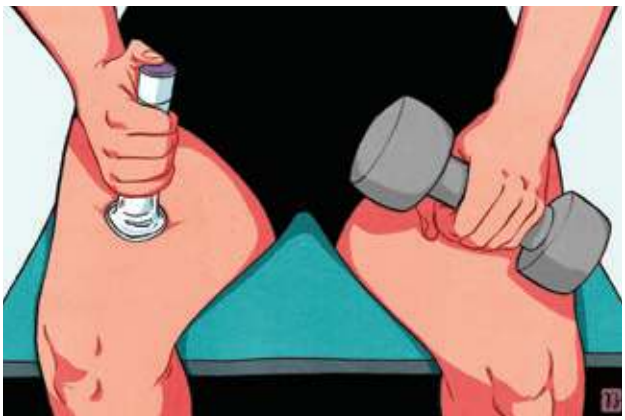
19 Q&A
Jeśli boisz się ryzyka, nie wybieraj zawodu naukowca
JEANNA BRYNER

22 WSZECHŚWIAT
Niewidoczny kosmos
PHIL PLAIT

72 TECHNIKA I BIZNES
AI pomaga w dysleksji
DENI ELLIS BÉCHARD

76 UMYSŁ GIĘTKI
Dodawanie słów
MAREK PENSZKO

80 Z ARCHIWUM „SCIENTIFIC AMERICAN”
Zamiast broni prąd ◆ Nie zawsze samce ssaków są większe ◆ Nowe spojrzenie w kosmos ◆ Prawie 1000 stron o astronomii ◆ To proste – dwie półkule, dwie osobowości ◆ Wyjście ewakuacyjne dla koni


8
Ilustracja Jay Bendt


11
Ilustracja Alex Boersma


72
Ilustracja Martin Gee

OKŁADKA



Gdy śpimy, w naszej głowie uruchamia się niezwykle zaawansowany proces sprzątania. Odkryty niedawno układ glimfatyczny działa jak nocna myjnia – dosłownie przepłukuje tkankę nerwową płynem mózgowo-rdzeniowym i usuwa toksyny. Czy więc głęboki sen może zapobiegać chorobom neurodegeneracyjnym?

Ilustracja agsandrew/Shutterstock.com

Polska wersja okładki Jolanta Kotas

eprasa.pl 9667b7543e

PRENUMERATA „ŚWIATA NAUKI”

ŚWIAT NAUKI SCIENTIFIC AMERICAN

Prenumeruj druk



KUP TERAZ

Prenumerata roczna
210 zł

Prenumerata półroczna
110 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
299 zł

Prenumerata półroczna
169 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
339 zł

Prenumerata półroczna
189 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? **prenumerata@swiatnauki.pl**

sklep.polityka.pl

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

eprasa.pl 9667b7543e

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 **Jeanna Bryner**
Director of Editorial Eontent **Seth Fletcher**
Copy Director **Maria-Christina Keller**
Chief Art Director **Maria Amador**
Chief of Reporters **Clara Moskowitz**
Chief Special Projects Editor **Megha Satyanarayana**
Breaking News Chief **Claire Cameron**

President **Kimberly Lau**
Publisher and Vice President **Jeremy A. Abbate**
Vice President, Product and Technology **Dan Benjamin**

Management by LabX Media Group, Inc.
Chairman **Bob Kafato**
President **Chris Pauze**

Szanowni Czytelnicy,

od bieżącego numeru cena egzemplarzowa miesięcznika „Świat Nauki" wynosi 21 zł. Zmiana ta jest konsekwencją wzrostu kosztów wydawania pisma.

W związku z rosnącymi kosztami działalności od 1 września zmianie ulegną również ceny prenumeraty. Roczna prenumerata „Świata Nauki" będzie kosztować 210 zł, a półroczna 110 zł.

Ofertę prenumeraty papierowej znajdą Państwo na stronie **www.sklep.polityka.pl.**

Zachęcamy również do korzystania z cyfrowego wydania „Świata Nauki", dostępnego w ramach subskrypcji portalu popularnonaukowego Pulsar (**www.projektpulsar.pl**). Subskrypcja obejmuje dostęp do bieżących i archiwalnych numerów „Świata Nauki" w formacie PDF, a także do wszystkich artykułów z miesięcznika „Wiedza i Życie".

Wydawca „Świata Nauki"

Drodzy Państwo,

w bieżącym numerze proponujemy wiele ciekawych tematów. Okazuje się na przykład, że sen jest ważniejszy, niż dotychczas sądzono – to czas czyszczenia mózgu w sensie dosłownym (*s. 24*). Niewykluczone, że zaburzenia tego nocnego sprzątania są odpowiedzialne za chorobę Alzheimera.

Kolejny artykuł opisuje dość nietypowe losy teleskopu Nancy Grace Roman, który, jeśli wszystko dobrze pójdzie, powinien już za chwilę znaleźć się w kosmosie (*s. 32*). Jego obecnym zadaniem ma być poszukiwanie ciemnej materii i ciemnej energii, a także egzoplanet, natomiast pierwotnie przeznaczony był do... szpiegowania.

Mamy początek roku szkolnego i wracają problemy z dzieciakami. Co to za pokolenie... Cóż z nich wyrośnie... Czy naprawdę są powody, by się martwić? (*s. 40*)

Łamać głowę można sobie nad czymś innym – wciąż (od 170 lat) nierozwiązanym problemem matematycznym. Choć za udowodnienie hipotezy Riemanna wyznaczono nagrodę miliona dolarów, matematykom jest już wszystko jedno – chcą po prostu poznać odpowiedź, nawet gdy dostarczy jej sztuczna inteligencja (*s. 46*).

Problemy naukowe czekające dziesiątki lat na rozwiązanie to wcale nie taka rzadkość. Inaczej jest jednak z eksperymentami – tu przyjmuje się zwykle krótsze zakresy. Nietypowy jest więc projekt polegający na obserwacji rozkładu powalonych drzew. Jego pomysłodawca zaplanował doświadczenie na 200 lat! (*s. 52*)

Na koniec polecam tekst o kolejnej enigmie – w Ameryce Północnej znikają z rzek i strumieni słodkowodne małże (*s. 62*) . Tym razem za tym wymieraniem prawdopodobnie nie stoi człowiek. Nie znaczy to jednak, że słodkowodnych małżów ludzie nie wykorzystywali. Smakują ponoć nieszczególnie, ale jakie z ich muszli można wytwarzać piękne guziki!

Życzę Państwu przyjemnej 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 STALI WSPÓŁPRACOWNICY

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.

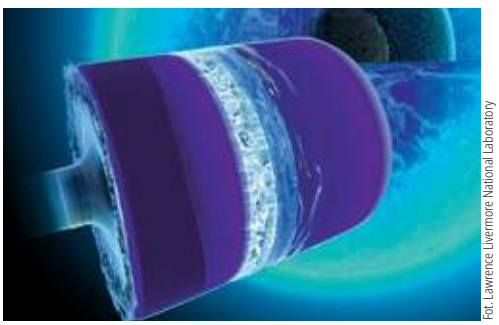
eprasa.pl 9667b7543e

Kosmiczny lód VII

Naukowcy z UW badają lód z wnętrza ciał planetarnych

Ponad 20 odmian lodu, ekstremalne ciśnienie i totalny brak reguł. Woda w kosmosie rządzi się własnymi prawami. Kryje w sobie fascynujący, mikroskopijny chaos. Badacze z Uniwersytetu Warszawskiego dowodzą, że lód VII nie jest tak idealnie uporządkowany, jak zakładano.

Woda to jedna z najpowszechniej występujących substancji chemicznych we Wszechświecie. Spotyka się ją zwykle w stanie stałym. We wnętrzu niektórych ciał niebieskich prym wiedzie lód VII, który powstaje pod ekstremalnie wysokim ciśnieniem (20 tysięcy do 900 tysięcy razy większym niż ciśnienie atmosferyczne). Odmiany lodu, oznaczane cyframi rzymskimi, różnią się tym, w jaki sposób cząsteczki wody układają się w ciele stałym.



Fot. Lawrence Livermore National Laboratory

Artystyczna wizja powstawania lodu VII.

Zwykły lód topi się na dłoni. Lód VII, pod odpowiednio ogromnym ciśnieniem, może pozostać ciałem stałym nawet w temperaturze kilkuset °C! Badanie tego lodu jest istotne dla zrozumienia budowy wnętrz ciał planetarnych, a także dla samej nauki o materii. Wykorzystując strumienie neutronów oraz zaawansowane metody modelowania komputerowego, badacze z Wydziału Chemii Uniwersytetu Warszawskiego pod kierownictwem prof. dra hab. Krzysztofa Woźniaka oraz dra hab. Wojciecha Sławińskiego, wraz z naukowcami z USA i Wielkiej Brytanii, zajrzeli w głąb lodowej sieci krystalicznej.

Co kryje głębia?

Zobaczyli tam ukryty lokalny nieład, który przeczy dotychczasowym teoriom, że struktura wody w stanie stałym jest prosta i idealnie symetryczna. Z bliska widać drobne przesunięcia i lokalny nieład, którego klasyczne modele nie potrafiły wychwycić. – *Pokazujemy, że w lodzie VII nie ma idealnie uporządkowanych wiązań wodorowych. Każda cząsteczka wody oddziałuje z sąsiadami nieco inaczej, dlatego lokalne otoczenie atomów nie jest identyczne* – tłumaczy prof. Woźniak.

Badania strukturalne, a w tym przypadku badania dyfrakcji neutronowej, mogą dostarczyć informacji o tym, w jaki sposób każda pojedyncza cząsteczka zajmuje miejsce względem swojej sąsiadki.

Prace badawcze zespołu z UW były prowadzone z wykorzystaniem ciężkiej wody, co oznacza, że wodór w cząsteczce H_2O zastąpiono deuterem (D – pod względem reaktywności chemicznej różnice są niemal niezauważalne). – *D_2O ma znacznie niższe rozpraszanie niekoherentne, dzięki temu 30–40 razy lepiej mierzy się informację strukturalną, jeżeli zamiast wodoru mamy deuter. Izotop ten jest również dwukrotnie cięższy, więc ruchy termiczne atomów D są mniejsze – możemy je lepiej zlokalizować w sieci krystalicznej* – mówi naukowiec.

Badacze następnie umieścili próbkę ciężkiej wody w prasie o nacisku do 40 t i skierowali przez nią strumień neutronów, który przenikał przez jej całą objętość i rejestrował obraz dyfrakcji neutronów na próbce, co po złożonym procesowaniu danych przekłada się na położenie atomów.

Gdy klasyczne metody zawodzą

Powyższa metoda może jednak ukrywać drobne różnice między pojedynczymi atomami – a one właśnie bywają najważniejsze. Dlatego badacze zastosowali dodatkowe metody. Pierwsza pozwoliła sprawdzić odległości pomiędzy parami atomów. Druga polegała na komputerowym modelowaniu struktury lodu VII.

Model obejmował 82 944 atomy.

– *Sprawdzaliśmy też model nawet dziesięć razy większy. Chodziło o to, żeby uniknąć sztucznego powtarzania tych samych układów atomów, które mogłoby zafałszować wynik. W takim modelu nie narzucamy symetrii z góry. Pozwalamy atomom szukać najlepszych pozycji, zgodnych z danymi z dyfrakcji neutronowej. Dopiero potem obliczamy parametry struktury lodu VII* – wyjaśnia badacz.

W lodzie VII widać dwie grupy cząsteczek ciężkiej wody: w jednej atomy deuteru są skierowane w jedną stronę, w drugiej – przeciwnie.

Nieporządek, który ma znaczenie

Dodatkowe obliczenia teoretyczne potwierdziły, że taki lokalny nieład w strukturze lodu VII nie jest błędem pomiaru. Przeciwnie – to układ stabilny i energetycznie korzystny. Lokalna asymetria i subtelny chaos pozwalają strukturze optymalnie zminimalizować napięcia międzyatomowe. W efekcie cały układ staje się znacznie stabilniejszy, niż gdyby był idealnie, wręcz na siłę uporządkowany. – *Krótko mówiąc, badania pokazują, że korzystna energetycznie jest sytuacja braku symetrii. Ta struktura lokalna jest zupełnie inna niż ludziom się wydaje* – dodaje prof. Woźniak.

Woda jest jedną z najważniejszych substancji we Wszechświecie, a lód VII może występować głęboko we wnętrzach ciał planetarnych. To odkrycie poprawia mapę świata, którego na co dzień nie widzimy. Pomaga lepiej rozumieć, jak zachowuje się materia we wnętrzach planet i lodowych księżyców.

UNIWERSYTET WARSZAWSKI | SERWIS NAUKOWY

Artykuł jest częścią cyklu poświęconego badaniom realizowanym na Uniwersytecie Warszawskim.

eprasa.pl 9667b7543e



Wyostrzyć pamięć

Sprawiając, że ludzie czują, jakby ich twarz była młodsza, naukowcy mogą spowodować, że wspomnienia z dzieciństwa stają się wyraźniejsze JANE ASPELL I UTKARSH GUPTA

JEDNĄ Z FRUSTRACJI związanych ze starzeniem się jest to, że niektóre wczesne wspomnienia czasem przygasają i zanikają. Wraz z upływem lat szczegóły słonecznych dni spędzonych w dzieciństwie nad morzem wydają się rozpływać niczym morska piana. Czy istnieje jakiś sposób, by je odzyskać?

Naukowcy nazywają wspomnienia konkretnych faktów i doświadczeń z naszego własnego życia „autobiograficzną pamięcią epizodyczną". Umożliwiają nam one mentalne podróżowanie w czasie do wydarzeń z naszej przeszłości, pozwalając ponownie doświadczać szczegółów tego, co widzieliśmy, słyszeliśmy, smakowaliśmy, czego dotykaliśmy i co wąchaliśmy, a także emocji, które wtedy odczuwaliśmy. Ale co z ciałem, które kiedyś zamieszkiwaliśmy?

W każdej minionej (a także obecnej) chwili nasz mózg otrzymywał bogaty, ciągły strumień wielozmysłowych sygnałów płynących z naszego ciała – w tym tych związanych ze stanem organizmu. Nasze wspomnienia przeszłości powinny więc zawierać informacje o rodzaju ciała, jakie mieliśmy w różnych okresach życia, gdy powstawały poszczególne wspomnienia – choć dotąd zaskakująco niewiele badań poświęcono temu zagadnieniu.

Jako neuronaukowcy zastanawialiśmy się, czy moglibyśmy wykorzystać to połączenie między mózgiem a ciałem, aby ożywić dawno utracone wspomnienia – sprawiając, że ludzie niejako „powrócą do wnętrza" ciał, które mieli w młodszym wieku. W wyjątkowym eksperymencie odkryliśmy, że tymczasowa zmiana postrzeganego przez człowieka własnego ciała wpływa na dostęp do wspomnień z określonych okresów życia. Wykazaliśmy, że subtelna iluzja, w której uczestnicy oglądali dziecięcą wersję własnej twarzy poruszającą się synchronicznie z ich ruchami – tak jak odbicie w lustrze – mogła poprawić zdolność przywoływania wczesnych wspomnień.

Mózg nieustannie monitoruje ciało. Wyspecjalizowane obszary mózgu tworzą mapy jego położenia, kształtu i stanu fizycznego – obejmujące wszystkie informacje zmysłowe. Neuronaukowcy nazywają tę mentalną reprezentację „cielesnym ja" (bodily self). Przez długi czas badacze zakładali, że ta reprezentacja jest stosunkowo niezmienna. Jednak odkrycia z ostatnich kilku dekad pokazują, że cielesne ja jest zaskakująco plastyczne. Mózg

Jane Aspell zajmuje się neuronauką poznawczą na Anglia Ruskin University w Anglii. Bada, w jaki sposób mózg tworzy nasze poczucie własnego „ja".

Utkarsh Gupta jest neuronaukowcem kognitywnym na University of North Dakota. Wykorzystuje metody behawioralne, neuroobrazowanie oraz neuromodulację do badania cielesnego „ja", pamięci autobiograficznej, pamięci roboczej, obciążenia umysłowego, uwagi i wielozadaniowości.

Anastasia Sienotova/Getty Images

eprasa.pl 9667b7543e

nieustannie aktualizuje ten obraz w odpowiedzi na to, co człowiek widzi, czuje i słyszy.

Naukowcy mogą celowo zmieniać czyjąś reprezentację własnego ciała, tworząc sytuacje, które oszukują mózg za pomocą niezgodnych ze sobą informacji zmysłowych. W klasycznym eksperymencie z iluzją gumowej ręki człowiek widzi gumową rękę, której ktoś dotyka, i jednocześnie czuje dotyk własnej ręki w tym samym miejscu i czasie. W rezultacie zaczyna odczuwać, jakby sztuczna ręka była częścią jego własnego ciała. Nowsze techniki wykorzystujące rzeczywistość wirtualną pozwalają posunąć się jeszcze dalej. W eksperymentach z iluzją całego ciała uczestnicy mogą odczuwać, jakby mieli zupełnie inne ciało. Z kolei w iluzji twarzy (enfacement illusion) mogą przez chwilę doświadczać innej twarzy jako własnej.

Łącznie te zmiany pokazują, że nasze poczucie cielesnego „ja" nie jest ustalone. Możemy je zmodyfikować – przynajmniej na krótki czas – poprzez zmianę informacji, które otrzymuje mózg.

W naszym badaniu wykorzystaliśmy ten fakt, aby sprawić, że ludzie poczują się młodsi. Zaprosiliśmy 50 zdrowych dorosłych osób do udziału w internetowym eksperymencie, w którym wykorzystaliśmy iluzję twarzy, aby wywołać poczucie, że jest się młodszym. Uczestnicy oglądali na ekranie obraz wideo przedstawiający w czasie rzeczywistym ich własną twarz.

Połowa z nich widziała swoją twarz całkowicie niezmienioną. Druga połowa oglądała młodszą, dziecięcą wersję siebie, stworzoną za pomocą filtra obrazu.

Kiedy uczestnicy poruszali głową na boki, obserwując zsynchronizowany z ich ruchami obraz, zwykle doświadczali silnej iluzji, że młodsza twarz rzeczywiście należy do nich.

Po wykonaniu ruchów głową i obejrzeniu obrazu uczestnicy zostali poproszeni o przypomnienie sobie wspomnień z dzieciństwa lub niedawnej przeszłości tak szczegółowo, jak to możliwe. Następnie zadaliśmy im serię pytań dotyczących tych wspomnień (co nazwaliśmy wywiadem dotyczącym pamięci autobiograficznej). Po zebraniu odpowiedzi dwóch oceniających – którzy nie wiedzieli, w jakich konkretnych warunkach uczestnicy znajdowali się przed podzieleniem się wspomnieniami – oceniło te odpowiedzi za pomocą skali liczbowej określającej, jak bogate były opisane wspomnienia. Chociaż nie wiemy, jak dokładna była relacja badanych, ta metoda wywiadu nadal zapewniła nam solidny sposób porównania wyrazistości wspomnień różnych osób.

Odkryliśmy, że badani przypominali sobie znacznie więcej szczegółów wspomnień z dzieciństwa po obejrzeniu swojej młodszej twarzy niż niezmienionej. Uczestnicy eksperymentu przedstawiali bogatsze i żywsze opisy, obejmujące wspomnienia konkretnych miejsc, emocji oraz doznań zmysłowych. Efekt ten występował wyłącznie w przypadku wspomnień z dzieciństwa, a nie wspomnień niedawnych, co świadczy, że iluzja sięga do głębokich powiązań między reprezentacją ciała a wspomnieniami zakorzenionymi w przeszłości.

Wyniki wskazują na fascynującą możliwość: mózg nie przechowuje informacji związanych z przeszłymi wydarzeniami jedynie jako surowych doznań, lecz także łączy je ze wspomnieniami ciała, które dana osoba miała w chwili, gdy te wydarzenia się rozgrywały.

Ponieważ zmiana postrzegania własnego ciała może zwiększyć dostęp do starszych wspomnień, można argumentować, że cielesne „ja" nie jest jedynie tłem dla pamięci, lecz stanowi fundament tego, jak wspomnienia są zapisywane i organizowane w mózgu.

Badania te to nie jedynie ciekawa sztuczka poprawiająca pamięć. Na bardziej fundamentalnym poziomie sugerują głębokie splecenie ciała i naszego poczucia własnej tożsamości – pokazują, że przemiany, którym podlega nasze ciało w czasie, nie są oddzielone od naszej psychicznej ewolucji.

W przyszłych eksperymentach można zbadać strategie wspierające osoby mające trudności z dostępem do wspomnień – na przykład ludzi z demencją lub po urazach mózgu. Jeśli mózg łączy wczesne wspomnienia z reprezentacją ciała, ukierunkowane iluzje lub interwencje sensoryczne mogłyby pewnego dnia pomóc w terapeutycznym odzyskiwaniu wspomnień.

Wspomnienia nie są prostymi, odizolowanymi zbiorami danych przechowywanymi w mózgu. Są złożonymi reprezentacjami powiązanymi z postrzeganiem własnego ciała przez człowieka w różnych okresach życia. Ponowne połączenie się z ciałem z przeszłości może pozwolić otworzyć drzwi do wspomnień, które nas ukształtowały. ■

Jak chronić mięśnie

Odchudzanie się może wpływać na zmniejszenie masy mięśniowej, co jest groźne szczególnie dla seniorów. Nowe leki mogą temu zapobiec

LORI YOUMSHAJEKIAN

LEKI TAKIE JAK Wegovy i Ozempic mogą prowadzić do spektakularnej utraty masy ciała, ale z organizmu znika nie tylko tłuszcz. Około 25–40% kilogramów utraconych dzięki tym terapiom stanowi beztłuszczowa masa ciała, w tym mięśnie. Ten niepożądany skutek niepokoi szczególnie osoby starsze, które i tak zmagają się z postępującą wraz z wiekiem utratą masy mięśniowej, co zwiększa ryzyko upadków i złamań kości. Zachowanie masy mięśniowej ma jednak znaczenie również dla ludzi młodych: im więcej mięśni mamy po trzydziestce, tym więcej zachowamy po sześćdziesiątce. Utrata nawet niewielkiej ilości mięśni może zwiększać ryzyko różnych problemów zdrowotnych, takich jak pogorszenie sprawności fizycznej i funkcji metabolicznych.

Każda metoda odchudzania – od diet, przez chirurgię bariatryczną, po leki będące agonistami receptora peptydu glukagonopodobnego 1 (GLP-1), takie jak Wegovy – w pewnym stopniu prowadzi do utraty mięśni wraz z tkanką tłuszczową. Jednak gwałtowny wzrost popularności leków z grupy GLP-1 skłania naukowców do opracowywania eksperymentalnych preparatów, które mogłyby umożliwić redukcję masy ciała przy niemal całkowitym zachowaniu mięśni.

Mięśnie zapewniają znacznie więcej niż tylko siłę fizyczną. Te pasma włóknistej tkanki są ważnym miejscem magazynowania glukozy i jej metabolizowania. Masa mięśniowa jest także jednym z najlepszych wskaźników pozwalających przewidzieć sprawność ruchową człowieka w późniejszym wieku. Między 20. a 80. rokiem życia tracimy stopniowo około 30% masy mięśniowej. Badania wskazują, że leki z grupy GLP-1 mogą ten proces przyspieszać. Z danych z badań klinicznych nad semaglutydem (agonistą

eprasa.pl 9667b7543e



GLP-1 sprzedawanym m.in. jako Wegovy i Ozempic) oraz tirzepatydem (sprzedawanym jako Zepbound i Mounjaro) wynika, że w ciągu kilku lat od rozpoczęcia leczenia pacjenci mogą utracić tyle masy mięśniowej, ile normalnie ubywa w ciągu około 20 lat starzenia.

Niektórzy badacze podkreślają jednak, że ilość mięśni traconych przez wiele osób podczas terapii GLP-1 jest w przybliżeniu proporcjonalna do utraty masy ciała i sama w sobie nie stanowi problemu zdrowotnego. Osoby starsze mają jednak już wcześniej zmniejszoną masę mięśniową, a jednocześnie stosunkowo często otrzymują recepty na leki z tej grupy. Połączenie tych dwóch czynników może prowadzić do pogorszenia siły i sprawności fizycznej. Ponadto nowe badania, które wciąż oczekują na recenzję naukową, świadczą o istnieniu związku między stosowaniem leków GLP-1 a zwiększonym ryzykiem osteoporozy.

Firmy farmaceutyczne mają silną motywację do znalezienia rozwiązania tego problemu. Eli Lilly, producent leku odchudzającego Zepbound i przeciwcukrzycowego Mounjaro, opracowuje preparat pomagający zachować mięśnie o nazwie bimagrumab. Lek ten blokuje miostatynę – kluczowe białko hamujące wzrost mięśni. Mutacje genu kodującego miostatynę osłabiają działanie tego białka, a zwierzęta rodzące się z takimi zmianami mogą rozwijać wyjątkowo dużą masę mięśniową. Takie mutacje oraz związany z nimi niezwykły rozrost mięśni opisano również przynajmniej u jednego człowieka.

Miostatyna wiąże się z receptorami aktywiny typu II na komórkach mięśniowych, gdzie działa jak „wyłącznik", zatrzymując rozwój mięśni. Bimagrumab blokuje receptory, unieczynniając ten wyłącznik i umożliwiając dalszy wzrost mięśni. Co więcej, działanie leku może wykraczać poza samą tkankę mięśniową. Bimagrumab blokuje również receptory aktywiny typu II na komórkach tłuszczowych, a wydaje się, że prowadzi to do zmniejszenia ilości tkanki tłuszczowej, mówi Steven Heymsfield, specjalista w dziedzinie otyłości i składu ciała z Pennington Biomedical Research Center w Luizjanie. (Heymsfield współpracuje z firmą Eli Lilly jako konsultant i brał udział w badaniach klinicznych nad bimagrumabem).

W badaniu klinicznym II fazy finansowanym przez Eli Lilly i opublikowanym w „Nature Medicine" zespół naukowców kierowany przez Heymsfielda wykazał, że połączenie bimagrumabu z semaglutydem prowadziło w ciągu 72 tygodni do zmniejszenia masy ciała o 22%. Jednak aż 92% utraconej masy stanowił tłuszcz, podczas gdy u osób przyjmujących wyłącznie semaglutyd odsetek ten wynosił 76%. Osoby otrzymujące bimagrumab nie tylko zachowały więcej mięśni niż pacjenci leczeni samym semaglutydem, lecz wręcz wytworzyły nowe włókna mięśniowe. Ponadto uczestnicy przyjmujący oba leki uzyskali największą poprawę siły chwytu dłoni.

Lori Youmshajekian jest dziennikarką popularnonaukową. Pisze o zdrowiu publicznym, ekologii i naukowych nadużyciach. Jej artykuły ukazują się m.in. w „National Geographic", „Wired" i „Retraction Watch".

Nie wszystkie wyniki są jednak równie obiecujące. We wcześniejszych badaniach nad bimagrumabem osoby starsze rzeczywiście zwiększały masę mięśniową, ale nie odnotowano u nich istotnej poprawy siły chwytu, prędkości chodzenia ani wytrzymałości. Zdaniem Dimitrisa Papamargaritisa, badacza otyłości z University of Leicester w Anglii, może to oznaczać, że lek „po prostu powiększa mięśnie, nie przynosząc korzyści w zakresie ich funkcji metabolicznych i sprawności fizycznej".

Obecnie prowadzone są kolejne badania z zastosowaniem tirzepatydu i bimagrumabu.

Naukowcy pracują również nad inną grupą eksperymentalnych leków chroniących mięśnie – tzw. SARM-ami (selective androgen receptor modulators, selektywnymi modulatorami receptora androgenowego).

Te syntetyczne związki zaprojektowano tak, aby aktywowały receptory androgenowe organizmu w sposób podobny do testosteronu – hormonu pobudzającego wzrost mięśni. Testosteron działa jednak w całym organizmie, co może powodować działania niepożądane dotyczące m.in. serca i prostaty. Natomiast SARM-y skonstruowano tak, aby oddziaływały głównie na mięśnie i kości, potencjalnie stymulując rozwój mięśni przy mniejszym ryzyku działań niepożądanych niż testosteron. Przegląd badań opublikowany w 2025 roku wykazał, że stosowanie SARM-ów wiąże się z poprawą sprawności fizycznej i korzystnymi zmianami składu ciała, jednak ich profil bezpieczeństwa nadal pozostaje niejasny.

Do czasu, aż nowe leki zostaną uznane za bezpieczne i skuteczne w kolejnych badaniach klinicznych z udziałem ludzi, trening oporowy oraz odpowiednia podaż białka pozostają najlepiej udokumentowanymi metodami ochrony mięśni – podkreśla Ian Neeland, kardiolog i specjalista w dziedzinie otyłości z Case Western Reserve University. „Zdecydowana większość osób starszych bardzo dobrze toleruje leki z grupy GLP-1" – mówi. Jednocześnie Neeland zaleca, aby osoby przyjmujące te preparaty spożywały około 1,2–1,6 g białka na kilogram masy ciała dziennie, czyli mniej więcej dwukrotnie więcej, niż wynoszą standardowe zalecenia. Radzi również, aby około jedną trzecią całkowitego czasu przeznaczonego na aktywność fizyczną stanowiły ćwiczenia siłowe. ■

Ilustracja Masha Foya

eprasa.pl 9667b7543e

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



KATARZYNA SZNAJD-WERON:
O ruchach ciał społecznych



Zaprenumeruj nas:
projektpulsar.pl

eprasa.pl 9667b7543e

SKANER

PALEONTOLOGIA

Skamieniałości z głębi czasu

Naukowcy odkryli jedne z najstarszych zdolnych do lokomocjii rozmnażających się płciowo stworzeń



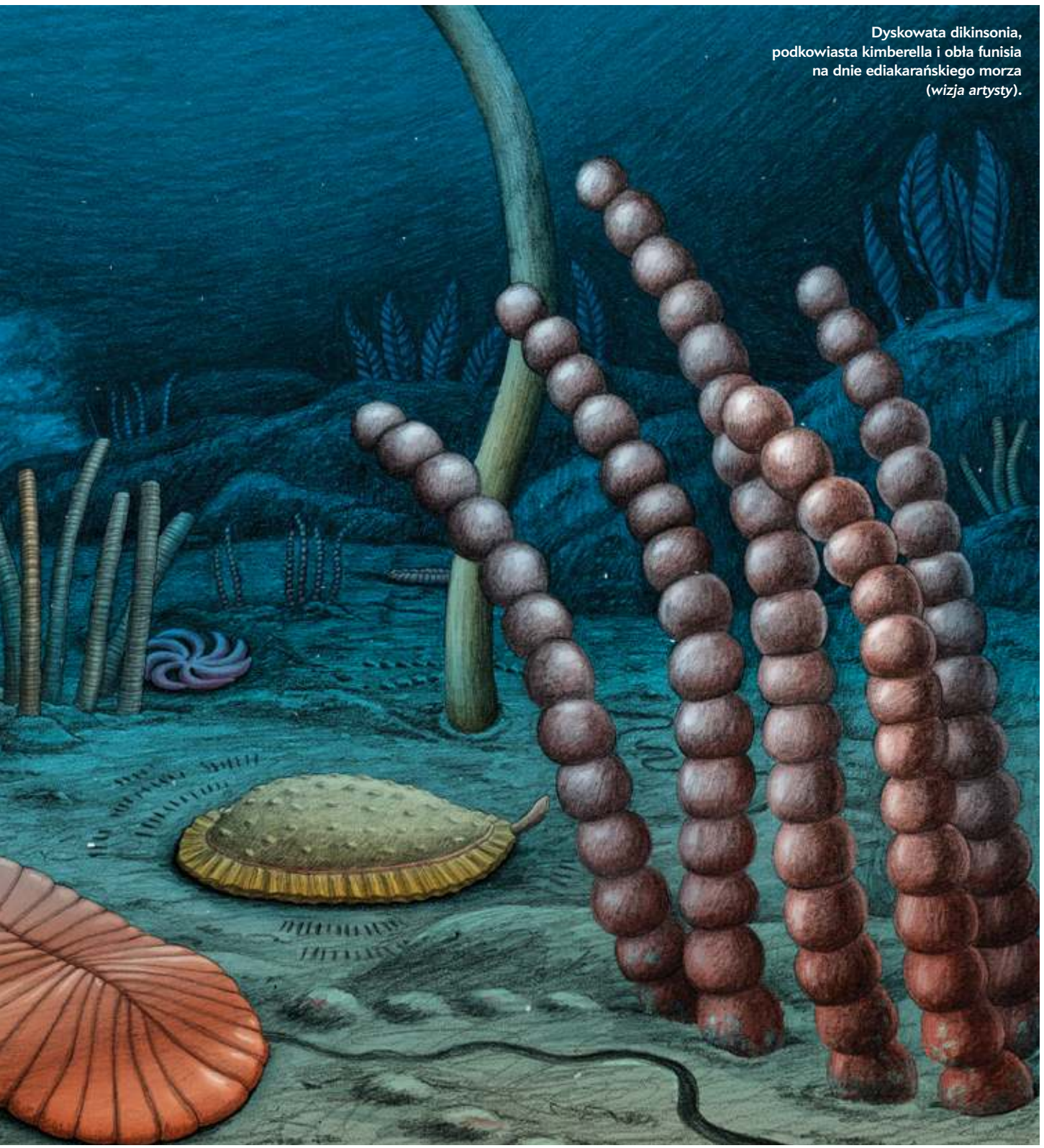
DZIŚ NAD TYM ODLUDNYM REGIONEM Terytoriów Północno-Zachodnich Kanady wznoszą się pokryte wiecznym śniegiem szczyty. Ale ponad pół miliarda lat temu te pustkowia znajdowały się na dnie morza i były zamieszkane przez osobliwe stwory, niektóre podobne do pofałdowanych pierogów, inne do postrzępionych liści paproci lub eleganckich spirali. A wszystkie należały do najwcześniejszych złożonych form życia na Ziemi.

Naukowcy niedawno odkryli ten skarbiec ze skamieniałościami, które zmieniają chronologię wydarzeń prowadzących do pojawienia się wspomnianych przedziwnych stworzeń na scenie ewolucyjnej. Te nowe skamieniałości, opisane w „Science Advances", wskazują również, że to głębiny, a nie płycizny, mogły być kolebką złożonego życia.

Odkryte w kanadyjskich górach Mackenzie pochodzą sprzed 567 mln lat i dają rzadki wgląd w okres geologiczny zwany ediakarem, który zakończył się tuż przed kambryjską eksplozją różnorodności biologicznej. Aby do nich dotrzeć, główny autor badania Scott Evans, paleontolog z American Museum of Natural History, i jego współpracownicy najpierw odbyli 14-godzinną podróż samochodem, a następnie na miejsce polecieli helikopterem.

Skamieniałości, wiele zachowanych w postaci dokładnych odcisków na pokrytych brudnym mułem płytach skalnych, wynagrodziły trudy podróży. W sumie badacze zebrali ponad 100 okazów zagadkowych, nieopancerzonych stworzeń, które jako pierwsze osiągnęły chyba ważne kamienie milowe ewolucji znanego nam życia. W porównaniu ze znaleziskami z wcześniejszych etapów ediakaru, organizmy te „przypominają nieco bardziej

eprasa.pl 9667b7543e



Dyskowata dikinsonia, podkowiasta kimberella i obła funisia na dnie ediakarańskiego morza (*wizja artysty*).

Ilustracja Alex Boersma

eprasa.pl 9667b7543e

zwierzęta, które znamy – mówi Evans. – Potrafiły aktywnie się przemieszczać, a niektóre z nich rozmnażały się płciowo". Wśród tych wczesnych włóczęgów znajdowała się przypominająca frisbee *Dickinsonia*, pozbawiona otworu gębowego i wciągająca glony od spodniej strony ciała, oraz łezkowatego kształtu *Kimberella*, zeskrobująca pożywienie z twardego dna i być może spokrewniona z dzisiejszymi mięczakami. Stanowisko dostarczyło również skamieniałości rurkowatych organizmów znanych jako *Funisia*, przypominających gąbki, które były jednymi z pierwszych złożonych stworzeń rozmnażających się płciowo. Naukowcy uważają, że formy te wypuszczały plemniki i komórki jajowe do toni wodnej, tak jak robią to dzisiejsze koralowce.

Są to jedne z najstarszych skamieniałości istot o takim stopniu skomplikowania. Odkrycie „rozciąga historię wczesnych zwierząt w czasie" – mówi Mary Droser, paleontolożka z University of California w Riverside, która nie brała udziału w powstaniu artykułu, ale jej nazwisko znalazło się w podziękowaniach za dyskusje, które przeprowadziła z autorami. Droser zauważa, że zwierzęta ediakarańskie od dawna dzielono na odrębne grupy, poczynając od prostych, osiadłych stworzeń bentonicznych, które około 559 mln lat temu zostały zastąpione przez organizmy bardziej złożone i bardziej mobilne. Nowe odkrycie wskazuje, że te grupy żyły obok siebie przez miliony lat.

Lokalizacja skamieniałości dostarcza kluczowych wskazówek na temat środowiska, które miało okazać się kolebką tych najwcześniejszych zwierząt. Na podstawie charakteru skał z odciskami, na których nie zachowały się ślady fal, badacze sądzą, że obszar ten znajdował się kiedyś na dnie oceanu.

Mamy więc kolejne, i bardzo ważne stanowisko paleontologiczne, które dostarcza przekonujących dowodów, że początków zwierzęcego życia szukać trzeba w środowiskach głębinowych, mówi paleontolożka z Yale University Lidya Tarhan, która nie uczestniczyła w omawianej pracy. Tarhan zauważa, że opisywane skamieniałości potwierdzają wcześniejsze hipotezy, zgodnie z którymi życie stopniowo przenosiło się z głębin na płycizny, co „bynajmniej nie jest oczywiste w ewolucyjnej historii zwierząt".

Chociaż wiecznie zimne i ciemne głębie oceaniczne mogą wydawać się niegościnne, Evans zauważa, że obszary te charakteryzują się mniejszymi wahaniami temperatury i dostępności tlenu niż środowiska płytkich wód. „Ta stabilność mogła zdecydowanie sprzyjać stawianiu pierwszych kroków w ewolucji zwierząt – mówi Evans. – Jeśli nie musisz martwić się, co cię czeka przy kolejnym kroku, możesz spokojnie wyruszyć w drogę".

Jack Tamisiea

ETOLOGIA

„My" kontra „oni"

Jak rozpętała się małpia wojna domowa

NAJWIĘKSZA ZNANA NA ŚWIECIE grupa szympansów niedawno uwikłała się w śmiertelny konflikt. Podobnie jak w przypadku klasycznej wojny domowej grupa rozpadła się na dwie części. Następnie członkowie jednej frakcji zaczęli zabijać dawnych członków grupy należących do drugiej strony – piszą badacze w czasopiśmie „Science". „To niezwykle rzadkie wydarzenie: naukowcy szacują, że społeczności szympansów dzielą się średnio raz na 500 lat.



„Ta praca to prawdziwy *tour de force*" – mówi Joseph Feldblum, antropolog ewolucyjny związany z Duke University, który nie uczestniczył w badaniu.

Badanie opierało się na danych zbieranych przez trzy dekady, począwszy od 1995 roku, w Parku Narodowym Kibale w Ugandzie, gdzie żyją szympansy Ngogo – społeczność licząca około 200 osobników. Relacje społeczne koncentrują się tu wokół dwóch głównych grup, nazwanych klastrem centralnym i zachodnim. Przez dziesięciolecia tworzyły one jedną społeczność: szympansy dzieliły terytorium, zmieniały swoje typowe przynależności do klastrów, a czasami dochodziło też do kojarzenia się osobników z obu grup – aż do 2015 roku, mówi główny autor badania Aaron Sandel, prymatolog z University of Texas w Austin.

24 czerwca tego roku Sandel obserwował szympansy Ngogo, kiedy grupa osobników z zachodu zbliżyła się do grupy centralnej. Zazwyczaj obie grupy mieszały się ze sobą, a następnie rozchodziły. Tym razem jednak szympansy z zachodu ucichły, gdy usłyszały swoich pobratymców z grupy centralnej. Potem zaczęły uciekać, a grupa centralna ruszyła za nimi w pościg.

„Nigdy wcześniej nie zaobserwowano czegoś podobnego" – mówi Sandel. Nawet jego kolega John Mitani, ekolog behawioralny z University of Michigan, który przez dwie dekady badał szympansy, nie

Ilustracja Chiara Morra

eprasa.pl 9667b7543e

wiedział, jak interpretować to starcie. A Mitani „rzadko jest zaskoczony ich zachowaniem” – dodaje Sandel.

Klastry zaczęły się rozdzielać zarówno geograficznie, jak i społecznie. W 2017 roku obie grupy zajmowały już całkowicie odrębne terytoria i patrolowały granice, strzegąc ich przed intruzami. W następnym roku doszło do śmiertelnej przemocy.

Jak wynika z artykułu, w latach 2018–2024 badacze byli świadkami zabicia przez dorosłe osobniki z grupy zachodniej siedmiu samców i 17 młodych z grupy centralnej. W tym samym okresie zaginęło kolejnych 14 dorastających lub dorosłych samców z grupy centralnej, a ich ciał nigdy nie odnaleziono. Samce te nie wykazywały oznak choroby, więc przynajmniej część z nich również mogła paść ofiarą agresji ze strony grupy zachodniej.

Zespół Sandela udokumentował co najmniej dwa kolejne ataki na samce z grupy centralnej od czasu zakończenia analizy danych wykorzystanych w tym badaniu w 2024 roku.

Autorzy twierdzą, że przyczyną rozpadu grupy było załamanie się relacji społecznych. Sandel podejrzewa, że więzi te zostały nadwyrężone przez wyjątkowo dużą liczebność grupy, rywalizację o pożywienie i możliwość rozmnażania się, zmiany wśród samców alfa oraz choroby, które zabiły dorosłe osobniki odgrywające kluczową rolę w łączeniu obu klastrów.

Podobny rozłam nastąpił w Parku Narodowym Gombe w Tanzanii w latach 70. Nieżyjąca już prymatolożka Jane Goodall zaobserwowała tam, że kilka szympansów odłączyło się od grupy i utworzyło nową społeczność, a dawni członkowie grupy później wiele z nich zabili.

Podobne wydarzenia poprzedziły tamten rozłam: koncentracja relacji społecznych w obrębie poszczególnych grup, wzrost rywalizacji reprodukcyjnej, pojawienie się nowych samców alfa oraz śmierć kilku samców, które łączyły poszczególne części społeczności. Ponieważ jednak ludzie często dawali szympansom z Gombe banany, niektórzy prymatolodzy mieli wątpliwości, czy rozpad tej społeczności był zachowaniem naturalnym.

„To pierwszy przypadek, w którym można z całą pewnością powiedzieć, że rzeczywiście dochodzi do wojny domowej” – mówi Sandel.

Teraz chce on zrozumieć, czy relacje społeczne napędzają konflikty u ludzi w taki sam sposób, jak u naszych najbliższych żyjących krewnych.

Jedna z najważniejszych teorii głosi, że źródłem wojen są różnice kulturowe, takie jak pochodzenie etniczne, język czy religia. Działania na rzecz pokoju, takie jak dyplomacja, koncentrują się na zasypywaniu tych podziałów. Jeśli jednak – podobnie jak u szympansów – radzenie sobie z konfliktami sprowadza się do utrzymywania przyjaznych i inkluzywnych sieci społecznych, to działania te mogą pomijać najważniejszą kwestię, mówi Sandel. Chodzi nie tylko o rozumienie kultur innych grup, lecz także o pielęgnowanie przyjaźni, które je ze sobą łączą.

„Musimy utrzymywać relacje międzyludzkie – mówi. – W naszym codziennym życiu, w kontaktach z ludźmi, jeśli potrafimy się ponownie zjednoczyć – nawet w obliczu konfliktu – to, jak sądzę, jest to recepta na utrzymanie pokoju”.

Jason P. Dinh

REKLAMA

PULSAR – SERWIS POPULARNONAUKOWY POLITYKI ZAPRASZA

Anatomia brainrotu. Jak portale społecznościowe wpływają na jednostki i społeczności?

Eksperci: dr Dominika Czerniawska-Szejda, socjolożka z UW,
oraz prof. Wojciech Kulesza, psycholog społeczny z USWPS.
Prowadzenie: Katarzyna Czarnecka, redaktorka naczelna pulsara

20 września 2026 (niedziela), godz. 17
Wydział Fizyki UW
ul. Pasteura 5, aula 0.03
Wstęp wolny.



Patroni medialni: POLITYKA SCIENTIFIC AMERICAN pulsar wiedza i życie

eprasa.pl 9667b7543e



Burza nad Denver

METEOROLOGIA

Miejska pogoda

Wysoka, gęsta zabudowa może wzmacniać burze – albo je osłabiać

BETONOWE DŻUNGLE potrafią same tworzyć deszcz albo sprawiać, że zaniknie – i nie potrzeba do tego żadnych dziecięcych rymowanek o pogodzie. Niedawne badanie, uwzględniające 40 tys. burz z ulewami, jakie wystąpiły w czterech miastach Teksasu, wykazało, że miejska zabudowa w różny sposób wpływa na poszczególne typy tych zjawisk pogodowych. Pomogło to wyjaśnić, dlaczego miasta czasami otrzymują więcej deszczu niż otaczające je tereny, a innym razem mniej. Odkrycie może przyczynić się do dokładniejszego prognozowania opadów na obszarach miejskich, zwłaszcza w przypadku ekstremalnych ulew prowadzących do powodzi i innych pogodowych kataklizmów.

Aby wykryć te zależności, główna autorka badań Xinxin Sui, hydroklimatolożka z Colorado School of Mines, wraz ze współpracownikami skrupulatnie wyodrębniła i sklasyfikowała poszczególne burze, wykorzystując dane radarowe wysokiej rozdzielczości z 23 lat obserwacji. Analizowano przebieg i intensywność każdej burzy. W przeciwieństwie do pomiarów opartych na ilości spadłego deszczu czy obrazach satelitarnych obserwacje radarowe pozwalają na trójwymiarowe odwzorowanie intensywności opadów, dzięki czemu naukowcy mogą – jak mówi Sui – „zobaczyć całą strukturę zjawiska burzowego". Wyniki badań opublikowano w „Nature".

Badacze stwierdzili, że krótkotrwałe, lokalne burze występują częściej nad miastami i przynoszą tam więcej opadów, szczególnie nocą oraz w dni robocze. Zjawisko to wiąże się z dynamiką miejskiej wyspy ciepła. Miasta są cieplejsze od otaczających je terenów, ponieważ beton i inne powierzchnie miejskie pochłaniają oraz magazynują więcej energii słonecznej, co przyspiesza rozwój burz. Dodatkowo w dni robocze drobiny zanieczyszczeń atmosferycznych emitowanych przez zakłady produkcyjne oraz pojazdy osób dojeżdżających do pracy sprzyjają powstawaniu większej liczby chmur burzowych.

Inaczej zachowują się burze związane z frontami chłodnymi, powstające wtedy, gdy chłodne powietrze napływa nad obszar zajęty przez cieplejsze masy. Podczas przechodzenia nad miastami takie fronty wyraźnie słabną, prawdopodobnie dlatego, że gęsto skupione budynki działają niczym źródła ciepła, ogrzewające napływające chłodne powietrze. Ponieważ różnica temperatur między obiema masami napędza prądy wstępujące odpowiedzialne za rozwój burz, taka miejska bariera cieplna osłabia ich aktywność. Odwrotnie jest w przypadku opadów związanych z frontami ciepłymi, które tworzą się wtedy, gdy ciepłe powietrze napływa nad chłodniejszy obszar. Źródłem deszczu są wówczas rozległe strefy względnie cienkich chmur, znacznie mniej wrażliwe na miejską zabudowę (choć miejskie ciepło może nieco wzmacniać opady).

Za najintensywniejsze opady odpowiadają zazwyczaj systemy tropikalne – potężne układy burzowe rozwijające się nad oceanem, takie jak huragany. Miasta nie wpływają na ich siłę ani częstość występowania, ale mogą zmieniać ich strukturę w sposób zwiększający ilość deszczu docierającego do powierzchni Ziemi. Naukowcy nie wiedzą jeszcze, dlaczego tak się dzieje.

Poznanie tych różnic jest ważne, ponieważ – jak podkreśla Yiyi He z Georgia Institute of Technology, specjalista od przygotowania miast do ekstremalnych zjawisk pogodowych, który nie uczestniczył w badaniu – „różne typy burz w bardzo odmienny sposób obciążają infrastrukturę miejską". Opady związane z układami tropikalnymi trwają zwykle dłużej i powodują rozległe powodzie, natomiast lokalne burze mogą wywoływać powodzie błyskawiczne, porywające nieświadomych zagrożenia kierowców wraz z pojazdami.

Zmiana klimatu prowadzi do coraz gwałtowniejszych zjawisk pogodowych i zwiększa ryzyko powodzi na obszarach miejskich, gdzie mieszka już większość ludności świata. Dlatego zrozumienie zależności między typem burzy a infrastrukturą miejską staje się jeszcze ważniejsze. „Uwzględnienie różnych typów burz w modelach klimatu miejskiego mogłoby znacząco poprawić możliwości przewidywania przyszłych zagrożeń powodziowych, umożliwiając projektowanie miast bardziej odpornych na ekstremalne zjawiska pogodowe" – mówi He. *Damien Pine*

Art Escobado/Getty Images

eprasa.pl 9667b7543e

SEJSMOLOGIA

Sejsmiczny znak stop

Co zatrzymuje megatrzęsienia?

20 KWIETNIA 2026 ROKU mieszkańcy północno-wschodniej Japonii odczuli skutki potężnego trzęsienia ziemi o magnitudzie 7,7, którego epicentrum znajdowało się u wybrzeży kraju. Ostrzeżono ich przed możliwością wystąpienia tsunami, a także przed niewielkim ryzykiem, że w ciągu kolejnych dni może dojść do „megatrzęsienia" o magnitudzie co najmniej 8. Kilka dni później na łamach „Science" opublikowano nowe badanie analizujące, jak rozwijają się takie megatrzęsienia, co może je ostatecznie zatrzymać i w jaki sposób można przewidywać ich niszczycielską siłę.

Trzęsienie ziemi rozpoczyna się głęboko pod powierzchnią, gdy potężne siły tektoniczne powodują narastanie naprężeń wzdłuż uskoku – rozległego pęknięcia skorupy ziemskiej, w którym bloki skalne przesuwają się względem siebie. Jeśli zgromadzone naprężenie pokona siły tarcia utrzymujące skały w miejscu, dochodzi do ich przesunięcia wzdłuż uskoku. Uwolniona energia rozprzestrzenia się wtedy błyskawicznie, generując silne fale sejsmiczne wywołujące drgania gruntu. Proces ten trwa dopóty, dopóki przemieszczające się skały nie dotrą do obszaru o niewielkich naprężeniach i stopniowo nie wytracą energii albo nie natrafią pod ziemią na fizyczną barierę, na przykład zmianę budowy geologicznej lub płynną materię uwięzioną wysokim ciśnieniem. Wówczas cały proces zostaje nagle zatrzymany niczym rozpędzony pociąg uderzający w betonową ścianę.

Nie każda podziemna przeszkoda jest w stanie zatrzymać przesuwające się względem siebie skały, ale jeśli do tego dojdzie, powstaje „sygnał zatrzymania" (*stopping phase*) rozchodzący się w przeciwnym kierunku. „Gdy pęknięcie rozprzestrzenia się szybko i napotyka barierę, która je zatrzymuje, powstaje fala uderzeniowa" – wyjaśnia współautor badań Jesse Kearse, geofizyk z Victoria University of Wellington w Nowej Zelandii. Osoba stojąca nad taką barierą najpierw odczułaby ruch gruntu w tym samym kierunku, co przemieszczające się pęknięcie, po czym nastąpiłoby gwałtowne szarpnięcie w przeciwną stronę. „To trochę tak, jakby podczas jazdy samochodem gwałtownie zahamować – zostaniemy wciśnięci w fotel" – mówi Kearse.

Dotąd brakowało jednak danych obserwacyjnych potwierdzających istnienie takiego sygnału. Kearse i jego współpracownik Yoshihiro Kaneko, geofizyk z Uniwersytetu w Kioto, postanowili odnaleźć go w danych sejsmicznych i geodezyjnych zarejestrowanych przez czujniki rozmieszczone na trasie propagacji 12 dużych trzęsień ziemi na całym świecie. W przypadku pięciu z nich sieć instrumentów rozmieszczonych wzdłuż uskoku była na tyle gęsta, że badaczom udało się zidentyfikować moment zatrzymania. Odkryli również, że niektóre struktury geologiczne tuż pod powierzchnią, na przykład warstwy miększych skał znajdujące się ponad miejscem, gdzie przesunięcie zostało zatrzymane, mogą dodatkowo wzmacniać ten sygnał, powodując silniejsze wstrząsy odczuwane na powierzchni.



Lotnicze zdjęcie uskoku San Andreas przecinającego Równinę Carrizo w Kalifornii.

Każda przeszkoda napotkana przez przemieszczające się pęknięcie działa niczym punkt kontrolny. Jeśli wytrzyma napór, zatrzymuje trzęsienie, które pozostaje lokalnym i stosunkowo niewielkim zjawiskiem. Jeżeli jednak pęknięcie ma dość energii, by przebić się przez taką barierę, przechodzi na kolejny segment uskoku, co może uruchomić kaskadę prowadzącą do powstania megatrzęsienia. „To pokazuje, że prowadzenie obserwacji w pobliżu uskoku ma kluczowe znaczenie dla zrozumienia, dlaczego niektóre trzęsienia ziemi osiągają ogromne rozmiary, podczas gdy inne pozostają niewielkie" – komentuje Yihe Huang, geofizyk z University of Michigan, który nie brał udziału w badaniach.

Teraz, gdy naukowcy wiedzą już, jak rozpoznawać sygnał zatrzymania, mogą wziąć pod lupę wcześniejsze trzęsienia ziemi, aby sporządzać mapy podziemnych barier i oceniać, ile energii są one w stanie pochłonąć. Mogą także identyfikować przypowierzchniowe struktury wzmacniające drgania. „To podejście może istotnie zmienić sposób analizowania zagrożeń sejsmicznych. Pozwoli wskazać miejsca, w których trzęsienie o określonej sile może zostać zatrzymane, a także miejsca, gdzie jego skutki uboczne mogą ulec wzmocnieniu" – mówi Huang.

Trzeba jednak przeprowadzić jeszcze wiele badań, zanim dzięki nowym odkryciom powstaną dokładniejsze modele trzęsień ziemi. Kearse i Kaneko ograniczyli analizy do trzęsień związanych z uskokami przesuwczymi, w których dwa bloki skalne przemieszczają się poziomo względem siebie, ponieważ dla takich zjawisk jest dużo danych. Kwietniowe trzęsienie w Japonii było związane z uskokiem odwróconym generującym pionowe ruchy gruntu, które znacznie częściej wywołują tsunami. „Naturalnym krokiem jest uogólnienie tych badań, ale spodziewam się, że opisany przez nas mechanizm jest powszechną cechą procesu powstawania trzęsień ziemi. Na razie jednak nie potrafimy tego potwierdzić" – mówi Kearse. *Jacek Krywko*

eprasa.pl 9667b7543e



Papugi kakapo nie tylko specyficznie wyglądają, ale również specyficznie się żywią.

EKOLOGIA

Wyspa miłości

Obfitość rzadkich „owoców" spowodowała wśród kakapo prawdziwy baby boom

NAJWIĘKSZY OD KILKUDZIESIĘCIU LAT urodzaj „owoców" leśnych w Nowej Zelandii wywołał prawdziwe godowe szaleństwo wśród krytycznie zagrożonych kakapo (*Strigops habroptila*), najcięższych papug świata.

Z pyszczkiem przypominającym bohatera *The Muppet Show* i sylwetką niczym pluszowy Furby, kakapo to stworzenie pod każdym względem osobliwe. Prowadzi nożny tryb życia, ma limonkowozielone upierzenie i – jak pisał autor science fiction Douglas Adams – „lata jak cegła".

Ptaki wydzielają intensywny, owocowy zapach, mogą ważyć tyle, ile kot domowy, i dożywać nawet ponad 90 lat.

Na początku 2026 roku na świecie żyło zaledwie 236 kakapo, a ku frustracji zespołu zajmującego się ich ochroną ptaki te uzależniły swoje życie miłosne niemal wyłącznie od jednego gatunku owocu.

Kakapo rozmnażają się masowo tylko wtedy, gdy *rimu* (*Dacrydium cupressinum*) – potężne drzewo iglaste, mogące żyć nawet tysiąc lat – pokrywa się jaskrawoczerwonymi „jagodami" [*rimu* wytwarza jadalne struktury przypominające owoce, które nie są nimi jednak pod względem botanicznym – są zmodyfikowanymi szyszkami; czerwona mięsista miseczka to zmodyfikowane „dno kwiatowe", tzw. osadnik – przyp. red.]. Taki urodzaj zdarza się raz na dwa–cztery lata.

Podczas tych owocowych godów samce kakapo używają swoich krótkich nóżek do wydrapywania i wydeptywania w ziemi niewielkich amfiteatrów zwanych misami rezonansowymi (booming bowls). Zagłębienia wzmacniają ich pieśń godową – niskie, donośne buczenie niosące się na wiele kilometrów. „To nie tyle się słyszy, ile czuje w klatce piersiowej – mówi Andrew Digby, doradca naukowy zespołu ds. kakapo w nowozelandzkim Departamencie Ochrony Przyrody.

Jak podkreśla Digby, w tym roku rozmnażały się niemal wszystkie samice kakapo będące w wieku rozrodczym. Do tej pory złożyły imponującą liczbę 248 jaj i wciąż ona rosła. Około połowa jaj okaże się zapłodniona. Jeszcze mniej piskląt z nich się wykluje, a jeszcze mniej przeżyje do momentu opuszczenia gniazda. W połowie marca naukowcy doliczyli się 70 żywych piskląt.

Ostatnie sukcesy populacji nie byłyby możliwe bez kilku wyjątkowo płodnych samców, takich jak Blades – prawdziwy Don Juan wśród kakapo, którego wieku nikt nie zna. Od 1982 roku został ojcem 22 piskląt, po czym zesłano go na „wyspę kawalerów, obawiając się, że zdominuje pulę genową gatunku. „Padł ofiarą własnego sukcesu – mówi Digby. – Był po prostu zbyt jurny."

Po wykluciu się piskląt samice samotnie zajmują się ich wychowaniem. Każdej nocy matki kakapo wspinają się, używając dzioba i pazurów, na korony drzew *rimu*, nawet na wysokość około 30 m, aby zbierać „owoce". Każde pisklę potrzebuje dziennie mniej więcej ich pół kilograma. Niektóre samice rozmnażają się już od ponad 40 lat, tworząc silne rodzinne dynastie, mówi Digby.

Jedna z matriarchiń, kakapo o imieniu Nora, od 1981 roku uczestniczyła już w 13 sezonach lęgowych. W tym sezonie została jednocześnie matką i praprababcią.

W tym roku nowozelandzki Departament Ochrony Przyrody uruchomił internetową transmisję z gniazda, dzięki której można obserwować, jak doświadczona matka Rakiura wysiaduje jaja i wychowuje adoptowane pisklęta, odpędzając przy tym nieproszonych gości, takich jak ptaki brodzące czy nietoperze. Choć Rakiura ma zaledwie 24 lata, z powodzeniem wychowała już dziewięcioro własnych piskląt, a także wiele przybranych, pomagając mniej doświadczonym samicom. Świeżo wyklute pisklęta przypominają puszyste dmuchawce, ale już po kilku tygodniach zamieniają się – jak mówi Digby – w „dziwaczne małe dinozaury z ogromnymi, nieproporcjonalnie wielkimi stopami".

Zespół ma nadzieję, że w tym roku przeżyje wystarczająco dużo młodych, aby światowa populacja kakapo osiągnęła 300 osobników – symboliczny kamień milowy dla gatunku, który jeszcze w 1995 roku liczył zaledwie 51 ptaków i znajdował się na



Jednodniowe pisklę przygotowane do ważenia.

Nature Picture Library/Alamy Stock Photo

eprasa.pl 9667b7543e

skraju wyginięcia. Nielotne kakapo były łatwym łupem dla zawleczonych przez człowieka drapieżników, takich jak koty domowe, psy czy gronostaje europejskie (*Mustela erminea*). Owocowy zapach wydzielany przez kakapo jest tak intensywny, że nawet ludzie potrafią odnaleźć ptaki wyłącznie po jego śladzie. Gatunek znalazł schronienie na trzech wyspach wolnych od drapieżników, gdzie lud Ngāi Tahu pełni rolę *kaitiaki*, czyli opiekunów kakapo. „To dla nas gatunek *taonga* – prawdziwy skarb" – mówi Tāne Davis, od 20 lat reprezentujący Ngāi Tahu w programie ochrony kakapo.

Populacja kakapo zaczyna jednak przerastać możliwości tych bezpiecznych wysp. Dlatego – wyjaśnia Davis – coraz pilniejsze staje się „przywrócenie *mauri*, czyli siły życiowej siedlisk" na większych wyspach poprzez usunięcie z nich inwazyjnych drapieżników. Zarówno Davis, jak i Digby są zgodni, że sezon lęgowy 2026 otwiera nowy rozdział w historii kakapo. Na prośbę Ngāi Tahu część piskląt urodzonych w tym roku nie otrzyma imion.

„Chodzi o to, by pozwolić im żyć na wolności" – mówi Davis.

Elizabeth Anne Brown

OCEANOGRAFIA

Zachwyt akwanauty

Dłuższe przebywania na dnie morskim wywołuje efekt psychologiczny podobny do tego, jakiego doświadczają astronauci na orbicie



Podwodny habitat na Wyspach Dziewiczych Stanów Zjednoczonych utworzono po raz pierwszy w 1969 roku.

NOAA Central Library Historical Fisheries Collection

MARK PATTERSON, BIOLOG MORSKI z Northeastern University, mieszkał przez tydzień pod wodą w Hydrolabie – białej, cylindrycznej stacji badawczej spoczywającej na dnie Morza Karaibskiego we wschodniej części archipelagu Karaibów. Był rok 1984 i Patterson uczestniczył w misji – pierwszej z wielu, jak się później okazało – wykorzystującej nurkowanie saturacyjne: schodził na dno morskie i spędzał tam wiele dni. Opuszczał laboratorium za dnia, by jako akwanauta eksplorować podwodny świat. Po zaaklimatyzowaniu się do panujących na głębokości warunków nie mógł już się wynurzyć, nawet gdyby chciał. Aby uniknąć poważnych konsekwencji zdrowotnych, po zakończeniu misji przechodził powolną dekompresję – każde 30 m głębokości wymagało 24 godzin.

Patterson zapragnął zanurzyć się w toń morską nocą. Założył sprzęt, otworzył włazy i wypłynął w morze, pozostając połączony z laboratorium liną długości około 90 m. Gdy lina się naprężyła, usiadł na piaszczystym dnie oceanu. Laboratorium lśniło w oddali niczym klejnot, a otaczający go bioluminescencyjny plankton migotał jak gwiazdy. „Wtedy pomyślałem, że to chyba najwspanialsza rzecz, jakiej kiedykolwiek doświadczę – życie pod wodą" – wspomina. Łącznie spędził pod powierzchnią morza 89 dni.

Doświadczył tego, co naukowcy określają jako „underview effect" – intensywnego uczucia zachwytu, które wzmacnia u akwanautów poczucie więzi człowieka z otaczającym światem. Nazwa nawiązuje do „overview effect", o którym mówią astronauci, opisując swoje wrażenia podczas patrzenia na Ziemię z orbity. Patterson był jednym z 14 akwanautów, którzy opowiedzieli o swoich emocjonalnych przeżyciach na użytek badania opublikowanego na łamach „Environment and Behavior".

Wielu badanych podkreślało, że wyjątkowość tego doświadczenia wynika także z czasu trwania obserwacji – codzienne podwodne wyprawy akwanautów mogą trwać nawet osiem godzin. Murena czy barakuda stają się rozpoznawalnymi osobnikami o własnych codziennych zwyczajach i zachowaniach. Sztormy szalejące na powierzchni zmieniają ciśnienie pod wodą, powodując charakterystyczne „zatykanie się" uszu. Plankton kołysze się zgodnie z ruchem fal.

Poprzednie badania wykazały, że „overview effect" pomagał astronautom – a także osobom, które słuchały ich opowieści – lepiej uświadomić sobie, jak działalność człowieka zmieniła Ziemię. Autorzy nowego badania sugerują, że opisy budzących zachwyt doświadczeń pod wodą mogą w podobny sposób skłaniać ludzi do innego spojrzenia na oceany.

Odczuwanie takiego zachwytu to jeden z najskuteczniejszych sposobów osłabienia granic własnego „ja", mówi psycholog Johannes Eichstaedt ze Stanford University, który bada „overview effect", ale nie był współautorem najnowszej pracy. Jak zauważa, u części osób takie doświadczenie może wzmacniać poczucie więzi z przyrodą.

Główna autorka badania, Kristen Kilgallen, doktorantka psychologii na Northeastern University, uważa z kolei, że zachwyt nad światem przyrody może pojawić się wtedy, gdy próbujemy czegoś nowego, co wyrywa nas z codziennej rutyny.

„Samo odkrywanie może być satysfakcjonujące, niezależnie od tego, co się odkrywa – mówi. – Dzięki temu stajemy się bardziej zaangażowani w sprawy świata".

Susan Cosier

eprasa.pl 9667b7543e



Ludzie zaadaptowali się, by przetrwać ekstremalne gorąco, zimno i wszystko pomiędzy.

EWOLUCJA

Potęga kultury

Ludzie rozprzestrzenili się na Ziemi 300 razy szybciej, niż byłoby to możliwe w wyniku samej genetycznej ewolucji

NIECAŁE 300 TYS. LAT po pojawieniu się *Homo sapiens* w Afryce nasz gatunek objął całą Ziemię, opanowując bezludne pustynie, skute lodem pustkowia i wszystkie umiarkowane strefy klimatyczne pomiędzy nimi. W trakcie tej zdumiewającej ekspansji zaskakująco słabo polegaliśmy na przystosowaniach genetycznych jako motorze podboju świata – wszystkich 8 mld ludzi cechuje dziś mniejsza różnorodność genetyczna niż pojedyncze populacje szympansów. Jak więc nam się to udało?

Wielu naukowców wskazuje na ewolucję kulturową, czyli proces, w którym wiedza, zwyczaje i technologie rozprzestrzeniają się i rozwijają z upływem czasu. Jednak, jak zauważa Alex Mesoudi, badacz ewolucji kulturowej z University of Exeter w Anglii, „zawsze było to raczej ogólne, nieprecyzyjne stwierdzenie".

Teraz już nie. W niedawno opublikowanej na łamach „Proceedings of the National Academy of Sciences USA" pracy antropolog ewolucyjny Charles Perreault z Arizona State University obliczył, jak ogromną przewagę mogła dać ludziom zdolność do rozwoju kultury podczas podboju świata. Gdybyśmy byli typowymi ssakami, zmuszonymi przystosowywać się głównie dzięki powolnej ewolucji genetycznej, osiągnięcie obecnego zasięgu geograficznego zajęłoby nam – jak wylicza Perreault – 88 mln lat. W tym czasie podzielilibyśmy się na około 2200 odrębnych gatunków.

Aby dojść do takich wniosków, Perreault zebrał mapy zasięgu występowania niemal 6 tys. gatunków ssaków i przeanalizował zależność między wielkością zajmowanego przez nie obszaru a trzema wskaźnikami zmian ewolucyjnych w obrębie danej linii rodowej, czyli grupy gatunków mających wspólnego przodka. Były to: wiek linii rodowej, liczba należących do niej gatunków oraz zakres zróżnicowania wielkości ciała. Na podstawie tych zależności Perreault oszacował, ile mniej więcej „pracy ewolucyjnej" muszą wykonać ssaki, aby zasiedlić określony obszar.

Według tej miary ludzie dokonali w ciągu zaledwie kilkuset tysięcy lat czegoś, co innym ssakom zajęłoby dziesiątki milionów lat. Skróty oferowane przez kulturę sprawiły, że – w przeciwieństwie do innych linii ewolucyjnych ssaków – nie musieliśmy czekać całego pokolenia, aż dobór naturalny wykształci korzystne przystosowania. „Możemy po prostu ten etap pominąć" – mówi Perreault. Nieustanny strumień coraz lepszych narzędzi, coraz trafniejszych pomysłów i coraz skuteczniejszych sposobów działania „naprawdę ogromnie przyspiesza tempo ewolucji".

Perreault wykazał również, że ludzie jako gatunek zajmują łącznie obszar lądu równie rozległy, jak wszystkie pozostałe ssaki razem wzięte – znacznie większy niż jakikolwiek pojedynczy gatunek. (Najbliżej tego wyniku są wilki szare, których zasięg obejmuje mniej więcej połowę takiej powierzchni).

Mogłoby się więc wydawać, że jesteśmy najbardziej wszechstronnym gatunkiem na Ziemi. Perreault zwraca jednak uwagę, że w pewnym sensie wcale tak nie jest. To po prostu różne grupy ludzi doprowadziły do perfekcji sztukę przetrwania w skrajnie odmiennych środowiskach. Łowcy-zbieracze z pustyni Kalahari w południowej Afryce prawdopodobnie nie przetrwaliby długo na Grenlandii, podobnie jak Inuici mieliby ogromne trudności z życiem na Kalahari.

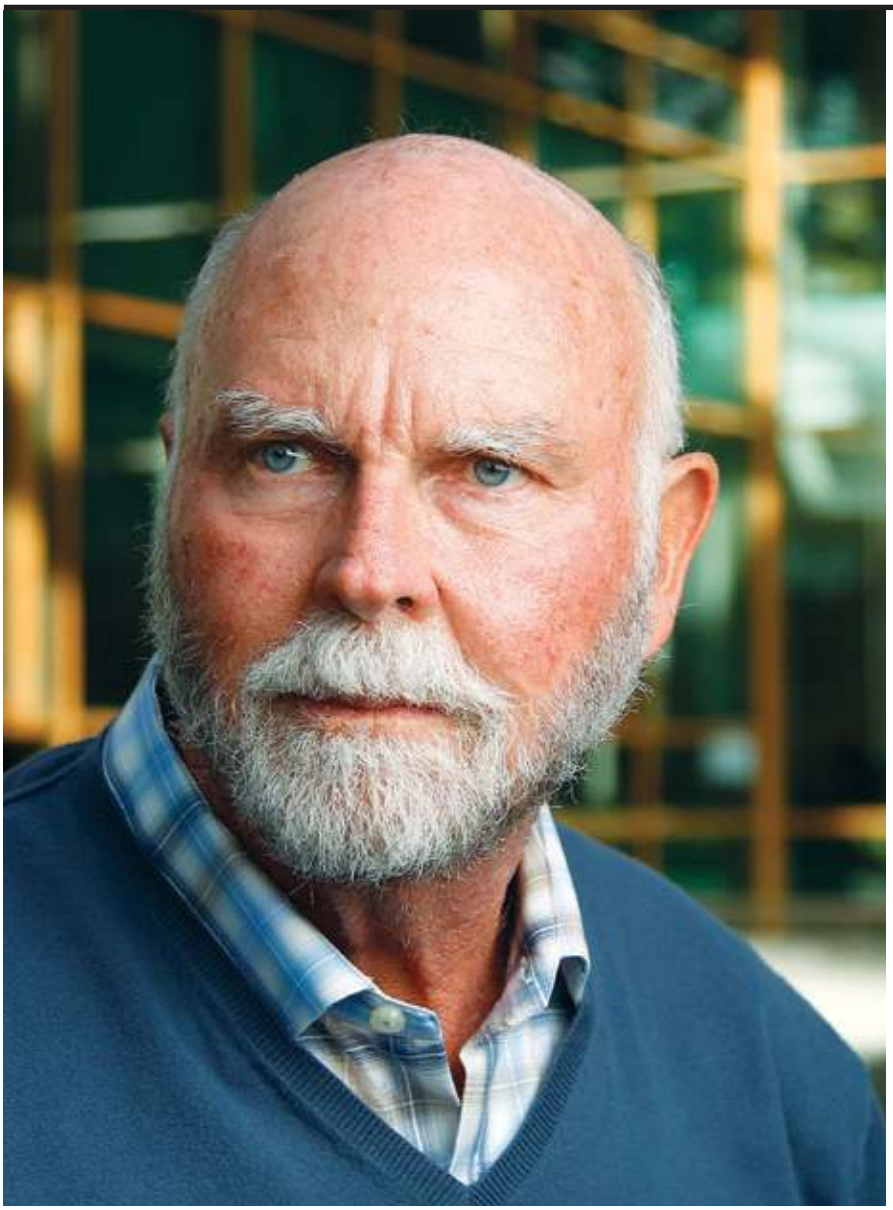
Alex Mesoudi, który nie brał udziału w badaniu, zgadza się, że ewolucja kulturowa była najprawdopodobniej jednym z kluczowych czynników sukcesu naszego gatunku. Zastrzega jednak, że prawdziwym „sekretnym składnikiem" mogły być równie dobrze współpraca społeczna, język, indywidualna inteligencja albo kombinacja wszystkich tych czynników.

Mimo to – podkreśla – praca Perreaulta jest „udaną próbą skwantyfikowania czegoś, o czym często piszemy, ale niemal nigdy nie próbujemy wyrazić tego w liczbach".

Cody Cottier

George Pachantouris/Getty Images

eprasa.pl 9667b7543e



K.C. Alfred/San Diego Union-Tribune/Getty Images

Jeśli boisz się ryzyka, nie wybieraj zawodu naukowca

Craig Venter zmarł pod koniec kwietnia tego roku. W swoim ostatnim wywiadzie, na miesiąc przed śmiercią, mówił, jak powinno się finansować naukę

JEANNA BRYNER

Był pionierem badań w dziedzinie genomiki człowieka i biologii syntetycznej, dzięki czemu znalazł się w centrum uwagi, ale jednocześnie zyskał opinię „kontrowersyjnego".

„Craig antagonizował, ale miał mnóstwo odwagi, nauka go napędzała" – mówi Roger Highfield, dziennikarz naukowy, który znał Ventera, zredagował dwie jego książki i przez lata pisał o jego działalności. (Highfield jest również dyrektorem ds. nauki brytyjskiej Science Museum Group).

Kiedy zdalnie rozmawiałam z Venterem o stanie amerykańskiej nauki, zaledwie miesiąc przed jego śmiercią, wydawał się pokorniejszy, bardziej refleksyjny. W pewnym momencie rozmowa zeszła na filozoficzne tematy i Venter zauważył, jak absurdalne jest dążenie do życia wiecznego. „Jeśli chcesz nieśmiertelności, zrób coś naprawdę ważnego, póki żyjesz."

Cele, które wyznaczał sobie Venter, były wynikiem doświadczeń zdobytych jeszcze przed rozpoczęciem kariery akademickiej. „Zacząłem od tego, że powołano mnie do wojska i spędziłem rok w Wietnamie jako sanitariusz. Tam zrozumiałem, że tak naprawdę najważniejszą rzeczą, jaką mogę stracić, jest moje życie."

Później Venter kierował kilkoma pionierskimi projektami, które całkowicie zmieniły nasze rozumienie biologii. W 1995 roku opublikował pierwszą kompletną sekwencję genomu bakterii. Pięć lat później, wykorzystując opracowaną przez siebie metodę sekwencjonowania typu whole-genome shotgun, Venter oraz badacze wspieranego przez rząd Human Genome Project ogłosili ukończenie pierwszej pełnej sekwencji ludzkiego genomu. Następnie skierował swoją uwagę ku genomom syntetycznym, tworząc w 2010 roku pierwszą syntetyczną komórkę bakteryjną zdolną do samodzielnego namnażania.

Poniżej przedstawiamy zredagowany zapis rozmowy.

Jak opisałbyś obecny stan amerykańskiej nauki?

Powiedziałbym, że najlepiej określić go jako okres skrajnie dynamicznych zmian – z wielu powodów, nie tylko politycznych. Na scenę wkroczyła sztuczna inteligencja. Być może jest trochę przeceniana, ale z pewnością wpływa na sposób, w jaki ludzie myślą o przyszłości nauki. Mam wrażenie, że wiele osób oczekuje od AI cudownych rozwiązań, a one po prostu się nie pojawią. Kiedy stworzyliśmy pierwszą syntetyczną komórkę, funkcja około jednej czwartej jej genów była całkowicie nieznana. Sztuczna inteligencja jest bezużyteczna jako narzędzie do ustalania funkcji takich genów, ponieważ jeśli czegoś nie było w zbiorze danych, na którym została wytrenowana, to dla niej po prostu nie istnieje. Wszyscy ci ludzie mówiący, że AI będzie projektować nowe genomy czy zupełnie nowe organizmy, pomijają jedną rzecz: sztuczna inteligencja nie potrafi

eprasa.pl 9667b7543e

tworzyć czegoś, co wykracza poza zakres jej doświadczenia.

Wszyscy jesteśmy ograniczeni przez nasze zbiory doświadczeń, ale ludzie mają wyjątkową zdolność składania całości z brakujących elementów. To właśnie było moją najmocniejszą stroną – łączenie złożonych koncepcji, dostrzeganie kolejnych kroków i ustalanie, jakie problemy trzeba rozwiązać oraz na jakie pytania odpowiedzieć, aby tam dotrzeć.

Żyjemy również w okresie zmian z powodu ograniczeń w finansowaniu, rosnącej konkurencji i politycznych zawirowań. Współczesna nauka w ogromnym stopniu zależy od współpracy między krajami oraz swobodnego przepływu ludzi. W Stanach Zjednoczonych bardzo cierpi dziś opieka medyczna, ponieważ ogromna część stażystów i lekarzy rezydentów tradycyjnie pochodziła z zagranicy. Tymczasem w wielu szpitalach czas oczekiwania na leczenie znacznie się wydłużył, ponieważ zablokowaliśmy napływ tych pracowników. Podobnie jest z doktorantami oraz stażystami podoktorskimi.

To właśnie oni są paliwem napędzającym naukę – młodzi, pełni entuzjazmu ludzie, którzy przychodzą, zdobywają wykształcenie. Pod tym względem trochę sami strzelamy sobie w stopę. Jednocześnie mierzymy się z coraz silniejszą konkurencją na naprawdę ogromną skalę. Weźmy choćby biologię syntetyczną – Chiny wydają na nią 10, a nawet 15 razy więcej niż Stany Zjednoczone.

Co, twoim zdaniem, powinno się zmienić w amerykańskiej nauce?

Potrzeba wielu zmian. Myślę jednak, że powoli zaczynamy wracać na właściwy tor. Dobra wiadomość jest taka – choć większość ludzi nie zdaje sobie z tego sprawy – że republikańskie Kongresy na ogół były bardziej skłonne wspierać badania nad chorobami i finansowanie National Institutes of Health niż administracje demokratyczne. Kongres zaczyna odzyskiwać odwagę i ponownie przeznacza część środków na solidne badania podstawowe. Mimo to w nauce nadal trzeba bardzo dużo zmienić.

Poza finansowaniem badań podstawowych jakie jeszcze zmiany chciałbyś zobaczyć?

Odpowiem przykładem z 1995 roku. Wraz z laureatem Nagrody Nobla Hamiltonem Smithem napisaliśmy wniosek grantowy i złożyliśmy go do NIH, przedstawiając pomysł wykorzystania metody *shotgun sequencing* do odczytania pierwszego w historii genomu. Projekt odrzucono z wyjątkową stanowczością. A przecież byliśmy już praktycznie na finiszu sekwencjonowania genomu i nie mieliśmy najmniejszych wątpliwości, że wszystko zadziała – matematyka się zgadzała, składanie sekwencji działało. Napisałem wtedy list do Francisa Collinsa [ówczesnego dyrektora National Human Genome Research Institute przy NIH], w którym stwierdziłem: „Powinniście rozważyć sfinansowanie tego projektu choćby po to, żeby NIH nie musiał się wstydzić, kiedy po jego odrzuceniu i tak jako pierwsi dokonamy tego w historii." Do dziś mam odpowiedź, którą wtedy otrzymałem.

Napisano, że NIH całkowicie podtrzymuje swoją decyzję i jest absolutnie przekonany, że ta metoda nie zadziała. Niedługo później opublikowaliśmy pierwszą pełną sekwencję genomu.

Czy chcesz powiedzieć, że agencje rządowe powinny finansować właśnie takie przedsięwzięcia?

W pewnym sensie tak. Kiedy udowodniliśmy, że nasz pomysł działa, zostaliśmy dosłownie zasypani pieniędzmi z różnych instytucji, m.in. NIH i Departamentu Energii, na sekwencjonowanie kolejnych genomów. Finansuje się pomysł dopiero wtedy, gdy zostanie udowodnione, że jest on słuszny. Tymczasem nauka działa najlepiej właśnie wtedy, gdy finansuje się nowe idee i podejmuje ryzyko, aby szybciej je sprawdzić. Amerykanie powinni być oburzeni tym, że nie ma dziesięciokrotnie większej liczby odkryć naukowych, ponieważ nie finansuje się nowych pomysłów. Kilka lat temu, kiedy Elias A. Zerhouni kierował NIH, chciał ustanowić specjalną nagrodę dla badań wysokiego ryzyka. Poprosił mnie oraz biologa molekularnego i laureata Nagrody Nobla Sydneya Brennera o przewodniczenie komitetowi, który miał wskazać kandydatów. Przedstawiliśmy 10 naprawdę znakomitych. NIH uznał jednak, że ich pomysły są... zbyt ryzykowne, by mogli oni otrzymać nagrodę za badania wysokiego ryzyka, ponieważ byłby to niewłaściwy sygnał.

Najbardziej brakuje dziś większej liczby możliwości dla młodych naukowców, aby mogli podejmować ryzyko, próbować nowych rzeczy i być za to nagradzani – albo przynajmniej wyciągać wnioski z niepowodzeń. Sam wiem o tym bardzo dużo, bo poniosłem tyle porażek, że nauczyłem się z nich więcej niż z sukcesów.

Skoro mowa o młodych naukowcach, jakiej rady udzieliłbyś osobom rozpoczynającym karierę naukową?

Trzeba podejmować ryzyko. Jeśli boisz się ryzyka, wybrałeś niewłaściwy zawód. Na tym właśnie polega eksperyment. Nie znasz wyniku. Moim ulubionym zajęciem jest prowadzenie eksperymentów. Mogę zadawać pytania i próbować znajdować odpowiedzi. Bycie eksperymentatorem badającym najbardziej podstawowe zjawiska stanowi samą istotę nauki. Miałem ogromne szczęście, że w swojej karierze mogłem próbować odpowiadać na naprawdę wielkie pytania. Większość ludzi boi się podejmować takie wyzwania.

Wspomniałeś, że praca sanitariusza podczas wojny w Wietnamie ukształtowała twoją drogę naukową. Czy właśnie stamtąd wzięła się skłonność do podejmowania ryzyka?

Zawsze lubiłem ryzyko, ale doświadczenie wojny ukształtowało filozofię całego mojego późniejszego życia. Chciałem wykorzystać swoje umiejętności, aby uhonorować tysiące młodych kobiet i mężczyzn w moim wieku walczących na wojnie, w którą niemal nikt już nie wierzył. Wróciłem więc na studia, zdobyłem wykształcenie i postanowiłem uczcić ich pamięć, robiąc w życiu coś naprawdę wartościowego.

Co dziś napawa cię optymizmem, jeśli chodzi o naukę i innowacje w USA?

Sytuacja wydaje się niewesoła, ale nadal – być może już tylko o włos – utrzymujemy pozycję światowego lidera nauki. To w dużej mierze zasługa filantropii. Mamy w Stanach Zjednoczonych wyjątkowe instytucje i wyjątkowy sposób myślenia, którego niemal nigdzie indziej na świecie nie ma. Wiele osób dokonuje niezwykłych rzeczy dzięki majątkom odziedziczonym lub samodzielnie zgromadzonym i to właśnie stanowi fundament rozwoju nauki. Ludzie sądzą, że wszystko opiera się na finansowaniu rządowym. Tymczasem środki publiczne przede wszystkim

Jeanna Brynner jest redaktorem naczelnym „Scientific American". Wcześniej była redaktorem naczelnym „Live Science", a jeszcze wcześniej redaktorem „Science World". Ukończyła studia z literatury angielskiej na Salisbury University, następnie uzyskała tytuł magistra biogeochemii i nauk o środowisku na University of Maryland, a także ukończyła studia podyplomowe z dziennikarstwa naukowego na New York University.

eprasa.pl 9667b7543e



J. Craig Venter ze swoim psem, Darwinem, w roku 2011.

Eli Meir Kaplan/The Washington Post/Getty Images

uzupełniają ten fundament i utrzymują całą infrastrukturę. Bez finansowania kosztów pośrednich nie mogę opłacić budynku, energii elektrycznej, działu kadr ani wielu innych rzeczy. Infrastruktura nauki jest równie ważna, jak finansowanie nowych pomysłów. Mamy więc znakomite połączenie finansowania publicznego i filantropijnego, ponieważ ludzie naprawdę wierzą, że warto inwestować w naukę.

Ludzi ekscytują także nowe narzędzia informatyczne. Trudno sobie nawet wyobrazić, jak potężne staną się komputery. Minęło ponad 25 lat od zsekwencjonowania pierwszego ludzkiego genomu, a dziś dysponujemy całkowicie nowymi narzędziami, które pozwalają zacząć wszystko od nowa – tym razem we właściwy sposób.

Co masz na myśli, mówiąc o sekwencjonowaniu „we właściwy sposób”?

Dwadzieścia pięć lat temu mieliśmy wielkie marzenia. Zostały one jednak w pewnym sensie wypaczone przez genetyków przekonanych, że pojedyncza zmiana jednego nukleotydu, jednej „litery” DNA, wyjaśnia cały kod genetyczny. A tak przecież nie jest.

Dopiero po 25 latach uświadomiliśmy sobie, jak błędne było to założenie. NIH zdecydowały się finansować przede wszystkim sekwencjonowanie kolejnych genomów, zamiast próbować zrozumieć pełny zestaw obserwowalnych cech człowieka. Sekwencjonowanie większej liczby genomów mówi nam bardzo wiele o pochodzeniu i historii. Nie mówi natomiast nic o kształcie twojej twarzy, zakresie funkcjonowania twojego mózgu ani o genetycznej podatności na wpływ środowiska, chorobach czy dobrostanie.

I właśnie tutaj sztuczna inteligencja może okazać się naprawdę pomocna – łącząc wszystkie informacje, jakie możemy zgromadzić o konkretnej osobie, z jej genomem. W miarę rozwoju narzędzi będziemy mogli robić to dziesiątki, setki tysięcy, a nawet miliony razy szybciej. Same narzędzia wciąż trzeba jeszcze stworzyć, ale właśnie dlatego pozostaję optymistą. To, o czym marzyliśmy 25 lat temu, dziś naprawdę jest możliwe.

Jak sztuczna inteligencja i nowe technologie zmieniły genomikę w ostatnich latach?

Właściwie nawet w ciągu ostatnich kilku miesięcy. Chodzi o nowe narzędzia matematyczne. Chodzi o sztuczną inteligencję. Chodzi o fundamentalną zmianę, jaka dokonała się w informatyce. W 1999 roku zbudowałem trzeci co do wielkości komputer cywilny na świecie. Miał wydajność półtora teraflopa. Zajmował dwie ogromne sale. Dziś laptop może być od niego znacznie potężniejszy. Nowoczesne techniki komputerowe, pamięci, duże modele językowe i inne współczesne narzędzia potrafią odnajdywać zależności, których ludzkie oko nie jest w stanie dostrzec.

Kiedyś w genomice otrzymywaliśmy jedynie zbiór fragmentów sekwencji. Dziś możemy uzyskać kompletne genomy. Możemy rozdzielić genom odziedziczony po matce od genomu odziedziczonego po ojcu. Nazywa się to genomem diploidalnym. W styczniu założyliśmy firmę Diploid Genomics, Inc., której celem jest wykorzystanie genomiki do naprawdę dogłębnego zrozumienia człowieka na najbardziej podstawowym poziomie. Nazywamy to genomiką 2.0. Nigdy nie przypuszczałem, że dojście do tego miejsca zajmie 25 lat, ale niektóre rzeczy rozwijają się wolniej od innych. ■

eprasa.pl 9667b7543e



Niewidoczny kosmos

Co umyka astronomom?

PHIL PLAIT

WSZECHŚWIAT JEST DOPRAWDY OGROMNY. Jednak, jeśli wziąć pod uwagę, że astronomowie codziennie dokonują godnych uwagi odkryć kosmicznych i formułują nowe koncepcje, można by sądzić, że jakoś udaje się nam go w całości ogarnąć, a łączna moc ziemskich teleskopów zapewnia pełną znajomość tego, co dzieje się na niebie.

Nic bardziej mylnego. Pomimo że dysponujemy tymi wszystkimi zaawansowanymi obserwatoriami, nadal pozostają pewne przedziały widma elektromagnetycznego (i nie tylko jego), których nie widzimy, oraz obszary, gdzie potrzebujemy więcej (lub jakichkolwiek) teleskopów.

Widmo – czyli różne rodzaje promieniowania – jest w zasadzie nieskończone. Jednak jego widzialna część, od fioletu do czerwieni, obejmuje zakres długości fal, który różni się od jednego krańca do drugiego zaledwie o współczynnik około dwóch, podczas gdy ogromny zakres od długich fal radiowych po promieniowanie gamma rozciąga się na ponad 20 rzędów wielkości. Nic zatem dziwnego w tym, że nie obejmujemy wszystkiego.

Zaskakujące jednak jest to, jak wiele udało nam się już poznać. W dowolnym momencie działają tysiące teleskopów na światło widzialne; sam mam taki, z którego korzystam, gdy nie lata zbyt wiele owadów. Profesjonaliści dysponują dziesiątkami dużych obserwatoriów naziemnych i orbitalnych, jest także sporo instrumentów nowej generacji w fazie przygotowań – w tym Nancy Grace Roman Space Telescope (którego wystrzelenie jest planowane na koniec sierpnia tego roku) łączący ostrość widzenia Hubble Space Telescope ze znacznie szerszym polem widzenia. Warto również zwrócić uwagę na dane archiwalne, ponieważ większość obiektów na niebie nie ulega znaczącym zmianom w skali ludzkiego życia, co sprawia, że dokładne badania zachowują aktualność, nawet jeśli minęły już lata lub dziesięciolecia od ich przeprowadzenia.

Na przykład w przypadku podczerwieni mieliśmy sondę Wide-Field Infrared Survey Explorer, która przeskanowała całe niebo, aby zapewnić ogólny obraz, a obecnie dysponujemy James Webb Space Telescope, który zapewnia nam najostrzejsze i najgłębsze dotychczas obrazy w tym przedziale widmowym. Sonda Wilkinson Microwave Anisotropy Probe oraz satelita Planck sporządziły mapy nieba w zakresie mikrofal, a obecnie obserwacje na krótszych falach wykonywane są przez Atacama Large Millimeter/submillimeter Array. Zasadniczo działa prawie tyle samo radioteleskopów, ile teleskopów na światło widzialne.

Na drugim krańcu widma Galaxy Evolution Explorer badał niebo w ultrafiolecie, natomiast Hubble ma dwie kamery UV, które nadal działają. Kilka teleskopów orbitalnych rejestruje promieniowanie rentgenowskie – m.in. sędziwe Chandra Xray Observatory, XMM-Newton i Neil Gehrels Swift Observatory. Nawet promieniowanie gamma jest obsługiwane dzięki Fermi Gamma-Ray Space Telescope oraz obserwatorium Swift, które wciąż dostarczają niesamowitych danych.

W zasięgu obserwacyjnym są pewne luki, ale zaproponowano już sposoby ich uzupełnienia. Jedna z najbardziej rażących jest między obserwacjami w podczerwieni a obserwacjami radiowymi na falach milimetrowych, lecz misja Probe Far-Infrared Mission for Astrophysics wypełni znaczną jej część. Kolejna luka dotyczy fal radiowych długości co najmniej 10 m, które są odbijane przez jonosferę Ziemi; aby je obserwować, astronomowie zaproponowali budowę radioteleskopów po drugiej stronie Księżyca. Jeden z nich, Lunar Crater Radio Telescope, miałby oszałamiającą średnicę jednego kilometra. Takie teleskopy pozwoliłyby wykryć fale radiowe emitowane przez gaz z kosmicznej „ciemnej epoki" – trwającego kilkaset milionów lat po Wielkim Wybuchu okresu przed narodzinami pierwszych gwiazd – o którym wiemy bardzo niewiele.

Nawet w przypadku tych części widma, które zostały już dokładnie zbadane, pragnienie poszerzenia wiedzy niekoniecznie świadczy o niepohamowanej zachłanności. Różne teleskopy pełnią różne funkcje. Niektóre obserwują rozległe obszary nieba na potrzeby przeglądów; inne precyzyjnie namierzają obrane cele.

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

DNY59/Getty Images

eprasa.pl 9667b7543e

Jedne rejestrują obrazy; drugie dostarczają widm, rozkładając padające światło na poszczególne przedziały energii (bądź barwy, długości fal lub częstotliwości – wszystkie te terminy oznaczają zasadniczo to samo). Taka spektroskopia jest potężną techniką do dogłębnych badań obiektów niebieskich, pozwalającą m.in. określić ich rotację, ruch liniowy, skład chemiczny i odległość. Sądzę, że jest oczywiste, iż im więcej mamy teleskopów, tym lepiej rozumiemy Wszechświat.

Jednak skupianie się na lukach w naszym pokryciu widma może sprawić, że pominiemy inne obiecujące obszary obserwacji. Mamy na przykład skłonność do badania promieniowania. Istnieją jednak inne typy kosmicznych sygnałów.

Jednym z przykładów są fale grawitacyjne – zaburzenia struktury czasoprzestrzeni wywoływane przez przyspieszony ruch mas. W przypadku zdecydowanej większości obiektów we Wszechświecie są one zbyt mało wyraziste, by dało się je wykryć, ale masywne obiekty przyspieszające bardzo gwałtownie wysyłają fale o znacznie wyraźniejszym kształcie. Czarne dziury doskonale nadają się do tego rodzaju obserwacji, tym bardziej, że nie emitują bezpośrednio żadnego promieniowania elektromagnetycznego.

Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO) wykryło pierwsze tego typu fale w 2015 roku, rejestrując niemożliwe do dostrzeżenia w inny sposób zjawisko łączenia się dwóch czarnych dziur o masie gwiazdowej. Było to niezwykłe osiągnięcie. Choć Albert Einstein przewidział istnienie fal grawitacyjnych już w 1915 roku, technika potrzebowała całego stulecia, by dogonić jego obliczenia. Później oddano do użytku jeszcze kilka obserwatoriów tego typu, które pozwoliły zaobserwować setki podobnych zdarzeń, jednak cała ta aktywność dotyczy wąskiego wycinka fal grawitacyjnych – tych, które powstają podczas zderzeń gwiazd neutronowych lub stosunkowo niewielkich czarnych dziur.

Laser Interferometer Space Antenna (LISA) Europejskiej Agencji Kosmicznej, której start zaplanowany jest na rok 2035, będzie wykrywać znacznie dłuższe fale grawitacyjne powstające podczas spiralnego zbliżania się i kolizji gigantycznych supermasywnych czarnych dziur. Kolizje takie są uważane za najbardziej energetyczne zdarzenia w znanym Wszechświecie, a mimo to wiemy o nich bardzo niewiele. Składająca się z trzech oddzielnych sond oddalonych od siebie o 2,5 mln km misja LISA ma zbyt wielkie rozmiary i jest zbyt czuła, by dało się ją zrealizować na naszej małej hałaśliwej planecie – dlatego oczywiście musi zostać umieszczona w przestrzeni kosmicznej.

Najbardziej chyba rażąca jest luka między obserwacjami w podczerwieni a obserwacjami radiowymi na falach milimetrowych.

Kolejną problematyczną kwestię stanowi ciemna materia. Wiemy, że istnieje i odpowiada za kształtowanie znacznej części struktury Wszechświata, lecz nie emituje promieniowania i ewidentnie w ogóle nie oddziałuje ze zwykłą materią inaczej niż grawitacyjnie. Możemy ją wykrywać pośrednio w odległym Wszechświecie m.in. za pomocą soczewkowania grawitacyjnego, lecz nie mamy możliwości bezpośredniego stwierdzenia jej tutaj, na Ziemi, mimo że cząstki ciemnej materii prawdopodobnie przepływają przez Was i wszystko inne na tej planecie w chwili, gdy to czytacie.

W istocie nie ma nawet pewności, czy ciemna materia w ogóle składa się z cząstek. Żaden z licznych eksperymentów mających na celu wykrycie takich cząstek nie potwierdził ich istnienia w sposób jednoznaczny. W szerszej perspektywie wszystkie te badania stanowią część bogatej i rozwijającej się dziedziny, w której nasze „teleskopy" służą do detekcji detektorów neutrin, cząstek subatomowych i innych nieelektromagnetycznych emisariuszy z kosmosu.

Jednakże jest coś jeszcze, czego nie widzimy, i może to was bardzo zaskoczyć – otóż mamy olbrzymie luki w wiedzy o własnym Układzie Słonecznym. Rejon poza orbitą Neptuna zawiera populację miliardów lodowych, skalistych ciał zwanych obiektami transneptunowymi (TNO), pozostałych po formowaniu się Układu Słonecznego, ale znamy zaledwie kilka tysięcy z nich. Są one niezwykle słabo widoczne i trudne do wykrycia. Vera C. Rubin Observatory powinno odkryć dziesiątki tysięcy takich obiektów, co, jak mają nadzieję astronomowie, pozwoli im lepiej je sklasyfikować i uzyskać pełniejszy obraz tego, jak wyglądał Układ Słoneczny w początkowej fazie swojego istnienia. Ponadto obserwatorium to odkryje znacznie więcej niż tylko obiekty transneptunowe dzięki skupieniu się na astronomii w dziedzinie czasu – czyli badaniu obiektów takich, jak planetoidy, nowe, supernowe i/lub aktywne galaktyki, które poruszają się i zmieniają jasność. Jakkolwiek rejestruje ono wyłącznie obrazy w świetle widzialnym, jego prawdziwa siła tkwi w zdolności do ukazywania zachodzących w nich zmian.

Nasze „lokalne" ograniczenia nie dotyczą wyłącznie zewnętrznego Układu Słonecznego; niewiele wiemy również o bezpośrednim otoczeniu Słońca. Od momentu wystrzelenia w 2018 roku sonda Parker Solar Probe wielokrotnie wykonywała loty nurkowe w kierunku Słońca, aby po raz pierwszy zmierzyć warunki panujące bardzo blisko powierzchni naszej gwiazdy. Gdzieś w słabo zbadanym rejonie w obrębie orbity Merkurego może znajdować się populacja małych planetoid o średnicy od 100 m do sześciu kilometrów. Nazywane wulkanoidami, znajdowałyby się one zbyt blisko potężnego blasku Słońca, by dawało się je łatwo dostrzec z Ziemi. Gdyby potwierdzono ich istnienie, dostarczyłyby nam one wielu informacji odnośnie do ewolucji Układu Słonecznego.

Z tego samego powodu nie możemy obecnie poszukiwać potencjalnie zagrażających nam planetoid pochodzących z obszaru wewnątrz orbity Ziemi. Jednakże sonda NASA Near-Earth Object Surveyor, której start zaplanowano na 2027 rok, ustawi się w stabilnej grawitacyjnie pozycji około miliona kilometrów bliżej Słońca niż Ziemia, aby poszukiwać planetoid znajdujących się w odległości do 45° na niebie od naszej gwiazdy. Plan zakłada skatalogowanie dwóch trzecich populacji planetoid o średnicy większej niż 140 m w tym rejonie przestrzeni.

Wszechświat zaczyna się tuż nad naszymi głowami i rozciąga bezkreśnie w dal. My, ludzie, mamy w miarę dobry widok na niego, z czego korzystamy, by poznać nasze pochodzenie i kosmiczne otoczenie. Jakkolwiek w naszym oglądzie kosmosu bez wątpienia istnieją luki, wiemy dość dobrze, gdzie one są, i powinniśmy dokładać wszelkich starań, by je uzupełnić. ■

eprasa.pl 9667b7543e

NEURONAUKA

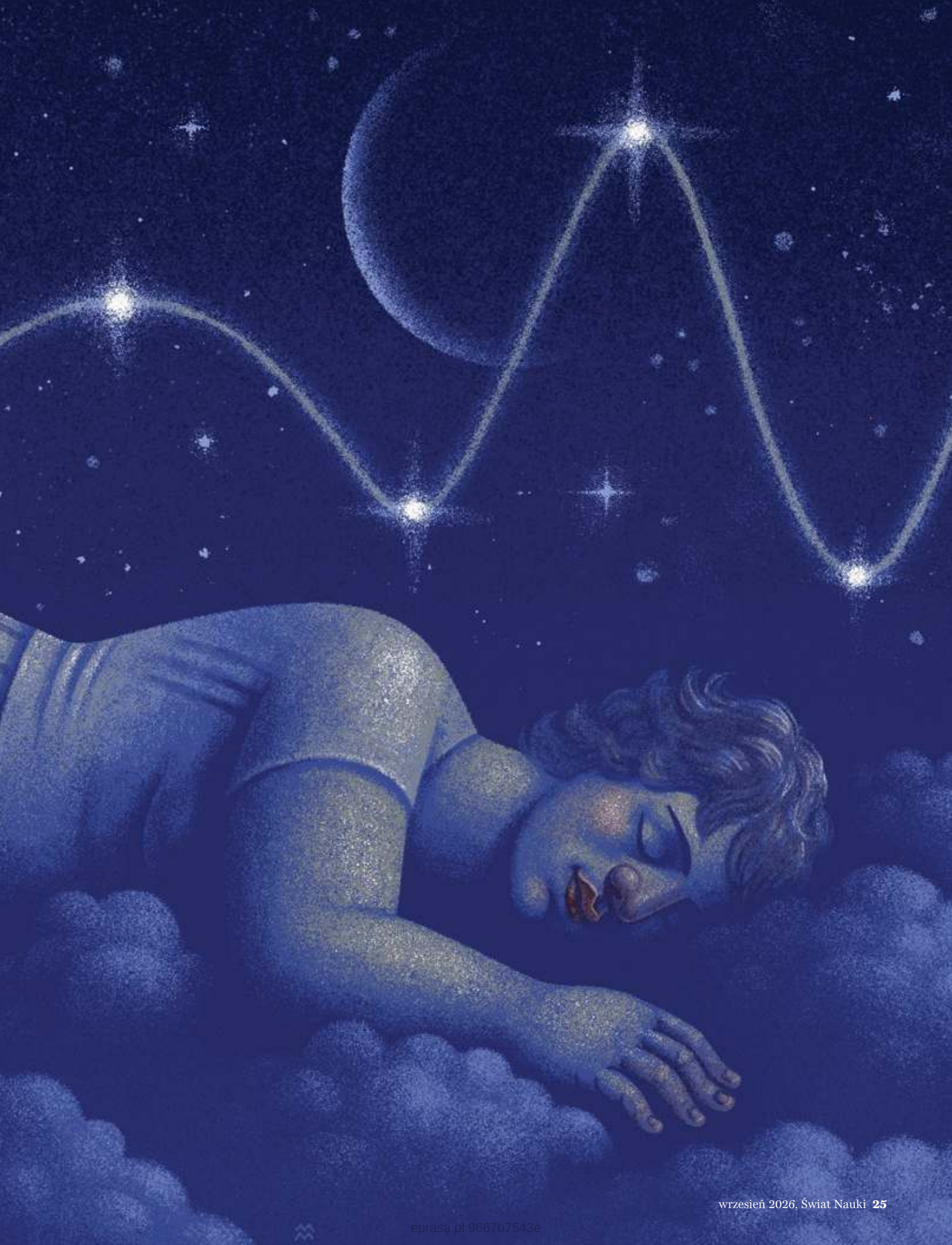
Sprzątanie mózgu

Usuwanie odpadów to jedna z podstawowych funkcji snu – i może chronić przed demencją

LYDIA DENWORTH | Ilustracja MIRIAM MARTINCIC



eprasa.pl 9607575426



eprasa.pl 9667b7543e

„WIDAĆ, JAK TO NADCHODZI WŁAŚNIE TAM, TEN MAŁY PUNKT” – mówi neurobiolożka i inżynier Laura Lewis.

Na monitorze przed nami pojawiła się niezwykle jasna, pulsująca kropka. Obserwujemy w czasie rzeczywistym aktywność mózgu doktoranta o imieniu Nick, który ucina sobie popołudniową drzemkę wewnątrz aparatu obrazującego w Massachusetts Institute of Technology, gdzie Lewis prowadzi swoje laboratorium.

Jasny punkt pojawia się najpierw w dolnej części ekranu, mniej więcej tam, gdzie gardło Nicka łączy się z jego żuchwą. Powoli przesuwa się ku górze, zanika, po czym ukazuje się kolejna jasna kropka. „To naprawdę pojawia się i znika – mówi Lewis, która jest również związana z Massachusetts General Hospital. – Przychodzi falami”. Ta poruszająca się kropka przedstawia coś, co widziało niewiele osób: świeży płyn mózgowo-rdzeniowy przepływający z rdzenia kręgowego do mózgu – część procesu, o którym badacze dopiero teraz zaczynają się uczyć, że jest kluczowy dla utrzymania naszego zdrowia.

Przez dziesięciolecia biolodzy zastanawiali się nad podstawowym problemem. Gdy ludzkie mózgi pracują i rozmyślają przez cały dzień, wytwarzają odpady – nadmiar białek i innych cząsteczek, które mogą być toksyczne, jeśli nie zostaną usunięte. Wśród tych białek znajdują się amyloid beta i tau, kluczowe czynniki napędzające chorobę Alzheimera. Do niedawna było całkowicie niejasne, w jaki sposób mózg usuwa te potencjalnie neurotoksyczne „śmieci”.

W pozostałej części ciała usuwaniem odpadów zajmuje się przede wszystkim układ limfatyczny. Nadmiar płynu wraz z niesionymi przez niego produktami przemiany materii przemieszcza się z tkanek do śledziony, węzłów chłonnych i innych elementów tego układu, gdzie niektóre cząstki są wychwytywane, a następnie trafiają do krwiobiegu, by zostać wydalone. Przez długi czas sądzono, że mózg nie może stosować tej samej metody, ponieważ tzw. bariera krew–mózg – ochronna granica zapobiegająca przedostawaniu się infekcji do kluczowych obwodów nerwowych – blokuje transport niemal wszystkiego do i z mózgu.

W 2012 roku badacze z University of Rochester pod kierownictwem neurobiolożki Maiken Nedergaard dokonali przełomowego odkrycia: wcześniej nieznany układ krążenia usuwa toksyczne odpady z mózgu. W badaniach na myszach wykazali, że napływ płynu mózgowo-rdzeniowego (CSF) przepłukuje tzw. przestrzenie okołonaczyniowe mózgu – tunelowe struktury w kształcie pierścieni otaczające naczynia krwionośne. Wykorzystując kanały wodne na powierzchni astrocytów – komórek wspierających funkcjonowanie mózgu – płyn mózgowo-rdzeniowy miesza się z płynem śródmiąższowym w przestrzeniach wokół komórek mózgowych i zbiera nagromadzone odpady. Następnie, napędzany pulsacją tętnic, opuszcza mózg przez przestrzenie okołonaczyniowe wokół żył, zabierając ze sobą „śmieci”.

Nedergaard i jej zespół nazwali to odkrycie układem glimfatycznym – „g” od komórek glejowych (do których należą astrocyty) oraz „limfatyczny” w odniesieniu do funkcji oczyszczania z odpadów. W następnym roku, w 2013, opublikowali kolejne ważne ustalenie: ten proces „sprzątania” był najbardziej aktywny i wydajny podczas snu. „Czuwanie wyraźnie go wyłączało – mówi Nedergaard – prawdopodobnie dlatego, że precyzja, jakiej sieci neuronowe potrzebują do przetwarzania świata zewnętrznego na jawie, nie jest kompatybilna z procesem oczyszczania.” Odkrycie to sugeruje, że nowo poznany proces „płukania mózgu” jest jedną z kluczowych funkcji snu. „Sen jest wyraźnie dla mózgu – mówi Nedergaard. – Kiedy budzisz się wypoczęty po dobrym śnie, to prawdopodobnie dlatego, że twój mózg przeszedł coś w rodzaju przeglądu technicznego, podobnie jak samochód”.

Jednak to przełomowe badanie przeprowadzono na myszach – a myszy to nie ludzie. Ich mózgi są mniejsze i mniej złożone niż nasze, a sen znacznie bardziej fragmentaryczny. Częściowo z powodu tej różnicy hipoteza glimfatyczna spotkała się ze sceptycyzmem. „Dziesięć lat temu cały ten przepływ w mózgu był niemal herezją” – mówi neuroimmunolog Jonathan Kipnis z Washington University School of Medicine w St. Louis.

Od tego czasu przeprowadzono setki badań – a ta jasna kropka, którą pokazała mi Lewis, reprezentuje kluczowy kolejny etap dociekań. Lewis i inni badacze

Lydia Denworth jest nagradzaną dziennikarką naukową współpracującą m.in. z „Scientific American”. Jest autorką książki *Friendship* (W. W. Norton, 2020).

eprasa.pl 9667b7543e

spędzili znaczną część ostatniej dekady, badając, czy proces usuwania odpadów działa u ludzi tak samo, jak u gryzoni. Krótka odpowiedź brzmi: tak. Co więcej, fale elektryczne przetaczające się przez mózg podczas snu – pomagające porządkować, selekcjonować, transportować i magazynować wspomnienia – wydają się pełnić jeszcze jedną istotną funkcję: napędzają również przepływ płynu mózgowo-rdzeniowego do i z mózgu.

Znaczenie układu glimfatycznego jest ogromne. Jeśli usuwanie odpadów jest istotną funkcją ludzkiego snu, to zaburzenia tego systemu prawdopodobnie wiążą się z wieloma chorobami neurologicznymi i psychicznymi, w tym z chorobą Alzheimera. Upośledzenie działania układu glimfatycznego może wyjaśniać, dlaczego starzejący się mózg gromadzi blaszki amyloidowe i splątki białka tau wywołujące Alzheimera – istnieją też pewne dowody, że stany takie, jak urazowe uszkodzenie mózgu, powiązane z tą chorobą, zakłócają usuwanie odpadów. „Jeśli to jest czynnik, który spaja wszystkie te zjawiska – mówi Jeffrey Iliff, profesor psychiatrii i neurologii na University of Washington School of Medicine, który współpracował z Nedergaard przy pierwszych badaniach – to jego ukierunkowanie otwiera drogę do pierwotnej profilaktyki chorób neurodegeneracyjnych”.

Znaczenie układu glimfatycznego jest ogromne. Jeśli usuwanie odpadów jest istotną funkcją ludzkiego snu, to zaburzenia tego systemu prawdopodobnie wiążą się z wieloma chorobami neurologicznymi i psychicznymi, w tym z chorobą Alzheimera.

CHOĆ OD LAT WIADOMO, że nagromadzenie białek amyloidowych i tau prowadzi do choroby Alzheimera, związek między snem a procesem usuwania odpadów, w którym mózg mógłby się ich pozbywać, nie był oczywisty. Przez dziesięciolecia badacze snu koncentrowali się głównie na jego roli w przetwarzaniu pamięci. Z kolei biolodzy badający barierę krew–mózg wiedzieli o istnieniu przestrzeni okołonaczyniowych otaczających naczynia krwionośne jak luźne osłony, ale nie rozumieli ich funkcji i w dużej mierze odrzucali pomysł, że mogą one stanowić kanały przepływu płynów, mówi Iliff. „Nie dostrzegali, jak dynamiczny jest to system”.

Na początku Nedergaard i Iliff – odpowiednio biolog komórek glejowych i fizjolog naczyń – postawili hipotezę, że usuwanie odpadów może w rzeczywistości wymagać czuwania. Błędnie założyli, że mózg jest mniej aktywny podczas snu, a więc funkcja glimfatyczna będzie wówczas słabsza.

W rzeczywistości mózg nie jest mniej aktywny podczas snu – jest aktywny inaczej. Tradycyjne badania snu wykorzystują elektroencefalografię (EEG) do śledzenia aktywności elektrycznej odpowiadającej poszczególnym fazom snu. Wyniki pokazują, że gdy ludzie są w stanie aktywnego czuwania, wzorce aktywności neuronowej są szybkie, charakteryzowane przez fale beta o wysokiej częstotliwości. W początkowych, lekkich fazach snu – fazie 1 i 2 – aktywność spowalnia i pojawiają się fale alfa i theta o niższej częstotliwości. Sen głęboki, czyli faza 3, nazywany jest snem wolnofalowym ze względu na dominujące w nim fale delta o dużej amplitudzie i najniższej częstotliwości. Fale te, które w zapisie EEG przypominają serie wielkich oceanicznych fal, pomagają mózgowi porządkować doświadczenia dnia i zapisywać część z nich jako wspomnienia. Z kolei trzecia faza, zwana snem REM (od szybkich ruchów gałek ocznych), to moment, gdy mamy najbardziej żywe i kreatywne sny. Ten okres przypomina stan czuwania, z szybszą aktywnością mózgu niż w innych fazach snu.

To, czego za pomocą EEG nie da się wykryć, to przepływ płynów w mózgu. Każdego dnia nasze ciała produkują i odprowadzają objętość płynu mózgowo-rdzeniowego trzykrotnie lub czterokrotnie większą niż jego całkowita ilość w organizmie. W nielicznych pierwszych badaniach z wykorzystaniem jądrowego rezonansu magnetycznego (MRI) pokazano, że przepływ tego płynu jest powiązany z rytmem serca, ale nie stwierdzono nic więcej z powodu ograniczeń technicznych. Niewielka była też świadomość, że przepływ płynu mózgowo-rdzeniowego zmienia się podczas snu.

Pierwszym wyraźnym sygnałem znaczenia snu dla usuwania odpadów było pionierskie badanie Nedergaard z 2013 roku. Porównano w nim usuwanie białka amyloidu beta z mózgu myszy będących w stanie czuwania, snu i znieczulenia. Naukowcy wstrzyknęli do mózgów myszy fluorescencyjny znacznik i odkryli, że jego napływ do przestrzeni okołonaczyniowych i tkanki mózgowej był zmniejszony aż o 95%, gdy myszy były rozbudzone, w porównaniu ze stanem snu. Objętość przestrzeni śródmiąższowej w korze mózgu zwiększała się również o 60%, gdy myszy spały lub były znieczulone, co wskazuje, że sen wywołuje zmiany fizjologiczne zwiększające zdolność mózgu do usuwania odpadów. Ostatecznie amyloid beta był usuwany z mózgów śpiących myszy dwa razy szybciej niż u myszy czuwających.

Czy u ludzi działa to tak samo? To było pytanie, które postawił neurochirurg i badacz Per Kristian Eide z Oslo University Hospital w Norwegii. Badał on związek między komórkami glejowymi, takimi jak astrocyty, a gęstą siecią naczyń krwionośnych w ludzkim mózgu. Jako chirurg Eide skorzystał z faktu, że pracował wewnątrz ludzkich czaszek i – za zgodą pacjentów – mógł przeprowadzać dodatkowe badania.

Wraz z radiologiem Geirem Ringstadem i innymi współpracownikami Eide rozpoczął badanie, opublikowane w 2021 roku, z udziałem pacjentów, którzy już przechodzili diagnostykę neurologiczną w szpitalu. Naukowcy wstrzyknęli znacznik do płynu mózgowo-rdzeniowego (CSF) wszystkich uczestników. Jednej grupie pozwolono spać normalnie przez noc; druga była utrzymywana w stanie czuwania przez 24 godziny.

eprasa.pl 9667b7543e

W przeciwieństwie do krwi, która jest pompowana przez ciało z dużą siłą przez serce, płyn mózgowo-rdzeniowy przypomina raczej wodę w wannie albo powoli płynącą rzekę z wieloma dopływami.

Wszyscy uczestnicy badania przeszli wielokrotne badania MRI wieczorem i ponownie następnego dnia.

Usuwanie znacznika było wyraźnie wolniejsze u osób, które nie spały, w porównaniu z tymi, które spały. „To było wyraźne – mówi Eide. – Byliśmy bardzo, bardzo zaskoczeni, że dostrzegliśmy różnicę już po jednej nocy pozbawienia snu". Jeszcze bardziej uderzające było to, że nawet po tym, jak wszyscy uczestnicy mogli normalnie spać następnej nocy, usuwanie znacznika nadal było wolniejsze u tych, którzy stracili wcześniejszą noc snu. „Nie da się tego nadrobić jedną dobrą nocą" – mówi Eide.

W kolejnym badaniu Eide i jego zespół stwierdzili, że osoby zgłaszające chronicznie słabą jakość snu również wykazywały opóźnione usuwanie znacznika. Co więcej, u osób z demencją objętość mózgu w płatach czołowym, skroniowym i ciemieniowym była zmniejszona w porównaniu z osobami dobrze śpiącymi. Ponieważ zarówno demencja, jak i zwiększona objętość przestrzeni okołonaczyniowych były wcześniej powiązane ze słabą jakością snu – być może z powodu zaniku kory mózgowej – Eide i jego współpracownicy podejrzewają, że przewlekłe zaburzenia snu współwystępują z dysfunkcją układu glimfatycznego.

Występowały także wyraźne różnice między ludźmi a myszami. U gryzoni, na przykład, transport glimfatyczny był – jak mówi Eide – „zjawiskiem typu włącz/wyłącz": aktywny podczas snu i wyłączony, gdy myszy nie spały. U ludzi nie jest to tak gwałtowne – zmiany zachodzą w ciągu godzin, a nie minut. Mimo to badania wykazały, że ludzki mózg również jest oczyszczany podczas snu i że „słaba jakość snu wpływa na funkcjonowanie układu glimfatycznego", jak podkreśla Eide.

LAURA LEWIS Z POWODU SWOJEJ PRACY mało śpi, ponieważ prowadzi całonocne eksperymenty. „To paradoksalne, że jest się badaczem snu, ale nie można stosować się do własnych zaleceń" – mówi. Lewis zajęła się innym elementem problemu glimfatycznego: przepływem płynów w ludzkim mózgu, który głównie odpowiada za usuwanie odpadów. To dlatego, około siedem lat temu, znalazła się w sterowni aparatu MRI bardzo podobnej do tej, w której pokazała mi płyn mózgowo-rdzeniowy Nicka.

Lewis zdecydowała się mierzyć przepływ CSF w czwartej komorze mózgu – niewielkiej jamie położonej przy móżdżku u podstawy mózgu. Komory mózgu produkują płyn mózgowo-rdzeniowy i działają jak dodatkowe amortyzatory dla delikatnej tkanki. Dla celów badawczych Lewis czwarta komora była szczególnie użyteczna, ponieważ „jest swego rodzaju wąskim gardłem". Położona u podstawy mózgu, dostarcza ogólnego obrazu tego, co dzieje się w innych jego częściach – jak jak pomiar zatłoczenia pomieszczenia przez liczenie osób przechodzących przez drzwi.

W całonocnym badaniu snu opublikowanym w 2019 roku Lewis i jej współpracownicy pierwsi do obserwacji tego procesu wykorzystali MRI. Wykonując zdjęcia mózgu co 367 ms zamiast standardowych dwóch lub trzech sekund, mogli zobaczyć przepływ płynu mózgowo-rdzeniowego podczas snu.

Początkowo Lewis nie mogła w to uwierzyć. Zwykle istotne szczegóły obrazowania mózgu wymagają analiz statystycznych i przetwarzania – nie są widoczne gołym okiem. „To był najwyraźniejszy sygnał, jaki kiedykolwiek obserwowałam – mówi Lewis. – Zdumiewające. Naprawdę wyraźnie widać, że dzieje się to podczas snu".

Lewis przed publikacją wyników, trzykrotnie je sprawdzała. Od tego czasu badania zostały już wielokrotnie powtórzone. „Kiedy ludzie śpią, w mózgu pojawiają się naprawdę ogromne i powolne fale przepływu, o okresie 20–30 s, szczególnie w fazie snu NREM (non-rapid eye movement)" – mówi Lewis. Korzystając z danych EEG, zaobserwowała również wyraźne wzorce aktywności mózgu poprzedzające każdą falę. Gdy fale delta głębokiego snu – a częściowo także fale theta w fazie snu pośredniego (N2) – przetaczają się przez mózg, przekazując i integrując wspomnienia, wydają się jednocześnie napędzać impulsy płynu mózgowo-rdzeniowego wpływającego do mózgu.

Lewis odkryła, że CSF przepływa również wtedy, gdy ludzie nie śpią, ale znacznie mniej efektywnie. „Zawsze trochę się to porusza, ale kiedy zasypiasz, zaczyna się nowy cykl" – mówi. Różnica w ruchu płynu przypomina to, jak pralka przechodzi z lekkiego kołysania do pełnych obrotów – wtedy znacznie więcej wody napływa i odpływa. Wniosek Lewis jest taki: sen – niezbędny dla zdrowia człowieka – ma charakterystyczny wzorzec przepływu płynu mózgowo-rdzeniowego, zmieniający się wraz z kolejnymi fazami snu. „To nie jest przypadek – mówi. – To w rzeczywistości te same obwody mózgowe, które kontrolują sen, wydają się również zaangażowane w sterowanie przepływem".

Ale skąd bierze się siła napędowa niezbędna do tego „czyszczenia"? W przeciwieństwie do krwi, która jest pompowana przez ciało z dużą siłą przez serce, płyn mózgowo-rdzeniowy przypomina raczej wodę w wannie albo powoli płynącą rzekę z wieloma dopływami. „Co powoduje ten ruch?" – pyta Lewis.

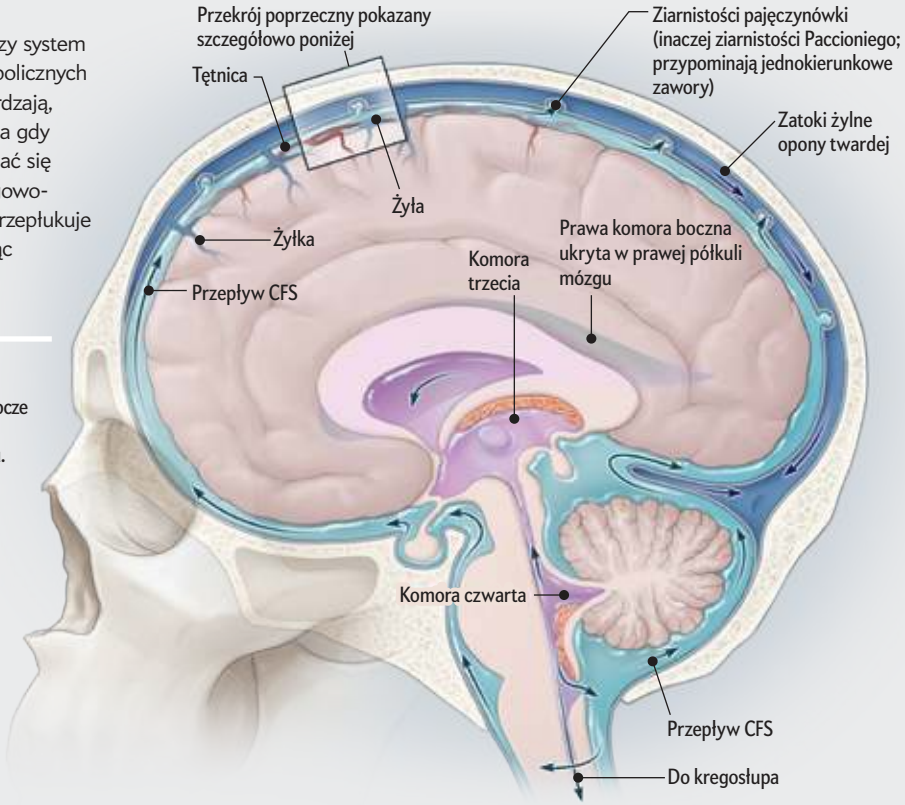
Jedną z możliwości jest neuroprzekaźnik noradrenalina (norepinefryna). Jej poziom gwałtownie rośnie, gdy się budzimy. W ciągu dnia skupia uwagę; powoduje także zwężanie naczyń krwionośnych. A podczas snu NREM – zgodnie z nowym badaniem na myszach przeprowadzonym przez zespół Nedergaard – niższy poziom jej wydzielania, niewystarczający do wybudzenia zwierząt, ale wystarczający do wywołania pulsacji naczyń, napędza ruch umożliwiający przepływ CSF.

Naczynia krwionośne w mózgach tych myszy rozszerzały się i kurczyły z amplitudą dziesięciokrotnie

eprasa.pl 9667b7543e

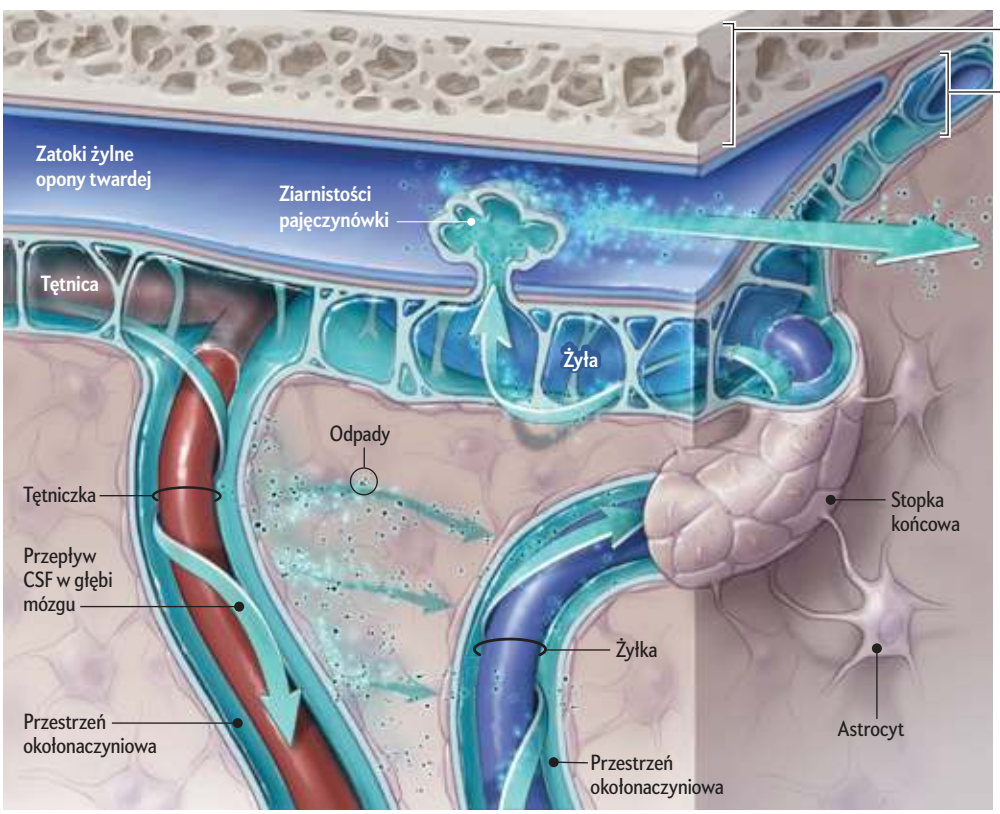
Nocne porządki

W 2012 roku naukowcy odkryli u myszy system oczyszczania mózgu z odpadów metabolicznych podczas snu. Obecnie badania potwierdzają, że ludzie mają podobny mechanizm – a gdy działa on nieprawidłowo, mogą pojawiać się demencja i inne schorzenia. Płyn mózgowo-rdzeniowy (cerebrospinal fluid, CSF) przepłukuje mózg, zwłaszcza podczas snu, usuwając pozostałości po codziennej aktywności umysłowej i utrzymując jego zdrowie.



JAK CSF PRZEPŁYWA PRZEZ MÓZG

Cztery komory mózgu (*fioletowy*) filtrują osocze krwi i pomagają w krążeniu powstałego płynu mózgowo-rdzeniowego wokół mózgu. (Na ilustracji widoczne są tylko trzecia i czwarta komora). Niewielkie ilości CSF docierają głęboko do mózgu, przepływając wzdłuż „okołonaczyniowych" kanałów otaczających i obejmujących tętniczki, czyli odgałęzienia tętnic (*w powiększeniu poniżej*). Po oczyszczeniu mózgu z odpadów metabolicznych CSF może spływać w dół wzdłuż rdzenia kręgowego lub opuszczać układ nerwowy przez układ limfatyczny albo przez przypominające zastawki struktury zwane ziarnistościami pajęczynówki, które umożliwiają dostęp do krwiobiegu.



Z BLIŻSZEJ PERSPEKTYWY

Płyn mózgowo-rdzeniowy wnika głęboko do mózgu, przemieszczając się przez przestrzenie okołonaczyniowe otaczające tętniczki. Jest napędzany pulsacją krwi wewnątrz tętniczki. Następnie CSF wnika do komórek astrocytarnych przez kanały w ich stopkach końcowych, a potem wydostaje się z tych komórek do istoty szarej mózgu. Po zebraniu zanieczyszczeń CSF ponownie trafia do jamy okołonaczyniowej – tym razem otaczającej żyłkę (*venula*), czyli małą żyłę. Płyn wraz z odpadami przemieszcza się wzdłuż żyłki ku obwodowi mózgu i ostatecznie go opuszcza

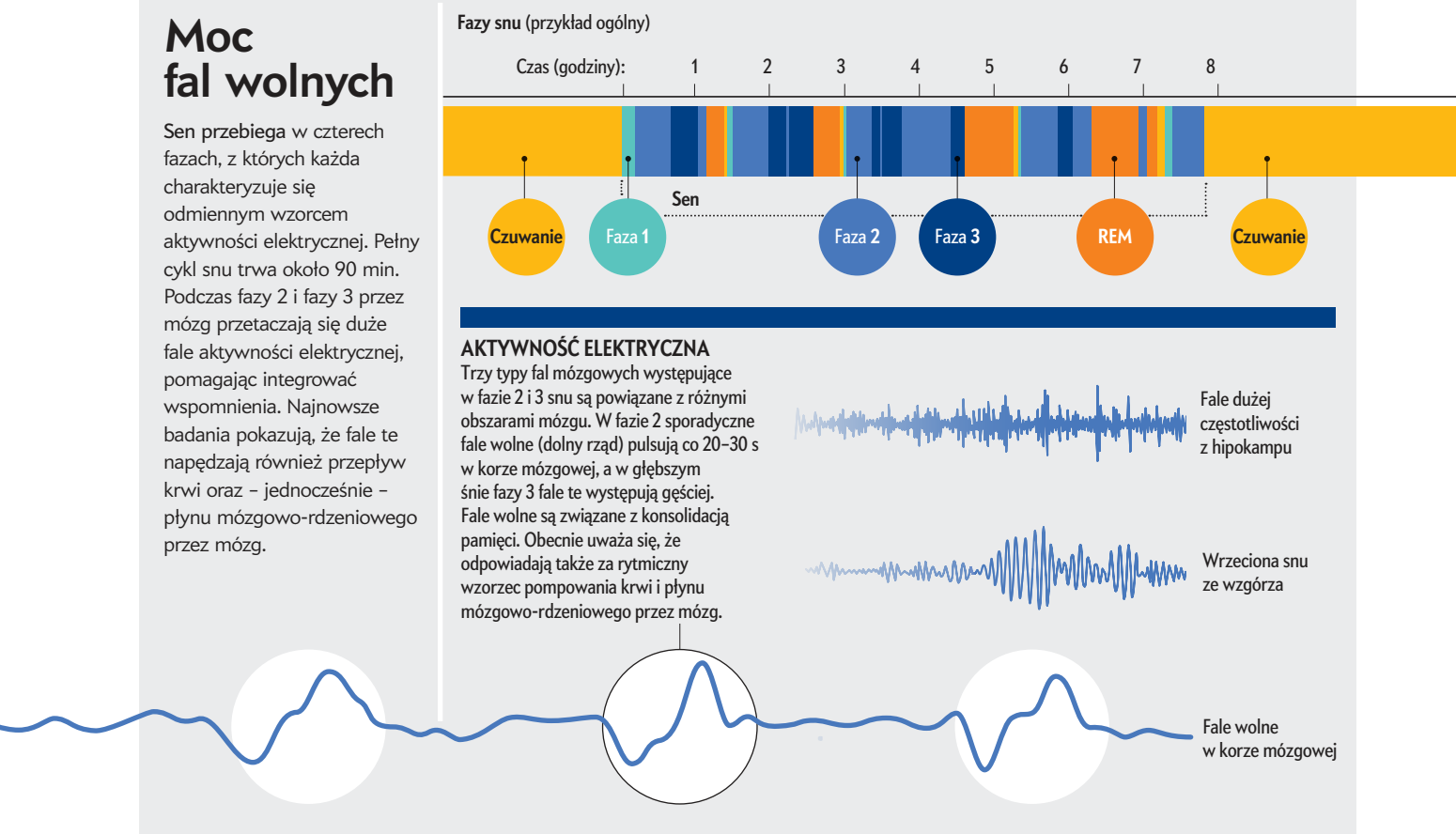
ŹRÓDŁO: Ilustracja N. Desai z „Deep Sleep Drives Brain Fluid Oscillations", Søren Grubb i Martin Lauritzen, „Science", tom 366; listopad 2019 (*główne odniesienie*)

Grafika David Cheney

eprasa.pl 9667b7543e

Moc fal wolnych

Sen przebiega w czterech fazach, z których każda charakteryzuje się odmiennym wzorcem aktywności elektrycznej. Pełny cykl snu trwa około 90 min. Podczas fazy 2 i fazy 3 przez mózg przetaczają się duże fale aktywności elektrycznej, pomagając integrować wspomnienia. Najnowsze badania pokazują, że fale te napędzają również przepływ krwi oraz – jednocześnie – płynu mózgowo-rdzeniowego przez mózg.



większą podczas snu NREM niż w stanie czuwania, mówi Nedergaard. A gdy naczynia się rozszerzają i kurczą, wypychając krew do i z mózgu, płyn mózgowo-rdzeniowy przepływa, wypełniając rozszerzające się i kurczące przestrzenie wokół naczyń. W ten sposób wahania poziomu noradrenaliny wywołują fale CSF rozchodzące się w przestrzeniach okołonaczyniowych (Virchowa-Robina).

Co jednak powoduje te wahania poziomu noradrenaliny? W październiku 2024 roku Kipnis, neurobiolog Li-Feng Jiang-Xie oraz ich współpracownicy z Washington University opublikowali pracę pokazującą, że ostatecznie to neurony dostarczają energii niezbędnej do oczyszczania. „Neuron jest jak maleńka pompa" – mówi Jiang-Xie, obecnie związany z University of Pennsylvania. Aktywność elektryczna zsynchronizowanych neuronów – zwłaszcza podczas snu – może napędzać przepływ płynów przez tkankę mózgową i pomagać w usuwaniu odpadów. Ten mechanizm wskazywało już wcześniejsze badanie Lewis, ale dzięki eksperymentom na myszach Jiang-Xie i Kipnis mogli szczegółowo pokazać, jak płyn przemieszcza się do i z tkanki mózgowej. „Noradrenalina jest w zasadzie kontrolowana przez aktywność neuronów" – mówi Jiang-Xie.

„Te wyniki doskonale zgadzają się z tym, co zaobserwowaliśmy u ludzi, ale dostarczają informacji, których nie mogliśmy uzyskać – mówi Lewis. – Wygląda to na łańcuch zdarzeń: zmienia się stan snu, to wpływa na naczynia krwionośne, a te aktywnie pompują płyn mózgowo-rdzeniowy powodując w mózgu jego przepływ".

Tymczasem inne badania na myszach ujawniły istotne różnice między snem naturalnym a znieczuleniem, a także między działaniem różnych środków anestetycznych – wszystkie one w odmienny sposób wpływają na usuwanie odpadów. Mózg pod wpływem znieczulenia nie przechodzi przez fazy, tak jak podczas snu. Okazuje się też, że niektóre anestetyki hamują funkcję układu glimfatycznego, podczas gdy inne ją wzmacniają. Co więcej, napływ płynu mózgowo-rdzeniowego zachodzi wprost proporcjonalnie do siły wolnofalowej aktywności neuronalnej i odwrotnie proporcjonalnie do częstości akcji serca – a oba te czynniki są modyfikowane przez stosowane leki.

Odkrycia te pomagają wyjaśnić wyniki niektórych badań, które nie potwierdzały teorii glimfatycznej. Na przykład raport z 2017 roku autorstwa badaczy z University of California w San Francisco opisywał myszy znieczulone avertiną – środkiem, który, jak później wykazano, ogranicza zdolność układu glimfatycznego do oczyszczania. Od tego czasu pięć innych laboratoriów ponownie potwierdziło pierwotne ustalenie, że oczyszczanie glimfatyczne działa podczas snu.

Ale dokąd trafia ten płyn? To kolejne trudne pytanie. Proces „płukania mózgu" składa się z czterech etapów, mówi Kipnis. Najpierw płyn mózgowo-rdzeniowy napływa do mózgu, potem krąży w jego obrębie, następnie odpływa wzdłuż żył, by ostatecznie trafić do

Grafika Jen Christiansen

eprasa.pl 9667b7543e

układu limfatycznego. Kipnis koncentruje się na tym ostatnim etapie, który jest równie istotny, jak wszystkie poprzednie. „Jeśli myjesz dom, nie zmieniając wody w wiadrze, to nie jest mycie, tylko przenoszenie brudu z miejsca na miejsce” – mówi.

Rozwiązaniem jest opróżnienie wiadra i nalanie świeżej wody, co w przypadku mózgu oznacza zapewnienie, że naczynia limfatyczne, do których trafiają „zanieczyszczenia”, działają prawidłowo. W 2015 roku Kipnis i jego współpracownicy odnaleźli ten „system kanalizacyjny”: ogłosili odkrycie naczyń limfatycznych w oponach mózgowych otaczających mózg i rdzeń kręgowy. Naczynia te stanowią brakujący element układanki glimfatycznej, ponieważ mogą odbierać zarówno płyn mózgowo-rdzeniowy, jak i płyn śródmiąższowy z mózgu. Są „ostatnim przystankiem” – mówi Kipnis. „To struktura biologiczna na samym końcu całego procesu”.

GDY NAUKOWCY DOKŁADNIE USTALĄ, jak działa oczyszczanie glimfatyczne, będą mogli także zrozumieć, co się dzieje, gdy proces ten zawodzi. Na przykład noradrenalina i zaburzenia snu odgrywają również rolę w rozwoju przewlekłego bólu. Wyższe wyrzuty noradrenaliny sprzyjają czuwaniu i wydają się wyłączać układ glimfatyczny. W konsekwencji poprawa jego działania poprzez obniżenie poziomu noradrenaliny mogłaby zmniejszyć przewlekły ból. Nedergaard bada również możliwą rolę układu glimfatycznego w zaburzeniach psychicznych, takich jak depresja i schizofrenia.

Eide chce z kolei zwiększyć wydajność tego systemu. Płyn mózgowo-rdzeniowy stanowi atrakcyjną drogę dostarczania leków do mózgu, ponieważ omija barierę krew–mózg. Rola noradrenaliny jest szczególnie interesująca, mówi Nedergaard. Niezależnie od tego, czy sygnalizacja noradrenergiczna jest zbyt słaba (jak w chorobie Alzheimera), czy zbyt silna (jak w przewlekłym bólu lub stresie), kontrolowane przez nią oscylacje fal mózgowych stają się nieefektywne. To spostrzeżenie może umożliwić ukierunkowanie leczenia poprzez farmakologiczną modulację noradrenaliny.

Możliwości nie są jednak ograniczone. Dopóki nie powstanie lek, który jednocześnie poprawia funkcjonowanie układu glimfatycznego, zwiększa usuwanie amyloidu beta i białka tau oraz spowalnia postęp choroby, nikt definitywnie nie stwierdzi, że upośledzone usuwanie toksyn z mózgu powoduje chorobę Alzheimera u ludzi. W rodzinnej, wczesnej postaci tej choroby białka amyloidowe są produkowane w nadmiarze i mechanizmy oczyszczania mogą nie nadążać, niezależnie od tego, jak bardzo zostaną usprawnione. Mimo to, nawet jeśli poprawa usuwania odpadów jedynie spowolni rozwój choroby Alzheimera u większości pacjentów, byłoby to ogromne osiągnięcie. Możliwość przeżycia dodatkowych pięciu-ośmiu lat bez upośledzenia funkcji poznawczych byłaby prawdziwą rewolucją.

Istnieją również strategie niefarmakologiczne. W badaniu, podczas którego Nick uciął sobie popołudniową drzemkę, doktorant Joshua Levitt eksperymentuje z bodźcami dźwiękowymi podczas snu. Jego badania łączą EEG i czynnościowy jądrowy rezonans magnetyczny, aby uchwycić stan snu i aktywność mózgu. Nicka i innych uczestników eksperymentu wyposaża w słuchawki i odtwarza im przez nie, gdy badani śpią, szumy i trzaski. Jeśli wziąć pod uwagę, że przepływ płynu mózgowo-rdzeniowego ma charakter fal wolnych, a dźwięki zwiększają aktywność wolnofalową, strategia ta może teoretycznie wpływać na przepływ. „Skoro uważamy, że te zjawiska są istotne dla dobrego zdrowia, powinniśmy opracować sposoby, by je rzeczywiście móc modyfikować” – mówi Lewis. Levitt „próbuje potencjalnie poprawić jakość snu”.

Mózg pod wpływem znieczulenia nie przechodzi przez fazy, tak jak podczas snu. Okazuje się też, że niektóre anestetyki hamują funkcję układu glimfatycznego, podczas gdy inne ją wzmacniają.

Samo zrozumienie przepływu płynu mózgowo-rdzeniowego i tego, jak zmienia się on wraz z wiekiem, również ma duże znaczenie. Inna doktorantka z zespołu Lewis, Sydney Bailes, bada różnice w przepływie między osobami powyżej 60. roku życia a młodszymi niż 40 lat oraz potencjalne znaczenie tych różnic dla usuwania odpadów metabolicznych. Z wiekiem naturalne jest krótsze spanie i mniejsza liczba fal wolnych. „Jak odróżnić osoby doświadczające typowych zmian związanych z wiekiem od tych, u których zaczynają się zaburzenia? – pyta Lewis. – Musimy to rozdzielić”.

Badanie jeszcze się skończyło, ale dotychczasowe wyniki pokazują, że osoby starsze różnią się między sobą bardziej niż młodsze – co odzwierciedla większe zróżnicowanie funkcji poznawczych w starszym wieku. „Widzimy wskaźniki bardzo skupione u młodych dorosłych i znacznie bardziej rozproszone u starszych” – mówi Bailes.

Zdarzają się jednak wyjątki. Jedna z uczestniczek, 80-letnia kobieta – jedna z najstarszych w badaniu – wyraźnie się wyróżniała. „Jej fale mają znacznie większą amplitudę niż zazwyczaj obserwuję u osób starszych i wydają się bardzo regularne – mówi Bailes. – Przepływ płynu mózgowo-rdzeniowego wyglądał u niej jak u młodej osoby”.

To niezwykłe spostrzeżenie. Czy kiedyś stanie się rutynową metodą oceny stanu zdrowia? Wiele laboratoriów pracuje nad nieinwazyjnym „glimfogramem”, który pokazywałby, jak sprawnie działa system oczyszczania organizmu. Zaburzenie działania układu glimfatycznego może kiedyś być traktowane podobnie jak nadciśnienie – jako coś, co należy leczyć, zanim przerodzi się w poważniejszy problem. Różnice w usuwaniu odpadów mogą wyjaśniać, dlaczego niektórzy starzeją się zdrowo, a inni nie – i otworzyć drogę do terapii poprawiających ten proces u osób, które tego potrzebują. Celem nie jest to, by wszyscy spali jak niemowlęta; wystarczyłoby spać jak trzydziestolatkowie. ■

Z NASZEGO ARCHIWUM

Synchronizacja umysłów. Lydia Denworth; wrzesień 2023.

eprasa.pl 9667b7543e

ASTROFIZYKA

Nieoczekiwana ZMIANA... FUNKCJI

Dawny teleskop przeznaczony do szpiegowania jest teraz potężnym narzędziem NASA mającym badać tajemnice ciemnej energii i ciemnej materii

JONATHAN O'CALLAGHAN



Kosmiczny Teleskop Nancy Grace Roman jest przygotowywany do startu w pomieszczeniu czystym (clean room) w należącym do NASA Goddard Space Flight Center w Greenbelt w stanie Maryland.

NASA/Chris Gunn

eprasa.pl 9667b7543e


CAUTION

ALAN DRESSLER PATRZYŁ Z PODZIWEM na ustawiony przed nim rząd teleskopów Hubble'a. NASA potrzebowała dwóch dekad, żeby zaprojektować i zbudować własny Kosmiczny Teleskop Hubble'a, który po umieszczeniu go na orbicie w 1990 roku zrewolucjonizował naszą wiedzę o galaktykach i gwiazdach. Teraz, w 2012 roku, stojąc w czystym pomieszczeniu należącym do nowojorskiego kontraktora militarnego, Dressler miał przed sobą linię montażową klonów Hubble'a. Nie były to teleskopy astronomiczne, lecz instrumenty o równie dużych możliwościach, przeznaczone dla satelitów szpiegowskich. A jeden z nich miał zostać przekazany NASA za darmo.

Tak rozpoczyna się saga Kosmicznego Teleskopu Nancy Grace Roman, który obecnie znajduje się na Florydzie, gotowy na wystrzelenie na rakiecie SpaceX Falcon Heavy. Teleskop Nancy Grace Roman dostarczy bezprecedensowej wiedzy na temat ciemnej energii i ciemnej materii – tajemniczych składników Wszechświata, dzięki którym istniejemy my sami. Za jego pomocą odkrytych zostanie więcej obcych światów spoza naszego Układu Słonecznego. Będzie to także test kluczowej techniki, która pewnego dnia może ujawnić istnienie życia na takich światach. Jak ujęła to Julie McEnery z należącego do NASA Goddard Space Flight Center, jest to teleskop zdolny do „spektakularnych rzeczy".

A historia tego, jak trafił na platformę startową, jest równie niesamowita, jak prowadzone za jego pomocą badania naukowe. Podstawowa część obserwatorium została zbudowana w celu śledzenia wrogów Ameryki po wydarzeniach z 11 września. Kiedy program upadł, Narodowe Biuro Wywiadu (National Reconnaissance Office; NRO) dysponowało nadwyżką teleskopów. Czy NASA byłaby nimi zainteresowana? – zapytali urzędnicy. Agencja kosmiczna z radością przyjęła tę ofertę. Historia Roman to nie tylko opowieść o ważnych badaniach i nieoczekiwanej współpracy między agencjami, ale także o niezwykłej efektywności. Start ma nastąpić przed terminem, a jego koszt będzie niższy niż przewidywany w budżecie, co jest wyczynem niezwykle rzadkim w przypadku skomplikowanych projektów astronomicznych. „Kiedy wszystko idzie zgodnie z planem i odnosimy sukcesy, takie jak w przypadku teleskopu Nancy Grace Roman, wyciągnijmy z tego wnioski" – zaapelował administrator NASA Jared Isaacman podczas kwietniowej konferencji prasowej.

Ta misja kosmiczna rozpoczęła się w wyniku szczęśliwego zrządzenia losu, a potem wiele razy uniknęła końca. To teleskop, który z wielu powodów nie powinien istnieć – a jednak stoi, gotowy, by skierować swoje oko ku niebu. I w pewnym sensie jego finalne zadanie nie tak bardzo odbiega od pierwotnego celu. Przecież nadal będzie odkrywał tajemnice – ale tym razem kosmosu.

POD KONIEC POPRZEDNIEGO TYSIĄCLECIA astronomowie dokonali odkrycia, za które później dostali Nagrodę Nobla. Odkrycie to postawiło współczesnych kosmologów na baczność. Analizując wybuchające gwiazdy, zwane supernowymi typu Ia, odkryli dziwną prawidłowość – najodleglejsze supernowe świeciły słabiej, niż oczekiwano. Naukowcy od dziesięcioleci wiedzieli, że Wszechświat się rozszerza, ale nowe odkrycie

Jonathan O'Callaghan jest nagradzanym niezależnym dziennikarzem zajmującym się astronomią, astrofizyką, komercyjnymi lotami kosmicznymi i eksploracją kosmosu. Obserwuj go na platformie X @Astro_Jonny

eprasa.pl 9667b7543e

świadczyło o czymś jeszcze bardziej niezwykłym: ekspansja Wszechświata przyspieszała.

Aby wyjaśnić to przyspieszenie, astronomowie wysunęli hipotezę o ciemnej energii – niewidzialnej sile lub ciśnieniu, która coraz szybciej oddala galaktyki od siebie i stanowi ponad dwie trzecie masy i energii Wszechświata. Albert Einstein przewidział istnienie takiego zjawiska już w 1917 roku – wprowadził wówczas „stałą kosmologiczną", aby wyjaśnić, dlaczego Wszechświat jest statyczny. Odrzucił jednak tę koncepcję po odkryciu w latach 20. XX wieku, że Wszechświat się rozszerza. Około 100 lat później jego przewidywania powracają jako możliwa przyczyna przyspieszającej ekspansji Wszechświata.

Rozwiązanie zagadki ciemnej energii wymagać będzie dokładniejszych obserwacji supernowych w całym Wszechświecie, a także pomiarów kształtów i położenia jak największej liczby galaktyk. Galaktyki te naukowcy wykorzystają do badania struktury kosmicznej, której kształt został zdeterminowany przez drugi składnik ciemnego sektora Wszechświata – ciemną materię. Pod koniec pierwszej dekady XXI wieku poznanie natury tegoż ciemnego Wszechświata stało się jednym z najwyższych priorytetów w astrofizyce, a w 2010 roku National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine w swym raporcie „Decadal Survey" – który co 10 lat wyznacza priorytety naukowe – poleciła NASA zbudowanie teleskopu do jej zbadania.

Urządzenie to nazwano Wide-Field Infrared Survey Telescope (Podczerwony Teleskop Badawczy o Dużym Polu Widzenia; WFIRST). Dzięki zwierciadłu głównemu o średnicy nieco ponad metra – czyli o połowę mniejszej niż w teleskopie Hubble'a – WFIRST miał prowadzić szeroko zakrojone przeglądy nieba w celu sporządzenia mapy rozszerzania się Wszechświata oraz badania odległych galaktyk. Od samego początku projekt napotykał jednak znaczny sprzeciw ze strony astronomów, którzy chcieli, aby NASA rozszerzyła zakres zastosowań teleskopu, w szczególności o badania planet pozasłonecznych, które stawały się kolejnym ważnym kierunkiem w astronomii. „Mieliśmy trudności z uzyskaniem poparcia w środowisku – mówi Dressler, obecnie emerytowany astronom w Carnegie Institution for Science i jeden z pierwszych liderów projektu WFIRST. – Chciano zrealizować znacznie ambitniejszy plan".

Podczas zjazdu Amerykańskiego Towarzystwa Astronomicznego (American Astronomical Society; AAS) w 2011 roku Dressler i jego współpracownicy próbowali przekonać innych do swojego pomysłu. „Na tym zjeździe pojawiły się ogromne kontrowersje – wspomina. – Wiele osób uważało, że nie powinniśmy marnować na to pieniędzy". Znaczną część ówczesnego budżetu NASA przeznaczonego na budowę teleskopów kierowano na Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba (James Webb Space Telescope; JWST), którego przewidywany koszt wynosił już wtedy 8,7 mld dolarów, a w momencie jego wystrzelenia w 2021 roku wzrósł do około 10 mld dolarów. Projekt WFIRST, zanim jeszcze się rozpoczął, wydawał się skazany na porażkę.

Było więc wielkim zaskoczeniem, gdy David Spergel, astrofizyk teoretyczny pracujący wówczas na Princeton University, który pełnił wówczas funkcję doradcy naukowego misji, podczas zjazdu wziął po cichu Dresslera na stronę i powiedział, że WFIRST może mieć niezwykłego wybawcę – NRO. Agencja wywiadowcza dysponowała niewykorzystywanymi teleskopami, które nie były jej już potrzebne, i pytała, czy NASA jest nimi zainteresowana. Był to niewiarygodny łut szczęścia. Wydawało się to zbyt piękne, aby mogło być prawdziwe.

W LATACH 90. NRO URUCHOMIŁO program satelitów szpiegowskich o nazwie Future Imagery Architecture. Po atakach z 11 września 2001 roku agencja zintensyfikowała prace nad tym programem, dążąc do stworzenia nowej generacji zaawansowanych technicznie teleskopów służących do gromadzenia danych satelitarnych o przeciwnikach Ameryki. Dzięki zwierciadłom wielkości lustra w teleskopie Hubble'a teleskopy te byłyby w stanie dostrzec na Ziemi obiekty mniejsze niż kubek do kawy – co ujawnił w tweecie z 2019 roku prezydent Donald Trump, pokazując zdjęcie irańskiej wyrzutni rakietowej wykonane przez podobnego satelitę.

Dzięki zwierciadłom wielkości lustra w teleskopie Hubble'a teleskopy te byłyby w stanie dostrzec na Ziemi obiekty mniejsze niż kubek do kawy.

Jednak projekt, zlecony firmie Boeing, miał opóźnienia i przekroczył budżet. Dochodzenie przeprowadzone przez „The New York Times" wykazało, że całkowity koszt projektu wyniósł o 13 mld dolarów więcej, niż pierwotnie zakładano. Podobno urzędnicy podjęli decyzję o zarzuceniu przedsięwzięcia w 2005 roku – jednak część sprzętu została już zmontowana. Sprzęt ten znajdował się w Rochester w stanie Nowy Jork, w czystym pomieszczeniu firmy zbrojeniowej Exelis, przejętej później przez firmę L3Harris.

Michael Moore, ówczesny zastępca dyrektora NASA ds. astrofizyki, pełnił w latach 90. funkcję łącznika z Siłami Powietrznymi Stanów Zjednoczonych. Dzięki swoim kontaktom dowiedział się, że może pojawić się nadwyżka sprzętu. Postanowił zaryzykować. „Kiedy stało się jasne, że będą mieli za dużo urządzeń, udałem się do zarządzającego programem i spytałem, czy będzie on dostępny – opowiada Moore. – Wówczas odpowiedź brzmiała: nie".

Jednak przed zjazdem AAS w 2011 roku decyzję zmieniono. „Zadzwonili, by mi powiedzieć, że ponownie rozpatrzono prośbę" – kończy opowieść Moore. NASA, jeśli tylko zechce, może przejąć część teleskopów. Według rzecznika NRO, agencja wywiadowcza

eprasa.pl 9667b7543e

„sporządziła inwentarz teleskopów, które nie były już potrzebne" oraz „stwierdziła, że teleskopy te spełniają lub przewyższają specyfikacje wymagane przez NASA" dla misji WFIRST. W związku z tym agencja postanowiła zaoferować lustra NASA – coś, co dla NRO było odpadkiem, dla NASA okazało się skarbem. „NRO jest dumne, że technika opracowana w ramach jej programów przyczyni się do przełomowych odkryć".

Latem 2011 roku astronomowie spotkali się na Princeton University, aby omówić możliwości wykorzystania tych teleskopów. Szybko stało się jasne, że jeden z nich będzie idealny dla misji WFIRST. Zmodyfikowany teleskop szpiegowski nie tylko zapewniłby misji WFIRST lustro dwukrotnie większe od przewidzianego w pierwotnym planie, ale umożliwiłby również dodanie instrumentu zwanego koronografem, który pozwoliłby na blokowanie światła odległych gwiazd w celu uzyskania obrazów pobliskich planet. Uspokoiłoby to niezadowolonych astronomów zajmujących się badaniem planet pozasłonecznych.

W następnym roku przedstawiciele agencji złożyli NASA formalną ofertę. Przedstawiciel NRO udał się do siedziby NASA w Waszyngtonie i spotkał się w zabezpieczonym przed podsłuchem pomieszczeniu z Johnem Grunsfeldem, ówczesnym najwyższym urzędnikiem ds. nauki w agencji. Poinformowano go, że tajna agencja dysponuje dwoma częściowo zdemontowanymi teleskopami klasy Hubble'a, każdy ze zwierciadłem o średnicy 2,4 m, oraz trzecim zwierciadłem głównym wraz z kilkoma zapasowymi komponentami.

W latach 70. Nancy Grace Roman była pierwszą główną astronomką NASA w Goddard Space Flight Center. Roman znana była jako „Matka Hubble'a" ze względu na swoją rolę w tworzeniu obserwatoriów orbitalnych, takich jak Kosmiczny Teleskop Hubble'a.



NASA/Interim Archives/Getty Images

WKRÓTCE DRESSLER, GRUNSFELD ORAZ INNI naukowcy i inżynierowie udali się do Rochester, aby osobiście obejrzeć teleskopy. Weszli do czystego pomieszczenia i zobaczyli rząd nieskazitelnych zwierciadeł – wszystkie niemal takie same, jak lustro teleskopu Hubble'a. „To było piękne" – wspomina Grunsfeld. Ich ustalenia pomogły przekonać ówczesnego administratora NASA, Charliego Boldena, do przyjęcia oferty.

Przekształcenie teleskopów szpiegowskich w teleskopy kosmiczne wymagało jednak jeszcze sporego nakładu pracy. NASA miała otrzymać lustro o średnicy 2,4 m, jego podpory oraz mniejsze zwierciadło wtórne, ale musiała zdemontować zastrzeżone elementy zestawu i zbudować instrumenty oraz kamery. Oczywiście konieczne było również wystrzelenie całości w kosmos. Ze względu na te dodatkowe koszty NASA odmówiła później przejęcia pozostałych teleskopów, z których jeden miał niewielką wadę lustra.

Los pozostałych teleskopów nie jest znany, jak również to, czy nadal znajdują się one w Rochester. NASA, NRO oraz firma L3Harris, która przejęła Exelis w 2015 roku, nie odpowiedziały na pytania dotyczące lokalizacji sprzętu.

Przekształcenie teleskopu z satelity szpiegowskiego w obserwatorium kosmiczne zajęło w sumie ponad dekadę, a ostateczny koszt wyniósł około 4,3 mld dolarów. „Chyba wszystko zostało rozmontowane i zbadane – mówi Dominic Benford, naukowiec odpowiedzialny za program teleskopu Roman w dyrekcji NASA. – Przekształciliśmy go w coś, czym chcieliśmy, by był."

W 2016 roku NASA oficjalnie rozpoczęła prace rozwojowe misji WFIRST, a firma L3Harris nadal przechowywała lustro w Rochester; otrzymała także kontrakt na wykonanie dalszych niezbędnych prac.

Nawet wtedy WFIRST nie był jeszcze całkowicie bezpieczny. „Mieliśmy wiele sytuacji, w których projekt był o krok od upadku – opowiada Spergel. – Pięć razy został wykreślony z prezydenckiego budżetu – dwukrotnie za kadencji Obamy i trzykrotnie podczas pierwszej kadencji Trumpa". Za każdym razem Kongres decydował się uratować misję, a astronomowie, w tym Spergel, udawali się do Waszyngtonu, by wychwalać zalety teleskopu senatorom, takim jak Chuck Schumer z Nowego Jorku. „Nie sądzę, by to się udało bez wsparcia Schumera" – twierdzi Spergel.

Aby raz na zawsze ugruntować pozycję misji, Thomas Zurbuchen, ówczesny szef projektów naukowych NASA, postanowił ją nazwać. „Nadanie jej nazwy praktycznie uniemożliwia anulowanie – mówi. – Wyrażasz się w ten sposób jasno: »Bardzo nam na tym zależy«". Astronomka Nancy Grace Roman zmarła w 2018 roku w wieku 93 lat. W latach 60. została pierwszą szefową działu astronomii w NASA, w czasach, gdy kobiety były rzadkością w nauce. Odegrała kluczową rolę w pozyskiwaniu poparcia dla teleskopów kosmicznych, zwłaszcza teleskopu Hubble'a, co przyniosło jej przydomek „Matka Hubble'a".

Dla Zurbuchena Roman była idealną kandydatką na patronkę. Omówił tę kwestię z ówczesnym administratorem NASA, Jimem Bridenstine'em, który uczestniczył w pogrzebie Roman. „Powiedziałem: »Właściwą nazwą dla tego teleskopu jest Nancy Grace Roman« – opowiada Zurbuchen. – Bridenstine spojrzał na mnie i powiedział: »Zrób to«", dzięki czemu instrument ten stał się pierwszym teleskopem kosmicznym noszącym imię kobiety.

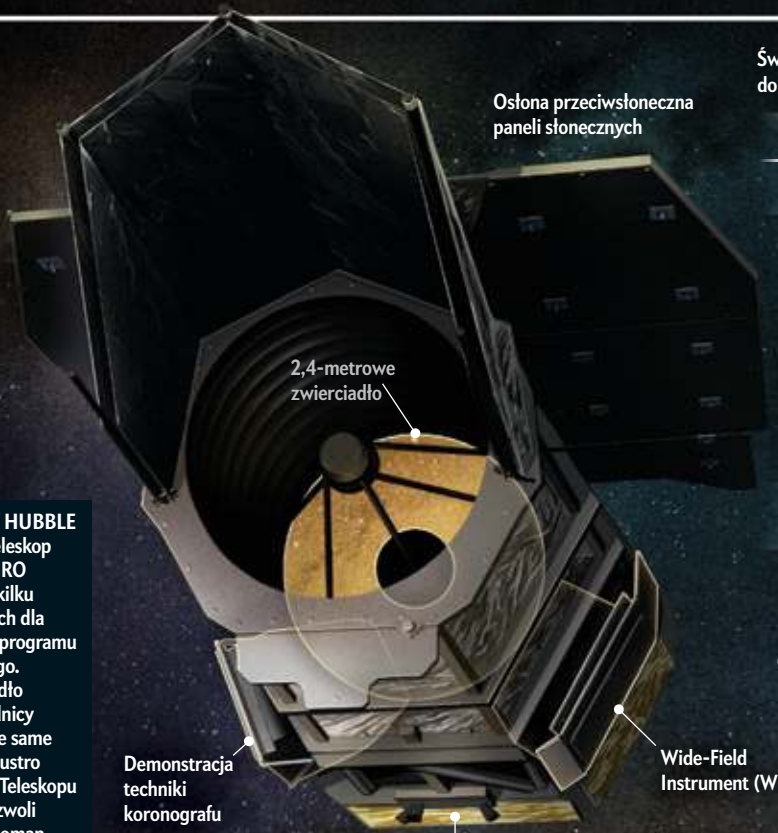
OD TAMTEJ PORY POJAWIŁO SIĘ znacznie więcej argumentów przemawiających za wysłaniem teleskopu do

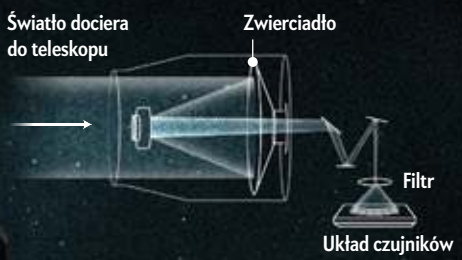
Grafika Matt Twombly

eprasa.pl 9667b7543e

Teleskop, który kiedyś był satelitą szpiegowskim

NASA chciała mieć obserwatorium do badania ciemnej energii i ciemnej materii. Narodowe Biuro Wywiadu (NRO) dysponowało niewykorzystanym teleskopem klasy Hubble'a, którego już nie potrzebowało. Przekazując NASA ten zbędny sprzęt, NRO umożliwiło powstanie Kosmicznego Teleskopu Nancy Grace Roman, który wkrótce zostanie wystrzelony w kosmos, by rozwikłać niektóre z największych tajemnic Wszechświata.



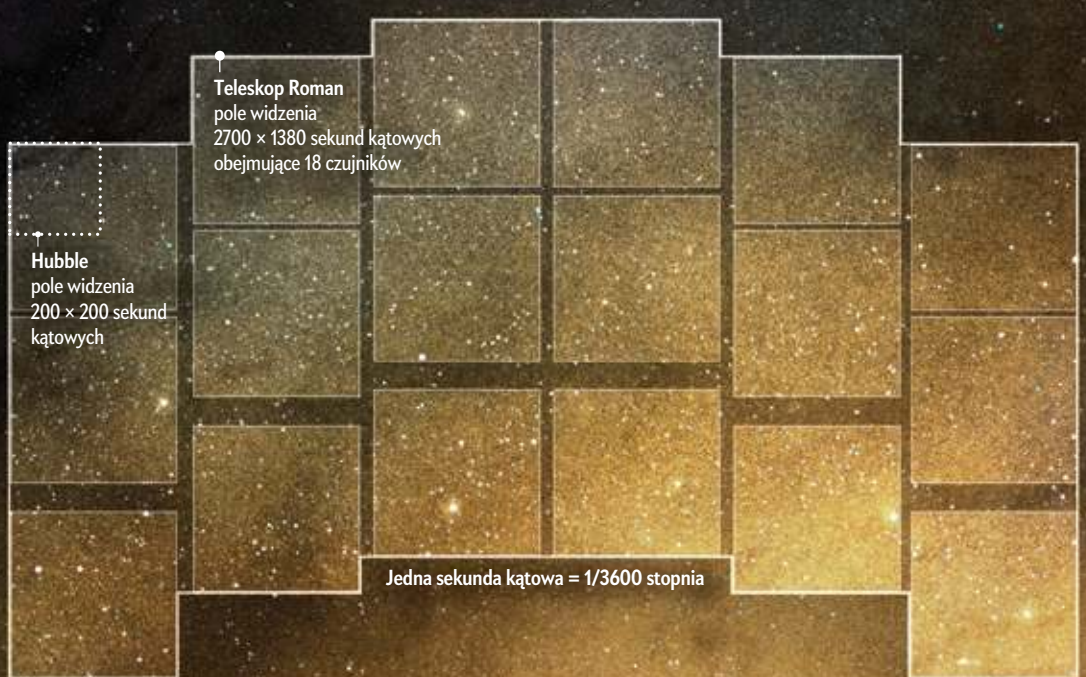


WIDE-FIELD INSTRUMENT
Głównym instrumentem naukowym Roman jest kamera podczerwieni o rozdzielczości 300 megapikseli, której pole widzenia jest znacznie większe niż w teleskopie Hubble'a.



KORONAGRAF
Wykorzystując złożony układ masek, specjalne odkształcalne lustro oraz czułą kamerę, koronograf będzie blokować światło gwiazd po to, aby dostrzec stosunkowo słabe promieniowanie egzoplanet.

ZBYTECZNY HUBBLE
Dodatkowy teleskop należący do NRO był jednym z kilku przeznaczonych dla przerwanego programu szpiegowskiego. Jego zwierciadło główne o średnicy 2,4 m ma takie same wymiary, jak lustro Kosmicznego Teleskopu Hubble'a i pozwoli teleskopowi Roman na wykonanie zdjęć miliardów galaktyk oraz tysięcy supernowych, co pomoże stwierdzić, jak zmieniał się rozkład materii we Wszechświecie.



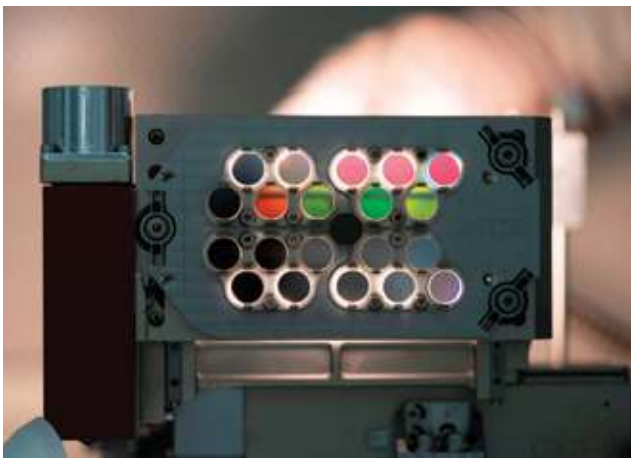
POLE WIDZENIA
18 detektorów zainstalowanych w Wide-Field Instrument pozwala na jednym zdjęciu utrwalić obszar 100 razy większy niż pole widzenia teleskopu Hubble'a. Obserwatorium będzie szybciej przeglądać rozległe obszary nocnego nieba zarówno w zakresie podczerwieni, jak i światła widzialnego.

pdfasa.pl 9367b754e









Teleskop przechodzi ostatnie kontrole i przygotowania przed wystrzeleniem. Montowana jest osłona przeciwsłoneczna paneli słonecznych (*na dole z lewej*). Na zbliżeniu widać filtry kolorów na koronografie, za pomocą którego będą prowadzone poszukiwania planet krążących wokół gwiazd.

badania ciemnej energii. Najnowsze odkrycia sugerują, że ciemna energia może zachowywać się zupełnie inaczej, niż sądziliśmy. Wyniki opublikowane w 2024 roku przez astronomów pracujących przy projekcie Dark Energy Spectroscopic Instrument (Instrument Spektroskopowy Ciemnej Energii; DESI) w Arizonie wskazują, że ciemna energia może słabnąć. Jeśli to prawda, Wszechświat nie zawsze będzie rozszerzać się coraz szybciej, aby w końcu rozpaść się na kawałki. Zamiast tego pewnego dnia może zacząć się kurczyć, kończąc swój żywot Wielkim Skurczem. Wyniki te pojawiają się w „spektakularnym momencie" dla misji Roman – mówi McEnery. „Wygląda na to, że możemy siedzieć w kopalni złota".

Po wystrzeleniu teleskop Roman dotrze do grawitacyjnie stabilnej pozycji oddalonej o półtora miliona kilometrów od Ziemi, zwanej drugim punktem Lagrange'a układu Słońce–Ziemia, gdzie znajduje się również Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba. Teleskop Roman ma pole widzenia co najmniej 100 razy większe niż teleskop Hubble'a oraz znacznie bardziej zaawansowaną kamerę o rozdzielczości 300 megapikseli. Urządzenie to, zwane Wide-Field Instrument (Instrument o Szerokim Polu Widzenia; WFI), rejestruje obrazy tak duże, że do wyświetlenia każdego z nich potrzebna byłaby cała ściana telewizorów 4K.

W ciągu pięciu lat obserwacji teleskop Roman przebada około 12% i wykona zdjęcia miliardów galaktyk. Prowadzone będą poszukiwania wszelkich zniekształceń światła tych galaktyk, wywołanych przez skupiska ciemnej materii zakrzywiające otaczającą je czasoprzestrzeń. Poprzez tworzenie map tego zjawiska, zwanego słabym soczewkowaniem grawitacyjnym, poznamy rozkład materii we Wszechświecie, a tym samym jej ewolucję w czasie. W ramach innego projektu obserwacyjnego teleskop Roman będzie poszukiwał tysięcy supernowych typu Ia, wybuchających ponad 10 mld lat temu w 13,8-miliardowej historii Wszechświata. Powinien wykryć więcej takich eksplozji z odległej przeszłości niż jakikolwiek inny teleskop, co ujawni, jak zmieniało się tempo ekspansji Wszechświata w czasie.

Będą również prowadzone pomiary barionowych oscylacji akustycznych, które są rodzajem fal dźwiękowych przemierzających Wszechświat w ciągu pierwszych 380 tys. lat po Wielkim Wybuchu, gdy był on

Zgodnie z ruchem zegara od góry z lewej: NASA/Sydney Rohde; NASA/Jolearra Tshiteya i Chris Gunn/NASA JPL; NASA/Jolearra Tshiteya

eprasa.pl 9667b7543e

wypełniony plazmą. Fale te odkryto je w 2005 roku. Uległy „zamrożeniu" w czasie w rozszerzającym się Wszechświecie, co zgodnie z przewidywaniami powinno spowodować, że oczekiwana (najczęściej spotykana) odległość między galaktykami wynosi dzisiaj około 500 mln lat świetlnych. Każde odchylenie od tej odległości „wskazuje, jak rozszerzanie Wszechświata ewoluuje w czasie – mówi astrofizyczka Neta Bahcall z Princeton. – To pozwala określić właściwości ciemnej energii i ciemnej materii".

Dzięki teleskopowi Roman zawężony zostanie zakres możliwości dotyczących składu ciemnej materii – twierdzi Anna Nierenberg, astrofizyczka z University of California w Merced. Światło wyemitowane przez niektóre odległe galaktyki zostanie powiększone przez bliższe, masywne galaktyki, a obraz będzie wydłużony oraz zwielokrotniony w sposób zależny od charakteru ciemnej materii obecnej w halo wokół tych galaktyk. Teleskop Roman powinien wykryć setki takich soczewek grawitacyjnych, co pozwoli wykluczyć niektóre modele ciemnej materii. „To absolutnie niesamowite" – cieszy się Nierenberg.

Teleskop Roman przyniesie również przełom w badaniach nad egzoplanetami. W ramach jednego z programów obserwacyjnych sonda zajrzy do galaktycznego zgrubienia w centrum Drogi Mlecznej, w którym znajduje się bardzo gęsta populacja gwiazd. Będzie tam poszukiwać grawitacyjnego oddziaływania planet zakrzywiających światło gwiazd leżących za nimi za pomocą zjawiska zwanego mikrosoczewkowaniem. „Dzięki technice mikrosoczewkowania być może odkryjemy nawet kilka tysięcy planet, zarówno tych krążących wokół gwiazd, jak i swobodnie poruszających się w przestrzeni" – mówi Scott Gaudi, naukowiec badający egzoplanety z Ohio State University. Powinniśmy być w stanie wykrywać globy o masie tak małej, jak ziemski Księżyc.

Prowadzone będą również obserwacje setek milionów gwiazd w zgrubieniu galaktycznym w celu poszukiwania tzw. tranzytów, czyli spadków jasności spowodowanych przez orbitujące planety. Metoda ta pozwoliła odkryć większość z 6000 planet znanych obecnie. Teleskop Roman powinien jednak „odkryć około 100 tys. tranzytujących planet" – twierdzi Gaudi – o rozmiarach od Jowisza do dwukrotności Ziemi. Będzie to wielokrotnie więcej tych obiektów, niż kiedykolwiek zaobserwowano w historii ludzkości, i dostarczy nam ogromną próbkę różnych populacji planet w całej Galaktyce.

Jednak jednym z największych osiągnięć misji Roman może okazać się koronograf – to ten instrument, o który naukowcy zajmujący się egzoplanetami tak zabiegali. Pod względem technicznym jest to demonstracja techniki – w zasadzie eksperyment mający na celu sprawdzenie, czy takie urządzenie działa. Konstrukcja koronografu to układ małych dysków, czyli masek, które będą tłumić światło odległych gwiazd, tak aby widoczna była niezwykle słaba poświata orbitujących wokół nich planet. Celem jest zmniejszenie kontrastu każdej gwiazdy do jednej części na miliard – innymi słowy, z każdego miliarda fotonów pochodzących z gwiazdy tylko jeden przedostanie się do teleskopu Roman. Taka czułość pozwoli na uzyskanie obrazów planet o wielkości Jowisza.

Jeśli to się uda, być może po raz pierwszy zarejestrujemy światło odbite od egzoplanet krążących wokół innych gwiazd. Wszystkie planety, które mogliśmy dotychczas bezpośrednio sfotografować, były tak gorące, że widzieliśmy ich własne promieniowanie – mówi Mary Anne Limbach, astronomka z University of Michigan. Dzięki teleskopowi Roman moglibyśmy jednak dostrzec chłodniejsze planety, które jedynie odbijają światło swojej gwiazdy, tak jak robią to planety naszego Układu Słonecznego. Być może udałoby się nawet zaobserwować układy pierścieni wokół planet. „Światło z pierścieni będzie się mieszać" z punktowym źródłem światła pochodzącym od planety – mówi Limbach – ale z czasem da się je rozdzielić.

Koronograf na teleskopie Roman jest prekursorem urządzenia, które NASA zamierza umieścić na pokładzie swojego Habitable Worlds Observatory (Obserwatorium Światów Mogących Podtrzymywać Życie). Wystrzelenie tego teleskopu zaplanowano na lata 40., a jego celem będzie sfotografowanie 25 globów ziemiopodobnych krążących wokół pobliskich gwiazd podobnych do Słońca, a także poszukiwanie oznak życia w ich atmosferach. Aby to osiągnąć, instrument będzie musiał uzyskać kontrast rzędu jednej części na 10 mld, mówi Beth Biller, badaczka egzoplanet z University of Edinburgh i członkini zespołu teleskopu Roman zajmującego się koronografem. Kontrast ten powinien wystarczyć do dostrzeżenia krążącej wokół gwiazdy planety w postaci bladej kropki.

Teleskop Roman powinien wykryć setki takich soczewek grawitacyjnych, co pozwoli wykluczyć niektóre modele ciemnej materii.

Wszystko to oznacza, że jeśli dojdzie do pierwszego wykrycia życia poza naszym Układem Słonecznym, to stanie się to dzięki sekwencji zdarzeń przypominającej mechanizmy Rube'a Goldberga [Reuben Goldberg (1883–1970) – amerykański rysownik, rzeźbiarz i inżynier. Tworzył żartobliwe obrazki przedstawiające złożone urządzenia wykonujące proste czynności – przyp. tłum.]: porzuconego projektu satelity szpiegowskiego, nieoczekiwanego telefonu i oferty, która ożywiła walczący o przetrwanie teleskop kosmiczny. Dla amerykańskich służb wywiadowczych był to koniec przedsięwzięcia wartego wiele miliardów dolarów, ale dla astronomów – początek czegoś nowego. „Wiem tylko tyle – mówi Marc Postman, szef Science Mission Office (Biuro Misji Naukowych) w Space Telescope Science Institute – że mamy dobre lustro". ■

eprasa.pl 9667b7543e

SOCJOLOGIA

TO JAK W KOŃCU JEST Z TYMI DZIEĆMI?

Prawdopodobnie znacznie lepiej, niż sądzimy

MELINDA WENNER MOYER



eprasa.pl 9667b7543e



BYŁ GRUDZIEŃ 2025 ROKU, a dzieci Kathryn Tobin znowu się kłóciły. Tym razem poszło o to, że sześcioletnia Tory nie chciała podzielić się zabawkami ze swoją młodszą siostrą Sunny. Sunny zareagowała tak, jak często reagują trzylatki – w napadzie złości uderzyła siostrę. Tory oczywiście się rozpłakała.

Tobin poradziła sobie z sytuacją tak, jak robi to zawsze: uznała emocje swoich dzieci za ważne, pomogła im spojrzeć na sytuację z perspektywy drugiej osoby i przypomniała o obowiązujących granicach. Posadziła Sunny na kolanach i wyjaśniła jej, że rozumie jej frustrację, ale bicie jest niedopuszczalne, ponieważ sprawia ból. Jednocześnie próbowała pomóc Tory zrozumieć, dlaczego młodsza siostra ją uderzyła.

Dziesięć minut później Sunny spokojnie podeszła do starszej siostry.

„Przepraszam, że cię uderzyłam" – powiedziała. „Nic się nie stało – odparła Tory. – Tylko więcej tego nie rób."

Gdyby zapytać, o opinię o dzisiejszych dzieciach, od większości ludzi zapewne usłyszelibyśmy długą listę narzekań i obaw. W porównaniu z dziećmi z wcześniejszych pokoleń współczesne dzieci często przedstawia się jako mniej odporne psychicznie, mniej wytrwałe i mniej empatyczne.

„Z amerykańskimi dziećmi nie jest dobrze" – głosił tytuł artykułu opublikowanego w listopadzie ubiegłego roku przez „The New York Times". Z kolei internetowy magazyn „Parents" niedawno zamieścił tekst zatytułowany: „Jak rozpoznać, że twoje dziecko jest narcyzem – i co z tym zrobić".

W badaniu przeprowadzonym w 2025 roku przez organizację Common Sense Media na reprezentatywnej próbie 1300 rodziców z całych Stanów Zjednoczonych aż 61% ankietowanych stwierdziło, że współczesne dzieci ustępują poprzednim pokoleniom pod względem moralności i wyznawanych wartości. Ponad połowa sądzi również, że dzisiejsza młodzież jest mniej odporna i mniej samodzielna.

Choć wysokiej jakości danych na ten temat wciąż jest niewiele, dostępne badania rysują zupełnie inny obraz – taki, w którym dzieci pod wieloma względami radzą sobie lepiej niż ich rówieśnicy z poprzednich pokoleń.

Wyniki badań wskazują, że młodzi ludzie są dziś bardziej empatyczni i mniej narcystyczni niż kiedyś, a także bardziej otwarci i skłonni do akceptowania różnorodności. Mniej zażywają narkotyków, maleje przemoc wśród młodzieży i liczba ciąż nastolatek. Wzrasta iloraz inteligencji, a dzieci wykazują większą samokontrolę i cierpliwość niż ich rówieśnicy sprzed pół wieku. „W wielu obszarach obserwujemy trendy zmierzające w dobrym kierunku" – mówi Kristin Moore, starsza badaczka w organizacji Child Trends, zajmującej się dobrostanem dzieci i rodzin.

Jedno z najważniejszych pytań brzmi: dlaczego? Prawdopodobnie składa się na to wiele czynników, jednak – zdaniem ekspertów – istotną rolę może odgrywać świadome rodzicielstwo skoncentrowane na emocjach, odzwierciedlone w rozmowach, jakie regularnie prowadzi się w domu Tobinów. Drugie ważne pytanie brzmi, dlaczego mimo to tak dużą popularnością cieszą się opowieści o „dzisiejszych dzieciach", skoro często okazują się nieprawdziwe. Badania wskazują tu na rolę biologii ewolucyjnej oraz błędów poznawczych, które zniekształcają zarówno nasze wspomnienia, jak i sposób postrzegania innych ludzi.

W 2011 roku Sarah Konrath, psycholożka społeczna z Indiana University Indianapolis, wraz ze współpracownikami przeanalizowała zmiany poziomu empatii – rozumianej jako troska o innych oraz umiejętność przyjmowania ich perspektywy – wśród niemal 14 tys. studentów badanych w latach 1979–2009. Badacze stwierdzili, że w ciągu tych trzech dekad poziom empatii wyraźnie się obniżył. Ich publikacja wywołała lawinę artykułów – również na łamach „Scientific American" – o zaniku empatii wśród młodych ludzi.

W 2025 roku Konrath i jej współpracownicy zaktualizowali jednak analizę, uwzględniając dane aż do 2018 roku. Ku swojemu zaskoczeniu odkryli, że rok 2007 był w rzeczywistości momentem najniższego poziomu empatii. Właśnie wtedy wskaźniki osiągnęły minimum, po czym zaczęły gwałtownie rosnąć. Dekadę później poziom empatii wśród młodych ludzi był wyższy niż kiedykolwiek wcześniej w ciągu poprzednich 39 lat.

Ta nowa, znacznie bardziej optymistyczna wiadomość nie doczekała się jednak tak dużego zainteresowania mediów, jak publikacja z 2011 roku. Konrath przyznaje, że było to dla niej frustrujące. „Muszę powiedzieć, że zauważyłam, iż dobre wiadomości nie cieszą się taką popularnością, jak złe" – mówi. Najnowsze badania potwierdzają jej spostrzeżenia. Analiza opublikowana w 2025 roku wykazała, że negatywne i alarmistyczne artykuły o dzieciach znacznie częściej stają się viralami niż teksty bardziej wyważone i pokazujące złożony obraz rzeczywistości.

Konrath badała również zmiany poziomu narcyzmu – cechy osobowości polegającej na wyolbrzymionym poczuciu własnej wartości – i także te wyniki wypadają korzystnie dla współczesnej młodzieży. Opublikowane przez nią w 2021 roku wspólnie z psycholożką Jean Twenge z San Diego State University oraz innymi współautorami badanie wykazało, że poziom narcyzmu wśród amerykańskich studentów rósł od 1982 do 2009 roku, po czym zaczął spadać i tendencja ta utrzymywała się co najmniej do 2018.

Współczesne dzieci są również bardzo zainteresowane pomaganiem innym. W badaniu przedstawionym podczas konferencji European Research Network on Philanthropy w 2023 roku Konrath i jej współpracownicy przebadali niemal 700 nastolatków. Okazało się, że 73% z nich pracowało jako wolontariusze lub przekazywało datki na cele charytatywne. „Koncentrowanie się wyłącznie na negatywnym obrazie młodych ludzi, który wyłania

Melinda Wenner Moyer jest współpracowniczką „Scientific American", autorką książki *Hello, Cruel World! Science-Based Strategies for Raising Terrific Kids in Terrifying Times* (G. P. Putnam's Sons, 2025).

Arthur Dries/Getty Images *(zdjęcie) (poprzednie strony)*

eprasa.pl 9667b7543e

się z nagłówków gazet, nie odzwierciedla rzeczywistości" – podsumowuje Konrath.

Empatia wiąże się z otwartością i inkluzywnością, ponieważ pomaga dostrzegać punkt widzenia oraz doświadczenia osób, które różnią się od nas. Niektóre badania wskazują, że młodzi ludzie stają się coraz bardziej otwarci i skłonni do akceptowania różnorodności w wielu obszarach życia.

Choć nie ulega wątpliwości, że rasizm i homofobia nadal pozostają poważnymi problemami, badanie opublikowane w 2019 roku objęło analizę przeprowadzonych w latach 2007–2014 ponad 4 mln testów mierzących zarówno utajone (implicit), jak i deklarowane (explicit) postawy Amerykanów. Wykazało ono wyraźny spadek uprzedzeń wobec osób homoseksualnych oraz uprzedzeń rasowych, szczególnie wśród ludzi młodych. Badanie z 2024 roku wykazało z kolei, że wśród dorastających chłopców w Kanadzie systematycznie maleje odsetek przekonań i postaw homofobicznych. W innym badaniu naukowcy z Turcji stwierdzili, że przedstawiciele pokoleń Y i Z wyznają bardziej egalitarne poglądy na role płciowe i częściej odrzucają przemoc wobec kobiet niż przedstawiciele pokolenia X. „Często słyszę od rodziców, jak bardzo zaskakuje ich to, z jaką swobodą ich dzieci podchodzą do całego spektrum orientacji seksualnych i tożsamości płciowych. Myślę, że wyraźnie kontrastuje to z tym, w jakich realiach sami dorastaliśmy" – mówi Emily Edlynn, psycholożka kliniczna z Illinois, która wykonuje ten zawód od 20 lat.

Wydaje się również, że wzrasta iloraz inteligencji dzieci, a jednocześnie poprawiają się ich umiejętności regulowania emocji, czyli zdolność radzenia sobie z własnymi emocjami, przetwarzania ich i panowania nad sobą. W 1970 roku psychologowie Walter Mischel i Ebbe B. Ebbesen ze Stanford University przeprowadzili pierwsze wersje słynnego testu pianki (Marshmallow Test) – klasycznego, choć budzącego kontrowersje badania mierzącego samokontrolę i cierpliwość.

W teście dzieci mogły od razu zjeść leżący przed nimi smakołyk albo poczekać przez nieokreślony czas i w nagrodę otrzymać dwa. Umiejętność odraczania gratyfikacji oraz samokontrola, których wymagało czekanie, były – choć nie zawsze konsekwentnie – wiązane z korzystniejszymi rezultatami w późniejszym życiu, takimi jak większy dobrobyt, lepszy stan zdrowia czy mniejsze ryzyko używania substancji psychoaktywnych i popełniania przestępstw.

Od 1970 roku naukowcy przeprowadzili wiele różnych wersji testu pianki. W 2020 roku John Protzko, psycholog pracujący obecnie na Central Connecticut State University, przeanalizował wyniki 30 takich badań. Stwierdził, że w ciągu ostatnich 50 lat zdolność dzieci poniżej 10. roku życia do odraczania gratyfikacji wyraźnie się poprawiła. O ile w 1970 roku dzieci potrafiły czekać na drugi smakołyk średnio około trzech minut, o tyle w 2018 roku wytrzymywały już ponad osiem.

Wyniki Protzki stoją w sprzeczności z rozpowszechnionym przekonaniem, że dzisiejsze dzieci są mniej cierpliwe i mają krótszy czas koncentracji uwagi niż wcześniejsze pokolenia. „Nasz obraz przeszłości po prostu nie odpowiada rzeczywistości" – mówi badacz. Dzisiejsze dzieci mogą wykazywać większą samokontrolę między innymi dlatego, że lepiej radzą sobie z regulowaniem emocji. Gdy potrafią w zdrowy sposób panować nad swoimi uczuciami, rzadziej działają impulsywnie i rzadziej próbują radzić sobie z trudnymi emocjami, sięgając po narkotyki lub uciekając się do przemocy.

Choć niewiele badań śledziło zmiany ogólnego poziomu umiejętności regulowania emocji u dzieci na przestrzeni lat, istnieją przesłanki wskazujące, że także pod tym względem następuje poprawa. Maleje liczba przypadków prześladowania rówieśniczego (bullyingu), a wskaźniki najpoważniejszych przestępstw z użyciem przemocy popełnianych przez nastolatków również wyraźnie spadły.

Systematycznie zmniejsza się także używanie narkotyków przez młodzież. W 1997 roku 50% amerykańskich uczniów ostatnich klas szkół średnich deklarowało, że przynajmniej raz w życiu używało marihuany, 80% przyznawało się do picia alkoholu, a 30% twierdziło, że miało kontakt z nielegalnymi narkotykami, takimi jak kokaina, heroina, metamfetamina, środki wziewne czy halucynogeny. W 2022 roku jedynie 38% maturzystów deklarowało używanie marihuany, a 62% przyznawało, że piło alkohol. Zaledwie 13% odpowiedziało, że kiedykolwiek sięgnęło po inne nielegalne narkotyki.

Wyniki badań wskazują, że młodzi ludzie są dziś bardziej empatyczni i mniej narcystyczni, a także bardziej otwarci i skłonni do akceptowania różnorodności.

CO STOI ZA TYMI pozytywnymi zmianami? Badacze przypuszczają, że znaczącą rolę odegrały zmiany zarówno w podejściu do edukacji, jak i w stylu wychowania.

W 2000 roku National Research Council oraz Institute of Medicine opublikowały przełomowy raport „From Neurons to Neighborhoods", w którym podsumowano wyniki badań z zakresu nauk społecznych i neuronauki dotyczących rozwoju kluczowych umiejętności u dzieci oraz ich wpływu na późniejsze losy człowieka.

Autorzy raportu argumentowali m.in, że rodzice, szkoły i placówki opieki nad dziećmi powinny traktować rozwój społeczny i emocjonalny dzieci jako priorytet, ponieważ te „miękkie" kompetencje mają dla przyszłego życia co najmniej takie samo znaczenie, jak „twarde" umiejętności szkolne – czytanie, pisanie czy sprawność matematyczna. „Nikt nie zakwestionuje faktu, że doświadczenia dziecka w jego środowisku – m.in. w domu i szkole – kształtują jego rozwój, zarówno w sposób pozytywny, jak i negatywny" – mówi Catherine Tamis-LeMonda, psycholożka zajmująca się badaniami stosowanymi w New York University Steinhardt School of Culture, Education and Human Development.

Po opublikowaniu raportu część żłobków, przedszkoli i szkół zaczęła przykładać większą wagę do rozwoju społecznego i emocjonalnego dzieci, a także do tego, w jaki sposób dorośli traktują uczniów oraz jak sami uczniowie odnoszą się do siebie nawzajem, mówi Moore. Wiele szkół wprowadziło specjalne programy nauczania poświęcone rozwojowi kompetencji społecznych i emocjonalnych (social and emotional learning, SEL), mające wspierać rozwój empatii, umiejętności regulowania emocji, otwartości na różnorodność oraz innych pokrewnych kompetencji.

W roku szkolnym 2023/2024 aż 83% dyrektorów amerykańskich szkół podstawowych i średnich deklarowało, że w ich placówkach realizowany jest program nauczania rozwijający kompetencje społeczne i emocjonalne. To wyraźny wzrost w porównaniu z 76% w roku szkolnym 2021/2022 i zaledwie 46% w roku 2017/2018.

eprasa.pl 9667b7543e

Zmieniły się również style wychowania dzieci, co także mogło sprzyjać rozwojowi pozytywnych cech. „Znacznie wzrosła świadomość tego, jak ważne jest rodzicielstwo i jak ogromne ma znaczenie. Myślę, że rodzice poświęcają dziś o wiele więcej uwagi temu, jakimi chcą być rodzicami i w jaki sposób chcą wychowywać swoje dzieci" – mówi Christopher Mehus, specjalista zajmujący się profilaktyką i badaniami nad rodzicielstwem na University of Minnesota.

Kathryn Tobin jest tego dobrym przykładem. Świadomie stara się znacznie częściej rozmawiać z córkami o emocjach, niż robili to jej rodzice z nią i jej rodzeństwem. „W naszym domu obowiązywała zasada: negatywnym emocjom wstęp wzbroniony" – wspomina. Podjęła również świadomą decyzję, że będzie wychowywać swoje dzieci przede wszystkim poprzez rozmowę, a nie karanie – choć jej rodzice nie zawsze się z tym zgadzają.

„Moi rodzice ciągle powtarzają: »Karać, karać, karać«" – mówi.

Trudno dokładnie zmierzyć, jak style wychowania zmieniały się na przestrzeni lat, jednak Mehus wykazał, że między 1993 a 2017 rokiem wyraźnie spadła częstość stosowania kar cielesnych. Maleje również liczba zgłaszanych przypadków przemocy wobec dzieci i ich zaniedbywania.

Badania prowadzone w Szwecji świadczą ponadto, że współcześni rodzice są mniej kontrolujący i mniej surowi, traktują dzieci z większym szacunkiem oraz wykazują większą akceptację dla ich emocji niż rodzice wcześniejszych pokoleń.

Jedną z ważnych umiejętności, której rozwojowi mogą sprzyjać te zmiany, jest kompetencja emocjonalna (emotional literacy). „W ciągu 15 lat pracy klinicznej z dziećmi, młodzieżą i ich rodzinami wyraźnie zauważyłam, że wielu młodych ludzi dysponuje dziś znacznie bogatszym słownictwem służącym do opisywania emocji niż dzieci, z którymi pracowałam na początku kariery – mówi Tracy A. Prout, psycholożka kliniczna ze stanu Nowy Jork. – Częściej potrafią nazwać swoje uczucia, rozmawiać o zdrowiu psychicznym i rozpoznawać takie stany, jak lęk, przytłoczenie czy wypalenie."

Większa swoboda w mówieniu o emocjach może przyczyniać się do zmniejszania stygmatyzacji zaburzeń psychicznych, dzięki czemu więcej młodych ludzi decyduje się szukać pomocy. „Właśnie dlatego, że mówienie o tym stało się czymś normalnym i otwartym, dzieci i nastolatki częściej mówią, że źle się czują, niezależnie od tego, czy chodzi o smutek, lęk czy samotność" – wyjaśnia Edlynn. Jej zdaniem częściowo właśnie ta destygmatyzacja może odpowiadać za obserwowany obecnie wzrost liczby diagnoz dotyczących zdrowia psychicznego u młodych ludzi. Innymi słowy, przynajmniej część tego wzrostu może po prostu wynikać z lepszego wykrywania problemów.

Chociaż zjawisko to ma również mniej korzystne konsekwencje. Coraz częściej zarówno dzieci, jak i rodzice zaczynają postrzegać nieprzyjemne emocje jako oznakę zaburzeń psychicznych. Jak podkreśla Edlynn, trudne emocje bardzo często są całkowicie naturalną i adekwatną reakcją na sytuację życiową, a nie objawem choroby. Prout zgadza się z tym poglądem. Zwraca jednak uwagę, że nawet dzieci bardzo dobrze rozumiejące własne emocje wciąż nie zawsze potrafią sobie z nimi skutecznie radzić. „Nadal mają trudności z wykorzystywaniem skutecznych strategii regulowania emocji" – mówi. Problem mogą dodatkowo pogłębiać nadopiekuńczy rodzice, którzy nie dopuszczają do tego, by dzieci doświadczały w dzieciństwie trudnych, ale zdrowych wyzwań, pomagających rozwijać umiejętność radzenia sobie z przeciwnościami.

Jednym z problemów są błędy poznawcze, które sprawiają, że wydaje nam się, iż dzisiejsze dzieci radzą sobie gorzej niż dzieci z poprzednich pokoleń.

Badania wykazały, że studenci wychowywani przez nadopiekuńczych rodziców częściej doświadczają objawów depresji, częściej piją alkohol i częściej rekreacyjnie zażywają opioidowe leki przeciwbólowe.

Jednocześnie cieplejszy, bardziej empatyczny styl wychowania może tłumaczyć, dlaczego same dzieci stają się bardziej empatyczne.

W badaniu opublikowanym w 2024 roku naukowcy z University of Virginia zaprosili do laboratorium 184 trzynastolatków wraz z ich rodzicami. Obserwowali, jak empatycznie matki reagowały, gdy ich dzieci zwracały się do nich o pomoc. Następnie przez kolejne sześć lat – aż do ukończenia przez uczestników 19. roku życia – badacze co roku obserwowali, jak ci sami nastolatkowie odnosili się do swoich najbliższych przyjaciół. Okazało się, że im bardziej empatyczne były matki wobec swoich dzieci, tym więcej empatii nastolatki okazywały swoim przyjaciołom przez cały okres dorastania. Badanie sugeruje, że empatia może być przekazywana z rodziców na dzieci za pośrednictwem codziennych, pełnych ciepła interakcji.

Wielu rodziców prowadzi dziś również z dziećmi bardziej otwarte rozmowy na temat różnych przejawów różnorodności. To także może częściowo wyjaśniać, dlaczego młodzi ludzie stają się bardziej otwarci i inkluzywni. Jennifer Pearlstein, psycholożka z Washington University w St. Louis, otwarcie rozmawia ze swoją dwuletnią córką o własnej niepełnosprawności – co stanowi wyraźny kontrast z podejściem jej rodziców, którzy zawsze unikali tego tematu.

„Chociaż wszyscy wiedzieli, że jestem niewidoma, praktycznie nigdy o tym nie rozmawialiśmy" – wspomina swoje dzieciństwo.

W kontaktach z córką Pearlstein otwarcie mówi jednak o swoich ograniczeniach i potrzebach, ponieważ chce, aby dziecko od najmłodszych lat traktowało różnorodność ludzkich ciał i sprawności jako coś naturalnego. Ona bez wahania mówi: „Mama nie widzi". To daje mi ogromne poczucie siły, bo oznacza, że jest to coś akceptowanego, coś, o czym można rozmawiać i czego nie trzeba się wstydzić. To część tego, jakie są ludzkie ciała. Zdaniem Protzki za zmiany niektórych umiejętności mogą odpowiadać również inne, szeroko zakrojone przemiany społeczne. Wzrost ilorazu inteligencji czy większa samokontrola mogą być częściowo skutkiem zmian środowiskowych, które stawiają ludziom coraz wyższe wymagania. „Gdy umieścimy małe dzieci, których mózgi cechuje ogromna plastyczność, w bardziej złożonym społeczeństwie, po prostu się do niego dostosowują i w nim dojrzewają" – wyjaśnia. Poprawa niektórych umiejętności może wynikać także z tego, że współczesne dzieci są znacznie rzadziej narażone na działanie szkodliwych toksyn środowiskowych, takich jak ołów.

A jaka jest rola mediów społecznościowych?

Choć opinie na ich temat są w przeważającej mierze negatywne, badania

eprasa.pl 9667b7543e

pokazują, że związek między korzystaniem z mediów społecznościowych a dobrostanem dzieci jest znacznie bardziej złożony, niż zwykle się sądzi.

W badaniu z 2025 roku, w którym przez trzy lata obserwowano ponad 100 tys. nastolatków, naukowcy doszli do wniosku, że zależność między dobrostanem a korzystaniem z mediów społecznościowych jest „złożona i nieliniowa". Inne badania wykazały również, że dzieci, które spędzają więcej czasu w mediach społecznościowych, z biegiem czasu stają się bardziej empatyczne, a nie mniej. Ponadto nastolatki intensywniej korzystające z mediów społecznościowych spędzają także więcej czasu z przyjaciółmi poza Internetem. „Koncentrowanie się wyłącznie na negatywnym obrazie młodych ludzi, który wyłania się z nagłówków gazet, po prostu nie odzwierciedla rzeczywistości" – przypomina Konrath.

Oczywiście nie ulega wątpliwości, że media społecznościowe mogą stwarzać zagrożenia. Jednak – jak podkreślają Edlynn i Konrath – technika może również pomagać młodym ludziom nawiązywać kontakty, znajdować wsparcie oraz zdobywać wiedzę o problemach świata, co z kolei sprzyja ich zaangażowaniu w działalność charytatywną i społeczną.

„Dzięki temu mogą stać się bardziej świadomymi, refleksyjnymi obywatelami"– mówi Edlynn.

SKORO ISTNIEJE tak wiele dobrych wiadomości dotyczących współczesnych dzieci, dlaczego dominująca narracja kulturowa jest tak pesymistyczna? Jednym z powodów są błędy poznawcze, które sprawiają, że wydaje nam się, iż dzisiejsze dzieci radzą sobie gorzej niż dzieci z poprzednich pokoleń. W serii eksperymentów opublikowanych w 2019 roku Protzko i Jonathan Schooler, psycholog z University of California w Santa Barbara, wykazali, że inteligentni dorośli – oceniani na podstawie wyników testu słownictwa – częściej uważają, iż współczesna młodzież jest mniej inteligentna niż dawniej. Z kolei osoby oczytane – oceniane za pomocą testu rozpoznawania nazwisk autorów – częściej są przekonane, że dzisiejsze dzieci czytają mniej niż wcześniejsze pokolenia.

Dane nie potwierdzają jednak tych przekonań. Jak wykazali badacze, błędne wyobrażenia wynikają z połączenia dwóch zjawisk. Po pierwsze, ludzie mają skłonność do dostrzegania braków innych właśnie w tych dziedzinach, w których sami są szczególnie dobrzy. Po drugie, działa błąd pamięci polegający na przypisywaniu własnych umiejętności całym wcześniejszym pokoleniom. „Żadna rzeczywistość nie jest w stanie dorównać sztucznie wyidealizowanemu obrazowi przeszłości" – wyjaśnia Protzko.

Jego badania świadczą również, że nasze postrzeganie mediów społecznościowych może być kształtowane przez pamięć i uprzedzenia poznawcze. Od pokoleń dorośli obawiają się społecznych skutków nowych technologii – od wynalezienia druku, przez radio i telewizję, aż po Internet. Jak wykazał Protzko, im mniej ludzie są oswojeni z nową techniką, tym bardziej wydaje im się ona niebezpieczna.

„Intuicyjnie obawiamy się zmian społecznych i wynalazków, z którymi sami nie dorastaliśmy" – mówi.

Konrath dodaje, że jesteśmy również biologicznie zaprogramowani tak, by zwracać większą uwagę na zagrożenia niż na rzeczy pozytywne.

Nasi ewolucyjni przodkowie, którzy lepiej identyfikowali potencjalne niebezpieczeństwa, mieli większe szanse na przetrwanie niż ci bardziej beztroscy, dzięki czemu skłonność do koncentrowania się na zagrożeniach mogła zostać przekazana kolejnym pokoleniom. „Dostrzeganie niebezpieczeństw było kluczowe dla naszej biologii i przetrwania, przynajmniej w bardzo trudnych warunkach – mówi Konrath. – Jednak we współczesnym świecie ciągłe skupianie się na wszystkim, co negatywne, nie jest już dla nas tak użyteczne."

Zdaniem Moore także badacze i instytucje publiczne zbyt często koncentrują się wyłącznie na negatywnych zjawiskach. „W Stanach Zjednoczonych od dawna systematycznie mierzy się wszystkie złe rzeczy, natomiast dane dotyczące pozytywnych cech i kompetencji gromadzono dotąd dość przypadkowo" – mówi. Naukowcy i decydenci znacznie bardziej interesują się na przykład przemocą niż empatią. A ponieważ trudno skłonić ludzi do wypełniania bardzo długich ankiet, pytania dotyczące mniej palących zagadnień często są z nich usuwane – wyjaśnia.

Z tych powodów pilnie potrzebujemy większej liczby lepszych badań nad tym, jak zmieniają się cechy i umiejętności młodych ludzi oraz jak różne środowiska i oddziaływania – programy szkolne, przemiany kulturowe czy sposoby wychowania – wpływają na ich rozwój.

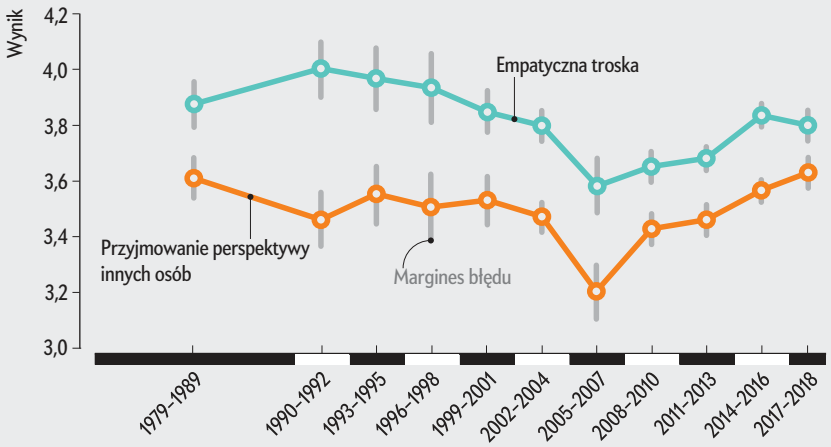
Na razie wielu rodziców, w tym Kathryn Tobin, działa metodą prób i błędów, kierując się tym, co podpowiada im intuicja, oraz tym, o czym słyszeli, że może przynieść dobre efekty.

„Nie wiem jeszcze, czy moje dzieci wyrosną na okropnych dorosłych" – mówi Tobin. Mamy jednak wiele powodów, by wierzyć, że współczesne dzieci wyrosną na ludzi, którzy będą sobie w życiu doskonale radzić. ■

Powrót empatii

Gdy odkryto, że w latach 2005–2007 zdolności empatyczne młodzieży spadły do najniższego poziomu od 30 lat, w mediach pojawiły się alarmujące nagłówki. Jednak gdy ci sami badacze odnotowali ponowny wzrost tych umiejętności w kolejnych latach, te pozytywniejsze wyniki nie wzbudziły już takiego zainteresowania.

Wyniki studentów w zakresie empatii i przyjmowania perspektywy innych osób



Z NASZEGO ARCHIWUM

Dlaczego warto uczyć dzieci sumienności. Jasmine Mote; styczeń 2026.

ŹRÓDŁO: „Empathy Trends in American Youth between 1979 and 2018: An Update", Sara Konrath i in., „Social Psychological and Personality Science"; tom 16; 28 grudnia, 2023 (*dane*)

Grafika Jen Christiansen

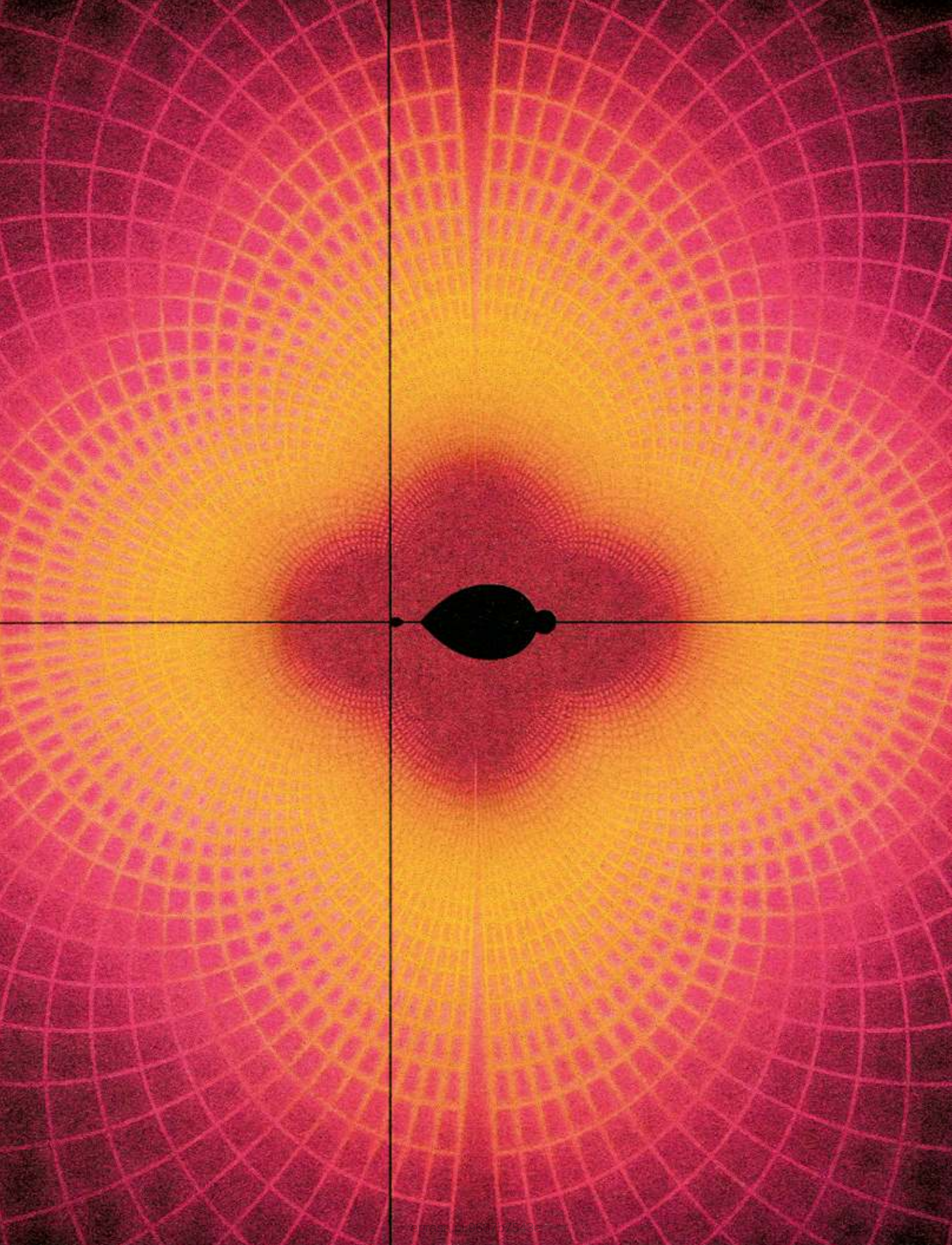
eprasa.pl 9667b7543e

Najstraszniejszy problem matematyczny

Najważniejsza zagadka współczesnej matematyki pozostaje nierozwiązana od prawie 170 lat, choć za jej rozwiązanie ustanowiono nagrodę miliona dolarów. Dlaczego mało kto próbuje się z nią mierzyć?

JOSEPH HOWLETT
Ilustracje DTAN STUDIO

Hipoteza Bernharda Riemanna dotyczy przewidywania określonych wartości pewnej zawiłej funkcji matematycznej. Jej udowodnienie umożliwiłoby dostęp do ogromnych dotąd nieosiągalnych obszarów matematyki.



W **PAŹDZIERNIKU 2024 ROKU UCZESTNICZYŁEM W SEMINARIUM** na Harvard University poświęconym zastosowaniu w matematyce sztucznej inteligencji. Zdaniem większości uczestników przyszłość matematyki nie jest zagrożona; raczej ekscytowano się zastosowaniem nowego narzędzia. Podczas jednej z przerw znalazłem się w grupie osób, które zgodnie twierdziły, że nie ma znaczenia, czy problem, którym się zajmują, rozwiąże człowiek, czy komputer. Chciałyby tylko poznać dowód.

„Więc naprawdę nie obchodzi was, czy hipotezę Riemanna rozwiąże człowiek czy AI?" – zapytałem i poczułem lekki dreszcz, gdy dostrzegłem uśmieszki i znaczące spojrzenia. Często czuję się niepewnie wśród matematyków.

„Sztuczna inteligencja, która potrafi udowodnić hipotezę Riemanna, to nie jest coś, z czym chciałbym mieć do czynienia – powiedział Andrew Sutherland, teoretyk liczb z Massachusetts Institute of Technology. – Jeśli tak się stanie, wówczas to, czy matematycy znajdą pracę, będzie naszym najmniejszym zmartwieniem".

Rzuciłem pytanie i po jego zadaniu zacząłem się zastanawiać nad istotą tej matematycznej zagadki – tak skomplikowanej, że tylko potężna superinteligencja mogłaby ją rozwiązać.

Od czasu pierwszej publikacji w 1859 roku hipoteza Bernharda Riemanna dotycząca liczb pierwszych trafiała na każdą listę najważniejszych nierozwiązanych problemów w matematyce. W roku 1900 matematyk David Hilbert opracował taką listę wyzwań na wiek XX – wśród nich również znalazła się hipoteza Riemanna. Jednak do końca stulecia nic się nie zmieniło. W 2000 roku Instytut Matematyczny Claya zaoferował milion dolarów nagrody za uporanie się z hipotezą Riemanna, czyniąc ją jednym z siedmiu tzw. Problemów Milenijnych – wyzwań na wiek XXI.

Hipoteza dotyczy funkcji bardzo skomplikowanej ze względu na trudność znajdowania danych wejściowych, prowadzących do konkretnego wyniku. Matematyków szczególnie interesuje, które liczby powodują, że wartość tej funkcji jest równa zeru. Pełna znajomość danych wejściowych dawałaby teoretykom liczb supermoc. W mgnieniu oka uzyskaliby bezprecedensową kontrolę nad „surowcem", czyli liczbami pierwszymi. Byliby w stanie precyzyjnie określić rozmieszczenie liczb pierwszych na nieskończonej osi liczbowej. Przekształcenie hipotezy w twierdzenie miałoby dalekosiężne konsekwencje dla całej matematyki, m.in. związanej z kryptografią i fizyką jądrową.

Tymczasem mimo wyznaczanych nagród postęp w sprawie hipotezy jest znikomy. Jak twierdzi Alex Kontorovich, matematyk z Rutgers University, „właściwie nic się nie dzieje i nic nie wskazuje na to, aby cokolwiek miało się wydarzyć". Prawie nikt się tym nie zajmuje. „Nie poświęcam temu zbyt wiele czasu, bo po

Joseph Howlett jest dziennikarzem „Scientific American".

eprasa.pl 9667b7543e

prostu nie mam dobrego pomysłu, od czego zacząć" – mówi James Maynard, matematyk z University of Oxford.

Dlaczego?

HIPOTEZA RIEMANNA ZAJĘŁA CENTRALNE MIEJSCE w matematyce ze względu na wysoki status liczb pierwszych. „Pytanie mnie o przyczynę zainteresowania matematyków liczbami pierwszymi jest trochę jak pytanie o powód zainteresowania fizyków siłami" – komentuje z lekką urazą Brian Conrad, matematyk ze Stanford University.

Fascynacja tymi liczbami trwa od tysięcy lat, od początków matematyki, która, oczywiście, zaczęła się od liczenia. Starożytni Grecy uważali liczby całkowite za najważniejsze i uczyli się, jak je łączyć, aby z mniejszych tworzyć większe. Można na przykład utworzyć zestaw 15 kamieni, licząc je trójkami. Jednak niektórych porcji kamieni, na przykład 17, nie da się uzyskać w ten sposób, czyli bez liczenia po jednym.

Grecy zdali sobie sprawę, że te „liczby pierwsze" są jak atomy – pierwotne, fundamentalne. Można utworzyć dowolną liczbę, która nie jest pierwsza, mnożąc przez siebie unikalną kombinację liczb pierwszych, zwaną jej „rozkładem na czynniki pierwsze". Około 300 r. p.n.e. Euklides udowodnił, że na osi liczbowej istnieje nieskończenie wiele takich cegiełek. Nikt jednak nie potrafił zrozumieć, dlaczego znajdują się one tam, gdzie się znajdują. „Z jednej strony brzmi to dziwacznie – liczby pierwsze po prostu są jakie są. Albo liczba jest pierwsza, albo nie. Jednak jednym z najlepszych sposobów zrozumienia ich natury jest zwykle myślenie o nich jako o obiektach nieco losowych" – mówi Maynard.

W związku z tym matematycy skupili się na poszukiwaniu sensu wśród tej przypadkowości. W okresie oświecenia konstruowali ogromne tabele z rozkładami liczb na czynniki pierwsze, sięgające wartości tak dużych, jak to było możliwe przy wykorzystaniu żmudnych algorytmów. Pod koniec XVIII wieku studiowanie takich tabel było rozrywką nastolatka Carla Friedricha Gaussa, który odkrył w nich pewien porządek przez tysiąclecia wymykający się matematykom.

W przedziale od 0 do 100 jest 25 liczb pierwszych, ale od 1000 do 1100 już tylko 16. Im większe liczby obejmuje dany zakres, tym mniej z nich jest pierwszymi. Ma to sens, bo na przykład liczba 17 ma tylko 16 możliwości podziału jej na mniejsze liczby, podczas gdy 117 ma ich o 100 więcej do uniknięcia, więc „trudniej" jest jej być liczbą pierwszą.

Gauss obsesyjnie porównywał liczby liczb pierwszych w różnych przedziałach, dochodząc do trzech milionów. Zauważył, że ich spadek był kontynuowany i dla większych liczb stawał się bardziej przewidywalny. Studiując tabele, Gauss w końcu napisał równanie określające ten trend, czyli szacunkową liczbę liczb pierwszych w coraz większych zakresach liczb.

Później Gauss zajął się bardziej formalnymi i abstrakcyjnymi zagadnieniami obejmującymi całą matematykę i statystykę, ale w traktacie z 1801 roku podkreślił znaczenie liczb pierwszych, wykazując, że są one kluczem do wykonywania obliczeń w tzw. skończonych systemach liczbowych. Nie zdołał jednak udowodnić swojego pierwotnego przypuszczenia dotyczącego miejsc występowania liczb pierwszych. Zajął się tym w połowie XIX wieku jego uczeń, student teologii Uniwersytetu w Getyndze Bernhard Riemann, który uczęszczał także na wykłady Gaussa z teorii liczb (po roku studiów przeniósł się na wydział filozoficzny i całkowicie poświęcił matematyce).

RIEMANN SPRZECIWIAŁ SIĘ pozornej losowości liczb pierwszych i szukał w nich reguł. Takie podejście doprowadziło go do wyobrażenia sobie fikcyjnej maszyny matematycznej, która mogłaby precyzyjnie określać miejsce każdej liczby pierwszej. Poruszałaby się ona po osi liczb rzeczywistych, wybierając liczby pierwsze i pomijając resztę. Odkrył, że działanie takiej magicznej maszyny można opisać zależnością, którą nazwano funkcją zeta (lub dzeta) Riemanna. Funkcja zeta przyjmuje jako daną wejściową liczbę zespoloną, która jest sumą liczby rzeczywistej i składowej „urojonej", a z kolei ta składowa stanowi iloczyn liczby rzeczywistej przez jednostkę urojoną równą pierwiastkowi kwadratowemu z liczby –1 oznaczanemu literą i.

Matematycy obrazują funkcję zeta, używając płaszczyzny „zespolonej" z osiami rzeczywistą i urojoną. Każdej liczbie zespolonej odpowiada na tej płaszczyźnie punkt o współrzędnych x i y, oznaczających wartości części rzeczywistej i urojonej. Po podstawieniu danej liczby do funkcji zeta Riemanna i obliczeniu złożonego równania otrzymujemy wynik: inną liczbę zespoloną. Zatem funkcja zeta Riemanna daje jedną wartość zespoloną dla niemal każdego punktu płaszczyzny zespolonej, a w niektórych szczególnych punktach jej wartość wynosi zero.

> „Sztuczna inteligencja, która potrafi udowodnić hipotezę Riemanna, to nie jest coś, z czym chciałbym mieć do czynienia."
>
> ANDREW SUTHERLAND, MIT

Riemann ustalił, że miejsca tych zer są kluczowe dla skonstruowania jego fikcyjnej maszyny. Zaczął od jej najprostszego prototypu, korzystając z hipotezy Gaussa, dotyczącej częstości występowania liczb pierwszych, która z grubsza określa, ile ich przypada na dowolny przedział osi liczbowej. Jednak rzeczywiste położenia liczb pierwszych nie do końca odpowiadały tej hipotezie (później matematycy udowodnili hipotezę Gaussa na podstawie koncepcji Riemanna). Były jakby rozproszone wokół hipotetycznych.

Ten pozornie przypadkowy rozrzut, czyli jakby błąd w prototypie maszyny, można było jednak opisać za pomocą zer funkcji zeta. Ściślej, rozrzut można

eprasa.pl 9667b7543e

było rozłożyć na nieskończoną liczbę odrębnych, oddziałujących na siebie fragmentów, tak jak zagrana nuta podlega podziałowi na składowe harmoniczne. Pozostając przy muzycznej analogii: każdy argument funkcji przy wyniku równym zero determinuje jedną z harmonicznych: jego część urojona wpływa na częstotliwość harmonicznej, a część rzeczywista na głośność, czyli moc, z jaką nuta jest grana. Odpowiedniki każdej z tych harmonicznych można uwzględnić w maszynie, aby zbliżyć ją do idealnej, której poszukiwał Riemann.

Znalezienie każdego zera funkcji zeta – określenie wysokości i głośności każdego dźwięku w tej muzyce liczb pierwszych – wskazałoby dokładne położenie wszystkich, w pełni ujawniając ich dźwiękowe bogactwo. Riemann wiedział jednak, że takie rozwiązanie jest poza zasięgiem. Zachowanie funkcji zeta było równie tajemnicze, jak same liczby pierwsze. Mimo to każde ustalenie dotyczące tych zer stanowiłoby znaczące uporządkowanie chaosu liczb pierwszych, większe niż dotąd znane matematykom.

Hipoteza Riemanna okazała się źródłem zaskakujących powiązań w różnych działach matematyki i poza nią, na przykład w fizyce.

W artykule z 1859 roku na temat hipotetycznej maszyny Riemann wysunął przypuszczenie, że części rzeczywiste dla każdego zera są takie same, równe ½. Różne są tylko części urojone. To pozwoliło umieścić je wszystkie jako punkty na płaszczyźnie zespolonej na jednej linii pionowej przecinającej oś x w punkcie ½. Współrzędną urojoną pierwszego takiego punktu było, jak przypuszczał Riemann, 14,13, a następnego 21,02.

Artykuł objaśniał hipotezę Riemanna: każde zero funkcji zeta trafia na „krytyczną" prostą, gdzie część rzeczywista wynosi dokładnie ½. Ta hipoteza znacznie zharmonizowała muzykę liczb pierwszych. Bez niej te liczby byłyby jak koncert bez dyrygenta, z kaskadą dźwięków granych z różnym natężeniem. „Hipoteza Riemanna głosi, że głośność wszystkich różnych instrumentów w orkiestrze liczb pierwszych jest dokładnie taka sama" – wyjaśnia Kontorovich.

MOŻNA SIĘ ZASTANAWIAĆ, dlaczego osobliwa funkcja na płaszczyźnie zespolonej jest tak silnie spleciona z elementami składowymi liczb całkowitych i dlaczego ta relacja jest analogiczna do składowych harmonicznych. Taka refleksja stanowi zaledwie ułamek zachwytu, jaki odczuwają matematycy, zastanawiając się nad hipotezą Riemanna. Matematycy czerpią radość z zaskakujących powiązań. Te powiązania wskazują bowiem na coś głębszego, ukrytego pod powierzchnią. Lauren Williams, matematyczka z Harvard University, stwierdziła ostatnio: „Moje badania stają się najbardziej ekscytujące, gdy odkrywam, że dwa obiekty matematyczne, które wydawały się nie mieć ze sobą nic wspólnego, okazują się jakoś powiązane. Wtedy próba zrozumienia przyczyny i istoty tego związku staje się fascynującą zagadką".

Hipoteza Riemanna okazała się źródłem zaskakujących powiązań w różnych działach matematyki i poza nią, na przykład w fizyce. W 1972 roku fizyk Freeman Dyson z Institute for Advanced Study w Princeton dowiedział się od znajomego matematyka o odkrytych przez niego dziwnych prawidłowościach związanych z funkcją zeta. Dyson natychmiast zauważył, że pasowały one idealnie do teorii, którą opracował dla poziomów energetycznych jąder atomowych. Niespodziewanie pomogło to rozwiązać pewien problem matematyczny, ale przyczyna tej zbieżności do dziś pozostaje zagadką. Hipoteza Riemanna pojawiła się później w modelowaniu ruchów Browna, teorii chaosu, a nawet w teorii czarnych dziur.

Matematycy nie czekali na dowód, aby wykorzystać ogromną moc hipotezy Riemanna. „Powstały setki prac naukowych dowodzących, że coś jest prawdą, jeśli HR jest twierdzeniem, choć od dawna zakłada się, że HR właśnie twierdzeniem jest" – mówi Kontorovich. Wykorzystanie tej hipotezy jako punktu wyjścia w zakresie teorii liczb pierwszych znacznie poszerza możliwości matematyka. Muzyka tych liczb przechodzi od chaotycznej do uporządkowanej, gdy nagle jedyną niewiadomą pozostają części urojone zer.

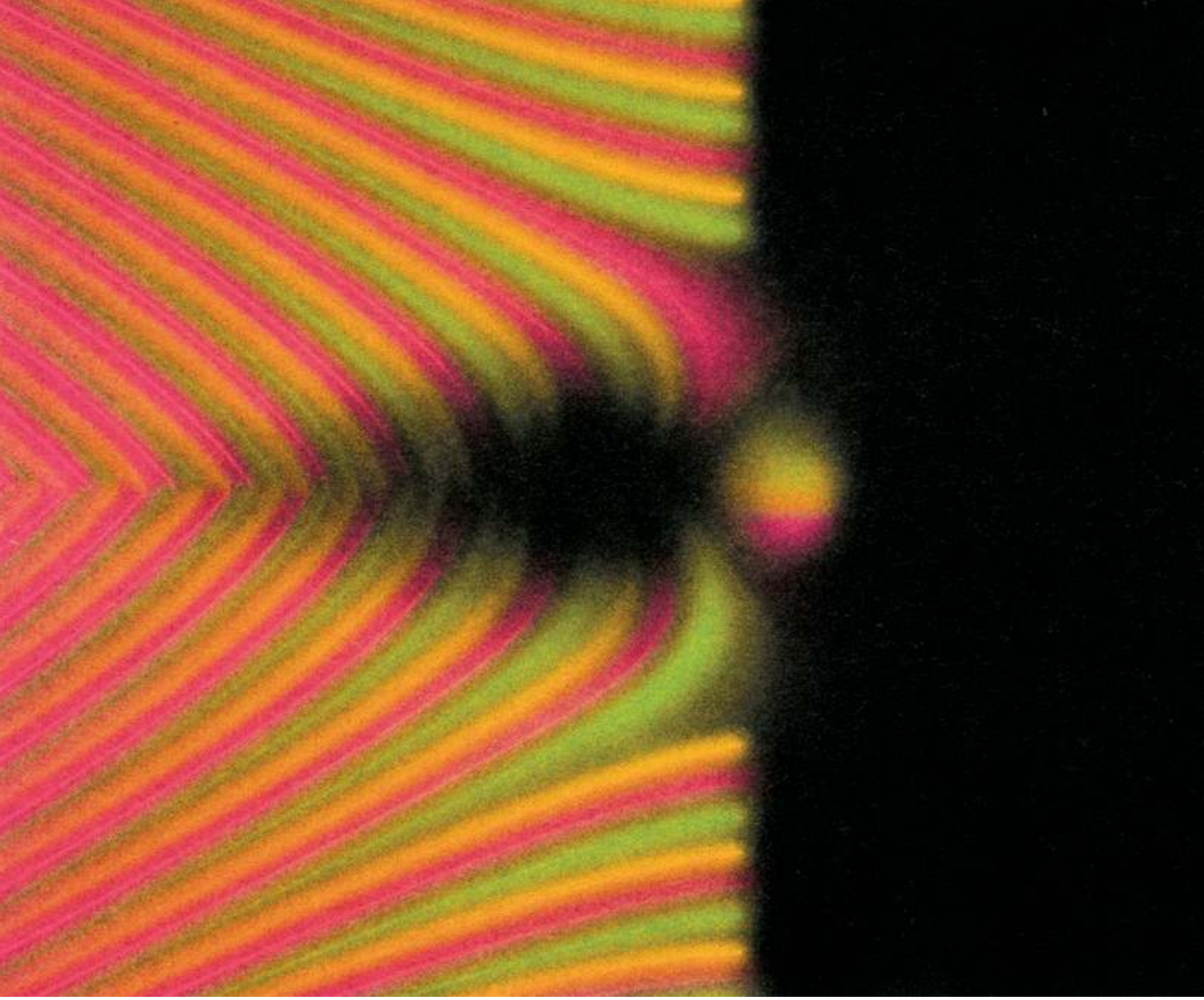
Hipoteza Riemanna zainspirowała wiele analogii, którymi posługują się matematycy. Z różnego rodzaju obiektami matematycznymi, od prostych równań po wielowymiarowe figury, związane są tzw. funkcje L, które opisują niektóre ich właściwości w taki sposób, w jaki funkcja zeta opisuje liczby pierwsze. Każda funkcja L ma specjalną linię krytyczną, taką jak x = 1/2 dla funkcji zeta. Jeśli jej zera leżą na tej linii, to analizowany obiekt staje się bardziej zrozumiały i przewidywalny.

Później pojawiła się postulowana przez matematyków „uogólniona hipoteza Riemanna". Skoro wszystkie zera funkcji L leżą w najbardziej naturalnym dla nich miejscu, to zakres wiedzy matematycznej, który dzięki temu możemy zyskać, jest nieskończenie większy. Zatem w pewnym sensie matematycy wiedzą już wiele z tego, co uwolniłoby udowodnienie hipotezy Riemanna – to już jest w literaturze, czeka tylko na ten jeden kluczowy dowód.

Gdzie więc szukać tego dowodu? „Na przestrzeni lat pojawiło się kilka dobrych pomysłów, ale żaden nie sięgnął sedna sprawy; wszystkie szybko straciły impet" – zauważa Andrew Granville, matematyk z University of Montreal.

Dwa lata temu dwóch znanych matematyków, James Maynard z Oksfordu i Larry Guth z MIT, dokonało największego przełomu dotyczącego hipotezy Riemanna. Wcześniej było dowiedzione tylko to, że żadne z miejsc zerowych nie znajduje się zbyt daleko od prostej krytycznej. Ale takie określenie granicy nie zmieniało się tak długo, że zaczęto sądzić, iż nie da się go

eprasa.pl 9667b7543e



Funkcja zeta Riemanna definiuje sumę nieskończonego szeregu, którego wyrazy zależą od liczby mającej część rzeczywistą i urojoną. Określa ona rozmieszczenie liczb pierwszych – najbardziej fundamentalnych obiektów w teorii liczb.

uściślić. „Właściwie uważałem, że musi być jakiś ukryty powód takiego stanu" – mówi Granville.

Opracowując zupełnie nowe techniki w teorii liczb, Maynard i Guth zdołali zacieśnić tę granicę, choć tylko nieznacznie. „To badacze należący do najwybitniejszych w swojej specjalności, ale nawet oni nie sięgnęli zbyt daleko" – zauważa Granville. „Nie sądzę, by nasza praca zmierzała w dobrym kierunku, jeśli chodzi o udowodnienie hipotezy Riemanna; uważam, że stanowi raczej potwierdzenie naszej bezradności wobec tej hipotezy" – stwierdza Maynard.

W pewnym sensie ta bezradność sprawia, że jest to równocześnie najbardziej i najmniej popularna hipoteza matematyczna. Naukowcy koncentrują swoje wysiłki na optymalnych problemach: dostatecznie trudnych (biorąc pod uwagę znane metody), aby zachęcały do rozwiązywania, a jednocześnie wystarczająco łatwych, aby liczyć na postęp.

Dla Maynarda brak jasnej drogi do rozwiązania hipotezy Riemanna jest jednym z powodów, dla których problem ten jest tak ważny. To wskazówka, że niezależnie od tego, jaka to droga, do rozwiązania prowadzi tylko podejmowanie wielu nowych prób. „Myślę, że jest bardzo dobry powód tego, aby hipoteza Riemanna była prawdziwa – to po prostu fakt, że nie mamy pojęcia, jaki to powód" – uważa Maynard. Dowód hipotezy przyniósłby wiele różnych dalekosiężnych następstw – ujawnienie tajemnic liczb, co otworzyłoby niezliczone matematyczne drzwi. To właśnie ukryta treść tego mitycznego dowodu kusi matematyków tak, że oddaliby swoją autonomię dużemu modelowi językowemu, aby tę treść dostrzec. „Zrozumienie dowodu, pochodzącego skądkolwiek – od kosmity, Boga lub sztucznej inteligencji – byłoby dla mnie superekscytujące" – podsumowuje Maynard. ■

Z ARCHIWUM

The Biggest Problem in Mathematics Is Finally a Step Closer to Being Solved. Manon Bischoff; ScientificAmerican.com, 1 lipca 2024 roku, ScientificAmerican.com/archive

eprasa.pl 9667b7543e



Zielony mech porasta martwe, powalone pnie na stanowisku nr 3 w lasach eksperymentalnych H. J. Andrews w Oregonie – miejscu zakrojonych na 200 lat badań nad rozkładem drewna.



Kronika rozpadu

Badania rozkładających się od czterech dekad pni ściętych drzew ujawniają nieznane wcześniej biologom procesy. Obserwacje zaplanowano na 200 lat

STEPHEN ORNES
ZdjęciA CHRIS GUNN

EKOLOG LASU **MARK HARMON** kuca przy oznaczonym aluminiową plakietką z numerem 219 porośniętym mchem pięciometrowym martwym pniu choiny zachodniej (*Tsuga heterophylla*) spoczywającym na dnie gęstego, wilgotnego lasu. Badacz uważnie mu się przygląda. Jego niesforna, siwiejąca broda niemal dotyka rozpadającego się pnia. Ciemne, łuszczące się płaty w matowym, czerwonobrązowym drewnie tuż przy powierzchni gleby wskazują miejsca, w których grzyby już wniknęły w struktury celulozowe. Dalej wzdłuż kłody wystają wielobarwne owocniki – twarde, półkoliście rozrośnięte, wielkości myszy. Błyszczący czarny chrząszcz przemyka po ściółce i znika pod pniem. Harmon delikatnie uciska drewno opuszkami palców, delikatnie podważa jego fragment. Materiał jest miękki i gąbczasty. „Nie chcę niczego zniszczyć – mówi wolno. – To wszystko się rozpada".

Harmon, profesor z Oregon State University, obserwuje rozkład pnia 219 – i ponad 500 innych w okolicy – już od około 40 lat. Odwiedził to miejsce, w lasach doświadczalnych H. J. Andrews w Górach Kaskadowych, co najmniej 100 razy. Dojazd asfaltowymi i szutrowymi drogami z rodzinnego Corvallis zajmuje mu ponad dwie godziny, potem Hormon przez kilometr przedziera się przez runo leśne. Niesie ze sobą taśmy pomiarowe, wagi, piły oraz laptop do dokumentowania nieustannych zmian. Celem jego pracy jest stworzenie bazy danych, którą każdy naukowiec mógłby wykorzystać do testowania hipotez dotyczących rozkładu drewna lub porównywania wzorców dekompozycji w północno-zachodniej części Ameryki z analogicznymi procesami w innych regionach świata.

Proces rozkładu wyjaśnia, jak i w jakim tempie węgiel związany przez rośliny w wyniku fotosyntezy powraca do atmosfery. Mechanizm ten, działający w ogromnych skalach przestrzennych i czasowych, wpływa na długoterminową produktywność oraz bioróżnorodność lasów. Wyniki Harmona mogą mieć znaczenie dla decyzji leśników dotyczących momentu – lub zasadności – usuwania martwych pni w celu poprawy kondycji ekosystemu. Dekompozycja kształtuje również sposób rozprzestrzeniania się pożarów w drzewostanach. Martwe stojące drzewa i leżące kłody stanowią ponadto kluczowe siedliska dla wielu gatunków zwierząt.

Przed rozpoczęciem długoterminowego projektu Harmona naukowcy badający wpływ martwego drewna zwykle analizowali jedynie to, co już uległo rozkładowi, nie znali czynników determinujących przebieg tego złożonego wieloletniego procesu. Jednak już na początku lat 80. badacze, a wśród nich Harmon, zorientowali się, że wzorce dekompozycji można uchwycić wyłącznie dzięki skrupulatnemu monitorowaniu rzeczywistych pni przez dziesięciolecia – scalając niejako migawki w wielowymiarowy film. Nawet po 40 latach – przyznaje Harmon – ekolodzy natrafiają na nowe niewiadome: Jak temperatura wpływa na aktywność organizmów rozkładających drewno, na przykład brunatnej zgnilizny, w zależności od gatunku drzewa? Jak zmieniające się ekosystemy sprzyjają interakcjom

Stephen Ornes jest niezależnym dziennikarzem naukowym. Pisał między innymi o wielorybich truchłach na dnie oceanów (whale falls), planetach pozasłonecznych oraz matematyce sprawiedliwego dzielenia tortu. Jest autorem książki *Breakdown: A Brief History of the End of the Universe and Everything in It* (W. W. Norton & Company).

eprasa.pl 9667b7543e



Mark Harmon pokazuje, jak głęboko posunął się rozkład pnia. Od czterech dekad prowadzi szczegółowe pomiary ponad 500 kłód w sześciu kompleksach leśnych. Następcy Harmona mają kontynuować zbieranie danych przez kolejne 160 lat.

między bezkręgowcami, mikroorganizmami i drewnem? Jak je utrudniają? W jakim tempie węgiel uwalnia się z zalegających pni? To ostatnie zagadnienie ma szczególne znaczenie, ponieważ wpływa na obieg pierwiastków w glebie i korzeniach oraz na zmiany klimatu.

Harmon toruje drogę do odpowiedzi – choć sam być może nigdy ich nie pozna. Zaprojektował swój monumentalny eksperyment tak, by trwał co najmniej 200 lat – co daleko wykracza poza granice jego życia i życia jego bezpośrednich następców. Jak zauważa Jennifer Powers, ekolog z University of Minnesota, Harmon „naprawdę przemyślał długoterminowe procesy kształtujące lasy, planując badanie, o którym wiedział, że jego końca nie doczeka".

WIĘKSZOŚĆ LUDZI POSTRZEGA MARTWE DRZEWA jako problem, zmarnowany zasób albo przeszkodę, o którą można się potknąć. Harmon widzi w nich źródło. Gdy miał 21 lat, podczas biegu po pagórkowatych lasach środkowego Massachusetts natrafił na porośnięty zielonym mchem pień, który zdawał się niemal świecić na tle ciemnego, zalesionego zbocza. Doświadczył wtedy swoistej wizji, że pewnego dnia poprowadzi badania nad rozkładem martwych pni. Zastrzega jednak, że tamtego dnia nie był całkiem przytomny. „Pomogły w tym pewne substancje – przyznaje. – Ale wciąż widzę ten pień". W swoim pierwszym dużym projekcie badawczym porównał tempo rozkładu 10 gatunków drzew powalonych przez pożary w górach Great Smoky Mountains. Ustalił, że gatunki iglaste ulegają rozkładowi wolniej niż liściaste, a *Quercus prinus* – dąb kasztanowy – rozkłada się najszybciej, tracąc co roku 11% gęstości.

W 1979 roku Jerry Franklin, ówczesny ekolog lasu z Oregon State University, odwiedził Great Smokies, gdzie Harmon – wówczas doktorant University of Tennessee – przypadkiem został jego przewodnikiem. Franklina uczono, że martwe drzewo ma wartość tylko wtedy, gdy można je załadować na ciężarówkę i wysłać do tartaku. „Ale z czasem zrozumiałem, że to drewno, które uznano za odpad, zagrożenie pożarowe

eprasa.pl 9667b7543e



i potykacz, ma ogromne znaczenie" – mówi Franklin. Wciąż stanowi część lasu, zwiększa bioróżnorodność, tworząc siedliska i zwracając węgiel oraz azot do gleby.

Franklin szybko rozpoznał w Harmonie pokrewną duszę. W 1980 roku Harmon przeniósł się do Oregonu, by rozpocząć pisanie doktoratu, a kilka lat później Franklin zaprosił go do prowadzenia eksperymentu o prostej nazwie Log Decomposition Project. Harmon mówi o tym projekcie „czyste szaleństwo – a może jednak nie". Rozpoczynając badania, sformułował precyzyjne, choć dalekosiężne cele. Chciał ustalić, jak bardzo tempo rozkładu drewna liściastego różni się między gatunkami, jak kolonie mikroorganizmów wpływają na to tempo oraz czy owady i inne bezkręgowce przyspieszają dekompozycję, wprowadzając do drewna drobnoustroje.

Sam pomysł, by wyciąć zdrowe drzewa w jednym miejscu i przetransportować je gdzie indziej, by tam się rozkładały, był trudny do zaakceptowania. Podczas pewnej kolacji na Oregon State University Harmon usłyszał od dziekana wydziału leśnego, że to jest najgłupszy projekt, o jakim ten w życiu słyszał. Wielu ludzi Harmonowi regularnie mówiło, że umrze, zanim badania się skończą, albo że „tylko idiota czekałby 200 lat na wyniki". Mimo to eksperyment nie stracił finansowania.

We wrześniu 1985 roku, pod kierunkiem Harmona, robotnicy użyli pił łańcuchowych, ładowarek, haków, lin i łopat, aby ściąć i przeciągnąć blisko 100 drzew na polanę w Andrews Experimental Forest. Każdy pień miał 5,5 m długości i 45–65 cm średnicy. Od tamtej pory Harmon – nazywany przez National Science Foundation Dr Death – regularnie wraca do tego miejsca, oznaczonego numerem 3. Fotografuje pnie i rejestruje sukcesję owadów oraz innych bezkręgowców, które żerują na rozkładającym się drewnie i je kolonizują. Za pomocą elektronicznych suwmiarek i wag mierzy długości, średnice, masy i gęstości tkanek; używa też cyfrowych instrumentów do pomiaru temperatury, wilgotności i ciśnienia powietrza w lesie. Przeniósł również tysiące odciętych z końców pni

eprasa.pl 9667b7543e



Aluminiowa tabliczka identyfikuje kłodę nr 219 – choinę zachodnią. Badacze odkryli, że kłody różnych gatunków drzew mogą się rozkładać w zupełnie różnym czasie od zaledwie trzech do nawet 750 lat.

krążków drewna grubości kilku centymetrów – do laboratorium Andrews, aby analizować stężenie cukrów i śledzić zmiany zawartości węgla i azotu. Każdą próbkę oznakowano kodem kreskowym i zarchiwizowano. Po utworzeniu początkowego zbioru – przyjętego za odniesienie – zespół Harmona wypełnił cały chłodzony magazyn ponad tysiącem drewnianych plastrów. Jego żona, Janice Harmon, ekolog roślin, zeskanowała z czasem ponad 35 tys. notatek. W ich garażu w Corvallis nadal zalegają plastikowe torby wypełnione próbkami zgniłego drewna – sproszkowanego lub w kawałkach – czekających na opracowanie.

Gdy w 1985 roku ekipa zakładała stanowisko nr 3, przeciągała również liczne inne pnie – przygotowane w identyczny sposób – na pięć dodatkowych stanowisk rozsianych po całym lesie. Jeden z operatorów ładowarki, wspomina Harmon, wykrzyczał wtedy całą wiązankę przekleństw, bardzo jasno wyrażając swoją opinię o sensowności przedsięwzięcia. Łącznie rozmieszczono 530 pni, reprezentujących cztery dominujące w tym ekosystemie gatunki: daglezję zieloną (*Pseudotsuga menziesii*), choinę zachodnią (*Tsuga heterophylla*), żywotnik olbrzymi (*Thuja plicata*) i jodłę wonną (*Abies amabilis*) . Od początku drugiej kadencji Ronalda Reagana Harmon prowadzi naukowców, wolontariuszy i studentów na te ukryte polany, by z drobiazgową precyzją monitorować rozkład drewnianej „padliny".

Choć na proces destrukcji wpływają warunki atmosferyczne, promieniowanie słoneczne i owady, to grzyby rozkładające drewno stanowią główną siłę napędową dekompozycji. Te niemal niewidoczne mikroorganizmy często podróżują na grzbietach bezkręgowców, które wprowadzają je w głąb rozpadającego się pnia. Aby skatalogować te populacje, Harmon i jego współpracownicy delikatnie zeskrobują je z wewnętrznych ścian jam w pniach do woreczków na próbki – razem z innymi drobnymi organizmami, które akurat tam przebywają.

Dziś las jest współzarządzany przez U.S. Forest Service, Oregon State University i Willamette National Forest, a jego teren udostępnia się naukowcom

eprasa.pl 9667b7543e

Harmonowi regularnie mówiono, że umrze, zanim badania się skończą, albo że „tylko idiota czekałby 200 lat na wyniki”.

prowadzącym rozmaite badania z zakresu hodowli i użytkowania lasu. Stał się długoterminowym laboratorium ekologicznym, w którym naukowcy analizują wpływ zaburzeń – takich jak powodzie czy pożary – na funkcjonowanie ekosystemu leśnego. „Dzięki tej 70-letniej bazie danych – mówi Mark Schulze, adiunkt na Oregon State i dyrektor lasu – możemy naprawdę zrozumieć te procesy”. Eksperymentalny las jest idealnym środowiskiem dla pracy Harmona, ponieważ rozkład przebiega w skalach czasowych i przestrzennych, których badacze zwykle nie obejmują pomiarami. Projekt, który trwa już dekady, nadal odsłania nowe zagadki i doprowadził do powstania małej, lecz dynamicznej subdyscypliny. Naukowcy badają dziś dekompozycję drzew w dziesiątkach analogicznych projektów na sześciu kontynentach. Badacze m.in. w Chinach i Niemczech dociekają, jak klimat, środowisko i populacje destruentów w różnych regionach współoddziałują, aby kształtować przebieg rozkładu. Analizują, jak tempo dekompozycji różni się między gatunkami i lokalizacjami – co może wpływać na politykę zarządzania lasami i ochroną siedlisk. Dostarczają danych klimatologom, którzy mogą precyzyjniej modelować tempo akumulacji lub emisji węgla w zależności od typu lasu.

Harmon jest powszechnie uznawany za faktycznego pioniera tej dziedziny – opublikował dziesiątki kluczowych prac, cytowanych tysiące razy. Hans Cornelissen, ekolog systemowy z Vrije Universiteit Amsterdam, który w 2012 roku zainicjował projekt Loglife w Holandii, wzorowany na badaniu z Oregonu, nazywa Harmona „ojcem założycielem współczesnej nauki o dekompozycji drewna”. Harmon jest skrupulatny, wręcz obsesyjnie, jeśli chodzi o rozkład drzew. Jego skupienie na pracy jest tak silne, że nie potrafi się wyłączyć. „To jest właściwie dość frustrujące” – mówi, gdy oddalamy się od pnia nr 219. Sprawia wrażenie człowieka pogodzonego z losem, niemal zrezygnowanego. Gdziekolwiek się znajduje i cokolwiek robi – nawet na urlopie – zawsze zawsze widzi martwe drzewa.

TEMPERATURA SZYBKO ROŚNIE tego majowego poranka, gdy przemierzamy teren eksperymentu. Inne oznakowane okazy w oddali przypominają fale zastygłe na zielonym stawie. Jest cicho, od czasu do czasu słychać bębnienie dzięcioła kosmatego (*Dryobates pubescens*) odległy gwizd drozda złotogardłego (*Ixoreus naevius*). Harmon, obecnie 72-letni i formalnie na emeryturze, z łatwością pokonuje sięgające metra wały ziemne i schyla się pod pniami powalonych iglaków. Zdejmuje kask i ociera czoło, gdy zbliżamy się do leżącego żywotnika zachodniego, niebędącego częścią eksperymentu. W pierwszych dwóch dekadach badań, relacjonuje Harmon, naukowcy odkryli, że zewnętrzna warstwa bielu w żywotniku zachodnim ulega rozkładowi szybciej niż jakakolwiek warstwa innego badanego gatunku. Natomiast wewnętrzna twardziel jest wyjątkowo odporna na rozkład, co tłumaczy jej częste wykorzystanie do budowy tarasów i podwyższonych grządek. Dwa skrajne przypadki w obrębie jednego gatunku. W rezultacie żywotniki zazwyczaj pozostają nienaruszone aż do momentu, gdy ich system korzeniowy ulega destabilizacji, po czym nagle się przewracają – w przeciwieństwie na przykład do daglezji, które rozpadają się stopniowo na duże fragmenty, pozostawiając stojące martwe pnie. Rozkład przebiega inaczej wtedy, gdy drzewo leży i mikroorganizmy rozkładające drewno mają do niego łatwiejszy dostęp, niż wtedy, gdy stoi.

Harmon ponownie zakłada kask na swoje przerzedzone, ciemne włosy. Ja również mam kask, ponieważ duże drzewa zrzucają duże konary, choć zastanawiam się, czy ta plastikowa osłona faktycznie ochroniłaby mnie przed spadającą gałęzią. Kilka metrów dalej Harmon wskazuje na pień oznaczony numerem 218 – daglezję. Podczas gdy kruszejąca twardziel pnia choiny nr 219 sprawiała wrażenie, jakby miała się zaraz zapaść, leżąca daglezja jest tak stabilna, że możemy na niej stanąć.

„Zaletą długoterminowego eksperymentu w Andrews – wyjaśnia Harmon – jest pełna znajomość momentu rozpoczęcia rozkładu, co nie jest możliwe w przypadku drzew powalonych naturalnie.” Dzięki temu on i inni badacze mogą precyzyjniej analizować chronologię i czynniki napędzające dekompozycję u różnych gatunków. „Wiedzieliśmy, że to jest ważne – mówi. – Mieć nasze początkowe warunki eksperymentalne”.

W ciągu ostatnich 40 lat narastający zbiór wyników pomiarów przyniósł nieoczekiwane wnioski. Martwe drewno może zalegać na dnie lasu lub pozostawać jako stojący martwy pień od trzech do nawet 750 lat. W analizie z 2020 roku Harmon i współpracownicy oszacowali, że tempo rozkładu może różnić się aż 244-krotnie w zależności od gatunku drzewa i klimatu. Na przykład drzewo *jonote* (*Heliocarpus appendiculatus)*, tropikalny gatunek z Ameryki Środkowej, traci niemal 98% swojej masy rocznie, podczas gdy eukaliptus kamaldulski (*Eucalyptus camaldulensis)*, charakterystyczny dla australijskich ekosystemów eukaliptus rzeczny, zaledwie 0,4%. Zróżnicowanie występuje również wewnątrz gatunków. „Niektóre fragmenty drzewa mogą przetrwać najwyżej dekadę, a inne dotrwać tysiąca lat” – zauważa Harmon.

Kolejnym zaskoczeniem jest skala, w jakiej martwe drewno modyfikuje glebę leśną. Powalone drzewa nie tylko ulegają rozkładowi. Harmon odsuwa stabilny pień nr 218, odsłaniając warstwę gleby mineralnej barwy najciemniejszej czekolady. Składa się ona głównie ze skruszonej gliny, skał i piasku, w przeciwieństwie do gleby organicznej zawierającej rozkładającą się materię roślinną. Strzępki grzybni przerastają brunatną warstwę.

eprasa.pl 9667b7543e



„Ta warstwa ściółki właściwie się rozpłynęła” – mówi Harmon. Organiczna gleba rozłożona przez grzyby, nicienie czy bakterie pod pniem nie była uzupełniana. Tymczasem liście i gałęzie opadające na pień przez dekady gromadziły się i ulegały dekompozycji, tworząc żyzną warstwę gleby organicznej na jego powierzchni, na której zaczęły rosnąć m.in. mchy. „Pień zasadniczo wyniósł poziom lasu 50 cm ponad grunt” – dodaje Harmon. Powalone drzewa zmieniają skład chemiczny gleby — zarówno pod sobą, jak i nad sobą – a wraz z nim także populację mikroorganizmów w swoim otoczeniu.

Zespół Harmona ustalił także, że gleba oddziałuje zwrotnie na pień, ponieważ mrówki i inne owady przenoszą do wnętrza rozkładającego się drewna cząstki mineralne i mikroorganizmy. To, czy martwe drzewo styka się z glebą mineralną, stoi jako suchy pień, czy pozostaje zawieszone ponad powierzchnią lasu po oparciu się o żywe drzewo, może w istotny sposób wpływać na ilość zmagazynowanego w nim węgla. Różne konfiguracje czynników rozkładu determinują również prawdopodobieństwo zakorzenienia się nowych drzew, co wpływa na strukturę siedliska, a w konsekwencji na funkcjonowanie całego lokalnego ekosystemu.

Gatunki wolno rozkładające się mogą magazynować ogromne ilości węgla przez dekady lub stulecia, podczas gdy szybko ulegające dekompozycji – emitować znaczne jego ilości do atmosfery. W ujęciu globalnym bilans sekwestracji i emisji może silnie wpływać na poziomy dwutlenku węgla, a tym samym na zmianę klimatu.

Zrozumienie tempa tych procesów ma kluczowe znaczenie dla modelowania zmian klimatu – podkreśla Jonathan Schilling, którego laboratorium na University of Minnesota specjalizuje się w badaniach rozkładu drewna i grzybów. Schilling prowadził tego typu eksperymenty m.in. na Alasce i w Nowej Zelandii. „Mamy pnie, które rozkładają się właściwie wszędzie” – stwierdza. W 2024 roku on i jego współpracownicy porównali sposób, w jaki dwa typy grzybów rozkładają drewno. Grzyby powodujące białą zgniliznę atakują twardą ligninę, uwalniając przy tym dwutlenek węgla, natomiast grzyby wywołujące brunatną zgniliznę rozkładają głównie celulozę, pozostawiając ligninę.

Pożar, który wybuchł w sierpniu 2023 roku, omal nie zniweczył trwającego od 40 lat eksperymentu – ogień strawił trzy z sześciu stanowisk badawczych. Na części pogorzeliska szybko pojawił się mech *Ceratodon purpureus* (fire moss), jeden z pierwszych gatunków zasiedlających tereny po pożarach.

eprasa.pl 9667b7543e

„W przypadku brunatnej zgnilizny w glebie pozostaje znacznie więcej węgla" – wyjaśnia Schilling. Ma to istotne znaczenie, ponieważ grzyby białej zgnilizny, które preferują lasy cieplejsze, wkraczają na północ wraz ze zmianami temperatury i ilości opadów. Konsekwencja? Więcej dwutlenku węgla trafia do atmosfery. „Stawka jest wysoka – mówi Schilling – a niepewność tak duża, że musimy dokładnie zrozumieć, jak działa ten proces".

Eksperyment Andrews stał się inspiracją dla wielu projektów na całym świecie. W pierwszej dekadzie XXI wieku Powers zainicjowała pierwsze tropikalne badanie dekompozycji, obejmujące 14 krajów i wzorowane na pracy Harmona. W 2012 roku Cornelissen wraz ze swoim zespołem w Holandii rozmieścił kłody 25 gatunków drzew na dwóch „cmentarzyskach drzew" w ramach eksperymentu Loglife. Cornelissen współpracował również przy projektach dotyczących dekompozycji w Rumunii, Niemczech i Chinach. W 2024 roku pracował z Amy Zanne, ekolożką z Cary Institute of Ecosystem Studies w Millbrook w stanie Nowy Jork, nad przeglądem badań nad rozkładem drewna wyjaśniającym zróżnicowane wzorce dekompozycji obserwowane na świecie. Zanne dostrzega w procesach rozkładu ukryty, niemal baśniowy świat, zasiedlony przez niedoceniane, marginalizowane organizmy, które mimo to pełnią kluczowe funkcje w ewoluujących ekosystemach. „Uwielbiam myśleć o tych niedostrzegalnych aktorach, o niedostrzeganych elementach i o tym, jak rzeczy ukryte wprawiają świat w ruch" – mówi.

HARMON OMAL NIE UTRACIŁ całego projektu Andrews 5 sierpnia 2023 roku, kiedy piorun uderzył w drzewo na Lookout Ridge. Pożar rozprzestrzenił się szybko i w ciągu kilku tygodni strawił 70% zlewni – ponad 10 tys. ha. Ogień przeszedł przez trzy z sześciu stanowisk badawczych, ogołacając żywe drzewa z liści i spalając znaczną część martwego drewna – co stanowiło poważny cios. Prawie dwa lata później idę z Harmonem żwirową drogą w pobliżu stanowiska nr 3, po czym wjeżdżamy wyżej na grzbiet, zatrzymujemy się i przechodzimy przez upiorne pozostałości stanowiska nr 6.

Nadal wyczuwa się słabą, choć nadal odrażającą woń dymu i spalenizny. Ogień powalił olbrzymie jodły i zdeformował cedry; zwęglone pnie nadal sterczą jak abstrakcyjne posągi. Pozostałe gałęzie – cienkie, pozbawione liści – połyskują srebrzyście w ostrym, popołudniowym słońcu. Z czasem opadną. Harmon przysiada i ostrożnie podnosi osmaloną aluminiową tabliczkę, ledwo czytelną, identyfikującą okrągły, zwęglony szkielet drewna jako choinę zachodnią. Nie widać żadnych chrząszczy.

Pożar zmienia reguły gry, mówi Harmon. Bywa tragiczny, ale stwarza również okazję, by spojrzeć na las w nowym świetle. „To miejsce uległo zmianie, ale, wiesz, ono się odrodzi. To będzie kolejna manifestacja tego samego procesu" – mówi. Inaczej niż na stanowisku nr 3, tutejsza gleba organiczna niemal całkowicie zniknęła pod warstwą popiołu i węgla drzewnego. Nie wiadomo, który z czterech gatunków objętych projektem dekompozycji będzie dominować na obszarach spustoszonych przez ogień. I choć ogień zabija drzewa, nie usuwa ich fizycznie. Harmon wskazuje na suchy pień, może dziewięciometrowy, z drobnymi grzybami wyrastającymi ze szczelin. Zauważa niewielką łatę odsłoniętej gleby mineralnej, na której pojawiły się siewki. W krajobrazie nasyconym pozostałościami pni i powalonych wyrosną drzewa, a nowy las może okazać się jeszcze bardziej strukturalnie złożony.

Przyszłość, rzecz jasna, pozostaje niepewna. Projekt dotyczący dekompozycji kłód jest jednym z 27 przedsięwzięć w ramach sieci Long-Term Ecological Research – zbioru wielkoskalowych eksperymentów finansowanych przez National Science Foundation, badających m.in. wpływ ekspansji miejskiej na tempo wzrostu drzew czy wpływu takich zjawisk, jak ekstremalne wiatry, pożary i powodzie na ekosystemy. Finansowanie od zawsze stanowiło problem, a Harmon, Franklin i inni badacze obawiają się, że ostatnie szeroko zakrojone cięcia grantów federalnych dotkną również eksperyment Andrews. Paradoksalnie jednak długowieczność projektu działa na jego korzyść – wymaga on minimalnej opieki, a rozkład i tak postępuje, niezależnie od tego, czy ktoś go obserwuje. Na razie jednak ktoś to robi.

Harmon przeszedł na emeryturę w 2016 roku, ale nie potrafi się od tego miejsca oderwać; nadal opracowuje ogromne zbiory danych i publikuje kolejne prace. Stery przekazał dwóm młodszym badaczom z Oregon State: Georgii Seyfried, specjalistce od gleb i procesów biogeochemicznych, i Jacobowi Bukoskiemu, ekologowi badającemu obieg węgla i strategie łagodzenia zmian klimatu. „Widzę tu ogromny potencjał" – mówi Bukoski, który zamierza włączyć pożary w coraz bardziej złożony, wyłaniający się obraz procesów dekompozycji.

W drodze powrotnej do siedziby głównej lasu przejeżdżamy z Harmonem wąski strumień wijący się wśród drzew iglastych i zatrzymujemy samochód. Idziemy około 45 m w głąb lasu – nad powalonymi kłodami i pod nimi – aż docieramy do jednego z „świętych miejsc" Harmona: zagajnika gigantycznych daglezji. Ich pnie mają co najmniej dwa metry średnicy. Najniższe gałęzie sięgają ponad wierzchołki większości okolicznych drzew. Te kolosy są starsze niż Mona Lisa. Stoimy przez chwilę w ciszy w cieniu tych żywych gigantów. Dzięki głębokim, grubym bruzdom i niewidocznym koronom wydają się niezniszczalne i wieczne. Ale to złudzenie, mówi Harmon. Ten widok to jedynie migawka. Po ich upadku – jeśli nie spłoną – prawdopodobnie będą zalegać na dnie lasu przez kolejne kilkaset lat, stanowiąc dom dla bezkręgowców, przekształcając strukturę lasu i stopniowo wtapiając się w nową drzewostanową mozaikę, w cieniu wzrastających nowych gigantów.

Dawniej naukowcy zakładali, że rozkład jest procesem natychmiastowym – że drzewo po śmierci właściwie znika. „Ale to nigdzie na Ziemi nie jest prawdą i nigdy nie było" – mówi. Martwe drzewo „tylko zmienia się w coś innego". ■

Z ARCHIWUM

„A New Generation of American Chestnut Trees May Redefine America's Forests", Ferris Jabr; Scientific American. com, 1 marca 2014. ScientificAmerican. com/archive

eprasa.pl 9667b7543e



Po pożarze z 2023 roku, nazwanym Lookout Fire, w lesie pozostały setki martwych stojących pni. Martwe daglezje zwykle pękają i rozpadają się na kawałki, natomiast żywotniki najczęściej stoją do chwili, gdy ich korzenie całkowicie utracą wytrzymałość – wtedy nagle się przewracają. Badania zwęglonych pni mają pokazać, w jaki sposób popiół i węgiel drzewny powstałe podczas pożaru wpływają na proces rozkładu drewna.

Tajemnica znikających mięczaków

Dlaczego amerykańskie małże słodkowodne znalazły się na skraju zagłady?

ROBERT KUNZIG

Dna amerykańskich rzek były niegdyś „wybrukowane” tymi pięknymi zwierzętami zagrzebującymi się w osadzie rzecznym – należącymi do 300 gatunków. Około 10% z nich już wyginęło. Wiele kolejnych jest krytycznie zagrożonych, w tym *Epioblasma torulosa rangiana* (*jaśniejszy z delikatnymi zielonymi promieniami, na dole*) oraz *Pleurobema clava* (*pośrodku, z ciemniejszymi plamami*).

sprasa.pl 9667b7543e


eprasa.pl 9667b7543e

PRZEZ MOJĄ MASKĘ DO PŁYWANIA WIDZIAŁEM, że obiekt, który wskazuje palcem Wendell Haag, znajduje się około pół metra pode mną, na dnie rzeki. Nie od razu jednak dostrzegłem, że to coś żyje. Wyglądało bowiem jak kamień pokryty szarawą mazią. Znajdowaliśmy się w południowym odgałęzieniu rzeki Kentucky, a ja klęczałem, podpierając sie rękami, z twarzą zanurzoną w wodzie i uniesionym tyłem tułowia – w dość niezgrabnej pozie, której nauczyłem się od biologów zajmujących się małżami, takich jak Haag. W końcu po długim wpatrywaniu się w dno, rozpoznałem małża. Był w większości zagrzebany w mule rzecznym i wystawiał z niego koniec ciała, a muszla była lekko uchylona. Wokół tej ciemnej szczeliny zwisały mięsiste wypustki, które falowały w nurcie rzeki niczym proporce. W ten właśnie sposób małż *Lampsilis cardium* polował na ryby z rodzaju *Micropterus*.

Okazuje się bowiem, że okoń mógłby wziąć te wypustki za nadającą się do zjedzenia małą rybkę. Wtedy rzuciłby się na przynętę, po czym zamiast pokarmu w jego otworze gębowym wylądowałaby porcja larw małża: tysiące dwuklapowych „wampirów" mniejszych niż ziarenka soli, z których część natychmiast przyczepiłaby się do skrzeli ryby i zaczęła żywić jej krwią.

Kiedy po raz pierwszy dowiedziałem się o tej sztuczce, zacząłem inaczej – i z większym szacunkiem – patrzeć na tego mięczaka. I nie tylko na niego: w Ameryce Północnej udokumentowano około 300 gatunków słodkowodnych małżów. Wszystkie są bezmózgimi bezkręgowcami. Większość życia spędzają zakotwiczone w dnie rzek, odfiltrowując z przepływającej wody glony i bakterie. Zarazem wszystkie wykorzystują ryby do rozprzestrzeniania swojego potomstwa, a większość z nich stosuje przy tym złożone strategie. Niektóre małże, jak *Lampsilis cardium*, skłaniają rybę do ugryzienia przynęty pełnej larw; inne najpierw zaciskają klapy swojej muszli na głowie ryby i „wstrzeliwują" młode do jej jamy gębowej. Larwy przez kilka tygodni pozostają przyczepione do skrzeli ryby, przeobrażając się w młodociane małże, które odczepiają się i opadają na dno rzeki. Często – i o to właśnie chodzi w tym mechanizmie – dzieje się to powyżej miejsca, w którym zaczęła się ich przygoda z rybą.

Małże słodkowodne wyewoluowały z małżów morskich ponad 200 mln lat temu, zasiedlając rzeki dzięki temu, że wykorzystywały ryby do przenoszenia swoich larw w górę ich nurtu. Morskie małże są dla nas przysmakiem. O istnieniu małżów słodkowodnych większość ludzi nawet nie wie. Żyją one przez dziesięciolecia, w niektórych przypadkach – ponad sto lat.

Ale obecnie gatunki słodkowodne zanikają. Około jednej dziesiątej z 300 występujących w Ameryce Północnej już wyginęło, a jedna trzecia pozostałych znajduje się na listach organizmów zagrożonych lub narażonych na wyginięcie. Rzecz jest bardziej zagadkowa, niż mogłoby się wydawać. Chociaż przestaliśmy budować zapory niszczące siedliska małżów i zmniejszyliśmy zanieczyszczenie rzek, większość populacji nadal się kurczy. Naukowcy nie są pewni, dlaczego tak się dzieje. „Mamy do czynienia z katastrofą środowiskową i tak naprawdę nie wiemy, co ją powoduje" – powiedział mi Haag.

Haag należy do niewielkiej społeczności badaczy, którzy próbują temu zapobiec. W kilku stanowych laboratoriach na południowym wschodzie USA – regionie

Robert Kunzig jest niezależnym dziennikarzem mieszkającym w Birmingham w stanie Alabama, wcześniej pracował jako starszy redaktor w „National Geographic", „Discover" i „Scientific American".

Ryan Hagerty/U.S. Fish and Wildlife Service (*poprzednia strona*)

eprasa.pl 9667b7543e

o światowym znaczeniu pod względem różnorodności małżów – naukowcy opracowali metody rozmnażania rzadkich gatunków w niewoli, a następnie ich wypuszczania na wolność. Haag kieruje badaniem prowadzonym w 13 stanach i obejmującym około 90 strumieni i rzek, którego celem jest znalezienie przyczyny tych, jak to określa, „enigmatycznych spadków liczebności". Jego zdaniem wciąż istnieje nadzieja na odwrócenie tego trendu.

ZESZŁEGO LATA ZANURZYŁEM SIĘ wraz z Haagiem – ekologiem wód słodkich z U.S. Forest Service – w czterech różnych rzekach stanu Kentucky. Najpierw pokazał mi strumień Rolling Fork, który dotąd uniknął poważnego spadku populacji małżów. Płynie on przez południowy skraj regionu Bluegrass. Populacje małżów w tym strumieniu są wciąż tak bogate, jak w latach 80., gdy były one powszechne. To wtedy Haag wybrał swoją życiową drogę. Leżąc w tej płytkiej rzece, nawet ja byłem w stanie zauważyć sześć różnych gatunków na powierzchni jednego metra kwadratowego dna. Haag zidentyfikował ich znacznie więcej. „Dosłownie chodzimy tu po małżach" – stwierdził.

Piżmaki amerykańskie są jeszcze lepszymi łowcami małżów niż Haag, a na żwirowej plaży ocienionej przez platany zostawiły dla nas pokaźny zbiór pustych muszli. W ciągu 20 minut Haag zebrał ponad 20 gatunków. Różniły się kształtem – od owalnych po niemal trójkątne – oraz fakturą, od gładkiej po pofałdowaną i guzowatą. Największy z nich był *Megalonaias nervosa* o długości 15 cm. Ten gatunek może osiągać rozmiary talerza obiadowego

Z zewnątrz muszle miały barwy zanurzonych w wodzie kamieni – od najciemniejszego brązu przez odcienie od płowych do zielonkawożółtawych. Wewnątrz jednak wszystkie wyścielała lśniąca masa perłowa. Migocąc w słońcu, wyglądała nieziemsko. W niektórych muszlach była czysto biała, w innych bladożółta lub różowa, a w jednej smukłej, młodej muszli niedużego małża przybierała głęboki odcień luksusowej purpury. Ta uderzająca piękność – jak zauważył Haag – nie ma żadnego znanego celu. Nikt jej nie widzi, dopóki małż żyje.

W całej Europie występuje zaledwie 16 gatunków słodkowodnych małżów. Tymczasem na tym jednym odcinku rzeki Rolling Fork żyje ich około 35. „Kiedy schodzisz nad rzekę i zanurzasz się w wodzie, powinieneś zobaczyć to bogactwo" – stwierdził Haag, gdy opuszczaliśmy to miejsce.

Następnego dnia w potoku Horse Lick Creek płynącym przez płaskowyż Cumberland zobaczyliśmy jednak coś zupełnie innego. Pod koniec lat 80., kiedy Haag po raz pierwszy przeprowadził inspekcję Horse Lick, było w nim kilkadziesiąt gatunków małżów Teraz po ponad godzinie poszukiwań w przejrzystych bystrzach i głębokich zacienionych basenach nie znaleźliśmy ani jednego małża – żywego ani martwego. Haaga to nie zaskoczyło, ale mimo to wydawał się poruszony. „Trudno uwierzyć, że kiedykolwiek były tu małże – powiedział. – Nie ma po nich żadnego śladu – zaczynam nawet wątpić we własną pamięć". Jednak dane potwierdzają, że doszło tu do zagłady.

Według Haaga wszyscy biolodzy zajmujący się małżami słodkowodnymi „zmagają się z poczuciem straty i dramatu". Todd Amacker, biolog z Tennessee Valley Authority (TVA), który zaraził mnie zainteresowaniem małżami, odbył kiedyś wiele podróży po południowym wschodzie USA, fotografując wymarłe gatunki w kolekcjach muzealnych; jego plakat przedstawiający 23 z nich wisi dziś w klasach szkolnych w całym regionie. „Studiowanie życia biologicznego jest dla mnie nie tylko nauką – mówi Amacker. – To także docenianie piękna i mierzenie się ze stratą." W 2017 roku David Strayer, ekolog wód słodkich z Cary Institute of Ecosystem Studies w stanie Nowy Jork, opublikował artykuł zatytułowany „Ile warte są słodkowodne małże?". Wymienił w nim wszystkie możliwe powody, dla których moglibyśmy cenić małże. Między wierszami tego rzeczowego, filozoficznego wywodu skrywa się stłumiony, niemal słyszalny ból.

Odpowiedź na pytanie Strayera była kiedyś prostsza: małże słodkowodne miały bezpośrednią wartość gospodarczą. Rdzenni Amerykanie jedli je w dużych ilościach i używali ich muszli jako motyk oraz skrobaków. Amerykanie pochodzenia europejskiego nigdy nie polubili ich smaku, który – wedle relacji Haaga – waha się pomiędzy mdławym a wręcz odrażającym. Jednakże od połowy XIX wieku wyławiali małże tysiącami, licząc na to, że w którymś z nich znajdą cenną perłę.

Te „gorączki perłowe" bledną jednak w porównaniu z boomem na małże zapoczątkowanym przez Johanna Boepplego, producenta guzików z Niemiec. Boepple odkrył, że z masy perłowej jednej dużej muszli można wyciąć wiele pięknych guzików. W 1891 roku założył zakład w Muscatine w stanie Iowa, w pobliżu bogatych łowisk małżów w rzece Missisipi. Dekadę później w mieście działały już dziesiątki fabryk guzików, a boom rozprzestrzeniał się w górę i w dół Missisipi oraz jej dopływów. Haag w swojej książce z 2012 roku zatytułowanej *North American Freshwater Mussels* szacuje, że w latach 1895–1950 co najmniej 11 mld muszli małżów przerobiono na guziki. Zanim tanie plastikowe guziki zakończyły tę rzeź, nasi dziadkowie i pradziadkowie nosili na ubraniach fragmenty muszli. W tamtym czasie ich wartość była więc oczywista.

„Mamy do czynienia z katastrofą środowiskową, której przyczyny wciąż nie znamy"

WENDELL HAAG, U.S. FOREST SERVICE

Co zaskakujące, jak zauważa Haag, przemysł guzikarski wyrządził stosunkowo niewielkie trwałe szkody: gdy małżów zaczynało brakować w jednym miejscu, zbieracze przenosili się gdzie indziej, dzięki czemu populacje z czasem się odradzały. Znacznie większe szkody wyrządziliśmy małżom nieumyślnie. Ich populacje na południowym wschodzie USA i w całym kraju zostały trwale zdewastowane w wyniku XX-wiecznego boomu na budowę zapór.

Zapory przekształciły rzeki Tennessee, Cumberland, Ohio i górny bieg Missisipi w łańcuchy sztucznych zbiorników. Choć niektóre małże potrafią żyć w mulistym dnie takich akwenów, większość preferuje płytkie, żwirowe dna rzek – a zapory zniszczyły setki kilometrów takich pierwotnych siedlisk. Miejscowość Muscle Shoals w stanie Alabama, słynąca ze studiów nagraniowych, prawdopodobnie zawdzięcza

eprasa.pl 9667b7543e

swoją nazwę (z błędem w pisowni) kilkudziesięciokilometrowemu odcinkowi rzeki Tennessee, który niegdyś był domem dla co najmniej 70 gatunków małżów. Dziś pozostała mniej niż połowa z nich, ponieważ bystrza zniknęły, zalane przez trzy tamy zbudowane w latach 20. i 30. XX wieku. Haag szacuje, że zapory odpowiadają w przybliżeniu za dwie trzecie z około 30 wymierań, które dotknęły małże północnoamerykańskie w XX wieku.

DLACZEGO POWINNIŚMY się tym przejmować? Po pierwsze, małże są gatunkami kluczowymi dla ekosystemu. Filtrują pokarm z wody, a odpady transferują do osadów dennych, gdzie stają się one pożywieniem dla niezliczonych organizmów. Same małże są zjadane przez ryby, ssaki, takie jak piżmaki i szopy, a także przez kaczki i inne ptaki. Po drugie, zdrowe populacje małżów przynoszą nam pośrednie korzyści. Obliczono, że małże na jednym 500-kilometrowym odcinku górnego biegu Missisipi filtrują ponad 50 mld litrów wody dziennie – około 75 razy więcej niż oczyszczalnia ścieków Minneapolis–Saint Paul. Gdybyśmy nadal mieli populacje małżów sprzed epoki kolonialnej, wszystkie rzeki wschodniej części USA byłyby dziś znacznie bardziej przejrzyste i zapewne też znacznie czystsze.

Jak zauważa Strayer, problem z ocenianiem małżów głównie przez pryzmat ich zdolności do oczyszczania wody polega na tym, że racicznica zmienna (*Dreissena polymorpha)* – gatunek inwazyjny – radzi sobie z tym jeszcze lepiej. W rzece Hudson, gdzie prowadzi badania Strayer, całkowicie zastąpiła ona rodzimych małżów słodkowodnych (z którymi nie jest blisko spokrewniona). Woda stała się bardziej przejrzysta. Jednak biolodzy – i zapewne większość z nas – woleliby zachować rodzimą faunę. Ustawa Endangered Species Act (ESA) z 1973 roku zobowiązuje do podejmowania takich prób.

Dlatego najsolidniejszą podstawą do oceniania wartości małżów nie jest to, co robią dla nas, lecz to, czym są w całej swojej osobliwej egzystencji – Strayer nazywa to „wartością istnienia". W Bear Creek w północno-zachodniej Alabamie Amacker pokazał mi dwa duże małże należące do różnych gatunków, które wymijały się, poruszając w przeciwnych kierunkach. Sam ich ruch był ledwie dostrzegalny – małże poruszają się, wysuwając umięśnioną stopę, a następnie podciągając ciało do przodu, może o pół centymetra na raz, robiąc przy tym długie przerwy. Jednakże oba osobniki przesuwały na boki kamyki o połowę od siebie większe, pozostawiając wyraźne ślady w żwirze. Dokąd zmierzały, podejmując tak znaczny wysiłek, i po co? Biolodzy zajmujący się małżami nie potrafią jeszcze odpowiedzieć na takie pytania. Badania nad tymi organizmami zaczęły się na dobre dopiero po przyjęciu ustawy ESA.

Ludzie poświęcający czas tym mało znanym stworzeniom także, jak mi się zdaje, są wartościowi; są dowodem na to, że nasz gatunek zasługuje na uznanie. Amacker opowiedział mi o listonoszu z Cleveland, który nazywał się Herbert Athearn i w wolnym czasie zbierał małże w całej południowo-wschodniej części USA, skrupulatnie dokumentując miejsca ich występowania. Z czasem, gdy dwa jego małżeństwa się rozpadły, wypełnił niewielki dom gablotami pełnymi muzealnych okazów małżów. Przed śmiercią w 2011 roku przekazał to swoje domowe muzeum do North Carolina Museum of Natural Sciences w Raleigh. Zbiór stał się bezcennym źródłem informacji dla biologów zajmujących się małżami. „Athearn zbierał swoje okazy w latach 50., 60. i 70. XX wieku, a więc wtedy niektóre gatunki właśnie zaczynały znikać – mówił. – Gdyby nie on, nie wiedzielibyśmy, że w ogóle występowały w tej lub innej rzece". Innymi słowy, bez tej wiedzy naukowcy nie wiedzieliby, co należy przywrócić w konkretnym cieku wodnym.

GDY HAAG STUDIOWAŁ na uniwersytecie w połowie lat 80., spędził dwa lata, pracując dla Kentucky State Nature Preserves Commission – zajmował się występowaniem małżów w stanowych rzekach. Do tego czasu zapory wyeliminowały już wiele gatunków z rzeki Cumberland, a Horse Lick Creek, wpadający do Rockcastle – odnogi Cumberland nieprzegrodzonej zaporami – był znany jako schronienie dla niektórych z nich. Jednak Haag już wtedy zauważył, że większość tamtejszych osobników była dość stara. W latach 90. zaczęły one wymierać. „Ten proces w zasadzie zakończył się około 2005 roku – mówi Haag. – Widziałem to zanikanie małżów na własne oczy i je dokumentowałem." Podobnie stało się w rzece Rockcastle i w całym południowym wschodzie USA, szczególnie w mniejszych rzekach wyżynnych.

Co spowodowało ten kryzys? Budowa zapór praktycznie ustała w połowie lat 80., a jakość wód ogólnie poprawiała się od czasu uchwalenia w 1972 roku ustawy Clean Water Act, która wprowadziła limity zrzutów ścieków komunalnych i przemysłowych. Również zmiana klimatu nie wydawała się prawdopodobną przyczyną: nie jest jasne, czy temperatury tych rzek rzeczywiście wzrosły, ale wyższa temperatura zwykle sprzyja szybszemu wzrostowi małżów.

Oczywiście nawet mimo Clean Water Act wiele cieków nadal jest zanieczyszczonych. Z pól uprawnych spływają nawozy i pestycydy; z odkrywkowych kopalń węgla wypłukiwane są metale ciężkie. Deszcze erodują glebę z pól i placów budowy, zasypując dna rzek osadami. Powszechna opinia głosiła, że za dalszy spadek liczebności małżów musi odpowiadać jakaś kombinacja tych czynników. Haag ustalił jednak, że istnieje bardzo niewiele danych potwierdzających to założenie.

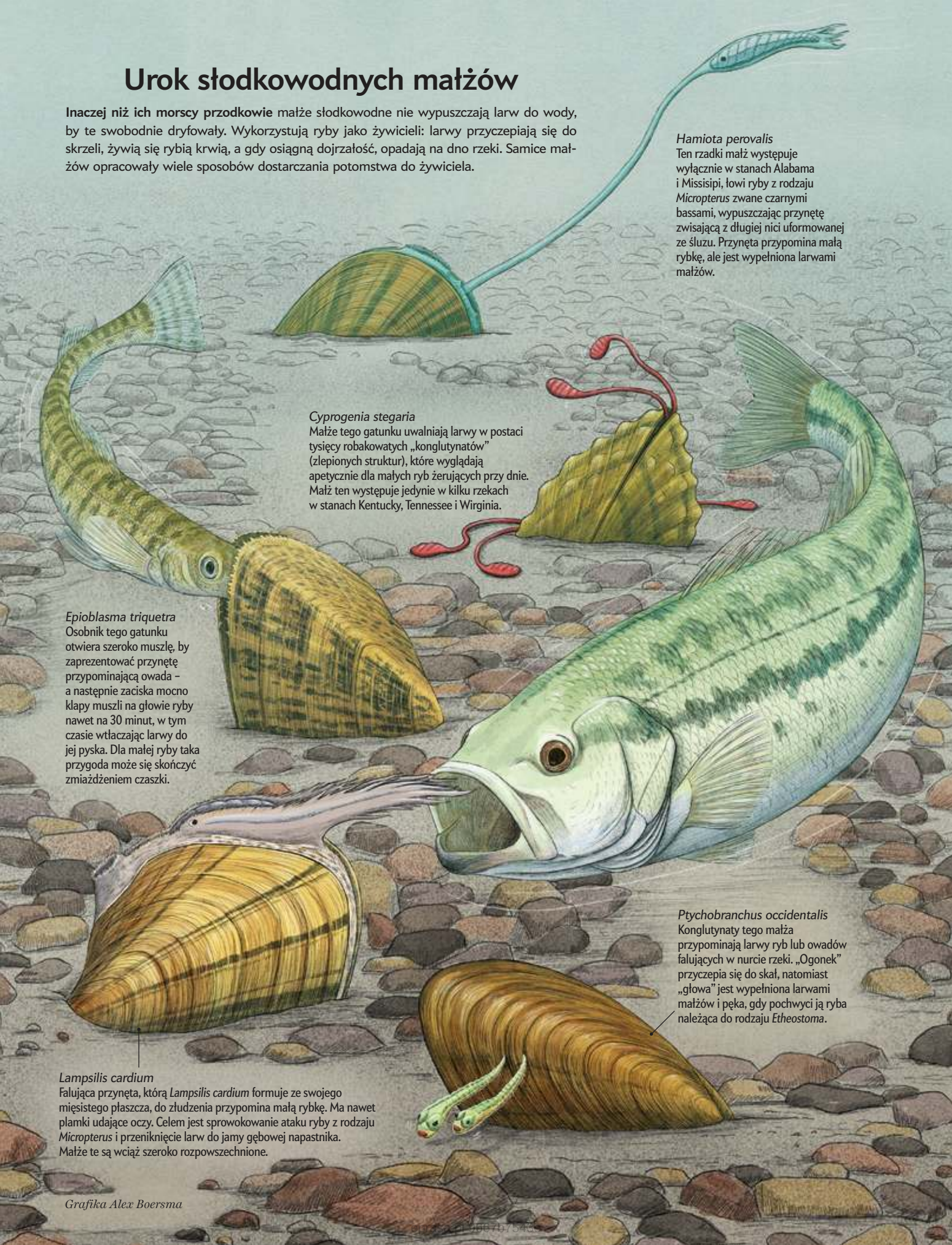
Prowadząc badania rzeki Rockcastle, gdzie za spadek populacji małżów obwiniano górnictwo węgla, pewnego dnia Haag doznał olśnienia. Przeszukując dno, natrafiał na skupiska azjatyckiego gatunku *Corbicula fluminea*. Ten inwazyjny osobnik był mu dobrze znany – spotykał go w niemal każdym cieku wodnym w ciągu całej swojej kariery. Obecność intruza została odnotowana po raz pierwszy w 1938 roku w stanie Waszyngton. Od tego czasu rozprzestrzenił się on na kontynencie; dziś występuje już w 47 amerykańskich stanach. Zielonkawożółte i niewielkie małże – zwykle mają około 2 cm średnicy – potrafią się tak rozmnożyć, że zapychają ujęcia wody w elektrowniach. Nierzadko występują w zagęszczeniach sięgających tysięcy osobników na metr kwadratowy.

„Pamiętam, jak leżałem w rzece, gdy nagle zacząłem się zastanawiać, dlaczego przez cały czas ignorowaliśmy ten fakt. Te obce małże są tak liczne, że nie mogły nie wpłynąć na rodzimą faunę. Ale jak?" – opowiadał mi Haag, kiedy wracaliśmy znad Rockcastle zeszłego lata. Będąc doktorantem na Ohio State University regularnie nurkował w jeziorze Erie. Gdy w 1988 roku pojawiły się w nim racicznice – w krótkim czasie oczyściły mętną wodę. „Nagle widzialność w niej znacznie wzrosła" – wspomina. Ale inwazyjny małż oczyścił też jezioro z rodzimych gatunków. Haag uważa, że podobny skutek mogło dać pojawienie się intruzów z Azji, gdy w latach 60. zaczęły się rozprzestrzeniać w rzekach i potokach Południowego Wschodu USA. Tyle że w tamtym czasie było za mało biologów zajmujących się małżami, by to zauważyć.

eprasa.pl 9667b7543e

Urok słodkowodnych małżów

Inaczej niż ich morscy przodkowie małże słodkowodne nie wypuszczają larw do wody, by te swobodnie dryfowały. Wykorzystują ryby jako żywicieli: larwy przyczepiają się do skrzeli, żywią się rybią krwią, a gdy osiągną dojrzałość, opadają na dno rzeki. Samice małżów opracowały wiele sposobów dostarczania potomstwa do żywiciela.



Hamiota perovalis
Ten rzadki małż występuje wyłącznie w stanach Alabama i Missisipi, łowi ryby z rodzaju *Micropterus* zwane czarnymi bassami, wypuszczając przynętę zwisającą z długiej nici uformowanej ze śluzu. Przynęta przypomina małą rybkę, ale jest wypełniona larwami małżów.

Cyprogenia stegaria
Małże tego gatunku uwalniają larwy w postaci tysięcy robakowatych „konglutynatów" (zlepionych struktur), które wyglądają apetycznie dla małych ryb żerujących przy dnie. Małż ten występuje jedynie w kilku rzekach w stanach Kentucky, Tennessee i Wirginia.

Epioblasma triquetra
Osobnik tego gatunku otwiera szeroko muszlę, by zaprezentować przynętę przypominającą owada – a następnie zaciska mocno klapy muszli na głowie ryby nawet na 30 minut, w tym czasie wtłaczając larwy do jej pyska. Dla małej ryby taka przygoda może się skończyć zmiażdżeniem czaszki.

Ptychobranchus occidentalis
Konglutynaty tego małża przypominają larwy ryb lub owadów falujących w nurcie rzeki. „Ogonek" przyczepia się do skał, natomiast „głowa" jest wypełniona larwami małżów i pęka, gdy pochwyci ją ryba należąca do rodzaju *Etheostoma*.

Lampsilis cardium
Falująca przynęta, którą *Lampsilis cardium* formuje ze swojego mięsistego płaszcza, do złudzenia przypomina małą rybkę. Ma nawet plamki udające oczy. Celem jest sprowokowanie ataku ryby z rodzaju *Micropterus* i przeniknięcie larw do jamy gębowej napastnika. Małże te są wciąż szeroko rozpowszechnione.

Grafika Alex Boersma



Lampsilis fasciola





Medionidus parvulus



Lampsilis bracteata



Elliptio complanata



Fusconaia cerina



Lampsilis radiata

Zagrzebane do połowy w osadach na dnie rzeki małże słodkowodne tak bardzo przypominają kamienie, że mogą być trudne do dostrzeżenia dla amatora: trzeba wypatrywać lekko uchylonej muszli pompującej wodę. Mimo to cechują się zdumiewającą różnorodnością kształtów, rozmiarów, faktur i barw. Dwa gatunki inwazyjne (*poniżej*), piękne same w sobie, nie są blisko spokrewnione z rodzimymi gatunkami amerykańskimi – za spadek liczebności tych ostatnich może odpowiadać małż pochodzący z Azji.



Cyclonaias pustulosa



Gatunek inwazyjny w Ameryce Północnej



Raciczница zmienna (*Dreissena polymorpha*)





***Corbicula fluminea* (małż z Azji)**

W 2018 roku Haag i jego współpracownicy przeprowadzili eksperyment w 17 miejscach na rzece Rockcastle i jej dopływach. W czerwcu umieścili młode, hodowane w niewoli małże na dnie rzeki, zamknięte w małych betonowych silosach, przez które mogła przepływać woda. Przez całe lato wielokrotnie badali jakość wody, a na końcu powrócili, by zebrać małże. Wtedy zmierzyli też liczebność azjatyckiego gatunku na wszystkich stanowiskach. W niektórych miejscach małże rosły znacznie wolniej niż w innych. Niska temperatura wody spowalniała ich wzrost, ale nie było dowodów na zanieczyszczanie wody przez kopalnie węgla, ani też na to, że wolniejszy wzrost był związany z jakąś zmianą chemizmu wody. Istniała natomiast silna korelacja z liczebnością małżów azjatyckich.

Haag kontynuuje te badania, tyle że na znacznie większą skalę. Jest to największe dotąd przedsięwzięcie mające na celu rozwiązanie zagadki spadku liczebności małżów słodkowodnych na terenie USA. W ciągu trzech lat jego zespół zebrał dane z około 90 rzek w 13 stanach – od Minnesoty po Georgię. Naukowcy ze wszystkich stanów zgłosili się do współpracy. Erin McCombs, biolog zajmująca się małżami, pracująca obecnie w American Rivers, organizacji ekologicznej z siedzibą w Waszyngtonie, zdobyła finansowanie w wysokości 1,3 mln dolarów od BAND Foundation, Fundacji Rodziny Merck oraz z agencji federalnych.

Tym razem oprócz wypuszczania hodowanych w niewoli młodych małżów zespół Haaga ocenił także istniejące już społeczności małżów w każdej rzece. Monitorowano obecność glonów, dostawy osadów dennych i inne zmienne mogące wpływać na kondycję mięczaków. Od badaczy stanowych pozyskano dane dotyczące składu chemicznego wody oraz stanu zdrowia populacji ryb i owadów w poszczególnych rzekach.

Haag wciąż analizuje ogromny zbiór danych. Przestrzega jednak, że nawet on może nie doprowadzić do jednoznacznego wyjaśnienia zagadki spadku liczebności małżów. Chociaż według niego żaden z typowych potencjalnych czynników, takich jak pestycydy czy nadmierne zamulanie, zapewne nie okaże się główną przyczyną kryzysu. Na razie jedynym czynnikiem, który występuje w większości rzek dotkniętych tajemniczym zjawiskiem, jest obecność *C. fluminea*. „Jestem raczej pewien, że winowajcami są małże azjatyckie" – mówi Haag. Gdy już znajdą w rzece dobre warunki do życia, gwałtownie zwiększają liczebność i mogą wtedy konsumować tak dużo dostępnego pokarmu, że dla młodych osobników rodzimych gatunków niewiele już zostaje.

Alternatywnie małże azjatyckie mogą przenosić nowy wirus lub inny patogen. Idea ta pojawiała się w ostatnich latach w mediach. Od 2016 roku rzeka Clinch w południowo-zachodniej Wirginii była wielokrotnie dotykana nagłymi masowymi wymieraniami rodzimych małżów – ginęły tysiącami w ciągu paru tygodni.

To dobry znak: małże nie są skazane na zagładę przez współczesną cywilizację.

W 2020 roku Tony Goldberg, epidemiolog weterynaryjny z University of Wisconsin–Madison, i jego doktorant Jordan Richard zidentyfikowali nowy wirus u niektórych umierających osobników. Okazało się jednak, że był to fałszywy trop. Wirus, wykryty także w innych rzekach, wydaje się oportunistą atakującym małże już osłabione z innych przyczyn. „Nadal nie wiemy, co zabija małże w rzece Clinch" – mówi Goldberg. Nie wiadomo też, jak powiązać takie krótkotrwałe kryzysy z długoterminowymi spadkami populacji, które bada Haag.

Goldberg i Charlotte Ford, odbywająca staż podoktorski w jego laboratorium, analizują obecnie młode małże będące obiektem badań Haaga. Na razie nie znaleźli „ich masowego zabójcy". Potwierdzili jednak niezwykłą osobliwość tych zwierząt: zamiast zwalczać wirusy, jak robią to kręgowce, małże wydają się raczej zawierać z nimi rozejm, w każdym razie podejmują takie próby. Naukowcy wykryli DNA należące do około 7 tys. wirusów wcześniej nieznanych u małżów. „Prawie wszystkie były nowe, co zdumiewa i wymyka się analizom" – komentuje Goldberg.

Niezależnie od przyczyny spadku liczebności małżów, Haag uważa, że zjawisko to jest związane z nimi samymi – to wydaje się już ustalone. Nie chodzi o to, że zdegradowaliśmy siedliska małżów na tysiąc różnych sposobów. Gdyby tak było, istniałaby korelacja pomiędzy kondycją małżów w danej rzece a innymi jej mieszkańcami – rybami i owadami, które również służą za wskaźniki zdrowia ekosystemu. „Rzecz w tym, że takiej korelacji nie ma" – powiedział mi Haag.

W pewnym sensie to dobry znak: małże nie są po prostu skazane na zagładę przez współczesną cywilizację. Potrafią żyć w świecie, który stworzyliśmy – pod warunkiem jednak, że dowiemy się, co je zabija, i zaczniemy odtwarzać utracone populacje.

W ALABAMIE, GDZIE MIESZKAM, występuje 181 gatunków małżów – więcej niż w jakimkolwiek innym stanie. Spośród nich 63 są uznane za zagrożone lub narażone na wyginięcie. W stanowym ośrodku Alabama Aquatic Biodiversity Center, zespole niskich budynków i kilku stawów położonych na obrzeżach Marion, kierownik programu Paul Johnson wraz ze swoim niewielkim zespołem stara się powstrzymać wyginięcie najbardziej zagrożonych gatunków małżów, hodując je i wypuszczając z powrotem do rzek. „Paul to nasz bohater – mówi Tierra Curry, badaczka z organizacji ekologicznej Center for Biological Diversity. – Niektóre z tych gatunków wciąż istnieją na Ziemi tylko dzięki niemu".

Procedura zaczyna się tam, gdzie małże wciąż jeszcze żyją w stanie dzikim, często jest to niewielki odcinek małej rzeki. Każdej wiosny zespół Johnsona wyrusza w takie miejsca, na przykład ku rzece Conasauga w Georgii zamieszkiwanej przez gatunek *Medionidus parvulus*, albo ku rzece Buttahatchee w stanie Mississippi, gdzie żyje małż *Epioblasma penita*. Rozpoczyna się poszukiwanie samic z jajami. Znalezienie jakiegokolwiek zagrożonego małża jest trudne, ale znalezienie takiego, który jest „ciężarny", jeszcze trudniejsze: trzeba ostrożnie uchylić muszlę, tylko tak, by sprawdzić, czy skrzela są wypełnione larwami. W rzece Buttahatchee zeszłej wiosny – jak relacjonuje Johnson – czterem osobom zajęło pół dnia znalezienie zaledwie dwóch ciężarnych osobników *Epioblasma penita*. W niektóre wiosny nie udawało się znaleźć żadnego.

W ośrodku przyglądałem się, jak biolog Michael Buntin ponownie otwiera jedną z tych ciężarnych samic i bardzo delikatnie za pomocą strzykawki przemywa jej

blickwinkel/Alamy (*Lampsilis fasciola*); LaSalle-Photo/Getty Images (*Lampsilis radiata, Dreissena polymorpha* i *Elliptio complanata*); Ryan Hagerty/FWS (*Cyclonaias pustulosa*); Brittany Barker-Jones/FWS (*Medionidus parvulus*); FWS (*Lampsilis bracteata*); Ryan Hagerty/FWS (*Pleurobema georgianum*); Jamaludin Yusup/Getty Images (*Corbicula fluminea*) (na dwóch poprzednich stronach)

eprasa.pl 9667b7543e

skrzela wodą, aby wypłukać larwę. „Nie chcę jej skrzywdzić" – wyjaśnił. (Następnego dnia jego współpracownik jechał pięć godzin samochodem, aby odwieźć małża do jego domu w rzece.) Oglądane pod mikroskopem larwy były przezroczyste, ale już przypominały maleńkie dwuklapowe organizmy. Gdy Buntin posypał je solą w szalce Petriego, natychmiast się zamknęły, dowodząc tym samym, że żyją – i pokazując, jak wkrótce będą przyczepiać się do skrzeli ryb. „Teraz trochę rozgniewamy ryby" – powiedział Buntin.

W dużym hangarze, wypełnionym szumem pomp i bulgotem wody spływającej do setek zbiorników, Buntin przelał zawiesinę z larwami do małego, przezroczystego zbiornika, a następnie wrzucił do niego kilkadziesiąt ryb *Percina caprodes* z rodziny okoniowatych. To one są żywicielami małżów *Epioblasma penita*. W ciągu kilku minut wszystkie ryby miały już larwy przyczepione do skrzeli. Po kilku tygodniach larwy miały przekształcić się w młode małże, które opadną na dno zbiornika. Przez kolejny rok lub dłużej będą hodowane w szeregu pojemników, z których ostatni umieszczony jest w stawie zewnętrznym, aż osiągną rozmiary pozwalające na oznakowanie i wypuszczenie do środowiska.

Zanim pracownicy Johnsona w ogóle zaczną rozmnażać dany gatunek małża, muszą najpierw ustalić, jakiego żywiciela potrzebują jego larwy. Może to zająć wiele lat. W przypadku jednego gatunku musieli przetestować blisko 70 gatunków ryb. W należącym do stanu Kentucky ośrodku Center for Mollusk Conservation w Frankfort, gdzie Haag ma swoje biuro, dyrektor Monte McGregor opowiada mi, jak czasem omija takie trudności. Hoduje niektóre larwy małżów *in vitro* w inkubatorze, karmiąc je surowicą króliczą lub innym zamiennikiem krwi rybiej. Zastosował tę metodę wobec małża *Epioblasma obliquata*, którego populacja w jednej z rzek w stanie Ohio skurczyła się do pojedynczych osobników. Przy wsparciu U.S. Fish and Wildlife Service zespół McGregora postarał się zebrać jak najwięcej tych małżów. „I od tego momentu sami wychowywaliśmy zwierzęta" – opowiada. Dotychczas wypuścili do kilku rzek prawie 13 tys. osobników *Epioblasma obliquata*, tworząc nowe populacje.

Johnson nie dysponuje środkami, które umożliwiłyby mu stosowanie takich technik. Jego roczny budżet wynosi nie więcej niż 600 tys. dolarów – to mniej niż koszt jednego inkubatora. Mimo to on i jego współpracownicy, pracując w niedoinwestowanym i starzejącym się ośrodku, zdołali odtworzyć populacje co najmniej czterech gatunków małżów, w tym *Hamiota perovalis*. Sukces ogłasza się dopiero wtedy, gdy małże hodowane w niewoli zaczynają rozmnażać się na wolności. To wymaga czasu – potomstwo wyhodowanych małżów musi urosnąć tak, aby biolodzy mogli je wykryć. „To proces rozłożony na nie mniej niż dekadę" – mówi Johnson. W przypadku *Epioblasma penita* trwa to jeszcze dłużej. Niszczenie jest łatwiejsze niż odbudowa.

JESIENIĄ UBIEGŁEGO ROKU Haag wysłał mi wideo z małżem, którego właśnie zobaczył w rzece Rockcastle w Kentucky. Od razu go rozpoznałem: to był *Lampsilis cardium* kuszący swoją przynętą. W Rockcastle i kilku innych rzekach w niektórych miejscach znów pojawiają się młode małże tego gatunku – twierdzi Haag. Niektóre gatunki mogą więc same powracać. Co ciekawe, populacja azjatyckich małżów, jak się wydaje, uległa załamaniu w tych samych miejscach. To może nie być przypadek.

Ale niektóre gatunki są dziś tak rzadkie, że nie będą w stanie się odbudować bez pomocy człowieka. Jesienią 2024 roku Amacker dowiedział się, że jego zespół otrzymał grant w wysokości 3,4 mln dolarów od U.S. Fish and Wildlife Service na wsparcie odbudowy sześciu rzadkich gatunków małżów. Celem jest ich usunięcie z listy gatunków zagrożonych. W jakiś sposób grant przetrwał w 2025 roku objęcie władzy przez administrację Trumpa. Amacker podkreśla, że przyznana kwota jest „bezprecedensowa". Większość środków ma trafić do wylęgarni, takich jak te prowadzone przez Johnsona i McGregora.

W lipcu zeszłego roku pojechałem pewnego dnia spotkać się z Johnsonem nad strumieniem Big Canoe Creek, płynącym niecałą godzinę jazdy samochodem od mojego domu w Birmingham. Strumień uchodzi do rzeki Coosa, a właściwie do jeziora Neely Henry, jednego z wielu zbiorników utworzonych w XX wieku przez przedsiębiorstwo energetyczne Alabama Power. Zapory doprowadziły do zagłady ponad 30 gatunków ślimaków i co najmniej trzech gatunków małżów. „Prawdopodobnie było ich znacznie więcej. Jeśli coś nie zostało opisane, to nie wiesz nawet, że zostało utracone" – stwierdził Johnson. Jednak Big Canoe Creek pozostał prawdziwą ostoją małżów. Johnson próbuje obecnie przywrócić tam gatunek *Medionidus parvulus*.

Tego dnia towarzyszyła mu Brittany Barker-Jones, biolożka z U.S. Fish and Wildlife Service odpowiedzialna za ten gatunek, a także kilku lokalnych przyjaciół rzeki. Jeden z nich Doug Morrison zarządza rezerwatem przyrody o powierzchni 170 ha znajdującym się kilka kilometrów w górę rzeki, otwartym dla zwiedzających w 2023 roku. Opowiedział mi, że w roku 2013 przyczynił się do rozebrania przez U.S. Fish and Wildlife Service przegrody na rzece powstałej w XIX wieku przy młynie wodnym. Znajdowała się około 100 m powyżej miejsca, w którym się zatrzymaliśmy. Wkrótce ten odcinek strumienia stał się ponownie doskonałym siedliskiem dla ryb i małżów. „Ludzie próbują odzyskać zlewnie swoich rzek i poprawić ten kawałek świata, w którym żyją" – mówił mi Johnson, kiedy spotkaliśmy się po raz pierwszy kilka lat temu.

Przedzieraliśmy się w górę rzeki do jej całkowicie zacienionego odcinka. Johnson i Barker-Jones znaleźli kilka oznakowanych małżów, które wypuścili w poprzednich latach. Pierścienie na ich muszlach pokazywały, że od tego czasu wyraźnie urosły. Następnie przeszliśmy do wykonania głównego zadania, które Johnson i inni biolodzy nazywają „wypuszczaniem na wolność" – w końcu małże to dzikie zwierzęta, ale bardziej przypomina to sadzenie roślin. Johnson wydobył niebieską torbę z siatki z 322 osobnikami *Medionidus parvulus*. Miały rozmiary migdałów i barwę dębowego drewna z zielonkawymi refleksami. Lśniły. Barker-Jones zaniosła je na tacce do strumienia. Towarzyszyli jej Granger Waid, przyjaciel rzeki, i jego dziesięcioletnia córka, Mary Grace. Zaczęli powoli przemieszczać się w dół rzeki niczym siewcy na polu; umieszczali w rzece po jednym małżu naraz – biolog w piance, ojciec w bluzie z kapturem i mała blondynka w szortach.

Johnson i ja zmienialiśmy ich od czasu do czasu. Tego letniego dnia woda w strumieniu była wartka i przyjemnie chłodna. Delikatnie rozgarniałem palcami drobny żwir i układałem na nim małża. Zajęcie dawało mi olbrzymią satysfakcję – trzeba było tylko uważać, aby nie położyć małża złą stroną, bo wtedy mógłby się udusić. „Ostry koniec muszli do góry, zaokrąglony do dołu" – przypominał mi Johnson. Przyszłość tych stworzeń była teraz w naszych rękach. ■

Z ARCHIWUM

Costly Interlopers. Alan Hall; 15 lutego 1999.

eprasa.pl 9667b7543e

AI pomaga w dysleksji

Jak pewna mama wykorzystała GPT, aby jej syn mógł uczyć się na własnych zasadach DENI ELLIS BÉCHARD

DIAGNOZA DYSLEKSJI miała pozwolić na dobór właściwych rozwiązań dla Tobeya. Wykryto ją podczas rutynowego szkolnego badania przesiewowego. Konsekwencją były korepetycje i terapia logopedyczna. Chłopca poddano też ocenie neuropsychologicznej i przeniesiono do szkoły na Manhattanie, która lepiej odpowiadała jego potrzebom. Mimo to Tobey nadal miał trudności. Jak wspomina jego matka, Arlyn Gajilan, pewnego zimowego popołudnia na początku 2025 roku 11-latek wrócił do domu zniechęcony. Dlaczego, zapytał, wciąż słyszy od niej, że jest mądry? „Robię wszystko wolniej od innych. Wszystko przychodzi mi z trudnością" – zapamiętała jego słowa. „To był bolesny cios" – mówi.

Gajilan, która pracowała w „Reutersie" ponad 14 lat i była wówczas dyrektorką serwisu internetowego, czytała o sztucznej inteligencji i spersonalizowanych modelach generatywnych (generative pretrained transformers, GPT) – systemach AI, które użytkownicy mogą konfigurować pod kątem konkretnych zadań. Po upewnieniu się, że jej dane nie wycieką, wprowadziła do jednego z modeli świadectwa Tobeya, wyniki ocen neuropsychologicznych oraz indywidualne programy edukacyjne związane z jego dysleksją. Dodała też informacje o jego zainteresowaniach: smokach z serii książek „Wings of Fire", bitwach na pistolety Nerf, a także jednej czy dwóch piosenkach z musicalu „Hamilton". Powiedziała GPT, że jej syn jest bystry i ambitny, ale ma trudności z czytaniem i pisaniem, i poprosiła o znalezienie najlepszych metod edukacyjnych. „Jesteś nauczycielem pedagogiki specjalnej, specjalizującym się w pracy z dziećmi z dysleksją – napisała wówczas. – Twoim zadaniem jest pomóc mojemu synowi". Następnie wręczyła Tobeyowi swój smartfon.

Ta decyzja nie była łatwa. Choć Gajilan pracowała w branży technologicznej, nie pozwalała Tobeyowi korzystać z mediów społecznościowych i chłopiec nie miał własnego smartfona. „Jestem bardzo świadoma szkód, jakie technika może wyrządzić" – mówi.

Jednak GPT zaproponował kreatywne podejście, które ją zaskoczyło. Pomagał Tobeyowi organizować tekst i trzymać się tematu, poprawiał składnię, zamieniając ćwiczenia w gry związane z zainteresowaniami chłopca. „Mój syn potrafi być trochę zadziorny: – mówi Gajilan – a AI odpowiadała mu w podobnym stylu. Reagowała tekstami: *No to gramy!* albo *Tylko na tyle cię stać?*". Po każdej sesji Gajilan modyfikowała GPT, zwiększając poziom trudności albo prosząc o wyjaśnienie, dlaczego dana lekcja była pedagogicznie uzasadniona. Jej doświadczenie to tylko jeden przykład rosnącego wykorzystania AI w edukacji – zwłaszcza do tworzenia spersonalizowanych narzędzi nauki dostosowanych do potrzeb pojedynczych uczniów.

Kiedy Tobey po raz pierwszy zaczął korzystać z GPT, był sceptyczny. „Czy to naprawdę mi pomoże?, pytałem – mówi. – Ale pomogło. Mówię znacznie płynniej, czytam płynniej i mam więcej pewności siebie, rozwiązując zadania matematyczne". Gajilan skontaktowała się z nauczycielką Tobeya, Jacintą Capelli, która w ciągu kilku miesięcy zauważyła poprawę. „Tobey miał dużo więcej wiary w siebie – wspomina Capelli. – Ale nie byłam pewna, czy to zasługa AI."

Zachęcona sukcesem Gajilan zaczęła się zastanawiać, jak udostępnić GPT znajomym syna. Przez całe dorosłe życie była dziennikarką, zajmowała się techniką i start-upami, pomagała przeprojektować stronę Reutersa i jego aplikację. „Nie jestem przeciwnikiem techniki ani zupełną techniczną ignorantką – mówi. – Jednak nie umiem programować".

„VIBE CODING" – czyli wykorzystywanie modeli językowych AI do pisania kodu – stawał się coraz popularniejszy w czasie, gdy Gajilan zastanawiała się, jak stworzyć platformę edukacyjną, a badania wskazują, że szybko przeszedł od ciekawostki do normy. W badaniu firmy programistycznej JetBrains z 2025 roku 85% deweloperów oprogramowania zadeklarowało, że regularnie korzysta z narzędzi AI, a 62% polega na co najmniej jednym asystencie kodowania, agencie AI lub edytorze kodu. Zamiast ręcznie pisać kod, „vibe coderzy" opisują, co chcą, aby AI stworzyła – tak jakby wysyłali wiadomość na Slacku do pracownika. AI tłumaczy ten tekst na kod, dostarczając kolejne wersje, aż użytkownik uzyska pożądany efekt.

Gajilan zaczęła eksperymentować z różnymi narzędziami. Stworzyła własny GPT do nauczania w lutym, a podczas wiosennej przerwy, siedząc przy kuchennym stole, nauczyła się korzystać z narzędzi do „vibe codingu". Jej celem było zbudowanie własnej platformy opartej na zasadach zaczerpniętych z 450 publicznie dostępnych prac naukowych dotyczących problemów w uczeniu się – od dysleksji po ADHD. Zaprojektowała panel użytkownika oraz kwestionariusz z pytaniami dotyczącymi motywacji i problemów uczniów. Dzięki temu AI mogła stworzyć profil edukacyjny z celami i planem lekcji, dostosowywanym do użytkownika. W połowie czerwca Gajilan uruchomiła wersję beta, a w lipcu miała już kilkunastu subskrybentów płacących 29 dolarów miesięcznie i korzystających z 30-minutowych sesji kilka razy w tygodniu.

W trakcie tego procesu Gajilan zgłosiła dwa patenty dotyczące opracowanego przez siebie algorytmu rozpoznającego momenty frustracji użytkowników. „Analizuje różne sygnały: spadek dokładności odpowiedzi, wydłużony czas reakcji oraz używanie zwrotów, takich jak *Nie wiem* albo *To jest za trudne*" – wyjaśnia. Gdy system wykryje kombinację tych czynników, wprowadza przerwy regeneracyjne, prowadząc użytkownika przez ćwiczenia ruchowe, takie jak pajacyki, lub techniki uważności. Gajilan wprowadziła też elementy grywalizacji do platformy, którą wraz z synem nazwali Tobey's Tutor. Rysunki Tobeya były inspiracją dla projektów odznak, które dzieci mogą zdobywać za osiągnięcie kolejnych poziomów.

Rodzice mogą zalogować się do panelu i zobaczyć, nad czym pracuje ich dziecko, jaki jest plan lekcji i jego uzasadnienie. Lekcje są oryginalne – nic nie jest gotowym

Deni Ellis Béchard jest dziennikarzem i pisarzem, autorem 10 książek.

Ilustracja Martin Gee

eprasa.pl 9667b7543e



„Ta zmiana [pojawienie się AI] jest równie fundamentalna – jeśli nie bardziej – jak upowszechnienie się Internetu.” ARLYN GAJILAN

materiałem ani powtórnie użytym. Nie ma arkuszy pracy, są tylko ćwiczenia dopasowane do konkretnego sposobu funkcjonowania mózgu. Gajilan wprowadziła również zabezpieczenia: jeśli dziecko wpisze słowa sugerujące samookaleczenie, platforma powiadamia rodzica.

Wraz z rozwojem systemów AI rośnie liczba badań wskazujących na ich skuteczność w nauce. Badanie z 2023 roku (nierecenzowane) wykazało wzrost wyników z matematyki wśród uczniów siódmej klasy w Karolinie Północnej, którzy korzystali z narzędzia edukacyjnego opartego na AI – a część tego efektu była widoczna jeszcze rok później. Duży przegląd badań klasowych z 2025 roku również wykazał, że wykorzystanie AI często poprawia wyniki nauczania.

Scott Gaynor, dyrektor szkoły Stephen Gaynor School – prywatnej placówki na Manhattanie, do której uczęszcza Tobey – śledzi rozwój zarówno AI, jak i platformy Gajilan, i uważa, że taki program może pomóc także uczniom pozbawionym motywacji do nauki. Na przykład niskie wyniki standaryzowanych testów w USA – w 2024 roku tylko 22% uczniów kończących szkołę średnią osiągnęło poziom biegłości w matematyce – przypisuje się wielu czynnikom, od strat edukacyjnych związanych z pandemią, przez powszechny lęk przed matematyką, po ogólny brak zainteresowania nauką.

„WŁAŚNIE TUTAJ WKRACZA AI – i program taki jak Tobey’s Tutor, który potrafi tworzyć angażujące, dopasowane do konkretnego ucznia zadania” – mówi Gaynor. – Na przykład hipotetyczne dziecko, o którym myślałam, testując platformę, interesowało się tenisem. Otrzymałam serię zadań tekstowych z matematyki związanych z tenisem. Nie ma możliwości, żeby nauczyciel w szkole publicznej, mając 30 uczniów, przygotował 30 różnych zestawów ćwiczeń – każdy z 10 zadaniami tekstowymi dopasowanymi do zainteresowań poszczególnych dzieci. Ale gdy program taki jak Tobey’s Tutor pozna uczniów, może tworzyć zadania na dowolny temat. I od razu angażuje ucznia”.

Tobey mówi, że podoba mu się to, iż AI tworzy ćwiczenia, których wcześniej nie widział. „Kiedy usuniesz wszystkie elementy związane z *Wings of Fire*, zostaje zwykłe, nudne zadanie matematyczne albo wypracowanie do przeczytania. Ale AI wplata w nie moje zainteresowania w taki sposób, że wiem, że nadal się uczę, ale jest to znacznie przyjemniejsze”.

Tobey’s Tutor pojawił się w momencie, gdy wiele szkół zaczęło wykorzystywać AI w nauczaniu. Szkoły publiczne w Newark w stanie New Jersey zaczęły używać narzędzia Amira Learning opartego na AI, aby pomóc dzieciom uczyć się czytać. Platforma MAP Reading Fluency firmy edukacyjnej NWEA – narzędzie do oceny umiejętności czytania dla dzieci od przedszkola do piątej klasy – jest wykorzystywana w USA przez 2000 okręgów szkolnych w całym kraju i ponad 1,4 mln uczniów; niedawno dodano do niej „trenera” AI, który według firmy zapewnia „spersonalizowane wsparcie w nauce czytania na podstawie wyników każdego ucznia”. Firma Google uruchomiła narzędzie edukacyjne oparte na AI Read Along in Classroom, a Microsoft oferuje zarówno Reading Coach, jak i Math Progress, które wykorzystują sztuczną inteligencję do generowania zadań i sprawdzania pracy uczniów. Platforma Rapid Online Assessment of Reading Stanford University wykorzystuje AI do oceny umiejętności czytania i wykrywania dysleksji. Firma Dystech stosuje narzędzie przesiewowe oparte na AI do oceny, czy uczniowie mają trudności w uczeniu się, a jej system Dystutor wykorzystuje te wyniki do tworzenia spersonalizowanych propozycji ćwiczeń.

Narzędzia AI pomagające uwzględniać indywidualne różnice w uczeniu się pojawiają się w momencie, gdy szkoły w USA często nie są w stanie obsadzić wakatów nauczycielskich. W roku szkolnym 2024–2025 aż 69% szkół średnich miało trudności ze znalezieniem w pełni wykwalifikowanych nauczycieli języka angielskiego jako drugiego języka lub edukacji dwujęzycznej, a 74% szkół podstawowych i gimnazjalnych zgłaszało problemy z obsadzeniem stanowisk nauczycieli edukacji specjalnej – wynika z danych National Center for Education Statistics.

„Widzę ogromny potencjał programów takich jak Tobey’s Tutor wszędzie tam, gdzie szkoły nie mają dostępu do specjalistycznej wiedzy w pracy z dziećmi o odmiennych potrzebach edukacyjnych – mówi Gaynor. – Wielu nauczycieli obawia się przenikania AI do szkoły i pracy uczniów. Ja postrzegam to jako pomoc dla dzieci z trudnościami w uczeniu się, pozwalającą wyrównać ich szanse”.

Dla Gajilan entuzjazm Tobeya i jego rosnąca pewność siebie były potwierdzeniem słuszności decyzji o stworzeniu tego narzędzia. „Najbardziej bolesne było nie to, że mój syn nie potrafił rozwiązać zadania z matematyki albo przeczytać całego rozdziału bez płaczu, choć było trudne, nie przeczę – mówi. – Jednak naprawdę przygnębiające było to, że uważał się za niewystarczająco dobrego, by w ogóle spróbować”.

Równolegle z udoskonalaniem systemu zmieniała się także jej własna ścieżka zawodowa. Po latach pracy jako dyrektorka serwisu internetowego objęła nową funkcję globalnej redaktorki ds. rozwoju i integracji AI, pomagając redakcji „Reutersa” wykorzystywać sztuczną inteligencję jako wsparcie w pracy. „Ten projekt uświadomił mi, jak głęboko AI zmieni branżę, której poświęciłam całe dorosłe życie – mówi. – Ta zmiana jest równie fundamentalna – jeśli nie bardziej – jak upowszechnienie się Internetu”.

Wnioski płynące z działania platformy wróciły do Gajilan także w bardziej osobisty sposób. Kiedy pewnego dnia odwoziła Tobeya do domu po pracy – po nocy spędzonej głównie na naprawianiu błędu w programie – ktoś zajechał jej drogę i zaklęła. Z tylnego siedzenia Tobey zapytał, co się stało. Gdy próbowała spokojnie mu to wyjaśnić i przeprosiła za przekleństwo, powiedział, że nauczył się, jak ważne jest, by po prostu nie przestawać próbować. Kiedy Gajilan zapytała, kto go tego nauczył, odpowiedział: „Tobey’s Tutor”. „Używał zwrotów, których nigdy wcześniej od niego nie słyszałam – mówi. – Że trzeba po prostu dalej pracować nad problemem. Że nie rozwiąże się go od razu, ale jeśli będzie się nad nim pracować, w końcu się to uda’”. ■

eprasa.pl 9667b7543e

POSZERZAMY HORYZONTY



Już w sprzedaży w punktach z prasą

Numer 9/2026
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 9667b7543e

Dodawanie słów

czyli wybryki alfametyki

MAREK PENSZKO

ZADANIA POLEGAJĄCE NA ROZSZYFROWYWANIU DZIAŁAŃ, w których cyfry zastąpiono literami, zwane są od blisko wieku kryptarytmami. Takie same cyfry są w nich zastępowane jednakowymi literami, a różne – różnymi. Oto najprostszy kryptarytm:

A+B=C

Jest formalnie poprawny, ale trywialny – z jednocyfrowymi liczbami, które można przestawiać (przemienność dodawania) oraz mnóstwem rozwiązań. Można jednak zadać dwa bardziej konkretne pytania:

– ile jest rozwiązań?

– którą cyfrę należałoby ujawnić, aby rozwiązanie było tylko jedno?

Pierwsza odpowiedź sprowadza się do prostej kombinatoryki – wynikiem jest 32. Druga wymaga szczypty logiki – jednoznaczność zapewnia cyfra 8 zamiast A lub B.

Kryptarytmy polegające na rozszyfrowywaniu działań (z reguły dodawania – i tylko takich działań dotyczy ten tekst), w których liczby zastąpiono słowami, zwane są od 70 lat alfametykami (mariaż ALFAbetu z arytMETYKą).

Kryptarytmetyka jest działem matematyki rekreacyjnej, w której ramach wyróżnia się alfametykę (nazwa utworzona na wzór pary kosmetyk-kosmetyka lub anestetyk-anestetyka).

* * *

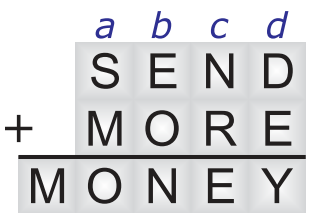
Pierwszy alfametyk (*rys. 1*) jest starszy niż jego nazwa. Uchodzi za klasyczny i jeden z najlepszych. Debiutował w 1924 roku na łamach brytyjskiego miesięcznika „Strand Magazine". Bywa często cytowany – czasem w powiązaniu z historyjką o prośbie pociechy do rodziców o wsparcie finansowe albo porywaczach żądających dodatkowego okupu. Jest jednym z najlepszych, bo spełnia następujące kryteria:

– wyrazy tworzą poprawne językowo sensowne wyrażenie;

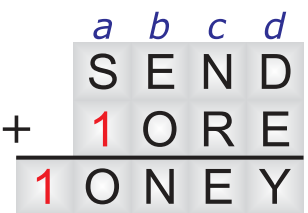
– ma jedno rozwiązanie, do którego dochodzi się dość łatwo głównie na logikę (znikomy udział metody prób i błędów).

Nie do końca spełnione jest tylko jedno kryterium – ma osiem różnych liter, czyli do pełni szczęścia (komplet cyfr w rozwiązaniu) brakuje dwóch liter. Prześledzimy kolejne etapy rozszyfrowywania, czyli ujawniania cyfr.

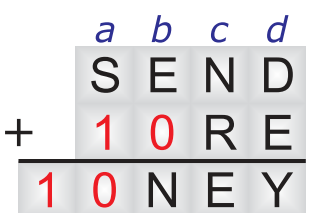
1) M=1 bo suma dwóch liczb 4-cyfrowych nie sięga liczby 5-cyfrowej zaczynającej się dwójką (*rys. 2*).
2) W kolumnie *a* litera O=0 (zero), bo 1 już zastąpiło M, a cyfry 2 litera O nie sięgnie nawet dla S=9 (*rys. 3*).
3) W kolumnie *b* N musi być większe od 1, bo 0 i 1 są już wykorzystane, ale jako suma E+0 nie da liczby 2-cyfrowej większej od 11, więc do kolumny *a* nie trafi 1 z przeniesienia; stąd S+1=10, czyli S=9 (*rys. 4*).
4) W kolumnie *b* N musi być o 1 większe od E, czyli E+1=N, zaś to 1 pochodzi z przeniesienia z kolumny *c*, czyli N+R=10+E lub N+R+1=10+E (jeżeli w kolumnie *d* D+E=Y≥10, czyli do kolumny *c* także trafia 1 z przeniesienia). Tylko układ dwu równań z dwoma przeniesieniami jedynki daje sensowny wynik: R=8 (*rys. 5*).
5) Teraz warto zauważyć specyficzną i ciekawą własność doboru słów w tym alfametyku: dwa równania – dotyczące kolumny *b* – E+1=N i kolumny *c* – N+9=10+E – są równoważne. Oba sprowadzają się do tego samego wzoru – N=E+1. Ta równoważność ogranicza źródło informacji, a tym samym niejako wymusza skorzystanie w końcówce rozwiązywania z metody prób i błędów, a ściślej z algorytmu, który polega na wybieraniu wartości E (to daje od razu N) i testowaniu, czy dwie pozostałe wolne cyfry pasują do kolumny (*d*). Testowanie prowadzi do jednoznacznego rozwiązania *(rys. 6)*.



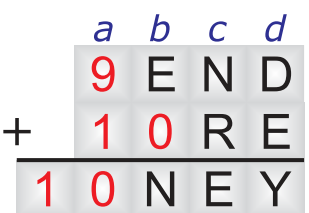
Rys. 1



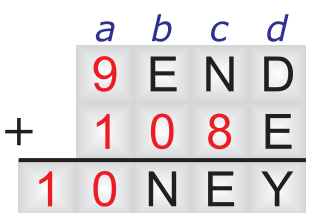
Rys. 2



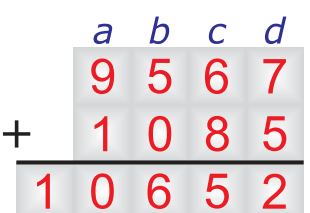
Rys. 3



Rys. 4



Rys. 5



Rys. 6

Można by postawić pytanie podobne do zadanych w przypadku kryptarytmu A+B=C: którą cyfrę należałoby ujawnić, aby korzystanie z metody prób i błędów w końcówce nie tylko nie było konieczne, ale by ten finalny etap przebiegał jak po sznurku? Wydaje się, że właściwe byłoby E=5, ale bardziej eleganckie, bo „oszczędniejsze", a równie skuteczne jest ujawnienie Y=2, bowiem wówczas z pozostawionych po 4 etapie cyfr (2, 3, 4, 5, 6, 7) tylko 5 i 7 daje sumę 12, a kolumna *b* od razu eliminuje 7.

* * *

Idealny alfametyk jest jak niespodziewane, cenne znalezisko, na które trafia się przypadkiem. Powinien bowiem spełniać cztery warunki (układający ma bezpośredni wpływ tylko na pierwszy):

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".

Ilustracje Marek Penszko

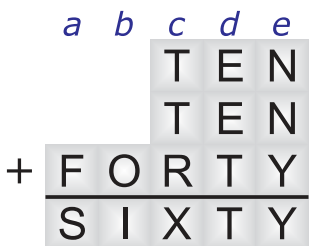
eprasa.pl 9667b7543e

a) dodawanie powinno mieć sens, czyli słowa muszą być jakoś znaczeniowo powiązane. Wskazane jest przy tym unikanie schematów w rodzaju iluś OWIEC tworzących STADO, choć kusi ustalenie za pomocą programu, ile razy powinien pojawić się składnik, czyli w tym przykładzie OWCA (ewentualnie BARAN), aby spełniony był drugi warunek:
b) tylko jedno rozwiązanie (przy OWCACH jednoznaczność zapewnia STADO złożone z co najmniej 15 sztuk, a jeśli są BARANY, to z 4, 6 lub 8).

Trafienie w warunek (b) to zrządzenie losu, podobnie jak następne warunki:

c) dokładnie dziesięć różnych liter w dodawaniu;
d) dotarcie do rozwiązania wyłącznie na logikę i najlepiej drogą nie zanadto wyboistą.

Wydaje się, że podane kryteria są zbyt rygorystyczne i idealny alfametyk pozostaje nieosiągalny – przynajmniej polskojęzyczny dotąd nie jest znany. Za angielski ideał uchodzi okaz „liczebnikowy", opublikowany na łamach „American Mathematical Monthly" w 1947 roku (*rys. 7*).



Rys. 7

Wszystkie cztery warunki są spełnione. Łatwo sprawdzić, że także ostatni, czyli prosta droga do rozwiązania. Od razu widać, że E i N powinny podzielić się cyframi 0 i 5, ale N nie może być równe 5, bo wtedy do kolumny *d* byłoby przeniesione 1, a to wykluczyłoby T w sumie. Zatem N=0 i E=5. Teraz wszystkie możliwe przenosiny wyglądają tak: 1 z *d* do *c*, 1 lub 2 z *c* do *b*, 1 z *b* do *a*. To daje dwa możliwe układy trzech równań:

2T+R+1=X+10
O+1=I+10
F+1=S
lub
2T+R+1=X+20
O+2=I+10
F+1=S

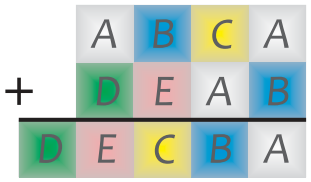
Pierwszy układ odpada ze względu na równanie O+1=I+10, bo spełnia je tylko O=9 oraz I=0, a zero zostało już przydzielone N. Z analogicznego drugiego równania w drugim układzie wynika O=9 oraz I=1. Teraz do rozdysponowania między pięć liter pierwszego i trzeciego równania w drugim układzie pozostało pięć cyfr spośród sześciu następujących: 2, 3, 4, 6, 7, 8. Z pierwszego równania wynika zależność 2T+R≥21. Stąd trzy możliwości:

T=7, R=8, X=3
T=8, R=6, X=3
T=8, R=7, X=4

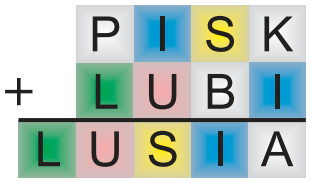
Ewentualności pierwsza i druga są do wykluczenia, bo X=3 powoduje, że wśród dostępnych cyfr zabraknie pary dwóch kolejnych, a więc takich, które powinny obsłużyć F i S. Stąd już tylko mały krok do jedynego rozwiązania: 850+850+29 786=31 486.

* * *

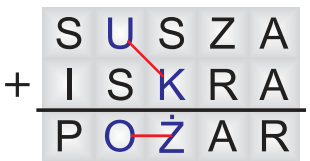
Matematyczną podstawę alfametyku stanowi jego szablon oznaczany kolorami (dodatkowo literami z początku alfabetu), który obrazuje zależności między cyframi. Na rys. 8 znajduje się szablon alfametyku SEND+MORE=MONEY.



Rys. 8



Rys. 9



Rys. 10

Biało-szare pola (*A*) odpowiadają różnym literom (cyfrom), a oznaczone jednakowym kolorem (*B*, *C*, *D*, *E*) – takim samym. Taki szablon jako alfametyk daje dokładnie jedno rozwiązanie. Podchodząc do tworzenia idealnego alfametyku od strony matematycznej, należałoby więc zacząć od szukania szablonów, które mają jedno rozwiązanie, a potem „wypełniać" takie szablony odpowiednimi słowami. Korzystając z powyższego szablonu, można by na przykład „przetłumaczyć" angielski kryptarytm sprzed 102 lat na współczesną polską wersję – choć niełatwo, więc nieco osobliwą – dotyczącą pewnej Lucynki, która dla zabawy i zwrócenia na siebie uwagi lubi piszczeć, co jest u maluchów zachowaniem nierzadkim (*rys. 9*).

Szablon wyraźnie uwidacznia to, co stanowi podstawowy warunek konieczny, aby alfametyk spełniał warunek (b) ideału, czyli miał tylko jedno rozwiązanie – chodzi o powtarzalność niektórych liter. Ściślej: nie może być tak, aby w jakiejś kolumnie w obrębie składników znalazły się dwie litery, z których żadna nie powtarza się w innym miejscu dodawania. Gdyby bowiem nie było takiej powtórki, to cyfry odpowiadające tej unikalnej parze liter można by w rozwiązaniu zamienić miejscami, czyli utworzyć inne rozwiązanie.

Są też bardziej złożone układy niepowtarzających się liter, które wykluczają jednoznaczność. Przykładem jest przedstawiony na rys. 10 alfametyk SUSZA+ISKRA=POŻAR. Cztery niebieskie litery (K, U, O, Ż) występują w nim tylko raz. Wprawdzie znajdują się one w kolumnach z powtarzającą się literą S, ale to nie zabezpiecza przed dwuznacznością – drugie rozwiązanie powstaje po równoczesnej zamianie miejscami K z U oraz O z Ż. Alfametyk ten obfituje zresztą w rozwiązania – ma ich aż 46.

Od spełnienia warunku (b) trudniejsze wydaje się uwzględnianie warunku (c), czyli wykorzystanie 10 różnych liter, zwłaszcza że warunki (b) i (c) są jakby przeciwstawne. Inaczej mówiąc, im więcej różnych liter, tym trudniej o jednoznaczne rozwiązanie. Jeśli na przykład założyć, że litery mają być tylko trzy, to przestrzeń kombinacji jest stosunkowo niewielka i dość łatwo trafić w układ z jednym rozwiązaniem, choć trudno zmienić go w alfametyk, więc pozostanie kryptarytmetycznym schematem, na przykład *A*+*BB*=*ACC*, chyba że uznamy go za alfametyk „witaminowy" lub „farmaceutyczny".

* * *

Układanie alfametyków bywa wciągającym zajęciem. Sposób i trudność ich późniejszego ręcznego rozwiązywania schodzi

eprasa.pl 9667b7543e

przy tym na dalszy plan – zwłaszcza wobec dostępności solverów. Istotniejsze staje się odkrywanie takich układów słów powiązanych ze sobą znaczeniowo, które stanowią „zaszyfrowane" dodawanie – najlepiej tylko jedno. Powiązanie słów może polegać na tworzeniu przez nie sensownego wyrażenia albo dodawaniu hiponimów składających się na hiperonim, jak KRUK+SROKA+SZPAK=PTAKI lub stanowiącego implikację, jak SUSZA+ISKRA=POŻAR.

Jeśli chodzi o rozwiązywanie, alfametyki stanowią specyficzny rodzaj zadania, łączącego aspekt językowy z matematyką i logiką. Można je uznać za przeciwieństwo prostego szyfru, polegającego na zastępowaniu liter małymi liczbami, co prowadzi do większych liczb zastępujących słowa. W alfametykach ten proces jest odwrotny – cyfry, tworzące liczby, szyfrowane są literami, które tworzą słowa. Jest to oczywiście o wiele trudniejsze, po prostu dlatego, że słów jest znacznie mniej niż liczb.

* * *

Za jeden z najbliższych ideału polskich alfametyków można uznać dodawanie prorodzinne (*rys. 11*), które ma sens, 10 liter i jedno rozwiązanie (*rys. 12*). Wątpliwości budzi tylko nieco zawiłe rozwiązywanie. Wprawdzie wartości D, T i Z ustala się bardzo łatwo, ale później droga się rozgałęzia i trzeba sprawdzać kilka możliwości.

```
  M A M A
+ T A T U Ś
-----------
D Z I E C I
```

Rys. 11

```
  4 7 4 7
+ 9 7 9 3 5
-----------
1 0 2 6 8 2
```

Rys. 12

```
  B C B C
+ D C D A A
-----------
A A E A A E
```

Rys. 13

Na uwagę zasługuje aspekt matematyczny tego alfametyku związany z jego szablonem (*rys. 13*), którego ogólny układ zapisywany jest symbolicznie jako [4, 5, 6], gdzie cyfry oznaczają liczby liter w kolejnych słowach. „Trafienie" alfametykiem w ten szablon było przypadkowe, ale skoro zdarzyło się po niewielu próbach, można sądzić, że prawdopodobieństwo trafienia w idealny szablon o takiej symbolice nie jest małe. Zapewne więc szablony [4, 5, 6] idealne, czyli z 10 różnymi literami i jednym rozwiązaniem (unikalne rozmieszczenie cyfr) nie należą do rzadkości. Jak ich szukać?

Ogólnie poszukiwanie idealnych szablonów do idealnych alfametyków jest zajęciem dla odpowiednio zaprogramowanego komputera i należy do tzw. problemów z ograniczeniami.

```
  _ _ _ _
+ 9 _ _ _ _
-----------
1 0 _ _ _ _
```

Rys. 14

```
  9 3 0 6
+ 9 3 4 5 8
-----------
1 0 2 7 6 4
```

Rys. 15

Informatycy tworzą algorytmy, korzystając z grafów, których wierzchołkami są pola alfametyku – z uwzględnieniem warunków, jakie powinny spełniać umieszczane w nich cyfry, oraz zależności, jakie muszą między nimi zachodzić. Zasadniczym etapem jest analiza struktury każdego obsadzonego cyframi grafu w celu ustalenia, czy ta struktura jest „sztywna" (unikalne rozwiązanie), czy „wiotka" (brak rozwiązań lub więcej niż jedno).

W przypadku alfametyku [4, 5, 6] sprawa jest nieco prostsza. Można nawet pokusić się o znalezienie jakiegoś idealnego szablonu „na piechotę", bo ułatwieniem są trzy cyfry ujawniane na starcie (*rys. 14*). Pozostaje 12 pól, w których należy rozmieścić cyfry (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8), uwzględniając przynajmniej podstawowe ograniczenia: żadnej cyfry nie może zabraknąć oraz przynajmniej jedna z dwóch cyfr umieszczonych w składnikach w tej samej kolumnie musi się w szablonie powtórzyć. Kombinowanie przy wypełnianiu szablonu jest zajęciem dość prostym i przyjemnym, ze sporą szansą na uzyskanie unikalnego rozwiązania potencjalnego alfametyku. Przykładowy efekt końcowy (*rys. 15*) jest oczywiście inny niż rozwiązanie alfametyku prorodzinnego. Teraz należałoby go „ubrać" w słowa, tworzące sensowne dodawanie, ale to jest już znacznie trudniejsze zadanie. Informatycy korzystają w tym celu z baz lingwistycznych. Bez nich pozostaje tylko metoda prób i błędów, a wtedy jest bardzo mała szansa na happy end.

ZADANIA

1. „Minimalistyczno-witaminowy" alfametyk z jednym rozwiązaniem *A*+*BB*=*ACC* składa się z sześciu liter, w tym trzech różnych. Proszę ułożyć dwa inne „witaminowe" minialfametyki z jednym rozwiązaniem:
1) złożony z czterech liter, w tym trzech różnych;
2) złożony z pięciu liter, w tym dwóch różnych.

2. Proszę ułożyć alfametyk [4, 5, 6] z dziesięcioma różnymi literami i jednym rozwiązaniem, w którym sumą będzie słowo WYRAZY, a składnikami dwa wyrazy (4- i 5-literowy) – dowolne rzeczowniki pospolite w pierwszym przypadku liczby pojedynczej.

3. W czasach PRL-u na pudełkach od zapałek umieszczano różnego rodzaju hasła. Często pojawiało się ostrzeżenie przypominające alfametyk: DZIECI+ZAPAŁKI=POŻAR. Jako zadanie ma ono tylko sens językowy, bo poza tym ZAPAŁKI są za długie, a różnych liter za dużo (12). Dodawanie można jednak zmodyfikować, dostosowując sumę długością do ZAPAŁEK (*rys. 16*).

```
  D Z I E C I
+ Z A P A Ł K I
---------------
K Ł O P O T Y
```

Rys. 16

Liter jest jednak nadal tuzin. Nie stanowi to jednak przeszkody, bowiem zadanie polega na rozwiązaniu alfametyku w systemie dwunastkowym, czyli z dodatkowymi

eprasa.pl 9667b7543e

cyframi α=10 i β=11 (litery greckie dla odróżnienia od łacińskich w alfametyku).



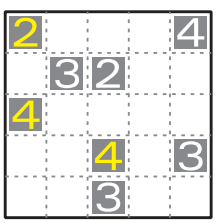
*Rozwiązania prosimy nadsyłać do 30 września 2026 roku pocztą elektroniczną (*redakcja@swiatnauki.pl*), wpisując w temacie e-maila hasło* ***UG 9/26****. Spośród autorów poprawnych rozwiązań przynajmniej dwóch zadań wyłonimy pięciu zwycięzców i nagrodzimy ich książką Vaclava Smila* Jak nakarmić świat *ufundowaną przez Wydawnictwo Insignis. 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.

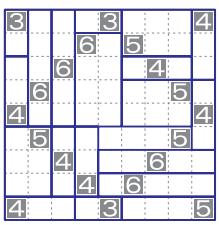
Regulamin konkursu jest dostępny na stronie www.swiatnauki.pl.

ROZWIĄZANIA ZADAŃ Z NUMERU LIPCOWEGO

1. Z diagramu shikaku (*rys. 17*) można usunąć maksymalnie trzy liczby (np. żółte lub trzy czwórki; pozostawiając jednak ciemne kwadraty pod nimi jako wyznaczające prostokąty), aby jego podział na prostokąty pozostał jednoznaczny.



Rys. 17

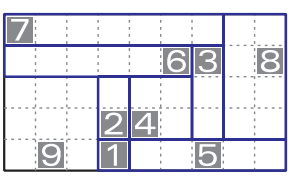


Rys. 18

2. W rozwiązaniu rekuto 6 prostokątów nie dotyka brzegu diagramu. Pełne rozwiązanie na rys. 18

3. Zadanie miało 22 rozwiązania (zamiast jednego – z powodu jednej błędnej cyfry), w tym 16 z różnymi kwartetami ukrytych cyfr. Oczywiście każde z tych rozwiązań uznawane było za poprawne.

4. Liczby w szarych polach diagramu shikaku (wierszami od góry): 7-6-3-8-2-4-9-1-5. Pełne rozwiązanie na rys. 19.

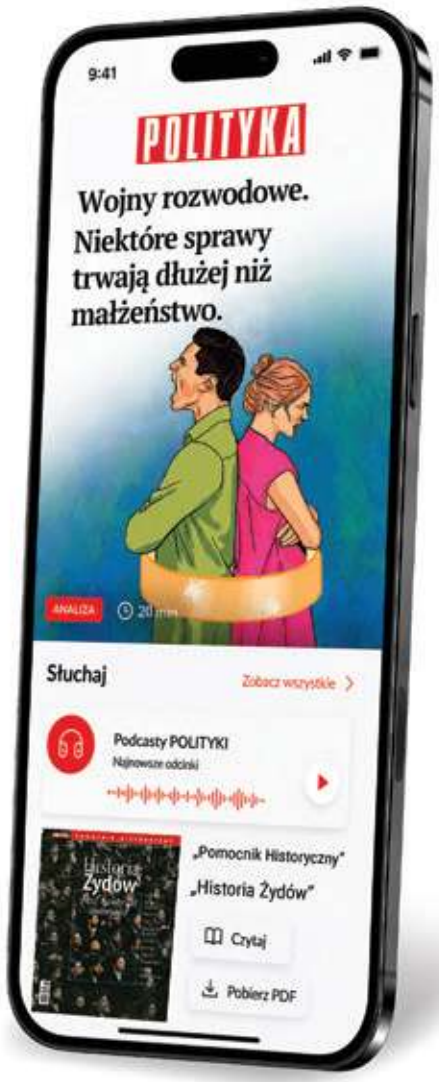


Rys. 19

Za poprawne rozwiązanie przynajmniej dwóch zadań książkę popularnonaukową otrzymują: Maciej Horodecki z Torunia, Roman Kusyk z Warszawy, Marta Madej z Wrocławia, Jan Mrozowski z Krakowa i Krzysztof Szeruga z Wrocławia.

Aplikacja POLITYKA

Czytaj, słuchaj, oglądaj



Teksty tygodnika, rzetelne analizy

Słuchaj w biegu: podkasty i artykuły

Codzienne nowe treści

POBIERZ W Google play

POBIERZ W App Store

REKLAMA

eprasa.pl 9667b7543e

50, 100 i 150 lat temu



1976 MEGATONY NA MEGAWATY

„Jeżeli reaktory rozszczepieniowe mają odegrać znacznie większą rolę w wytwarzaniu energii elektrycznej w Stanach Zjednoczonych, musimy zdecydować o charakterze i wielkości nowych zakładów wzbogacania uranu. Decyzja ta zależy od wielu złożonych i wciąż w dużej mierze nierozstrzygniętych kwestii, takich jak prognozy przyszłego zużycia energii oraz polityczne skutki sprzeciwu wobec energetyki jądrowej.

Jednym ze sposobów odroczenia tak poważnej decyzji byłoby wykorzystanie części ogromnych zapasów wysoko wzbogaconego uranu i plutonu zgromadzonych w postaci broni jądrowej. Obecnie całkowita liczba głowic jądrowych w amerykańskim arsenale maleje, ponieważ przestarzała broń jest demontowana, aby zrobić miejsce dla nowej.

Szacuje się, że w ciągu najbliższych pięciu lat czy mniej można by pozyskać ze zdemontowanej broni znaczną ilość materiału rozszczepialnego i wykorzystać go do zasilania elektrowni jądrowych, przyczyniając się tym samym do złagodzenia grożącego w dłuższej perspektywie niedoboru paliwa jądrowego”.

SPRAWIEDLIWA EWOLUCJA

„U ludzi i innych ssaków przeciętna samica jest mniejsza od przeciętnego samca. Zależność ta nie jest jednak bynajmniej uniwersalna. W »Quarterly Review of Biology« Katherine Ralls ze Smithsonian Institution donosi, że gatunki, u których przeciętna wielkość samic przewyższa przeciętną wielkość samców, występują w około 30 spośród 122 rodzin współcześnie żyjących ssaków.

Zjawisko to jest charakterystyczne dla kilku grup taksonomicznych: królików i zajęcy, jednej rodziny nietoperzy, trzech rodzin fiszbinowców, jednej podrodziny fok oraz dwóch plemion antylop”.

1926 „OKO” O ŚREDNICY 25 STÓP

„Astronomowie zaplanowali budowę olbrzymiego teleskopu, wielokrotnie większego od największego istniejącego obecnie. Proponowany teleskop zwierciadlany miałby aperturę – czyli średnicę zwierciadła – 25 stóp. Gdyby długość proponowanego instrumentu pozostawała w takiej samej proporcji do jego szerokości, jak w przypadku obecnych konstrukcji, jego tubus musiałby mieć 130 stóp długości; pożądane byłoby jednak nadanie zwierciadłu większej krzywizny, co pozwoliłoby zmniejszyć ogniskową do 1000 cali i sprawiłoby, że szkielet tubusu miałby łącznie 86 stóp długości.

Fotografie wykonywane za pomocą tego urządzenia przedstawiałyby obrazy Księżyca o średnicy niemal dwóch stóp, a Jowisza – większe niż pół cala. Instrument o masie 1600 t byłby cudem precyzji. Projekt musi jednak poczekać na zgromadzenie niezbędnych funduszy”.

ZNACZĄCA NOWA KSIĄŻKA

„Po dokładnym przeczytaniu wszystkich 976 stron *The Splendour of the Heavens* autor niniejszej recenzji czuje się bezradny wobec braku odpowiednich superlatywów, którymi mógłby dzieło scharakteryzować. Podtytuł książki brzmi »popularna, rzetelna astronomia«. Każde z tych słów wydaje się starannie dobrane. Jest popularna, ale nie nazbyt. Jest tak autorytatywna, jak można tego oczekiwać, skoro dowiadujemy się, że każdy z jej 19 współautorów jest członkiem Królewskiego Towarzystwa Astronomicznego, a sekretarz tej słynnej, czcigodnej organizacji astronomów pełnił funkcję jednego z redaktorów.

Książka obejmuje praktycznie cały zakres zagadnień, jaki powinna obejmować ogólna książka astronomiczna. Nie jest jednak podręcznikiem, lecz raczej książką przeznaczoną do czytania, rozdział po rozdziale, z żywym zainteresowaniem”.

1876 DWIE OSOBOWOŚCI W JEDNYM CZŁOWIEKU

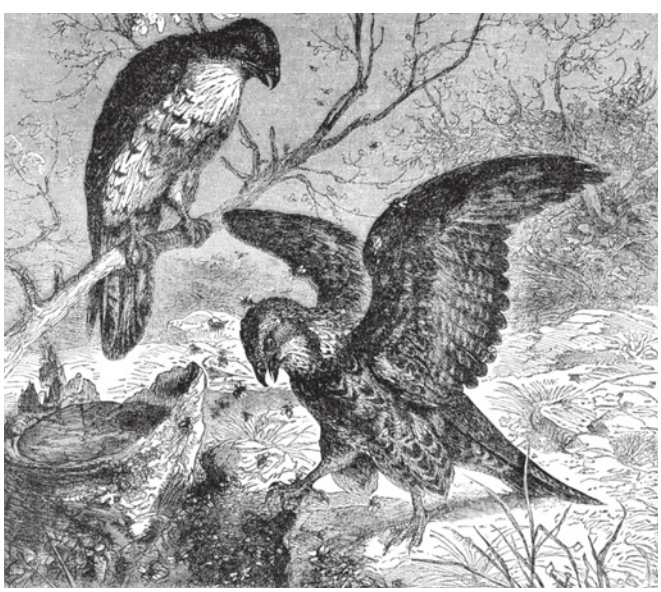
„W księgach medycznych nie brakuje opisów pacjentów prowadzących podwójne życie: przypadków, w których następuje okresowa utrata jednego stanu życia psychicznego i przyjęcie lub ponowne pojawienie się innego, zupełnie odmiennego, wraz z całkowicie inną osobowością. Dawniej takie przemiany świadomości tłumaczono opętaniem przez duchy lub demony.

W naszych bardziej naukowych czasach omawiane zjawiska wyjaśnia się znacznie bardziej przekonująco, przyjmując, że za życie psychiczne pacjenta odpowiadała jedna strona jego podwójnego mózgu, a kiedy działanie tej strony zahamowała choroba, nieużywana dotąd strona przejmowała funkcje intelektualne i pełniła je aż do kolejnego napadu, który przenosił odpowiedzialność z powrotem na pierwszą. Przyczyną tego, że takie życia są zawsze podwójne, nigdy zaś potrójne czy wielorakie, jest fakt, że mamy tylko dwie niezależne półkule mózgu”.

LEPSZE DRZWI DO STAJNI

„Pan Frank M. Dixon z Jefferson City w stanie Missouri wynalazł i opatentował urządzenie służące do przywiązywania konia i zamykania drzwi stajni w taki sposób, aby w razie pożaru koń został uwolniony, a drzwi otwarte, jak również urządzenie, które jednocześnie uruchamia alarm”.

Scientific American, tom 35, nr 13, wrzesień 1876



1876, Lubiący słodycz drapieżcy „Myli się ten, kto sądzi, że trzmielojady żywią się wyłącznie miodem – on stanowi zaledwie ich deser. Ptaki te polują również na małe ptaki, owady i gady, a także szczury, myszy i niewielkie jelenie. Wiadomo również, że zdarza im się podkradać jaja innych ptaków”.

eprasa.pl 9667b7543e



ŚWIAT NAUKI

POLSKA EDYCJA

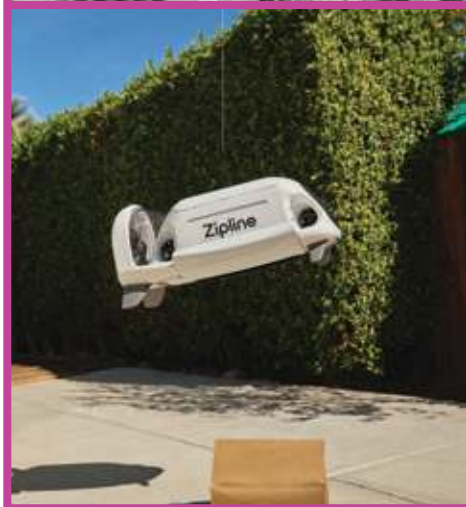
SCIENTIFIC AMERICAN



W NUMERZE PAŹDZIERNIKOWYM



Dziś wokół Ziemi krąży około 15 tys. satelitów, ale plany na najbliższe lata mówią już o blisko 2 mln. Ten bezprecedensowy przyrost zapewni łączność internetową społecznościom pozbawionym dziś dostępu do Sieci, może jednak wywrzeć negatywny wpływ na badania astronomiczne, atmosferę oraz przyszłą eksploatację przestrzeni wokółziemskiej. O tym w kolejnym numerze,
a ponadto:



RAPORT SPECJALNY
Zielona transformacja
Energia słoneczna – najtańsze źródło prądu w historii
Akumulatory ze stałym elektrolitem
Śmiałe odpowiedzi na najważniejsze wyzwania

Kto spowodował upadek Wsypy Wielkanocnej?
Czy matematyka może przewidzieć koniec ludzkości?
Wojna jądrowa kontra teoria wszystkiego
Problematyczna Złota Kopuła

Prócz tego:
Dron – listonosz
Psychodeliki dla kokainistów
Różnorodność cenniejsza niż rutyna
Jak naprawdę działają leki przeciwcukrzycowe?





**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 październikowy dostępny od 30 września**

eprasa.pl 9667b7543e

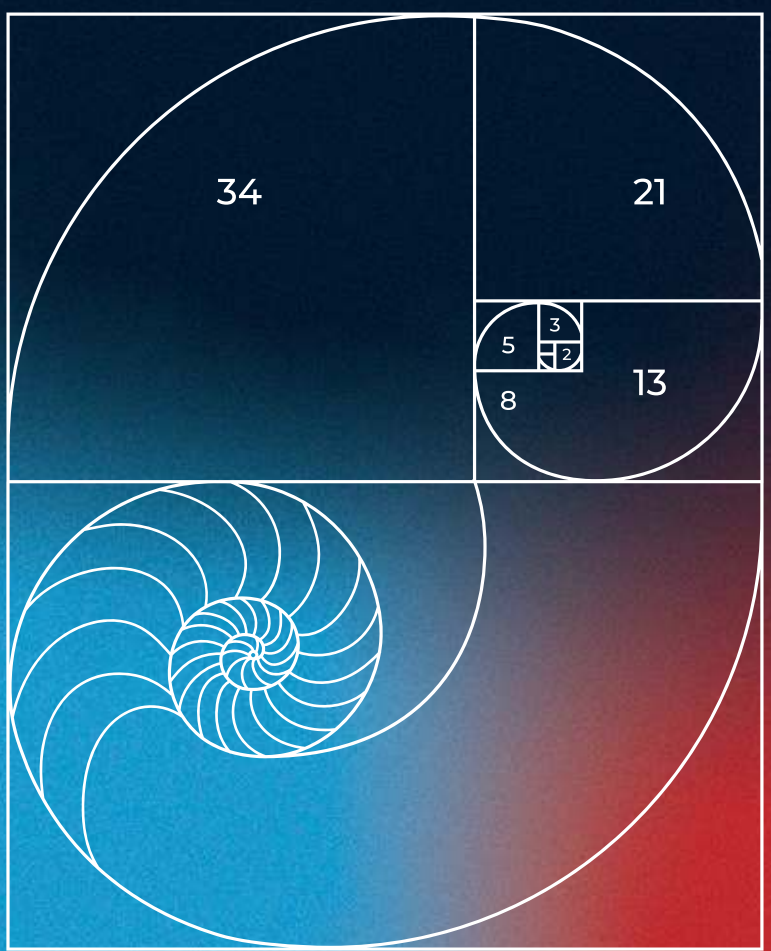
UNIWERSYTET WARSZAWSKI

MISMaP

ZAPRASZAMY NA JEDYNE TAKIE W POLSCE

INTERDYSCYPLINARNE

STUDIA W UNIWERSYTECIE WARSZAWSKIM!



WWW.MISMAP.UW.EDU.PL

KOLEGIUM MIĘDZYWYDZIAŁOWYCH INDYWIDUALNYCH STUDIÓW MATEMATYCZNO-PRZYRODNICZYCH PROWADZI STUDIA MIĘDZYOBSZAROWE W NAUKACH:

• ŚCISŁYCH • PRZYRODNICZYCH • SPOŁECZNYCH • HUMANISTYCZNYCH

eprasa.pl 9667b7543e