ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
swiatnauki.pl • projektpulsar.pl

SCIENTIFIC AMERICAN

Styczeń 2026 nr 1 (413)
Cena 18 zł 99 gr (w tym 8% VAT)

Niepewny los marsjańskiej misji

Społeczne życie słoni

Sztuczna inteligencja wspiera w żałobie

Twoja spersonalizowana szczepionka na raka

ZDROWIE PSYCHICZNE
Nowe spojrzenie na schizofrenię

ŚWIAT NAUKI 01/2026
INDEKS 378194
ISSN 0867-6380
9 770867 638609 01>

eprasa.pl 69ff3c2d5f

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 140 rozmów z najciekawszymi polskimi naukowcami

DANIEL TYBOROWSKI:
Końce świata zdarzają się cyklicznie

AGNIESZKA KRZEMIŃSKA:
Mój neandertalczyk nie jest prymitywny

pulsar

RENATA STACHOWICZ-RYBKA:
Do czego paleobotaniczka potrzebuje zębów nosorożca?

Zaprenumeruj nas:
projektpulsar.pl

eprasa.pl 69ff3c2d5f

STYCZEŃ 2026
NUMER 1 (413)

ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
SCIENTIFIC AMERICAN

NASA/JPL-Caltech/MSSS

MEDYCYNA
28 SPERSONALIZOWANA SZCZEPIONKA NA RAKA
Szczepionki oparte na mRNA można dostosowywać tak, aby celowały w unikalne mutacje guza konkretnego pacjenta. Jednak malejące wsparcie dla badań nad rakiem i szczepionkami mRNA zagraża rozwojowi tej obiecującej terapii.
ROWAN MOORE GERETY

PLANETOLOGIA
36 POZOSTAWIONE NA MARSIE
NASA przez lata wydawała miliardy dolarów na zbieranie próbek marsjańskich, chcąc je sprowadzić na Ziemię. Być może je tam po prostu zostawimy.
JONATHAN O'CALLAGHAN

ETOLOGIA
46 KLUB GRUBOSKÓRYCH DŻENTELMENÓW
Długo uważane za samotników, samce słoni afrykańskich mają zaskakująco bogate życie społeczne.
CAITLIN O'CONNELL

PSYCHIATRIA
56 NOWE SPOJRZENIE NA SCHIZOFRENIĘ
Badacze odkrywają niezwykłą złożoność tej choroby, co może prowadzić do nowych skuteczniejszych metod jej leczenia.
DIANA KWON

TECHNIKA
62 ELEKTRONICZNY SPIRYTYZM
Czy sztuczna inteligencja pomaga przeżyć żałobę?
DAVID BERREBY

eprasa.pl 69ff3c2d5f

ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
SCIENTIFIC AMERICAN

STYCZEŃ 2026
NUMER 1 (413)

6 WOKÓŁ NAUKI
Jak zwalczać deepfejki
REDAKCJA „SCIENTIFIC AMERICAN”

7 FORUM
Mit o projektowaniu dzieci
ARTHUR CAPLAN I JAMES TABERY

10 SKANER
Szukanie życia na Enceladusie ◆ Prognozowanie monstrualnych fal ◆ Co kryje głębia oceanu ◆ Archeologia bez wykopalisk

18 Q&A
Nowe spojrzenie na CO_2
LEE BILLINGS

22 WSZECHŚWIAT
Jak duże mogą być czarne dziury?
PHIL PLAIT

24 ZDROWIE
Zwierzęta domowe a zdrowie
LYDIA DENWORTH

25 METRUM
Tajny zielnik kryptogamicznej botaniki
NANCY BREWKA-CLARK

68 MATEMATKA
Zaskakująca matematyka teorii aukcji
JACK MURTAGH

69 SIŁA MYŚLI
Małe rzeczy, wielka radość
DARWIN A. GUEVARRA, XUHAI „ORSON” XU I EMILIANA SIMON-THOMAS

71 SZTUKA RODZICIELSTWA
Dlaczego warto uczyć dzieci sumienności
JASMINE MOTE

73 UMYSŁ GIĘTKI
Złożone na pierwsze
MAREK PENSZKO

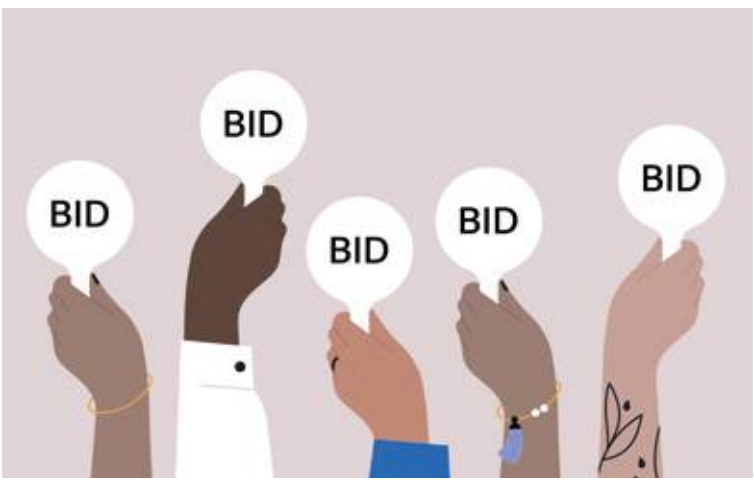
76 WARTO WIEDZIEĆ

78 FAKTOGRAF
Czy skończą nam się pierwiastki ziem rzadkich
CLARA MOSKOWITZL I STUDIO TERP

80 Z ARCHIWUM „SCIENTIFIC AMERICAN”
Przesadzone zagrożenie ◆ Jak powstały kontynenty ◆ Gdzie narodziła się cywilizacja ◆ Oryginalny sposób leczenia ◆ Niezwykła biżuteria ◆ Wulkany na Marsie

Pitris/Getty Images

6



nadia_bormotova/Getty Images

26

OKŁADKA

Spersonalizowane szczepionki oparte na mRNA (matrycowym, informacyjnym RNA) mogą okazać się skuteczne w leczeniu wielu nowotworów – od czerniaka po raka trzustki. Jednak po niedawnych cięciach federalnych funduszy na badania nad rakiem i szczepionkami mRNA w Stanach Zjednoczonych przyszłość tej przełomowej terapii stoi pod znakiem zapytania.

Ilustracja Tavis Coburn

Polska wersja okładki Jolanta Kotas

eprasa.pl 69ff3c2d5f

PRENUMERATA „ŚWIATA NAUKI”

SCIENTIFIC AMERICAN

Prenumeruj druk

KUP TERAZ

Prenumerata roczna
189 zł

Prenumerata półroczna
99 zł

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

Prenumeruj druk i serwis Pulsar

KUP TERAZ

Prenumerata roczna
279 zł

Prenumerata półroczna
159 zł

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

Prenumeruj w pakiecie z „Wiedzą i Życiem”

KUP TERAZ

Prenumerata roczna
299 zł

Prenumerata półroczna
169 zł

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

Darmowa dostawa co miesiąc pod wskazany adres

Gwarancja stałej ceny

MASZ PYTANIA?

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

prenumerata@swiatnauki.pl

sklep.polityka.pl

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

eprasa.pl 69ff3c2d5f

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; faks 22 451 61 35
www.polityka.pl; e-mail: polityka@polityka.pl

Prezes zarządu
Jerzy Baczyński

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

Dyrektor biura reklamy
Izabela Kowalczyk-Dudek
tel. 22 451 61 36
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 2025

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

SCIENTIFIC AMERICAN

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

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

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

Drodzy Państwo,

głównym tematem styczniowego numeru są szczepionki na raka – jednak nie tradycyjne, jak te przeciw wirusowi brodawczaka ludzkiego, ale personalizowane, czyli skierowane przeciw konkretnej mutacji, która pojawiła się u konkretnego pacjenta (*s. 28*). To szczepionka, która ma na celu „zwrócić uwagę" układu odpornościowego chorego na wrogie komórki, których ten jako wroga nie traktuje. Możliwość zwalczania raka to jedno z największych marzeń ludzkości. A szczepionki to jedno z największych osiągnięć medycyny. Dlaczego więc, jak się okazuje, ten projekt może w USA zostać pozbawiony federalnego finansowania? Ponieważ jest oparty na tej samej technice, co szczepionki na COVID-19. Choć aż trudno w to uwierzyć, dziś, w XXI wieku, ruchy antyszczepionkowe rosną w siłę, szczepionki mRNA są uważane przez wielu za główną przyczynę zgonów podczas pandemii, a sama pandemia albo za wymyśloną, albo za celowo wywołaną (a nawet jednocześnie za jedno i drugie). Tymczasem pacjentka z rakiem trzustki, u której zastosowano przełomową terapię, cieszy się życiem – a jak zabójczy jest rak trzustki, nie trzeba chyba nikomu tłumaczyć.

Badania nad szczepionkami na raka to niejeden zagrożony w Stanach Zjednoczonych ważny projekt. Kolejny to misja dostarczenia zebranych już przez łazik Perseverance próbek marsjańskich na Ziemię, aby można je było dokładnie zbadać w ziemskich laboratoriach. Byłby to ostatni, trzeci etap misji. Badania te dostarczyłyby mnóstwa informacji – m.in. o tym, czy na Marsie mogło istnieć życie i jakie warunki muszą być spełnione, aby w ogóle powstało (*s. 36*).

Polecamy artykuł o schizofrenii (*s. 56*), o tym, jak zmienia się rozumienie tej choroby, a tym samym podejście do jej leczenia.

Niezwykle interesujący jest też tekst o tym, jak sztuczna inteligencja pomaga ludziom w żałobie, niejako „wcielając się" w zmarłych. Czy to coraz powszechniejsze zjawisko jest groźne dla zdrowia psychicznego żałobników, czy wręcz przeciwnie – SI koi ich ból? (*s. 62*)

Na zakończenie, po tych wszystkich dość ciężkich tematach, proponujemy lekturę artykułu o społecznym życiu słoni, a dokładnie słoniowych samców, które do tej pory wydawały się mało towarzyskie (*s. 46*).

Życzę miłej lektury i jeszcze raz wszystkiego najlepszego w Nowym Roku.

Elżbieta Wieteska

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

TŁUMACZE, AUTORZY I KONSULTANCI BIEŻĄCEGO NUMERU

dr Michał Czerny	mgr Marek Krośniak Biblioteka Jagiellońska
dr n. med. Ewa Grabowska	Marek Penszko
Andrzej Hołdys	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 69ff3c2d5f

Ekrany i okna przyszłości

Wyświetlacze, które zużywają minimalne ilości energii i okna za jednym kliknięciem stające się matowymi i przezroczystymi – i to wszystko bez wysokich rachunków za prąd? Dzięki prowadzonym przez zespół prof. Ewy Góreckiej z Wydziału Chemii UW badaniom nad ferroelektrycznymi nematykami – nową klasą ciekłych kryształów – jesteśmy coraz bliżej urzeczywistnienia tych wizji.

Ferronematyki – materiały przyszłości

Cząsteczki tworzące ciekłe kryształy są zazwyczaj sztywne i silnie wydłużone. Często mają również charakter dipoli elektrycznych, czyli obiektów, w których ładunki elektryczne są rozdzielone pomiędzy dwa bieguny – dodatni i ujemny. W zwykłej cieczy, ale też większości ciekłych kryształów, takie dipole są ułożone przypadkowo. Ferroelektryk (łac. *ferrum* – żelazo) to materiał, w którym dipole elektryczne zaczynają porządkować swoje orientacje, wskazując wspólny kierunek – niczym igły maleńkich kompasów ustawiające się zgodnie z polem magnetycznym. Dzięki temu ferroelektryki reagują nawet na bardzo słabe pola elektryczne: wystarczy niewielkie napięcie, aby cała struktura się „przełączyła", czyli zmieniła orientację. W praktyce umożliwia to precyzyjne sterowanie właściwościami materiału – na przykład sposobem, w jaki przepuszcza on lub odbija światło.

Fot. Pexels

Przez wiele lat sądzono, że stan ferroelektryczny można uzyskać jedynie w materiałach o wysokim stopniu uporządkowania – takich jak kryształy stałe, w których atomy i cząsteczki tworzą regularną sieć. Przełom nastąpił w 2017 r., gdy zaobserwowano to zjawisko w nematyku, czyli ciekłym krysztale o najmniejszym stopniu uporządkowania. Nematyk to wciąż ciecz, mimo że tworzące go cząsteczki są uporządkowane wzdłuż wspólnego kierunku. Połączenie właściwości ferroelektryka i nematyka nazwano ferronematykiem. Można to porównać do próby połączenia własności cieczy z namagnesowaniem: z jednej strony materiał zachowuje płynność, a z drugiej – wszystkie jego „mikroskopijne magnesy" ustawiają się zgodnie w jednym kierunku. Od tego momentu rozpoczęły się intensywne badania, prowadzone również w laboratorium prof. Ewy Góreckiej.

Po co?

– *Znaliśmy ferroelektryczność w ciekłych kryształach, ale nie w fazie, która jest właściwie cieczą. Nematyk, gdy wylewany jest z butelki płynie, a mimo to ma uporządkowane dipole! Wszystkie cząsteczki mają wspólny kierunek swych długich osi, ale także wspólny kierunek dipoli elektrycznych* – opisuje badaczka.

Odkrycie ferroelektrycznych nematyków wzbudziło ogromne zainteresowanie zarówno wśród teoretyków, jak i poszukiwaczy praktycznych rozwiązań. Sprawa dotyczy chociażby wyświetlaczy ciekłokrystalicznych, które dzięki takim materiałom mogłyby zużywać znacznie mniej energii. Innym obiecującym zastosowaniem są folie PDLC (ang. *polymer-dispersed liquid crystals*). To cienkie warstwy tworzywa sztucznego, w którym rozproszone są drobne krople ciekłego kryształu. Są one już produkowane na masową skalę – głównie w Chinach – i stosowane m.in. w oknach czy biurowych ściankach działowych. Umożliwiają regulację przepuszczalności światła, czyli także stopnia prywatności, poprzez zmianę przyłożonego napięcia elektrycznego. Problem w tym, że do takiego „przełączenia" potrzeba stosunkowo dużo energii. Wykorzystanie ferronematyków mogłoby znacząco zwiększyć wydajność tej technologii, obniżyć jej koszty, a tym samym – uczynić ją bardziej dostępną.

Polscy naukowcy z Uniwersytetu Warszawskiego intensywnie pracują dziś nad tym, jak najefektywniej rozproszyć krople ferronematyku w strukturze folii. Pomagają im w tym surfaktanty – środki powierzchniowo czynne, znane chociażby z detergentów – które ułatwiają kontrolę nad kształtem i rozmiarem takich mikroskopijnych kropli.

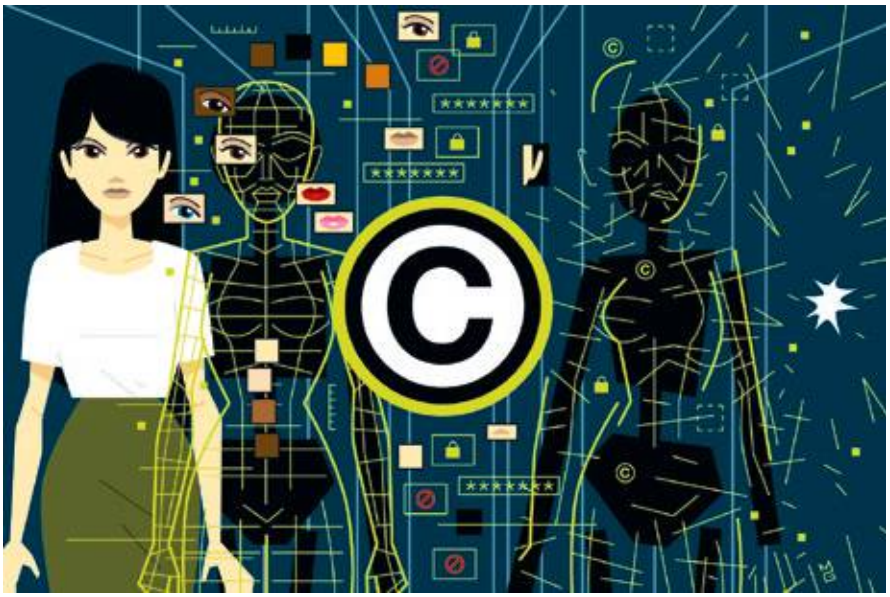
Co dalej?

– *Wyzwań związanych z badaniami nowych materiałów jest całkiem sporo* – mówi prof. Ewa Górecka – *I tylko część z nich ma charakter czysto naukowy. Wiemy już, że istnieje wiele rodzajów ferroelektrycznych nematyków. Oprócz tych najprostszych są także takie o strukturze periodycznej, np. z domenami o przeciwnie skierowanych momentach dipolowych, albo takie, w których dipole tworzą układy spiralne. Często trafiamy na materiały zachowujące się w sposób zupełnie nieoczekiwany.*

Historia ferronematyków pokazuje, że innowacje rodzą się często z odwagi. Jeszcze kilka lat temu sama idea ferroelektryczności w cieczy wydawałaby się herezją. Dziś ferronematyki uznawane są za jeden z najbardziej obiecujących materiałów – choć naukowcy wciąż muszą rozwikłać wiele zagadek i dopracować metody ich badania. *W nauce najważniejsze jest nie bać się nowych tematów* – podkreśla prof. Ewa Górecka.

Artykuł ten jest częścią cyklu poświęconego wynikom badań realizowanych przez naukowców Uniwersytetu Warszawskiego.

eprasa.pl 69ff3c2d5f



Jak zwalczać deepfejki

Każdy powinien mieć zastrzeżone prawo do wyłącznego używania swojego głosu i wizerunku

SZTUCZNA INTELIGENCJA generatywna potrafi dziś fałszować rzeczywistość na skalę przemysłową. Deepfejki – czyli zdjęcia, filmy i nagrania audio wykorzystujące SI do tworzenia przekonujących, lecz całkowicie sfabrykowanych wizerunków ludzi lub wydarzeń – to nie tylko problem treści internetowych, ale i ładu społecznego. Potęga sztucznej inteligencji w tworzeniu słów i obrazów, które wydają się prawdziwe, choć takie nie są, zagraża społeczeństwu, krytycznemu myśleniu i stabilności cywilizacji. Społeczeństwo, które nie potrafi odróżnić prawdy od fałszu, nie jest w stanie samo się rządzić.

Potrzebujemy przepisów prawa, które będą chronić godność człowieka i demokrację. Przykład daje Dania. W czerwcu duński rząd zaproponował nowelizację ustawy o prawie autorskim, która przyznałaby ludziom prawo do własnego wizerunku i głosu. Projekt zakłada zakaz tworzenia deepfejków bez zgody danej osoby oraz kary dla tych, którzy złamią to prawo. Wprowadza w życie zasadę, że „należysz do siebie" – jesteś właścicielem własnej tożsamości.

To, co czyni duńskie podejście tak skutecznym, to obawa korporacji przed konsekwencjami prawnymi naruszenia praw autorskich. W badaniu opublikowanym w 2024 roku w serwisie preprintów arXiv.org naukowcy zamieścili na platformie X (dawny Twitter) 50 aktów deepfejków i zgłosili je na dwa sposoby: 25 jako naruszenie praw autorskich, a 25 jako nagość bez zgody przedstawionej osoby, zgodnie z zasadami platformy.

X szybko zareagował na zgłoszenia dotyczące praw autorskich, lecz nie podjął żadnych działań wobec naruszeń prywatności. Prawa autorskie zadziałały – prywatność nie.

Proponowana zmiana duńskiego prawa przyznałaby ofiarom deepfejków prawo do usunięcia materiału oraz do odszkodowania – co jest istotne, ponieważ szkody powodowane przez deepfejki nie są abstrakcyjne. Twórcy takich treści szantażują ofiary dla pieniędzy, usług seksualnych lub w celu uzyskania kontroli; niektóre z tych filmów doprowadziły do samobójstw – zwłaszcza w przypadku nastoletnich chłopców oszukanych przez przestępców. Zdecydowana większość ofiar to jednak kobiety i dziewczęta. Badania pokazują, że 96% deepfejków powstaje bez zgody osób przedstawionych, a 99% pornograficznych deepfejków przedstawia kobiety.

Problem jest powszechny i narasta. W badaniu obejmującym ponad 16 tys. osób z 10 krajów aż 2,2% respondentów przyznało, że padło ofiarą pornografii deepfejk. Organizacja Internet Watch Foundation udokumentowała 210 stron internetowych z wygenerowanymi przez SI w pierwszej połowie 2025 roku materiałami przedstawiającymi dzieci w kontekście wykorzystywania seksualnego – o 400% więcej niż rok wcześniej. Podczas gdy w pierwszym półroczu 2024 zgłoszono tylko dwa takie filmy, w 2025 roku było ich już 1286, z czego 1006 przedstawiało realistyczne sceny nie do odróżnienia od rzeczywistych nagrań.

Deepfejki zagrażają też demokracji. Kilka miesięcy przed wyborami prezydenckimi w USA w 2024 roku Elon Musk udostępnił na platformie X nagranie deepfejk wiceprezydent Kamali Harris, w którym ona „przyznaje się", że jest zatrudniona ze względu na różnorodność i nie ma pojęcia „jak rządzić krajem". Eksperci ustalili, że nagranie naruszało zasady X dotyczące mediów syntetycznych, ale Musk określił je jako parodię – i film pozostał dostępny.

Nawet systemy finansowe są zagrożone. W 2024 roku przestępcy użyli deepfejków wideo, by podszyć się pod dyrektorów firmy inżynieryjnej podczas rozmowy na żywo i przekonywać pracownika w Hongkongu do przelania około 25 mln dolarów na ich konta. Raport firmy Resemble.ai, zajmującej się technikami głosowymi opartymi na SI, wykazał 487 ataków deepfejków w drugim kwartale 2025 roku – o 41% więcej niż w poprzednim – co przełożyło się na straty rzędu 347 mln dolarów w zaledwie trzy miesiące.

Mimo wszystko Stany Zjednoczone robią postępy. Ponadpartyjna ustawa TAKE IT DOWN Act, uchwalona w 2025 roku, uznaje za przestępstwo federalne publikowanie lub grożenie publikacją intymnych materiałów bez zgody osoby przedstawionej – w tym także deepfejków. Prawo to zobowiązuje platformy do usunięcia takich treści i ich kopii w ciągu 48 godzin. Poszczególne stany również podejmują działania. Teksas uznał za przestępstwo tworzenie wprowadzających w błąd materiałów SI mających wpływać na wybory; Kalifornia wprowadziła przepisy zobowiązujące platformy do wykrywania, oznaczania i usuwania fałszywych treści generowanych przez SI; a Minnesota przyjęła ustawę umożliwiającą postawienie zarzutów karnych osobom, które tworzą pornograficzne deepfejki bez zgody osób w nich przedstawionych lub używają deepfejków do manipulowania wyborami. Wkrótce inne stany mogą pójść w ich ślady.

Ilustracja Martin Gee

eprasa.pl 69ff3c2d5f

Żadne z tych działań nie idzie jednak wystarczająco daleko – potrzebna jest federalna ustawa chroniąca prawo jednostki do własnego wizerunku i głosu. Takie prawo dałoby ludziom podstawy prawne do szybkiego żądania usunięcia deepfejkóww oraz prawo do odszkodowania za wyrządzone szkody. Proponowana ustawa NO FAKES Act (Nurture Originals, Foster Art, and Keep Entertainment Safe) miałaby chronić artystów i osoby publiczne przed nieautoryzowanymi deepfejkami, lecz powinna obejmować wszystkich obywateli. Podobnie, projekt Protect Elections from Deceptive SI Act, zakazujący tworzenia deepfejków przedstawiających kandydatów w wyborach federalnych, byłby skuteczniejszy niż mozaika stanowych regulacji, które łatwo podważyć, powołując się na Pierwszą Poprawkę – jak pokazuje niepokojąca próba platformy X, by zablokować obowiązywanie ustawy o deepfejkach w Minnesocie.

Na arenie międzynarodowej Unia Europejska wprowadziła w ramach AI Act wymóg, by media syntetyczne były możliwe do rozpoznania – poprzez odpowiednie oznaczenia lub informacje o pochodzeniu.

Z kolei Digital Services Act zobowiązuje duże platformy działające w Europie do ograniczania rozpowszechniania zmanipulowanych treści. USA muszą przyjąć podobne rozwiązania.

Trzeba też stanąć do walki z fabrykami nadużyć – stronami i aplikacjami typu *nudify*, które służą do tworzenia pornograficznych deepfejków. Prokuratura San Francisco doprowadziła do zamknięcia kilku takich serwisów, a kalifornijski projekt ustawy AB 621 uderza w firmy świadczące im usługi. Meta pozwała spółkę odpowiedzialną za aplikacje *nudify*, które reklamowały się na jej platformach.

Rozwój techniki deepfejk pokazał, że dobrowolne przestrzeganie zasad nie działa – firmy nie będą się same pilnować, dopóki brak działania nie stanie się dla nich zbyt kosztowny. Dlatego duńskie podejście jest nie tylko nowatorskie – jest konieczne. Twój wizerunek powinien należeć do ciebie.

Wykorzystywanie go bez twojej zgody powinno być jednoznaczne z naruszeniem prawa. Żadne ustawodawstwo nie wyeliminuje całkowicie fałszywych treści, ale możemy ustanowić minimalny poziom odpowiedzialności, który powstrzyma społeczeństwo przed pogrążeniem się w chaosie. ■

Mit o projektowaniu dzieci

Nie wierzmy firmom, które obiecują genetyczną optymalizację zarodków

ARTHUR CAPLAN I JAMES TABERY

OGŁOSZENIE Z CZERWCA 2025 roku o uruchomieniu platformy oferującej przyszłym rodzicom „genetyczną optymalizację” embrionów wywołało zrozumiałe oburzenie moralne. Reklamowana przez Kiana Sadeghiego, dyrektora generalnego firmy Nucleus Genomics, usługa Nucleus Embryo – kosztująca tysiące dolarów – obiecywała optymalizację takich cech, jak dziedziczne ryzyko chorób serca i nowotworów, a także inteligencja, długość życia i kolor włosów. Firma oferowała również analizę predyspozycji do leworęczności, wrzucając ją do jednego worka z aspektami „budowy i zdrowia fizycznego”, takimi jak „ból przewlekły”. Obiecywała też eliminowanie czynników genetycznych, które mogłyby zwiększać ryzyko alkoholizmu.

To wszystko sprawiło, że jednemu z komentatorów – inwestorowi venture capital – „zrobiło się niedobrze”. Krytycy ostrzegali, że taki proces „traktuje potomstwo jak towar”, a w komentarzach szybko pojawiły się odwołania do pojęć takich, jak „dzieci na zamówienie” czy „eugenika”. W jednym z nagłówków napisano: „Przyszłość z filmu *Gattaca* stała się rzeczywistością” – nawiązując do filmu science fiction z 1997 roku, który przedstawia dystopijny świat, w którym genetycznie modyfikowani „Valids” dominują nad „In-Valids”, czyli ludźmi poczętymi w sposób naturalny.

Jako zawodowi bioetycy, podzielalibyśmy te obawy – gdyby Nucleus Embryo faktycznie robiło to, co obiecuje. Ale tak nie jest. Odpowiednikiem filmowym dla Nucleus Embryo nie jest *Gattaca*. To raczej *The Dropout* – miniserial z 2022 roku o wzlocie i upadku Elizabeth Holmes oraz jej firmy testującej krew, Theranos.

Dla jasności: nie ma żadnych dowodów, że Nucleus Genomics dopuściło się celowego oszustwa, jak Theranos. Jednak podobieństwa są uderzające. Podobnie jak Holmes, Sadeghi porzucił prestiżowe studia, by założyć własną firmę biotechnologiczną, pozyskując inwestorów z Doliny Krzemowej, którzy sfinansowali jego start-up.

Podobnie jak Holmes, Sadeghi wykorzystuje osobiste doświadczenia z niewydolnym systemem medycznym jako część inspirującej narracji, którą sprzedaje wzywając do „rewolucji zdrowotnej”. I podobnie jak Theranos, Nucleus Embryo zaczęło od istniejącej, wiarygodnej techniki, by następnie przeskoczyć w sferę fantazji.

Jego obietnice mogą kusić inwestorów i bogatych, lecz naiwnych klientów, ale nie wytrzymują krytycznej analizy, gdy przyjrzeć im się bliżej.

Przyszli rodzice od dziesięcioleci korzystają z diagnostyki preimplantacyjnej (PGD) w ramach procedury in vitro (IVF). Po stworzeniu zestawu zapłodnionych embrionów, z każdego z nich pobiera się próbkę DNA i poddaje analizie genetycznej. Rodzice mogą następnie wybrać, który embrion lub embriony zostaną zaimplantowane, na podstawie ich profilu genetycznego. Technika ta okazała się nieoceniona dla rodzin obciążonych dziedzicznymi chorobami, takimi jak pląsawica Huntingtona czy choroba Tay-Sachsa – śmiertelnymi schorzeniami o znanych przyczynach genetycznych.

Umożliwia ona również wykrywanie poważnych nieprawidłowości chromosomowych, które mogą sprawić, że embrion nie będzie zdolny do dalszego rozwoju po implantacji. W ostatnich latach zakres badań diagnostycznych rozszerzył się także na inne, rzadsze choroby genetyczne, które, choć mniej powszechne, pozostają wyniszczające. Procedury IVF i diagnostyka preimplantacyjna są jednak bardzo kosztowne, a więc budzą etyczne pytania o dostępność – kto może sobie na nie pozwolić, a kto nie. Jednocześnie nikt raczej nie ma zastrzeżeń etycznych, co do postępowania rodziców, którzy chcą zapobiec przekazaniu dziecku śmiertelnej choroby albo rezygnują

Arthur Caplan jest profesorem bioetyki i kieruje katedrą im. dr. Williama F. i Virginii Connolly Mitty. Jest ponadto założycielem i kierownikiem oddziału etyki medycznej w New York University Grossman School of Medicine.

James Tabery jest profesorem filozofii na University of Utah. Jego najnowsza książka to *Tyranny of the Gene: Personalized Medicine and Its Threat to Public Health* (Knopf, 2023).

eprasa.pl 69ff3c2d5f

z implantacji embrionu, który miałby się nie rozwinąć prawidłowo.

Ale załóżmy, że para podchodząca do procedury in vitro nie chce po prostu dziecka wolnego od śmiertelnej choroby. Być może marzą o dziecku, które będzie miało niskie ryzyko zachorowania na raka i choroby serca, a przy tym będzie bardzo inteligentne, szczupłe, bez trądziku i obdarzone długowiecznością. W tym momencie na scenę wkracza Nucleus Embryo Kiana Sadeghiego. To oprogramowanie do „optymalizacji genetycznej" oferuje takim rodzicom możliwość przebadania pod kątem tych – i setek innych – cech nawet 20 embrionów.

I tu właśnie wchodzimy na teren Theranosa. W przeciwieństwie do chorób takich, jak pląsawica Huntingtona czy Tay-Sachsa, wielu nowotworom nie towarzyszą żadne wyraźne markery genetyczne, a choroby serca nie mają jednego, jednoznacznego zestawu genów. O inteligencji, trądziku, wskaźniku masy ciała czy długości życia nawet nie wspominając. Genetycy wiedzą to od dziesięcioleci. Owszem, istnieją setki miejsc w ludzkim genomie, gdzie określone warianty genetyczne wykazują minimalne pozytywne lub negatywne powiązania z tymi cechami. Informacje z tych miejsc można łączyć w jedną zbiorczą miarę, znaną jako poligeniczny wynik ryzyka (polygenic risk score), której genetycy używają głównie w badaniach naukowych.

Jednak wartość kliniczna tych wyników jest bardzo wątpliwa, nawet w przypadku stosunkowo prostych schorzeń, takich jak astma czy udar mózgu. Większość dotychczasowych badań nad tymi wskaźnikami prowadzono niemal wyłącznie wśród osób pochodzenia zachodnioeuropejskiego, dlatego nie ma gwarancji, że przewidywania te da się przełożyć na populacje z innych części świata.

A nawet w obrębie tej grupy moc predykcyjna poligenicznych wyników ryzyka jest tak ograniczona, że nie stosuje się ich w standardowej praktyce klinicznej nigdzie na świecie.

Kiedy więc Nucleus Genomics twierdzi, że oferuje klientom możliwość genetycznej optymalizacji, oznacza to w rzeczywistości, że przyszli rodzice mogą wybrać embriony na podstawie danych genetycznych, które dostarcza system Nucleus Embryo.

Ale to nie jest żadna „optymalizacja genetyczna" – żadne embriony ani materiał genetyczny nie są „udoskonalane" w nowy, techniczny sposób. To po prostu tradycyjna diagnostyka preimplantacyjna zapłodnionych embrionów, rozszerzona o złudzenie kontroli nad takimi aspektami, jak IQ czy zdrowie psychiczne, mimo że nauka w żaden sposób nie potwierdza tych możliwości. Co gorsza, firma uczyniła doradztwo genetyczne – czyli pomoc w zrozumieniu ogromu tych złożonych informacji – opcjonalnym, co również nie jest optymalne.

Nucleus Embryo Sadeghiego to przykład tego, co dzieje się wtedy, gdy Dolina Krzemowa zabiera się za diagnostykę genetyczną. Naukową rzetelność zastępuje się przechwałkami o „rewolucjonizowaniu" medycyny, która wcale niekoniecznie wymaga rewolucji. Publikacje naukowe z recenzją są mniej ważne niż efektowny film promocyjny. Niepewność dotycząca wartości klinicznej poligenicznych wskaźników ryzyka zostaje przesłonięta atrakcyjną aplikacją, która pozwala użytkownikom nadawać imiona embrionom, które testują.

Ugruntowane wytyczne kliniczne dotyczące tego, które cechy warto badać genetycznie, a które nie, zostają odrzucone jako zamach na wolność reprodukcyjną i gospodarczą. „Niektórzy uważają, że nie powinniście mieć takiego wyboru – mówił Sadeghi w filmie promocyjnym z czerwca. – Ale to nie oni mają decydować. To wasz wybór."

Kiedy firma Nucleus Genomics i sam Sadeghi zostali skonfrontowani z porównaniem do Theranosa, które przytaczamy w tym artykule, nazwali je „niesprawiedliwym", broniąc Nucleus Embryo jako narzędzia pomagającego ludziom, a nie wyrządzającego szkody. Nie zgadzamy się – choć nie z tych samych powodów, co krytycy, którzy błędnie założyli, że Nucleus Embryo rzeczywiście działa tak, jak obiecuje jego reklama.

Gdyby Nucleus Embryo naprawdę pozwalało zoptymalizować inteligencję dziecka, wydłużyć jego życie, złagodzić trądzik i uniknąć leworęczności, wówczas rzeczywiście należałoby zadać poważne pytania etyczne. Ale nie grozi nam świat genetycznie udoskonalonych, smukłych i praworęcznych „Validów" bez skazy, dominujących nad „In-Validami", których rodziców nie było stać na Nucleus Embryo.

Prawdziwe zagrożenie polega na tym, że nadmiernie ambitni przyszli rodzice, pragnący kontrolować biologiczną przyszłość swoich dzieci, wydadzą blisko 9000 dolarów na produkt, który nie da im żadnej realnej kontroli. Ci rodzice mogą odrzucić całkowicie zdrowe embriony, obawiając się, że nie są one wystarczająco „zoptymalizowane". Albo mogą mieć dzieci, od których będą oczekiwać spełnienia kupionych wizji, a które to dzieci ostatecznie okażą się tak samo różnorodne i nieprzewidywalne, jak wszyscy ludzie przed nimi. ■

Marco VDM/Getty Images

eprasa.pl 69ff3c2d5f

Ekojazda po torach

Dzięki aplikacji o nazwie SENSUM maszyniści mogą nie tylko poprawić płynność jazdy, ale też zmniejszyć zużycie energii. Korzystają na tym pasażerowie, przewoźnicy i środowisko.

© PGE

Symulator Sensum

Inwestycje na kolei przynoszą konkretne efekty. Krótsze czasy przejazdu, nowoczesny tabor i atrakcyjny rozkład jazdy sprawiają, że kolej w Polsce zyskuje na atrakcyjności. Renesans przeżywają zarówno przewozy dalekobieżne, jak i regionalne czy aglomeracyjne. W ubiegłym roku liczba pasażerów przekroczyła 400 mln, co jest najwyższym wynikiem w Polsce po 1997 r. Z kolei w 2025 roku ta wielkość zbliży się prawdopodobnie do 450 mln. Wzrost popularności przewozów oznacza też wzrost zapotrzebowania na energię, skoro uruchamianych jest coraz więcej pociągów, aby sprostać rosnącemu zainteresowaniu Polaków tą ekologiczną formą transportu.

Zużycie energii w segmencie przewozów pasażerskich zwiększyło się o niemal jedną trzecią – z 1,3 TWh w 2020 roku do 1,7 TWh w 2024 roku. Ten trend z pewnością zostanie utrzymany, skoro przed nami wielkie plany rozwoju kolei, w tym przede wszystkim budowa nowej sieci w standardzie zasilania 2x25 kV AC, która stanie się fundamentem dla szybkich połączeń. Chodzi o koncepcję tzw. Igreka, łączącego Warszawę, Łódź, Poznań i Wrocław oraz umożliwiającego wygodny dojazd do Centralnego Portu Komunikacyjnego. Pierwszy odcinek Igreka (z Warszawy przez CPK do Łodzi) zostanie oddany do eksploatacji w 2032 r. Trzy lata później dołączą do niego trasy z Łodzi do Poznania oraz Wrocławia.

Co więcej, PGE Energetyka Kolejowa, jako część Grupy PGE, wspiera realizację strategii transformacji energetycznej kraju. Grupa planuje do 2035 r. stworzyć nowoczesny system elektroenergetyczny oparty na źródłach zero- i niskoemisyjnych, inteligentnej sieci oraz magazynach energii, zwiększając produkcję z OZE i redukując emisję CO_2. PGE Energetyka Kolejowa koncentruje się na poprawie efektywności energetycznej, m.in. poprzez program Zielona Kolej®, który umożliwia przejście transportu szynowego na energię odnawialną i ograniczenie śladu węglowego kolei. Przykładem tego podejścia jest aplikacja SENSUM, wspierająca ecodriving w transporcie kolejowym. Ecodriving to taki sposób prowadzenia pociągu, który umożliwia ograniczenie zużycia energii, poprawę płynności jazdy oraz zwiększenie rekuperacji czyli odzyskiwania energii w trakcie hamowania pojazdów. Płynniejsza jazda to nie tylko większy komfort pasażerów, ale również mniejsze zużycie energii.

Aplikacja SENSUM wspiera przewoźników w redukcji śladu węglowego, znacząco obniżając koszty eksploatacyjne, dzięki zmniejszeniu zużycia energii. SENSUM to pierwszy dynamiczny system techniki prowadzenia pociągów na polskim rynku. Jest to system klasy DAS (Driver Advisory System), co oznacza, że interpretuje dane wejściowe, w tym m.in. prędkość pociągu, nachylenie trasy oraz parametry liczone w czasie rzeczywistym, a następnie przekazuje na bieżąco maszyniście wskazówki, pozwalające na optymalizację techniki jazdy.

Co by się stało, gdyby wszyscy przewoźnicy w Polsce korzystali z SENSUM? Korzyści byłyby ogromne: zużycie energii zmniejszyłoby się o 90 GWh rocznie, a emisja dwutlenku węgla byłaby niższa o 56 tys. ton. Do absorbcji takiej ilości CO_2 jest potrzebne 6,2 tys. ha lasów, które zajęłyby ponad 8, 8 tysięcy pełnowymiarowych boisk piłkarskich.

Wnioski z wielu miesięcy przejazdów testowych pozwoliły dostosować to rozwiązanie do potrzeb i wymagań maszynistów. SENSUM jest zatem wynikiem pracy nie tylko polskich inżynierów i specjalistów IT, ale również maszynistów. Stanowi doskonałe wsparcie w ich codziennej pracy.

Świadczą o tym konkretne doświadczenia. Jako pierwsze aplikację SENSUM wdrożyły Koleje Mazowieckie w maju tego roku. W sierpniu umowę na wdrożenie SENSUM podpisał drugi przewoźnik – Łódzka Kolej Aglomeracyjna. Obecnie z SENSUM korzysta łącznie ok. 800 maszynistów. Po półrocznym użytkowaniu w Kolejach Mazowieckich system potwierdził oszczędności w zużyciu energii na poziomie 6 proc. Ponadto rozwiązanie to pozwoliło na zwiększenie rekuperacji energii. We wrześniu testy SENSUM rozpoczęły się w PKP SKM Trójmiasto. Aplikacja została już kilkakrotnie doceniona za swoją innowacyjność: otrzymała nagrodę im. Ernesta Malinowskiego na targach TRAKO 2025, wyróżnienie w konkursie im. Czesława Jaworskiego na TRAKO, II miejsce w konkursie Politechniki Warszawskiej Innowator Transportu 2025 oraz Zieloną Nagrodę Kolejową na Kongresie Kolejowym 2025.

Materiał powstał przy współpracy z PGE

eprasa.pl 69ff3c2d5f

SKANER

ASTROBIOLOGIA

Fascynujące pióropusze

Enceladus, jeden z księżyców Saturna, charakteryzuje się złożonym, sprzyjającym życiu składem chemicznym

MA ŚREDNICĘ 500 KM i od prawie dwóch dekad jest głównym obszarem poszukiwań życia pozaziemskiego. W 2005 roku, krótko po wejściu na orbitę Saturna, Cassini, wspólna misja NASA i Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA), odkrył gejzery lodowych kryształków wyrzucane z południowego bieguna Enceladusa – co stanowiło niezbity dowód na to, że na satelicie tym pod jaskrawobiałą skorupą lodu znajduje się ocean ciekłej wody. Astrobiolodzy są coraz bardziej zafascynowani Enceladusem, ponieważ dalsze badania ziarenek lodu w gejzerach ujawniły wiele molekularnych cegiełek życia wyrzuconych z podpowierzchniowego oceanu.

Ponownie analizując ostatnio dane z sondy Cassini, która zakończyła swoją misję na Saturnie w 2017 roku, naukowcy odkryli w tych gejzerach coś jeszcze bardziej intrygującego – konglomeraty złożonych cząsteczek organicznych, które na Ziemi biorą udział w procesach chemicznych związanych z jeszcze większymi związkami uważanymi za niezbędne dla biologii. Odkrycie to, opublikowane w czasopiśmie „Nature Astronomy", stanowi argument przemawiający za kontynuacją misji w poszukiwaniu śladów życia na tym tajemniczym księżycu.

Odległość od Ziemi to nie jedyna przyczyna, dla której Enceladus tak długo skrywał swoje tajemnice. Sonda Cassini zasadniczo nie została zaprojektowana pod kątem szczegółowej analizy konkretnego pojedynczego obiektu w układzie Saturna, mówi Nozair Khawaja, planetolog z Freie Universität Berlin, który kierował badaniami opublikowanymi w „Nature Astronomy". Została wystrzelona prawie 30 lat temu, kiedy jeszcze nie wiadomo było o istnieniu podpowierzchniowego oceanu i gejzerów na południowym biegunie Enceladusa. Przystosowanie jej przestarzałej aparatury do celów dogłębnej astrobiologii było wyzwaniem – m.in. ze względu na problemy z uzyskanymi przez nią danymi.

Jednym z nich była stosunkowo niska rozdzielczość spektrometru masowego na sondzie Cassini, zwanego Cosmic Dust Analyzer (CDA), który analizował skład chemiczny ziarenek lodu uderzających w jego detektory, gdy sonda przelatywała przez lodową chmurę. Khawaja mówi, że chmury te okazały się tak gęste, że za każdym razem powodowały przeciążenie CDA. Naukowcy mogli się wyraźnie przekonać, że większość zebranego materiału stanowiły zwykłe cząsteczki wody – według Khawai

eprasa.pl 69ff3c2d5f

JAK POWSTAJĄ GIGANTYCZNE FALE s. 13

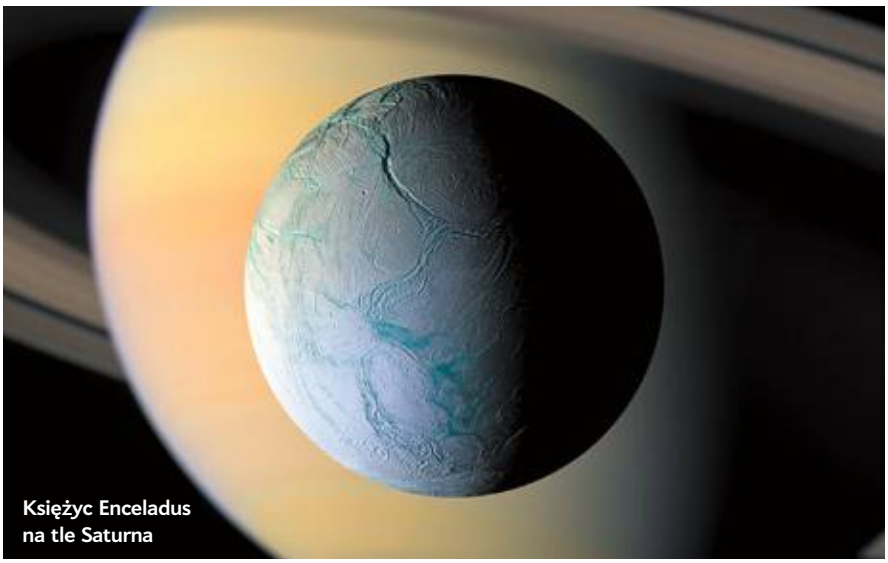
FANTASTYCZNE PODWODNE STWORY s. 14

PTAKI – KOLEKCJONERZY s. 16

Artystyczna wizja sondy Cassini pobierającej próbki z gejzerów wyrzucanych z podpowierzchniowego oceanu na Enceladusie, lodowym księżycu Saturna.

NASA's Goddard Space Flight Center

eprasa.pl 69ff3c2d5f



Księżyc Enceladus na tle Saturna

NASA's Goddard Space Flight Center

prawie 98%. Natomiast ustalenie charakteru pozostałych 2% wymagało wielu starannie zaplanowanych przelotów i modyfikacji działania CDA na przestrzeni kilku lat. Przelotem, który ostatecznie okazał się strzałem w dziesiątkę, był manewr z 9 października 2008 roku o kryptonimie E5, który łączył w sobie prędkość wyższą od średniej – prawie 18 km/s, czyli około 6 km/s więcej niż podczas innych przelotów – oraz szczęśliwie nadarzającą się erupcję na Enceladusie, do której doszło zaledwie kilka minut wcześniej.

„Przy tak dużych prędkościach cząsteczki wody ulegają rozbiciu. Nie są w stanie przetrwać. Pozostają jednak inne zawarte w lodzie substancje, takie jak związki organiczne" – wyjaśnia Khawaja. Ponadto świeżo wyrzucony materiał nie zdążył ulec zmianom ani degradacji pod wpływem promieniowania kosmicznego.

Niektórzy ze współautorów tej najnowszej pracy opublikowali w 2011 roku po latach żmudnej analizy danych artykuł analizujący wyniki przelotu E5, w którym zwrócili uwagę na obecność związków organicznych, ale nie byli w stanie ich rozpoznać. Obecnie na podstawie wyczerpujących eksperymentów badających wpływ różnic w prędkościach uderzenia ziarenek lodu na dane zebrane przez CDA naukowcy sądzą, że zidentyfikowali większość substancji zawartych w wyrzuconej materii, co ma istotne znaczenie dla możliwości istnienia życia na tym księżycu.

„Uważam, że pełne zrozumienie danych CDA wymagało staranności i cierpliwości. Podziwiam, że dokonali tak dokładnej analizy" – mówi Shannon MacKenzie, planetolożka z Laboratorium Fizyki Stosowanej na Johns Hopkins University, która nie brała udziału w tych badaniach.

Praca zespołu ujawniła, że gejzery zawierają kilka złożonych związków chemicznych o dużej masie, które Cassini wykrył wcześniej w torusie lodu i pyłu uwalnianym przez Enceladusa na orbitę wokół Saturna, a także inne dobrze znane cząsteczki. Ich zawartość w świeżych wyrzutach, jak twierdzi Khawaja, potwierdza, że wszystkie pochodzą z podpowierzchniowego oceanu na Enceladusie. Co najbardziej ekscytujące, badania te ujawniły również kryjące się w lodzie nowe, nigdy wcześniej niewidziane związki, wyrzucone gdzieś z wnętrza księżyca.

„W tych świeżych ziarenkach lodu znaleźliśmy cząsteczki takie, jak estry i etery, które zawierają tlen i mają podwójne wiązania" – mówi Khawaja. Jego zespół wykrył również związki, w których prawdopodobnie połączyły się tlen i azot. „Podejrzewamy, że są to pewnego rodzaju półprodukty służące do tworzenia kolejnych, złożonych związków organicznych, być może potencjalnie istotnych pod względem biologicznym" – dodaje. Trudno mieć w tej kwestii pewność, ponieważ cząsteczki organiczne zebrane przez CDA zostały poszatkowane na mnóstwo małych kawałków; badacze wciąż poszukują sposobu na złożenie ich z powrotem w całość.

„Praca ta pokazuje, że niektóre fragmenty rzeczywiście pochodzą z dość dużych i złożonych związków organicznych – mówi Kevin Hand, planetolog i dyrektor Ocean Worlds Lab w Jet Propulsion Laboratory NASA, który nie uczestniczył w tych badaniach. – Niewykluczone jednak, że powstały one z jeszcze większych związków. Co właściwie znaleźlibyśmy w znajdującym się poniżej oceanie? A może tu wymienione związki to tylko wierzchołek astrobiologicznej góry lodowej?".

Khawaja ma już pewne pomysły na to, co mogłyby odkryć kolejne misje wyposażone w lepsze, nowocześniejsze instrumenty. Jego zdaniem owa nowo odkryta mieszanina związków mogłaby zainicjować „sieć reakcji" prowadzących do powstania pirymidyn – klasy cząsteczek niezbędnych do wytworzenia DNA. (Tutaj, na Ziemi, DNA jest tym, co leży u podstaw powstania życia w znanej nam postaci.) Ta sieć reakcji mogłaby również doprowadzić do powstania lipidów – cząsteczek, które mogą tworzyć błony komórkowe. Mimo to, jak zauważa Khawaja, „nie mamy jeszcze pojęcia o żadnym istotnym znaczeniu biologicznym".

Na razie zespół opracowuje zaawansowany model komputerowy całego systemu podpowierzchniowego Enceladusa, aby sporządzić mapę prawdopodobnych źródeł oraz interakcji między związkami chemicznymi na tym księżycu. Dane z sondy Cassini pozostawiają również pewne pole do odkryć: „Nadal mamy tu pewne typy widm, które widzę, ale ich nie rozpoznaję", mówi Khawaja.

Większość nadziei na uzyskanie ostatecznych odpowiedzi w najbliższej przyszłości wiąże się ostatecznie z misją ESA, która wciąż znajduje się na etapie projektowania. Taka misja najprawdopodobniej obejmowałaby wystrzelenie orbitera znacznie bardziej zaawansowanego niż Cassini z możliwością dodania lądownika (Hand uważa, że sam orbiter mógłby okazać się zupełnie wystarczający ze względu na świeży dopływ wyrzucanej materii: „Po co ryzykować lądowanie, skoro Enceladus oferuje nam darmowe próbki?").

Niezależnie od tego, w jaki sposób będziemy go badać, Enceladus pozostaje jednym z najbardziej obiecujących miejsc, jeśli chodzi o poszukiwanie życia pozaziemskiego. „Woda, energia i odpowiednie substancje chemiczne – są tam wszystkie elementy warunkujące narodziny życia" – mówi Khawaja. Twierdzi on, że nawet jeśli przyszłe badania nie odkryją na Enceladusie życia, implikacje i będą znaczące. „Jeśli mimo obecności tych trzech elementów okaże się, że życia na nim nie ma, będzie to oznaczało, że do powstania organizmów żywych potrzeba czegoś więcej".

Jacek Krywko

eprasa.pl 69ff3c2d5f

FIZYKA

Narodziny olbrzyma

Badanie oparte na rekordowej ilości danych pomiarowych może pomóc w prognozowaniu wielkich fal oceanicznych

W PIERWSZY DZIEŃ 1995 roku, pod mglistym szarym niebem wiszącym nad Morzem Północnym, platforma wiertnicza Draupner została uderzona przez coś, co przez długi czas uważane było za element morskiego folkloru: 25-metrową ścianę wody, która wygięła stalowe wsporniki konstrukcji niczym spinacze do papieru. „Fala Draupner" dostarczyła pierwszego twardego dowodu na to, że fale olbrzymie rzeczywiście istnieją.

Prawie trzy dekady później naukowcy opisali procesy fizyczne rządzące tymi anomaliami. Najnowsza analiza 27,5 tys. pomiarów fal na Morzu Północnym, zarejestrowanych przez czujniki laserowe na platformie wiertniczej w ciągu 18 lat, ujawnia, w jaki sposób osobliwa natura fal oceanicznych może wytworzyć samotnego giganta wtedy, gdy kilka serii (czy też ciągów) fal się ze sobą przecina. Badanie, opublikowane w czasopiśmie „Scientific Reports" pokazuje, jak to zjawisko może spotęgować wysokość konkretnej fali w porównaniu z jej sąsiadkami. Identyfikuje ono również charakterystyczny „odcisk palca" ukryty w danych z pomiarów falowania – powtarzający się wzorzec interferencyjny, który pojawia się wtedy, gdy przynajmniej dwa takie ciągi fal zbiegają się i wzajemnie wzmacniają – i moment, w którym najprawdopodobniej rodzi się fala olbrzymia.

Jeśli naukowcy byliby w stanie zawczasu wykrywać takie sygnały, to ekstremalne fale morskie mogłyby przestać być nieprzewidywalnym zagrożeniem i stałyby się zjawiskiem możliwym do prognozowania. „Nasza cywilizacja w ogromnym stopniu zależy od żeglugi i działalności morskiej, dlatego podjęty został ogromny, międzynarodowy wysiłek badawczy mający na celu zrozumienie fal olbrzymich" – mówi oceanograf Victor Shrira z Keele University, który nie brał udziału w badaniu. „Nawet największe statki i konstrukcje nie są na nie uodpornione."

Co istotne, nowe badanie pomogło również wyjaśnić, czym fale olbrzymie nie są. Naukowcy często odtwarzali je w laboratoriach, wywołując „niestabilność modulacyjną" poprzez kierowanie sztucznych fal w wąskie kanały, w których zaczynały się one katastrofalnie nawarstwiać. Główny autor badania Francesco Fedele, matematyk z Georgia Institute of Technology, w swoich wcześniejszych badaniach testował takie modele, aż w końcu doszedł do wniosku, że w laboratorium nie da się wyjaśnić zjawisk zachodzących na otwartym oceanie.

„Wyobraź sobie tłum ludzi opuszczających stadion długim, wąskim korytarzem – mówi Fedele. – Ludzie z tyłu napierają na tych z przodu, a niektórzy nawet wspinają się na innych, tworząc zator. To właśnie przypomina falę olbrzymią wytworzoną w laboratoryjnym zbiorniku. Jeśli jednak bramy stadionu są otwarte szeroko na rozległą przestrzeń, ludzie się rozpraszają i do powstania zatoru nie dochodzi. Taki właśnie jest otwarty ocean – prawdziwe fale olbrzymie podlegają innym prawom fizyki."

Takie fale biorą się z pewnej subtelnej osobliwości natury. Prawdziwe fale na oceanie nie są idealnymi sinusoidami – ich grzbiety mają tendencję do stawania się bardziej stromymi i ostrzejszymi, natomiast ich doliny stają się szersze i bardziej płaskie. Naukowcy nazywają tę trwałą, wrodzą nierówność „asymetrią fal związanych" (bound-wave asymmetry) i wiedzą o jej istnieniu co najmniej od lat 80., choć zwykle traktowali ją jako nieistotny detal. Nowa analiza wskazuje jednak, że wtedy, gdy fale pochodzące z kilku różnych ciągów nakładają się na siebie wedle określonego wzorca, wówczas ich ostre grzebienie mogą się nagle na siebie nałożyć, formując pojedynczą, olbrzymią ścianę wody – badanie wskazuje również na możliwy do zmierzenia sygnał zwiastujący takie nawarstwianie się fal.

Według tego najnowszego badania wykrycie konkretnego „odcisku palca" poprzedzającego narodziny fali olbrzymiej pomogłoby naukowcom i marynarzom w prognozowaniu takich monstrów, na początek na minutę przed ich powstaniem. Takie zwiastuny zostały już dostrzeżone w zbiorach nowszych danych. Na przykład podczas jednego ze sztormów na Morzu Północnym w 2023 roku kamery zarejestrowały falę o wysokości około 17 m, której wzrost można było śledzić dzięki charakterystycznym wzorcom interferencyjnym.

„To badanie stanowi krok w stronę prognozowania fal olbrzymich i może pomóc statkom, które są na takie fale narażone" – mówi Coral Moreno, inżynier z firmy logistycznej EDT Offshore, która nie brała udziału w badaniu. Jej zdaniem do zbierania danych potrzebnych do prognozowania zjawiska przydałaby się rozległa sieć boi pomiarowych. Z kolei autorzy badań mają nadzieję, że wraz z rozwojem technik satelitarnych, metod zbierania danych oraz sztucznej inteligencji możliwe stanie się szybkie wykrywanie takich „odcisków palców" na oceanach całego świata. W ten sposób zjawisko, które do niedawna uważano za zdarzenie losowe, stałoby się czymś, co da się wiarygodnie przewidzieć.

Avery Schuyler Nunn

John Lund/Getty Images

eprasa.pl 69ff3c2d5f

NAUKA W OBRAZACH

Podwodna kraina cudów

Robot portretuje osobliwości w podmorskim kanionie Mar de Plata

DWIE MILE pod powierzchnią oceanu, u wybrzeży Argentyny, rozciąga się wąwóz niemal dwa razy głębszy niż Wielki Kanion. Dno tej podmorskiej przepaści roi się od stworzeń wyglądających jak uczestnicy kosmicznego karnawału – jest wśród nich przezroczysta kałamarnica z rogopodobnym wachlarzem ramion (*u góry po lewej*), bladoróżowe homary, powolny krab królewski obwieszony setką przyczepionych do niego pąkli oraz misternie zbudowany, unoszący się w toni syfonofor (*u dołu po prawej*).

W lipcu i sierpniu tego roku naukowcy na pokładzie statku badawczego *Falkor (too)*, należącego do Schmidt Ocean Institute, obserwowali te niezwykłości okiem podwodnego robota, eksplorując podmorski kanion Mar del Plata. W ciągu trzech tygodni zespół zarejestrował wiele zadziwiających widoków – w tym ponad 40 gatunków, które mogą być nieznane nauce.

„Głębia oceanu to przestrzeń tętniąca życiem – imponująca jest nie tylko liczba organizmów, lecz także ich różnorodność" – mówi główny naukowiec ekspedycji Daniel Lauretta z Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia (MACN) w Buenos Aires.

Kanion, położony około 300 km od północno-wschodniego wybrzeża Argentyny, kształtują dwa spotykające się prądy: jeden słony i ciepły, płynący z tropików, drugi – zimny i bogaty w składniki odżywcze – z Antarktydy. Takie głębokomorskie kaniony, jak Mar del Plata działają jak lejki. „Dzięki temu tworzą jedne z najbardziej energetycznych regionów oceanicznych na świecie, napędzając wysoką produktywność biologiczną i wspierając niezwykłe bogactwo gatunków" – wyjaśnia Jonathan Flores, badacz z argentyńskiej Narodowej Rady Badań Naukowych i Technicznych (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET). Flores, który nie brał udziału w wyprawie, analizował jej transmisje na żywo jako niezależny ekspert.

Niektóre ze znalezionych tam stworzeń mogą nie występować nigdzie indziej na Ziemi. „Głębokomorskie kaniony to hotspoty bioróżnorodności, odgrywające kluczową rolę w funkcjonowaniu ekosystemów – a mimo to wciąż wiemy o nich bardzo niewiele – mówi. – Dalsza eksploracja jest niezbędna, by udokumentować gatunki, zanim znikną, zrozumieć, jak te ekosystemy reagują na zmiany środowiskowe, i dostarczyć danych potrzebnych do podjęcia działań ochronnych oraz zarządzania oceanami."

Celem wyprawy było stworzenie bazowego katalogu życia zamieszkującego kanion. Gdy robot zszedł na dno, naukowcy zobaczyli coś w rodzaju głębinowego „królestwa Barbie": ośmiornica obejmująca swoje jaja chroniła się za różowymi i pomarańczowymi koralowcami (*u góry po prawej*); rumiane homary dreptały w zwartym szyku po dnie, kolczaste, szkarłatne kraby przemykały między nimi, a karminowy żebropław mienił się bioluminescencją. Na ścianach kanionu tkwiły brzoskwiniowe koralowce – prawdopodobnie nieznany jeszcze gatunek.

Ulubieńcem widzów, którzy śledzili transmisję z nurkowań, została rozbawiona rozgwiazda przypominająca Patryka Rozgwiazdę (Patrick Star) z kreskówki SpongeBob Kanciastoporty (*u dołu po lewej*).

Choć w jasnym świetle reflektorów robota wyglądały jaskrawo, w rzeczywistości zwierzęta te doskonale się kamuflują – czerwone światło nie sięga głęboko, więc czerwona barwa pomaga im ukrywać się przed drapieżnikami.

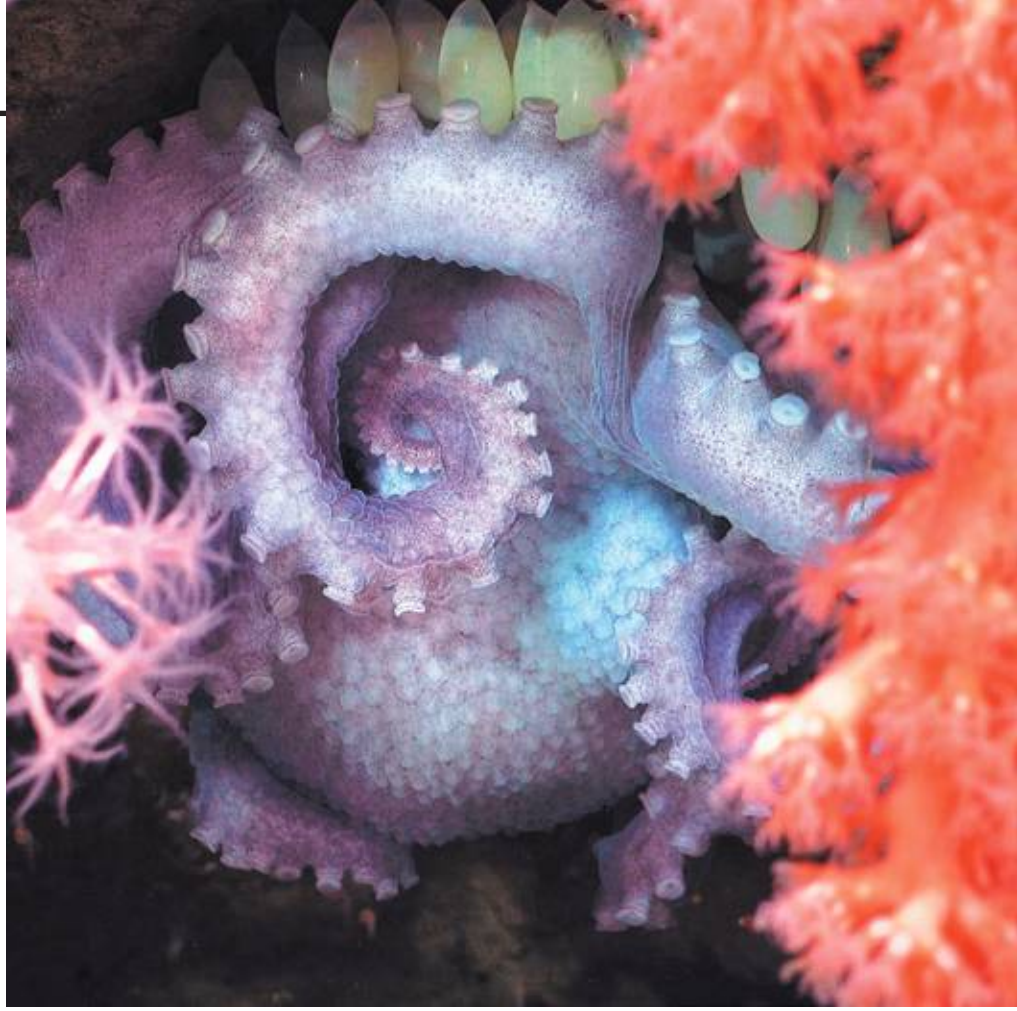
Naukowcy zebrali kilka okazów, by zbadać je w laboratoriach i potwierdzić, czy rzeczywiście należą do nieznanych nauce gatunków. „Jednym ze sposobów potwierdzenia jest tzw. barcoding – sekwencjonowanie fragmentu mitochondrialnego DNA" – tłumaczy Mike Vecchione, zoolog z amerykańskiej National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), który nie brał udziału w ekspedycji. Proces ten może jednak zająć lata, a niektóre gatunki zostały już wprawdzie opisane, lecz nieprzebadane genetycznie.

„Odkrycie wielu potencjalnie nowych gatunków w tak krótkim czasie nie jest niczym niezwykłym w badaniach głębin – mówi Flores – właśnie dlatego, że te ekosystemy są wciąż bardzo słabo poznane."

Ashley Balzer Vigil

ROV SuBastian/Schmidt Ocean Institute

eprasa.pl 69ff3c2d5f



ARCHEOLOGIA

Gniazda – kapsuły czasu

W starych gniazdach orłosępów archeolodzy odnajdują ślady ludzkiej historii

But z trawy sprzed ponad 600 lat

OKAZUJE SIĘ, że orłosęp brodaty (*Gypaetus barbatus*) – znany również pod hiszpańską nazwą quebrantahuesos, czyli „łamacz kości" – nie jest tylko padlinożercą. To również zapalony kolekcjoner ludzkich przedmiotów.

To jego niezwykłe upodobanie przyniosło badaczom z południowej Hiszpanii wyjątkowy dar: „kapsuły czasu" ludzkiej aktywności, sięgające ponad 600 lat wstecz, ukryte w niedostępnych jaskiniach lęgowych orłosępów na stromych klifach. Ptaki te często używają tych samych miejsc lęgowych przez wiele pokoleń.

Przesiewając warstwy złożone z pancerzyków jaj, patyków i pogruchotanych kości, naukowcy natrafili na bogactwo doskonale zachowanych artefaktów historycznych – wśród nich bełt do kuszy, fragment procy oraz skrawek skóry z czerwonymi zdobieniami, który archeolodzy określili jako mogący być „bardzo osobliwą maską".

Orłosępy wydają się mieć szczególne upodobanie do obuwia – podczas wykopalisk w górnych warstwach 12 gniazd znaleziono aż 25 butów wyplecionych z ostnicy mocnej (*Stipa tenacissima*), zwanej również trawą (ostnicą) esparto.

Dzięki niskiemu poziomowi wilgoci i ochronie przed czynnikami atmosferycznymi, te klifowe groty stanowią idealne środowisko do zachowania śladów ludzkiej historii i dawnych warunków środowiskowych. „To najbardziej niedostępne miejsca, jakie można sobie wyobrazić" – mówi Sergio Couto, biolog z Universidad de Granada i współautor badania, opublikowanego niedawno w czasopiśmie „Ecology". „Nie da się tam dotrzeć, jeśli nie potrafi się latać." (W przypadku naukowców pozostaje tylko zjazd na linach z urwiska).

To dopiero początek – podkreśla Ana Marín-Arroyo, profesor prehistorii z Universidad de Cantabria i współautorka pracy. „Jeśli górne warstwy pochodzą z XIII wieku, to dolne będą jeszcze starsze. Jak stare? – być może nawet bardzo."

Orłosępy brodate zamieszkują Półwysep Iberyjski od co najmniej 29 tys. lat – świadczą o tym skamieniałe odchody zawierające rozpuszczone przez kwasy kości, odnalezione na terenach dzisiejszej Portugalii. Tam właśnie ptaki te żyły obok ludzkich łowców-zbieraczy.

Montserrat Sanz, archeolożka z Universitat de Barcelona, która współodkryła portugalskie skamieniałości, mówi, że odkrycia hiszpańskiego zespołu są „naprawdę zaskakujące" i prawdopodobnie wywołają falę dalszych badań.

Potencjalnych „kapsuł czasu" jest mnóstwo – zasięg orłosępów rozciąga się od Tybetu po Tanzanię, a ptaki te niezwykle chętnie budują gniazda. Podczas gdy inne sępy budują gniazdo w dwa tygodnie, zanim złożą jaja, orłosępy budują co roku dwa lub trzy gniazda, po czym wybierają jedno, w którym potem wychowują pisklęta.

Budowa takiego gniazda wymaga ogromnej ilości materiału – niektóre gniazda mają ponad 1,8 m średnicy. I podobnie jak sępy używają wełny owiec górskich jako izolacji, tak orłosępy chętnie sięgają po materiały z ludzkiego otoczenia. „Przypominają nam, jak łatwo zapominamy, że jesteśmy częścią ekosystemu" – mówi Sanz.

Jak się okazuje, wszędzie tam, gdzie ludzie i sepy żyją obok siebie, pewne historie lubią się powtarzać. W tym samym miesiącu, w którym opublikowano artykuł, w jednym ze sklepów w Katalonii pojawił się niespodziewany klient: młody orłosęp, który porwał z półki kilka par espadryli. *Elizabeth Anne Brown*

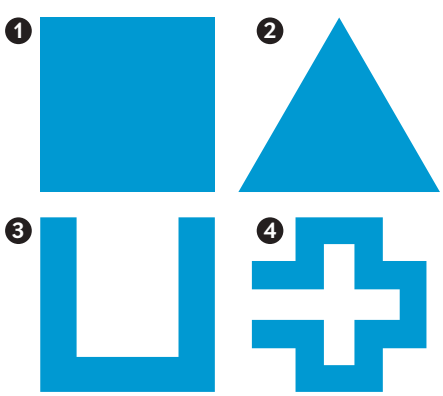
ZAGADKA MATEMATYCZNA

Co nie spadnie?

Emma R. Hasson

Okrągły kształt większości pokryw studzienek kanalizacyjnych bywa uzasadniany tym, że koło nie może spaść przez kolisty otwór o nieco mniejszej średnicy.

Który z dwuwymiarowych obiektów na rysunku **nie spadnie** przez minimalnie mniejszy otwór o takim samym kształcie?



Trudniejszy problem: spróbuj znaleźć płaski obiekt o innym kształcie, spełniający podany warunek.

Rozwiązanie na stronie 75.

Lucia Agudo Perez (*artefakt*); Amanda Montañez (*zagadka matematyczna*)

eprasa.pl 69ff3c2d5f

POSZERZAMY HORYZONTY

Już w sprzedaży w punktach z prasą

Numer 1/2026
KUP TERAZ

Bieżące wydanie możecie kupić także we wszystkich sklepach sieci Lidl.

Prenumerata cyfrowa:
projektpulsar.pl

Prenumerata papierowa:
sklep.polityka.pl/wiz

eprasa.pl 69ff3c2d5f

Nowe spojrzenie na CO_2

Najważniejsza, ale i najmniej zrozumiała cząsteczka na Ziemi

LEE BILLINGS

Kiedy mówimy o dwutlenku węgla, narracja zwykle przypomina współczesny moralitet. Słyszymy o gigatonach emisji CO_2, o rozgrzewającej się Ziemi i o złowrogich, a puszczanych mimo uszu ostrzeżeniach klimatologów. W tych opowieściach dwutlenek węgla często jawi się nie tyle jako niema, zwykła cząsteczka chemiczna, ile jako swego rodzaju podstępny złoczyńca – złowroga siła, która od wieków knuje, by siać spustoszenie na naszej planecie i rujnować nasze życie.

Jednak zdaniem dziennikarza naukowego Petera Brannena ta ponura wizja jest zdecydowanie przesadzona. W swojej najnowszej książce *The Story of CO_2 Is the Story of Everything* (*Historia CO_2 to historia wszystkiego*, Ecco 2025) przedstawia nowe spojrzenie na ten ukazywany w krzywym zwierciadle i być może najbardziej niezrozumiały związek na Ziemi.

Mając za sobą wiele inspirujących i wzbogacających dyskusji z czołowymi planetologami, Brannen z pasją dowodzi, że CO_2 to nieporównanie więcej niż tylko zanieczyszczenie przemysłowe, to raczej kluczowy gracz w trwającej cztery miliardy lat epopei życia na Ziemi. To cząsteczka, która zbudowała naszą planetę i uruchomiła globalny obieg węgla regulujący klimat, kształtujący geologię i napędzający przez eony ewolucję. Pokazuje, jak rosnące lub malejące stężenie CO_2 w atmosferze wpływało w ciągu całej historii naszej planety na niemal wszystko, co na niej się działo się – od najwcześniejszych etapów życia po rozwój ludzkiej cywilizacji i globalnego systemu gospodarczego. Brannen dowodzi, że zrozumienie CO_2, od najdawniejszych czasów do współczesności, pozwala zrozumieć samą istotę funkcjonowania naszego świata.

„Scientific American" rozmawiał z Peterem Brannenem o jego nowej książce, o tym, jak doszedł on do wniosku, że ten niepozorny gaz jest głównym autorem i aktorem planetarnego dramatu, i co długa historia CO_2 może nam powiedzieć o naszej niepewnej teraźniejszości – i trudnej do przewidzenia przyszłości.

Poniżej zredagowany zapis tego wywiadu.

Na początek standardowe pytanie: jak powstała ta książka?

Moja poprzednia, *The Ends of the World* [*Końce świata,* ukazała się w 2017 roku], opowiadała o pięciu największych wymieraniach znanych z historii Ziemi. Paleontolodzy przyjrzeli się tym wydarzeniom i odkryli – tak, to już niemal banalna prawda – że najmłodsze z nich, to z końca okresu kredowego, sprzed 66 mln lat, które doprowadziło do zagłady dinozaurów, było skutkiem upadku na Ziemię dużego okruchu skalnego. Niewiele jednak wskazuje, by również pozostałe katastrofy były związane z uderzeniami planetoid lub komet. Cała pozostała czwórka – wielkie wymierania z końca ordowiku, dewonu, permu i triasu – a także dziesiątki innych mniejszych katastrof, wiążą się z istotnymi wydarzeniami biogeochemicznymi, zazwyczaj obejmującymi znaczące skoki stężenia CO_2 w atmosferze. Następstwem tych ogromnych zmian jego poziomu było zawsze intensywne globalne ocieplenie, zakwaszenie oceanów i wszystkie inne nieprzyjemne skutki zmian klimatu, którymi dziś słusznie tak bardzo się niepokoimy.

Wygląda na to, że eksperyment, który obecnie fundujemy naszej planecie, spalając paliwa kopalne, niezbyt odbiega od tych prawdziwie zabójczych ogólnoplanetarnych zdarzeń, jakie miały miejsce w odległej przeszłości Ziemi.

Ale w trakcie zbierania materiałów do tej książki zdałem sobie sprawę – nie jestem w tym zresztą odosobniony! – że opowieść o CO_2 jest znacznie bogatsza i barwniejsza, bo nie jest to tylko jeden z licznych przemysłowych produktów ubocznych, które wydobywają się z dymiących kominów lub puszek po aerozolach, takich jak metylortęć czy chlorofluorowęglowodory. Ta cząsteczka jest zasadniczo, chciałoby się powiedzieć – cudownie – odmienna. Życie na Ziemi – to, co naukowcy nazywają

Lee Billings jest starszym redaktorem „Scientific American" zajmującym się kosmosem i fizyką.

Ilustracja Shideh Ghandeharizadeh

eprasa.pl 69ff3c2d5f

biosferą* – opiera się na węglu, a źródłem tego węgla jest właśnie CO_2. Kiedy wielkie ilości dwutlenku węgla nagle dostają się do atmosfery, powoduje to złowrogie skutki, ale w „normalnych" czasach, krążąc między biosferą, powietrzem, skałami i oceanami (to tzw. globalny obieg węgla), gaz ten jest kluczowym czynnikiem, dzięki któremu Ziemia jest planetą wyjątkową, stwarzającą warunki do istnienia życia.

Gdyby w atmosferze nagle zabrakło całego CO_2, doszłoby do gwałtownego spadku temperatury. Niedługo potem lodowce rozprzestrzeniłyby się aż do tropików, zamarzłyby oceany, a większość biosfery uległaby zagładzie w następstwie powstania czegoś, co nazwano „Ziemią śnieżką" lub ziemską kulą śniegową.

Tak więc CO_2 w atmosferze jest absolutnie kluczowe i niezbędne, ale może być go zdecydowanie za dużo lub zbyt mało, i wielkości te podlegały w dziejach Ziemi znacznym wahaniom.

Jedną z rzeczy, które podobają mi się w Pana książce, jest sposób, w jaki traktuje Pan ludzi, czy raczej ludzkość, jako istotną część tego znacznie większego obrazu. Czy mógłby Pan nam to przybliżyć?

Jasne. I dziękuję za to pytanie. Chodzi o to, że aby naprawdę zrozumieć historię życia na Ziemi, a także to, co dzieje się obecnie w związku ze zmianami klimatu, trzeba zrozumieć globalny obieg węgla, o którym wspomniałem, bo życie jest z nim ściśle związane. W dalszej części książki staram się pokazać, jak całą historię ludzkości można postrzegać przez ten pryzmat – można na przykład spojrzeć na społeczeństwa i imperia z punktu widzenia przepływu węgla w biosferze. Okazuje się, że sposób, w jaki nasze społeczeństwo i polityka rozwijały się w ciągu ostatnich kilku stuleci, jest ściśle powiązany z takimi zjawiskami i procesami z odległej i bliskiej przeszłości, jak gromadzenie się węgla w skałach Appalachów i jego późniejsza eksploatacja, czy wzbogacenie pierwotnie beztlenowej atmosfery w tlen. Dostrzeżenie tych powiązań może pomóc wyjaśnić, jak do tego doszło, że ludzie stali się potężną geomorfologiczną siłą naszej planety – i jak dziwny i ważny może być ten moment w historii Ziemi.

To, co jest tak niezwykłe w naszej obecnej sytuacji, to fakt, że jeden gatunek na końcu jednej gałęzi gigantycznego drzewa życia odkrył nagle ten ogromny, prastary, podziemny rezerwuar węgla, który powstał z dawnego życia – i postanowił go podpalić. A ta reakcja chemiczna – spalanie bogatej w węgiel materii organicznej, w wyniku czego powstaje CO_2 i uwalnia się energia – jest w istocie tym samym, czego całe życie tlenowe, wszystkie zwierzęta i rośliny używają do napędzania swojego metabolizmu na poziomie komórkowym. Po prostu jest to koszmarna, upiorna wersja tego samego – spalamy cały przerobiony przez życie węgiel zalegający pod naszymi stopami. W pewnym sensie przywołaliśmy te planetarne siły, wskrzeszając pogrzebane duchy wszelkiego życia, które kiedykolwiek istniało, sprowadzając je z powrotem, wszystkie naraz, na powierzchnię Ziemi.

Tak naprawdę to nie jest książka o chemii, ale muszę dodać, że jedynym sposobem, aby to wszystko jakoś działało, jest zapewnienie dużej ilości wolnego tlenu w atmosferze, który reaguje z węglem. Powietrze, którym dziś oddychamy, zawiera ponad 20% wolnego tlenu, co jest o tyle interesujące, że przez większość historii Ziemi było go w powietrzu znacznie mniej. Okazuje się, że wzrost zawartości tlenu w atmosferze nie jest ot tak konsekwencją wynalezienia fotosyntezy przez niektóre mikroorganizmy przed kilku miliardami lat. By tlen mógł nieprzerwanie gromadzić się w powietrzu przez setki milionów lat, węgiel musiał być stale usuwany z powierzchni Ziemi, zagrzebywany w skałach i osadach głębinowych wraz z masami martwych roślin i glonów; w przeciwnym razie oba te pierwiastki wchodziłyby ze sobą w reakcję, co wiązałoby wolny tlen. Dopiero gdy cały węgiel zostanie odizolowany w skorupie ziemskiej, tlen zyskuje możliwość gromadzenia się w powietrzu. Masy dawnych szczątków roślinnych uwięzione w skorupie ziemskiej, zwłaszcza w tych miejscach, gdzie można je w opłacalny sposób eksploatować, znane są lepiej pod nazwą paliw kopalnych. Jestem pewien, że mało kto wie, że może dziś swobodnie oddychać tylko dlatego, że pod naszymi stopami znajdują się zasoby paliw kopalnych.

Wyobraźnia podsuwa mi obraz interakcji między węglem w skorupie ziemskiej a tlenem w powietrzu jako swoistej ogromnej baterii planetarnej, w której dwie części Ziemi – bardzo reaktywna, utleniająca atmosfera i bardzo zredukowana materia organiczna pod powierzchnią – pozostają w stanie nierównowagi, co skutkuje ogromnym potencjałem energii. I nagle pośrodku tych dwóch rezerwuarów pojawia się dziwna istota, która wykradła ogień i w ciągu kilku ostatnich stuleci nauczyła się ponownie łączyć te rozdzielone pierwiastki, aby pozyskiwać tkwiącą w nich energię. Mówimy więc o niemal natychmiastowym rozładowaniu tej wielkiej planetarnej baterii, której tworzenie trwało tak długi czas.

Powiada Pan, że wszyscy jesteśmy ognistymi chochlikami tańczącymi na granicy tych dwóch zbiorników – bogatej w tlen powierzchni Ziemi i obfitujących w węgiel obszarów poniżej. A rozwój naszej cywilizacji sprowadza się do tego, że stajemy się coraz lepsi w rozładowywaniu ziemskiej baterii, rozpraszając całą potencjalną energię ponad tą barierą.

No tak, tak to właśnie wygląda. Spróbujmy sobie wyobrazić, jak kosmici mogliby to postrzegać, opisując, co tak naprawdę robią różne organizmy na Ziemi. Prawdopodobnie zauważyliby takie rzeczy, jak bakterie nitryfikacyjne, czyli organizmy, które pobierają azot z atmosfery, aby nawozić resztę biosfery. Ale zauważyliby też, że istnieje jedno niezwykłe stworzenie, które po prostu przenosi cały węgiel z wnętrza skorupy ziemskiej do atmosfery – i tymi ognistymi chochlikami jesteśmy oczywiście my.

Ale musimy zachować ostrożność: mówiąc o tym w ten sposób, wywołujemy wrażenie, że to, co robimy, to po prostu naturalny i nieunikniony proces, a nie wydaje mi się, by tak było naprawdę. Wszystko to wyrosło w ramach jednej konkretnej części ludzkiej populacji, w określonym miejscu i czasie, i było następstwem takich wynalazków, jak maszyna parowa i rozwój kapitalizmu. To, co robimy dzisiaj, jest pod pewnymi względami skrajnie nienaturalne, ale zarazem dziwnie znajome: wszystkie żywe organizmy poszukują, znajdują i rozpraszają darmową energię, aby utrzymać się przy życiu i osiągać swoje cele. Nasza cywilizacja robi w gruncie rzeczy to samo, ale na niewyobrażalnie większą skalę, ponieważ całkiem niedawno odkryła największe źródło darmowej energii, jakie kiedykolwiek istniało na Ziemi. →

* Autor używa tu pojęcia biosfera w znaczeniu sumy wszystkich żywych organizmów. W geologii jednak termin ten stosowany jest raczej w odniesieniu do tej części planety, która zajęta jest przez życie lub pozostaje pod jego wpływem, a więc jako „sfera", podobnie jak litosfera – sfera skał, hydrosfera – sfera wody, czy atmosfera – sfera powietrza, z którymi to „sferami" biosfera zresztą się przenika.

eprasa.pl 69ff3c2d5f

Życie na Ziemi – to, co naukowcy nazywają biosferą – opiera się na węglu, a źródłem tego węgla jest CO_2.

Jak Pan sądzi, co się stanie dalej? Czy historia Ziemi daje nam jakieś podpowiedzi? Czy jesteśmy skazani na wywołanie kolejnego wielkiego wymierania ze wszystkimi tego przykrymi konsekwencjami, czy też istnieje jakieś wyjście? Łatwo pytać, wiem.

Historia Ziemi mówi nam, że spalanie paliw kopalnych nie jest zrównoważone w skali czasu geologicznego. Nie ma wystarczających rezerw paliw kopalnych, aby utrzymać nasze trwanie nieskończenie długo, a jeśli spalimy wszystko, co jest dostępne, obieg węgla ustanie, co będzie prowadzić do katastrofy. Dzisiejsza era paliw kopalnych wygląda na eksplozję; to nie może trwać wiecznie. Jeśli więc chcemy uniknąć tragicznego końca, musimy bardzo szybko znaleźć inne równie wydajne źródło energii, które zdoła zapewnić nam przetrwanie.

Pocieszające jest to, że debata publiczna, w przeważającej mierze, nie dotyczy już podstawowych kwestii naukowych. Tych nikt już nie kwestionuje. Dyskusji podlegają inne sprawy – jak bardzo złożony i jak ściśle powiązany jest globalny system obiegu węgla i jakie miejsce zajmuje w nim człowiek, jaki jest jego związek z polityką i gospodarką i jaki wpływ na niego wywieramy lub możemy wywierać.

Aby zrozumieć przyszłość i to, co może się wydarzyć, musimy nie tylko rozpoznać takie kwestie, jak reakcja wiecznej zmarzliny na globalne ocieplenie czy zdolność oceanów do pochłaniania dwutlenku węgla, ale także zrozumieć jaką rolę pełnią ludzie w przebiegu tych naturalnych systemów. Dlatego uważam, że badanie i przekazywanie wiedzy na temat zmian klimatycznych to najważniejsze i najbardziej interdyscyplinarne działania, jakie powinniśmy dziś podjąć. Nie da się bowiem oddzielić trudnych i często drażliwych kwestii dotyczących sposobów organizacji społeczeństw i alokacji naszych zasobów od bardziej globalnych pytań związanych z funkcjonowaniem planety. Zmiany klimatu są tak istotne i wszechogarniające, że każdy z nas powinien zająć się jakimś konkretnym ich wycinkiem. Ze swej strony myślę, że moją rolą jest jak najlepiej je przedstawić, pokazać jak ważny i nurtujący jest to problem.

Wspomniał Pan, że nauka jest już ustalona i oczywiście się z tym zgadzam. Ale negacjonizm klimatyczny wciąż kwitnie, często kryjąc się pod niewinnie brzmiącymi zapewnieniami o zwykłym „zadawaniu pytań" o istniejące wciąż wątpliwości wśród naukowców. Bywa to dość podstępne – zwłaszcza gdy dyskusje dotyczą procesów toczących się w różnych zakresach czasu geologicznego. Pisze Pan na przykład w swojej książce o anonimowym, inteligentnym i bystrym znajomym laiku, który słusznie zauważył, że obecny poziom CO_2 w atmosferze jest niższy niż przez większość historii Ziemi, a kilka dziesiątków milionów lat temu był dramatycznie wyższy niż obecnie. Czy nie jest to ten rodzaj „punktu zaczepienia", który łatwo wykorzystać do minimalizowania i ignorowania współczesnych obaw dotyczących zmiany klimatu? Czy nie obawia się Pan, że ta bardzo racjonalnie brzmiąca idea przedstawienia „szerokiego obrazu" naszej obecnej sytuacji w kontekście całej historii Ziemi może prowadzić na manowce?

Ta wspomniana wymiana zdań dotyczyła głównie okresu zwanego wczesnym eocenem, sprzed około 50 mln lat, kiedy to stężenie CO_2 w atmosferze wynosiło około 1000 części na milion, Ziemia była cieplejsza o około 12°C – a biosfera i tak świetnie sobie radziła. Tyle, że łączenie tego faktu z naszą obecną sytuacją nie świadczy o zrozumieniu znaczenia ani znajomości głębokiego czasu geologicznego – wręcz przeciwnie.

To prawda, 50 mln lat temu stężenie CO_2 było znacznie wyższe niż obecnie, w Arktyce przechadzały się krokodyle i rosły palmy, a życie było całkiem szczęśliwe. Ale jeśli nieco bliżej przyjrzeć się temu argumentowi, straci on sens, bo przez ostatnie kilka milionów lat żyliśmy na planecie, która charakteryzowała się nietypowo niskim poziomem CO_2 w atmosferze. Zanim to nastąpiło, przechodziliśmy okres powolnego i długotrwałego obniżania się stężenia CO_2 i temperatury, a więc przejścia od „szklarniowego" świata epoki dinozaurów. Od szklarni do lodówki – a to oznacza, że większość biosfery jest dziś przystosowana do zupełnie innego, lodowcowego, świata. Technicznie rzecz biorąc, nadal żyjemy w epoce lodowej, bo wciąż na biegunach mamy czapy lodowe. I żyjemy na planecie, która jest obecnie poszatkowana granicami państwowymi i ma ponad 8 mld ludzi zależnych od upraw rolnych związanych w określonych miejscach z konkretną pogodą i klimatem. Jeśli więc odwrócimy teraz utrwalone przez miliony lat tendencje i w ciągu zaledwie jednego lub dwóch stuleci osiągniemy eoceński poziom CO_2 w atmosferze, możemy znów znaleźć się w świecie, w którym krokodyle będą się czuć komfortowo w Arktyce. Ktokolwiek sądzi, że nasza globalna cywilizacja spokojnie wytrzyma ten szok, ma znacznie więcej wiary w ludzkość niż ja.

Istnieją precedensy w zapisie geologicznym dla tego, co dzieje się teraz – i patrzenie na nie przeraża. Na przykład wydaje nam się normalne, że mamy cały kontynent, Antarktydę, pokryty grubą na kilka kilometrów czapą lodową. Ale w historii Ziemi to coś bardzo nietypowego. By znaleźć przykład czegoś podobnego, należałoby cofnąć się w czasie do ordowiku, kiedy też istniały całe kontynenty pokryte lądolodami, które następnie – wraz z nastaniem ziemskiej szklarni – nagle zanikły. Skończyło się to wielkim wymieraniem. A było to 445 mln lat temu, zanim jeszcze na naszej planecie pojawiły się pierwsze drzewa. To zupełnie obcy świat!

Albo przyjrzyjmy się, ile i jak szybko wprowadzamy CO_2 do atmosfery. Wielkie wymieranie permskie, największe, jakie znamy, wiązało się z potężnymi erupcjami wulkanicznymi, które wprowadziły do atmosfery więcej CO_2, niż bylibyśmy w stanie to zrobić, gdyby udało nam się spalić wszystkie dostępne paliwa kopalne. To zakłóciło obieg węgla w przyrodzie i zaburzyło klimat na całej Ziemi. I znów – skończyło się potężnym efektem cieplarnianym i wymieraniem biosfery na niespotykaną nigdy wcześniej i potem skalę.

Można pomyśleć: nie jest źle, skoro nie możemy uwolnić tyle CO_2, ile wszystkie wulkany w tamtych czasach, nawet gdybyśmy próbowali. Z tym że nie chodzi tylko o ilość uwolnionego CO_2, ale i tempo tych procesów. Te erupcje trwały przez dziesiątki tysięcy lat. Dziś, na ile możemy to wyliczyć, emitujemy CO_2 10 razy szybciej niż w okresie poprzedzającym permskie superwymieranie. To, co się obecnie dzieje, nie ma precedensu w całej historii

eprasa.pl 69ff3c2d5f

Ziemi – wkraczamy na zupełnie nieznane terytorium. Nie znaczy to, że jesteśmy skazani na apokalipsę dorównującą wydarzeniom z końca permu, ale na pewno przyszłość nie rysuje się w różowych barwach.

Skoro już jesteśmy przy przyszłości, czy jest Pan bardziej optymistą, czy pesymistą – i jak Pana zdaniem moglibyśmy kiedykolwiek dojść do tego, że nie spalamy już paliw kopalnych?

Można mi wierzyć lub nie, ale mój pesymizm jest teraz mniejszy niż wtedy, gdy zaczynałem pisać tę książkę w 2020 roku; wiele się zmieniło w ciągu ostatnich pięciu lat. W ostatnich czasach zacząłem bardziej doceniać niezwykle postępy, jakie dokonują się w dziedzinie energii słonecznej. Staje się ona zadziwiająco tania, a Chiny i wiele krajów rozwijających się stawiają na energię słoneczną i samochody elektryczne, a nie na paliwa kopalne, z jednego powodu: to po prostu lepsza i tańsza technologia. Z energią słoneczną nie wiążą się te wszystkie ponure konsekwencje geopolityczne, jakie rodzi energia jądrowa czy paliwa kopalne. Jasne, wciąż istnieją problemy, takie jak na przykład łańcuchy dostaw metali ziem rzadkich. Ale niezaprzeczalnym faktem jest też, że mamy na niebie reaktor jądrowy zwany Słońcem, który po prostu emituje darmową energię, z której wszyscy możemy korzystać.

Możemy sobie łatwo wyobrazić, jak dzięki energii słonecznej pożegnamy się z paliwami kopalnymi, podobnie jak nie tak dawno dzięki paliwom kopalnym pożegnaliśmy świat napędzany siłą końskich mięśni. Prosta ekonomia: łatwiej i taniej było kupić benzynę i zatankować nią traktor – a może raczej wydobyć z ziemi cały ocean łatwopalnej ropy naftowej – niż utrzymywać w stajniach niezliczone zastępy koni. I to właśnie może nas czekać – energia słoneczna stanie się tańsza i łatwiejsza w użyciu i wyprze paliwa kopalne w większości dziedzin.

Co powiedziawszy, nie uważam – jak często można usłyszeć – że w kwestiach klimatycznych powinniśmy unikać popadania w zbyt alarmistyczne tony. Myślę, że takie panikowanie ma swoje pozytywne strony, łatwo bowiem popaść w samozadowolenie, oglądając na przykład wykresy pokazujące niezwykły postęp w dziedzinie wykorzystania energii słonecznej i wnioskując na tej podstawie, że jesteśmy już na dobrej drodze i nieuchronnie zmierzamy w kierunku nowego, lepszego świata. To może być gruby błąd i bez skoordynowanej akcji politycznej na rzecz ograniczenia konsumpcji paliw kopalnych nasz optymizm może okazać się płonny.

Dobrze, że wspomniał Pan o tym, jak wiele zmieniło się w ciągu ostatnich pięciu lat w zakresie energii niskoemisyjnej i dlaczego mogą istnieć powody do optymizmu. Ale, żeby, jak Pan mówi, nie popadać w samozadowolenie, jak poradzić sobie z rozwojem sztucznej inteligencji, której centra danych i moce obliczeniowe wymagają ogromnych ilości energii?

Nie jestem zbyt mocny w tych sprawach, ale wszystkie te firmy zajmujące się sztuczną inteligencją przepalają miliardy dolarów i nie generują w wielu dziedzinach potężnych zysków, choć w innych, takich jak choćby biotechnologia, są niezwykle przydatne, potrafiąc skrócić trwające kiedyś rok badania do zaledwie kilku godzin. Ale wszyscy istotnie zdają się bagatelizować fakt, że do zasilania tych urządzeń trzeba ogromnych mocy, na przykład budowy reaktorów jądrowych, a to jest bardzo kosztowne. Wydaje mi się, że może się to skończyć podobnie, jak z bańką technologiczną z lat 2000. – pojawi się trochę naprawdę wyjątkowych, wręcz przełomowych aplikacji, ale większość projektów upadnie, bo nie da się bezkarnie tracić miliardów dolarów, zmagając zarazem ze stale rosnącym zapotrzebowaniem na energię. Dlatego sądzę, że sytuacja dojrzała do radykalnej zmiany.

Stany Zjednoczone ledwo radzą sobie z obecną siecią energetyczną, trudno więc marzyć o jej całkowitej przebudowie, by zyskać dwukrotnie większą moc. Jak to jest z wieloma innymi rzeczami, w pewnym momencie boom na sztuczną inteligencję napotka ograniczenia, które zderzą się z polityką, gospodarką lub fizyką. Mój optymizm tutaj się kończy. Wprawdzie byłoby wspaniale, gdyby okoliczności spowodowały jakiś przełom energetyczny, ponieważ, jak wiadomo, potrzeba jest matką wynalazków. Nie sądzę jednak, byśmy w krótkim czasie zdołali osiągnąć coś takiego, jak energię z kontrolowanej syntezy termojądrowej, nawet korzystając ze sztucznej inteligencji.

Rozmawialiśmy wcześniej o problemie głębokiego czasu geologicznego i o tym, jak nasza niezdolność do jego właściwego zrozumienia nie pozwala nam dostrzec, co tak naprawdę robimy naszej planecie. A to skłania mnie do pytania, jak Pan, po napisaniu dwóch książek na podobne tematy, patrzy teraz na te sprawy? Jak zmieniła Pana myślenie ta intelektualna podróż?

Mieszkam w Massachusetts, gdzie trudniej dostrzec ten geologiczny aspekt spraw. Ale gdy jadę na zachód i patrzę na jakąś skalną ścianę, gdzie zapisały się dziesiątki milionów lat historii – od dna oceanu, przez lagunę, koryto rzeki, pustynię i z powrotem na dno oceanu – to trudno nie odczuwać pokory. Co znaczy twoje życie wobec tego majestatu głębokiego czasu? Można w tym nawet znaleźć pocieszenie; zważywszy jak bardzo rzeczywistość wymyka nam się spod kontroli i jak bardzo się zatracamy, przeglądając media społecznościowe i śledząc wiadomości, możemy znaleźć ukojenie w kontemplacji czasu mierzonego milionami, a nawet miliardami lat. Wiedząc, że w historii Ziemi zdarzyło się tak wiele chaotycznych i wręcz apokaliptycznych rozdziałów, znajduję pewne pocieszenie w fakcie, że za milion lat wszystko jakoś się ułoży.

Lecz przecież głęboki czas nie ma w istocie żadnego bezpośredniego związku z naszym codziennym życiem. Nie żyjemy w czasie geologicznym i możemy troszczyć się tylko o to, co jest tu i teraz. Nasze osobiste relacje i ludzie, których kochamy – to jest dla nas najważniejsze. Nie będę ukrywał – miałem z tym problem. Kiedy pisałem pierwszą książkę, zmarła moja mama i jej brak nie dawał mi spokoju, choć w tym samym czasie zyskiwałem tę nową, kosmiczną perspektywę spojrzenia na Ziemię i nasze na niej miejsce. Nigdy do końca nie udało mi się pogodzić tych dwóch perspektyw – osobistego doświadczenia i tej głębszej, kosmicznej przynależności.

Pozostaje nam wrócić do kontemplacji piękna naszego wspólnego świata. Jesteśmy częścią wspaniałego korowodu życia i w tym tkwi całe piękno. Myślę o mojej mamie i o niezliczonych zastępach matek i ich dzieci, które w ciągu całej historii Ziemi obdarzały się miłością. Kiedy patrzę na odciski stóp dinozaurów, które zarejestrowały scenę sprzed, powiedzmy, 93 871 252 lat, scenę, w której dinozaurowa matka i jej dziecko tańczyły razem na piaszczystej równinie, odczuwam całe piękno tej chwili. A przecież to tylko jedna z niezliczonych chwil, które cudem utrwaliły się w zapisie kopalnym. To prawdziwy zaszczyt być świadkiem tego zdarzenia i zarazem poczuć się maleńką częścią o wiele większej historii. ■

eprasa.pl 69ff3c2d5f

Czarne dziury, takie jak ta pokazana na ilustracji, pochłaniają ogromne ilości materii i mogą uzyskać zadziwiająco wielką masę.

Pitris/Getty Images

Jak duże mogą być czarne dziury?

Być może istnieje górny limit dla ich mas

PHIL PLAIT

NA POCZĄTKU lat 60. ubiegłego wieku astronomowie odkryli potwora.

Jakiś obiekt w gwiazdozbiorze Panny emitował fale radiowe, ale początkowo nie dostrzeżono żadnego odpowiednika w zakresie promieniowania widzialnego. Po długich wysiłkach badaczy sytuacja uległa zmianie, gdyż obserwatorzy wypatrzyli słabą niebieską „gwiazdę" znajdującą się dokładnie w miejscu źródła fal radiowych. Ostatecznie udało im się ustalić, że obiekt ten, nazwany 3C 273, nie jest wcale gwiazdą, ale czymś znacznie dziwniejszym, leżącym w odległości aż 2 mld lat świetlnych od Ziemi.

Aby można go było dostrzec z tak ogromnej odległości, ten „obiekt quasi-gwiazdowy" (quasi-stellar object, czyli kwazar) musi być niezwykle jasny. Naukowcy ostatecznie uznali, że najbardziej prawdopodobnym źródłem niesamowitej jasności 3C 273 jest czarna dziura rezydująca w centrum odległej galaktyki. Nie jest to jednak zwykła czarna dziura, ale obiekt o ogromnych rozmiarach, którego masa jest prawdopodobnie 900 mln razy większa od masy naszego Słońca.

Od tamtej pory odkryliśmy wiele innych takich supermasywnych czarnych dziur. W latach 80. astronomowie zaczęli podejrzewać, że każda duża galaktyka ma w swoim centrum supermasywną czarną dziurę. Dzięki obserwacjom przeprowadzonym z użyciem m.in Kosmicznego Teleskopu Hubble'a wiemy teraz, że jest to prawda – co oznacza, że w obserwowalnym Wszechświecie może istnieć nawet bilion takich gigantów.

A określenie „supermasywna" jest jak najbardziej trafne. Wiele z tych obiektów

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

eprasa.pl 69ff3c2d5f

ma masę miliard razy większą od masy Słońca, zaś największe z nich mogą być jeszcze cięższe. Z tego faktu wynika naturalne pytanie: jak duże mogą one być?

Odpowiedź nie jest jednak prosta. Teoretyczna górna granica mogłaby wynikać z pomiarów masy wielu czarnych dziur, ale takie obserwacje są trudne i często opierają się na dowodach pośrednich i niepełnym uwzględnieniu wszystkich zjawisk fizycznych. Jeśli wziąć to wszystko pod uwagę, wydaje się, że największe czarne dziury osiągają masę około kilkudziesięciu miliardów mas Słońca – to tyle, ile waży niewielka galaktyka! Znanych jest tylko kilka takich ultraciężkich obiektów, ale niepewność wyznaczenia ich masy może być dość duża.

Czy jest jednak możliwe, że niektóre z nich mogą być jeszcze większe? W końcu czarna dziura może w zasadzie rozrastać się bez końca, ponieważ obiekty te zyskują masę, pochłaniając wszystko, co znajdzie się zbyt blisko nich. Jeśli w jakiś sposób można by było zaoferować czarnej dziurze cały Wszechświat, z radością by go skonsumowała.

Oczywiście, umieszczenie całego Wszechświata na talerzu czarnej dziury nie jest realistyczne. Według badań opublikowanych w 2015 roku w czasopiśmie „Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters" w warunkach fizycznie możliwych (choć mało prawdopodobnych), teoretyczna górna granica dla żerującej, rosnącej czarnej dziury powinna wynosić aż 270 mld mas Słońca. Bardziej prawdopodobne jest jednak to, że największa czarna dziura, jaką kiedykolwiek znajdziemy, będzie miała masę zbliżoną zaledwie do 50 mld mas naszej gwiazdy.

Różnica wynika z faktu, że obiekt, aby został pochłonięty przez czarną dziurę, musi się znaleźć wystarczająco blisko. Nawet największe czarne dziury mają średnicę zaledwie kilkudziesięciu miliardów kilometrów – czyli podobną do rozmiarów naszego Układu Słonecznego – co w skali kosmicznej jest wartością niewielką. Jeśli jesteś daleko, to nic ci nie grozi.

Gdyby czarna dziura o masie Słońca nagle zastąpiła naszą gwiazdę, pojawiłyby się poważne problemy – na przykład śmiertelne wyziębienie – ale byśmy do niej nie wpadli. Ziemia i inne planety krążyłyby dalej po swoich orbitach, jakby nic się nie zmieniło. W centrum naszej galaktyki, Drogi Mlecznej, rezyduje supermasywna czarna dziura Sagittarius A* o masie około 4 mln mas Słońca. Znajduje się w odległości około 26 tys. lat świetlnych od Ziemi, więc nie stanowi dla nas żadnego problemu.

Jeśli w jakiś sposób można by było zaoferować czarnej dziurze cały Wszechświat, z radością by go skonsumowała.

W rzeczywistości rzadko zdarza się, aby cokolwiek wpadło do czarnej dziury. Nawet jeśli tak się stanie, mechanizm tego zjawiska nie jest prosty. Większość materii nie wpada bezpośrednio do kosmicznego kosza na śmieci. Jej prędkość orbitalna wzrasta w miarę zbliżania się do czarnej dziury, tak że wiruje ona szaleńczo wokół zwartego obiektu. Uwięziona w ten sposób materia tworzy spłaszczoną strukturę zwaną dyskiem akrecyjnym.

Materia w dysku znajdująca się bliżej czarnej dziury orbituje szybciej niż materia znajdująca się dalej. Taka rotacja generuje ogromne tarcie, podgrzewające dysk do temperatury milionów stopni. Materia o tak wysokiej temperaturze intensywnie świeci, dzięki czemu mamy jeden ze sposobów wykrywania czarnych dziur: chociaż one same są niewidoczne, ich wpływ na pobliską materię można dostrzec nawet z drugiego końca Wszechświata. Tak właśnie się dzieje w przypadku 3C 273.

Dysk może stać się tak gorący, że znajdująca się w nim materia zaczyna być wyrzucana przez intensywne promieniowanie. Również silne pola magnetyczne dysków mogą odrzucać materię. Oba te efekty ograniczają tempo zasilania czarnej dziury: nadmiar spadającej materii spowoduje, że dysk będzie tak duży i gorący, iż zacznie odpychać całą nowo nadlatującą materię. Jest to tzw. limit Eddingtona; można go traktować jako maksymalne tempo, w jakim czarna dziura jest w stanie pochłaniać materię bez – przepraszam za nieeleganckie porównanie, ale analogia ma swoje prawa – wymiotowania.

Rozrost czarnej dziury wymaga więc czasu. A czas jest ograniczony: Wszechświat zaczął istnieć w określonym momencie. W najlepszym razie czarna dziura mogła rosnąć przez 13,8 mld lat, czyli tyle, ile wynosi wiek Wszechświata. Najwcześniejsze czarne dziury, jakie odkryliśmy, pochodzą z okresu kilkuset milionów lat po Wielkim Wybuchu, co dodatkowo ogranicza czas ich karmienia.

Biorąc pod uwagę powyższe limity czasowe, możemy stwierdzić, że największa czarna dziura powinna mieć masę maksymalnie 270 mld razy większą od masy Słońca. I to tylko wtedy, gdy cała zasilająca ją materia wiruje w tym samym kierunku co czarna dziura, ułatwiając trawienie i pozwalając materii wpadać szybciej. Jeśli czarna dziura nie rotuje lub materia kręci się w kierunku przeciwnym do jej wirowania, górna granica wynosi tylko 50 mld mas Słońca.

Ta liczba jest zbliżona do mas największych czarnych dziur, jakie dotąd odkryliśmy. Wyznaczone masy niektórych czarnych dziur, takich jak TON 618, wydają się nieco większe, ale liczby te są obarczone dużą niepewnością, a zakres błędów jest trudny do oceny.

Od razu spieszę dodać, że czarne dziury mogą również rozrastać się w inny sposób, poprzez tzw. kosmiczny kanibalizm. Kiedy dwie galaktyki zderzają się ze sobą, ich supermasywne czarne dziury mogą wpaść na siebie i się połączyć, tworząc jedną, jeszcze większą czarną dziurę. To ogromna oszczędność czasu! Jednakże prawdziwie gigantyczne czarne dziury występują tak rzadko – a szansa ich połączenia jest jeszcze mniejsza – że jest mało prawdopodobne, aby zjawisko to znacząco powiększyło górną granicę możliwych mas czarnych dziur.

Nie spodziewamy się więc znaleźć żadnej czarnej dziury o masie większej niż mają te, które udało nam się już zmierzyć. Jednak Wszechświat jest mądrzejszy od nas i nadal pozostaje możliwość, że istnieje gdzieś jeszcze potężniejsza czarna dziura. Jeśli tak jest, astronomowie będą mieli okazję zająć się swoją ulubioną czynnością: przemyślaniem założeń w celu ustalenia, co zostało przeoczone. Pozwoli to dowiedzieć się więcej na temat tych gigantycznych obiektów.

W ten sposób nasza wiedza wciąż się poszerza – bez ograniczeń. ■

eprasa.pl 69ff3c2d5f

Zwierzęta domowe a zdrowie

Tylko wtedy, gdy nasza relacja z pupilem jest silna, odnosimy psychiczne i fizyczne korzyści

LYDIA DENWORTH

PIERWSZEGO PSA WZIĘLIŚMY, gdy mój najstarszy syn miał 10 lat. Znajomy nauczyciel powiedział mi, że to idealny wiek na pierwsze zwierzę. „Jake będzie mógł zarzucić psu ręce na szyję, kiedy przestanie mu być wygodnie przytulać się do ciebie” – stwierdził.

Musiałam chwilę ochłonąć po tej delikatnej sugestii, że moje dziecko dorasta, ale od razu zrozumiałam, jak trafna była jego uwaga. Ukochane zwierzę naprawdę potrafi sprawić, że wszystko wydaje się lepsze. I większość z nas głęboko wierzy, że nasi pupile czynią nas zdrowszymi.

Tymczasem nauka o relacjach człowiek–zwierzę daje mieszane wyniki, jeśli chodzi o korzyści fizyczne czy psychiczne. W zależności od badania osoby mające zwierzęta domowe są zarówno mniej, jak i bardziej podatne na depresję. Eksperci twierdzą, że te sprzeczności wynikają m.in. z tego, że na niektórych właścicieli zwierzęta faktycznie działają kojąco i wspierają ich emocjonalnie. Bywa jednak, że do badań trafiają osoby, które już zmagają się z problemami psychicznymi i decydują się na zwierzę, by poprawić swoje samopoczucie – a potem w statystykach lądują jako będące w depresji.

Posiadanie psa jest natomiast konsekwentnie kojarzone z większą aktywnością fizyczną, co nie dziwi – spacery robią swoje, a przy okazji wzmacniają relacje społeczne. Jedno z pierwszych badań w tej dziedzinie, opublikowane w 1980 roku, wykazało, że osoby po zawale lub chorobie wieńcowej częściej przeżywały kolejny rok, jeśli miały zwierzę – a badacze podejrzewali, że częściowo odpowiadał za to właśnie ruch związany z wyprowadzaniem psów (choć efekt dotyczył także właścicieli innych zwierząt). Analiza z 2019 roku opublikowana w „Circulation: Cardiovascular Quality and Outcomes” przyniosła fantastyczny wynik: posiadanie psa wiązało się z 24-procentowym spadkiem ryzyka śmierci. Ale gdy inni badacze powtórzyli analizę, uwzględniając więcej zmiennych zakłócających, korzyść niemal zniknęła.

Jednym z takich czynników zakłócających jest historia aktywności fizycznej. „Psa częściej ma ktoś, kto już jest aktywny lub chce być aktywny – mówi psycholożka rozwojowa Megan Mueller z Cummings School of Veterinary Medicine przy Tufts University. – A kiedy taki ktoś ma już psa, ten pies dodatkowo motywuje do ruchu”.

Dlatego w najnowszych badaniach naukowcy starają się wyjść poza te uproszczenia i skupić na niuansach interakcji człowieka ze zwierzęciem. „Zwierzę to nie interwencja medyczna – to relacja” – podkreśla gerontolożka Jessica Bibbo z Benjamin Rose Institute on Aging w Cleveland. A jakość tej relacji – stopień przywiązania, poczucie wsparcia społecznego – zdaje się lepszym wskaźnikiem pozytywnych efektów niż samo to, czy w domu mieszka jakieś zwierzę, mówi Mueller. „Próbujemy wyodrębnić czynniki, które sprzyjają budowaniu dobrych relacji ze zwierzętami, żeby móc pomagać ludziom”.

Starannie przeprowadzone badania z udziałem zwierząt terapeutycznych i eksperymenty laboratoryjne dają pewne wskazówki. W badaniu z 2025 roku 43 właścicieli psów wykonywało stresujące zadania (np. przemawiali publicznie) w obecności lub bez obecności swoich psów. U tych, którzy mieli przy sobie swoje zwierzęta, stwierdzono niższe skoki poziomu kortyzolu – hormonu wzrastającego podczas stresu. W innym eksperymencie około 90 starszych uczestników ośrodka społecznościowego losowo podzielono na dwie grupy – jedna dostała pięć świerszczy (tak, świerszczy!) do opieki przez osiem tygodni. Wszyscy otrzymali identyczne zalecenia dotyczące dbania o własne zdrowie. Ci, którzy sprawowali opiekę nad owadami, wykazali poprawę

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

Ilustracja Jay Bendt

eprasa.pl 69ff3c2d5f

zdrowia psychicznego i poznawczego w porównaniu z grupą kontrolną.

Starszym dorosłym posiadanie zwierzęcia zapewnia poczucie celu, mówi Bibbo, szczególnie wtedy, gdy ich zdrowie podupada. W ramach swojej pracy Bibbo próbuje włączać troskę o zwierzęta w decyzje dotyczące opieki zdrowotnej – wielu ludzi dba lepiej o siebie, bo wiedzą, że ktoś od nich zależy.

Część pozytywnych efektów obserwowanych w kontrolowanych warunkach – jak niższy poziom kortyzolu czy wolniejsze tętno – prawdopodobnie przenosi się na życie codzienne, mówi Mueller, życie jest znacznie mniej uporządkowane niż laboratorium. Podobnie jak w relacjach międzyludzkich, to silne, pozytywne więzi ze zwierzęciem najpewniej dają najwięcej korzyści (choć i tu wyniki badań bywają różne). Zwierzęta z pewnością dają wsparcie emocjonalne i społeczne wielu osobom. Jest też fizyczny komponent – kot lub pies siedzący na kolanach naprawdę działa kojąco. Na dodatek zwierzęta są postrzegane jako nieoceniające. „Kochają bezwarunkowo" – mówi Mueller.

Dla nastolatków ta cecha jest szczególnie cenna (i mój znajomy miał rację). Zwierzęta pełnią funkcję „pomostu, który pomaga młodym ludziom w przejściu ku większej autonomii" – dodaje badaczka.

Wciąż jednak nie powinniśmy oczekiwać cudów. Nawet zwierzęta terapeutyczne pomagają, nie naprawiają, mówi Bibbo. I nie możemy liczyć, że psy czy koty uleczą poważne zaburzenia psychiczne, podkreśla Mueller. „Ale czy posiadanie psa lub innego zwierzęcia może pomóc budować zaradność ułatwiającą opanowywanie lęku?" – pyta. Mueller uważa, że to bardzo możliwe.

Ludzie wierzą, że zwierzęta poprawiają jakość życia – a to przekonanie samo w sobie może pośrednio wpływać na zdrowie. W 2025 roku ekonomiści wykorzystali duży brytyjski zbiór danych, aby oszacować, ile pieniędzy musieliby zarabiać właściciele zwierząt, by osiągnąć taki sam poziom satysfakcji życiowej, jaki daje im obcowanie z pupilem. Wniosek: nawet 90 tys. dolarów rocznie. Za tę sumę można kupić dziesiątki bieżni albo wyjechać wiele razy na egzotyczne wakacje.

Współautorka tego badania, Adelina Gschwandtner z University of Kent w Wielkiej Brytanii, podsumowała: „Czy posiadanie zwierząt domowych jest dla nas dobre? Wszystko wskazuje, że tak". ■

TAJNY ZIELNIK KRYPTOGAMICZNEJ BOTANIKI

Sto lat temu ojciec i syn
pracowali z oddaniem,
by oddać misterną strukturę
niemal ośmiuset gatunków roślin
w czterech tysiącach kruchych modeli.
Leopold Blaschka i jego syn Rudolph
byli mistrzami lampworku
– sztuki dmuchania i formowania
lśniącego, roztopionego szkła
nad palnikiem o niebieskim płomieniu.
Zdobyli sławę, gdy Harvard University
umieścił większość tej kolekcji
na stałej ekspozycji w Muzeum Historii Naturalnej.
To, co trzymano pod kluczem, to były
monstrualne *Venturia inaequalis*,
Taphrina deformans i odrobina *Monilinia fructigena*,
groteskowe piękno owoców w rozkładzie.
Przez kilka krótkich miesięcy w dziewiętnastym roku
trzeciego tysiąclecia, tuż przed wybuchem
pandemii, ujrzało światło dzienne
dwadzieścia modeli kędzierzawości liści brzoskwini,
parcha gruszy, brunatnej zgnilizny i bladego
mikrokosmosu *Aspergillus*, wyrastającego z dna gablot
niczym maleńkie trupie drzewka.
Ciała kryptogamiczne – jak paprocie, mchy,
glony i grzyby – rozprzestrzeniają się przez zarodniki,
więc choroba obejmuje coraz większą część sadu,
głosiły tabliczki. Rozpoznanie wciąż opiera się
na badaniu plam, punkcików, nalotów i zgnilizny
w tej kruchej galerii dziwów, symulakrach jabłek
z masą noszących łacińskie nazwy chorób – zarazem starych
i nieustępliwych jak sam czas, a jednak obdarzonych
geniuszem ciągłego odradzania, by szerzyć śmierć
w naszym szalonym Ogrodzie Eden.

Nancy Brewka-Clark z Beverly w stanie Massachusetts w USA pisze krótkie opowiadania, reportaże, a także poezję. W 2019 roku otrzymała Amy Lowell Poetry Prize, a w 2022 była finalistką Princemere Poetry Prize. Jest autorką zbioru wierszy *Beautiful Corpus* (Kelsay, 2020).

Ilustracja Masha Foya

eprasa.pl 69ff3c2d5f

Nowa era po Flemingu

Dlaczego antybiotyki przestają działać, jak temu zaradzić i co wspólnego mają z tym fundusze z KPO? Naukowcy z Pracowni Inżynierii Białek Instytutu Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej w Warszawie zdradzają sekrety swoich badań.

Jak to się zaczęło?

Jeszcze sto lat temu infekcje bakteryjne były jedną z głównych przyczyn śmierci. Przełom przyniosło przypadkowe odkrycie Aleksandra Fleminga w 1928 roku. W swojej pracowni zauważył on, że pleśń *Penicillium notatum* hamuje wzrost bakterii. Tak narodziła się penicylina – pierwszy antybiotyk – i rozpoczęła się nowa epoka w medycynie. Dzięki niej miliony ludzi ocalały z chorób wcześniej uznawanych za śmiertelne. Dziś jednak stoimy przed nowym wyzwaniem: opornością na środki przeciwdrobnoustrojowe (AMR, ang. antimicrobial resistance). AMR to zjawisko, w którym bakterie, wirusy, grzyby lub pasożyty przestają reagować na leki mające je zwalczać. Kiedy dotyczy to antybiotyków i bakterii – wtedy mówimy o antybiotykooporności. Oznacza to, że infekcje wywołane przez szkodliwe bakterie stają się trudniejsze do leczenia, wymagają silniejszych, droższych lub bardziej toksycznych leków, a w niektórych przypadkach żadna znana terapia już nie działa.

Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) uznaje AMR za jedno z największych zagrożeń zdrowia publicznego XXI wieku. Szacuje się, że jeśli nie podejmiemy działań, do 2050 roku z powodu infekcji spowodowanych mikroorganizmami opornymi na leki może umierać nawet 10 milionów osób rocznie. Niestety to my sami często nieświadomie napędzamy rozwój oporności. Nadużywając antybiotyków w leczeniu przeziębienia czy grypy, a więc chorób wirusowych, nie dość, że nie eliminujemy przyczyny infekcji, to dajemy bakteriom szansę na „trening" przetrwania. Przerywając przedwcześnie leczenie, umożliwiamy części bakterii przeżycie i nabieranie oporności. Największy jednak wpływ na rozwój antybiotykooporności ma stosowanie antybiotyków w rolnictwie i hodowli, by w warunkach wysokiego zagęszczenia zwierząt oraz przy niskim stanie higieny zwierzęta nie chorowały i szybciej rosły.

Oporność na antybiotyki nie jest już problemem przyszłości – to kryzys, który trwa tu i teraz. I tak jak przed wiekiem Fleming sięgnął po naturę, tak dziś naukowcy ponownie zwracają się ku sprzymierzeńcom, których natura od dawna wykorzystuje do utrzymywania bakterii w ryzach.

Wirusy, które polują na bakterie

Jednym z najstarszych i najbardziej fascynujących pomysłów jest terapia fagowa, wykorzystująca wirusy zwane bakteriofagami, które są naturalnymi wrogami bakterii. Bakteriofag przyczepia się do komórki bakteryjnej, wstrzykuje do niej swój materiał genetyczny i zamienia bakterię w fabrykę wirusów. W efekcie komórka bakteryjna pęka, uwalniając nowe fagi, które infekują kolejne bakterie. Fagi są niezwykle selektywne – każdy z nich atakuje tylko określone gatunki a nawet szczepy bakterii, nie naruszając ludzkich komórek ani pożytecznej mikroflory. Ta precyzja jest zarówno zaletą, jak i wadą: pozwala lekarzom celować w konkretne patogeny bez uszkadzania zdrowej mikroflory organizmu, ale oznacza też, że terapie często muszą być dobierane indywidualnie do każdego nowego zakażenia. To znacznie podnosi koszt leczenia oraz sprawia, że terapia fagowa jest nadal stosowana jako eksperymentalna. Dodatkowo fagi mogą być neutralizowane przez ludzki układ odpornościowy, zanim zdążą w pełni zadziałać, a bakterie wytwarzają mechanizmy obronne, np. poprzez zmianę struktur na swojej powierzchni tak, by nie były rozpoznawane przez wirusy.

Naturalne antybiotyki

Inną obiecującą grupą środków przeciwbakteryjnych są peptydy przeciwdrobnoustrojowe (ang. *antimicrobial peptides*, AMP). Te małe cząsteczki są częścią naturalnych systemów obronnych zwierząt, roślin, a nawet ludzi. Potrafią zabijać bakterie, przebijając ich błony komórkowe, blokując zdolność do wytwarzania białek lub DNA, albo pobudzając układ odpornościowy. Jednak peptydy mają pewne ograniczenia – szybko rozkładają się w organizmie i czasem mogą uszkadzać ludzkie komórki. Ich masowa produkcja jest również kosztowna. Choć do tej pory zidentyfikowano ponad 5000 różnych AMP, tylko nieliczne znalazły zastosowanie w medycynie, głównie w kremach lub powłokach na implanty. Obecnie naukowcy pracują nad tym, aby uczynić je bardziej stabilnymi i skutecznymi, na przykład łącząc je z antybiotykami, by wzmocnić ich działanie.

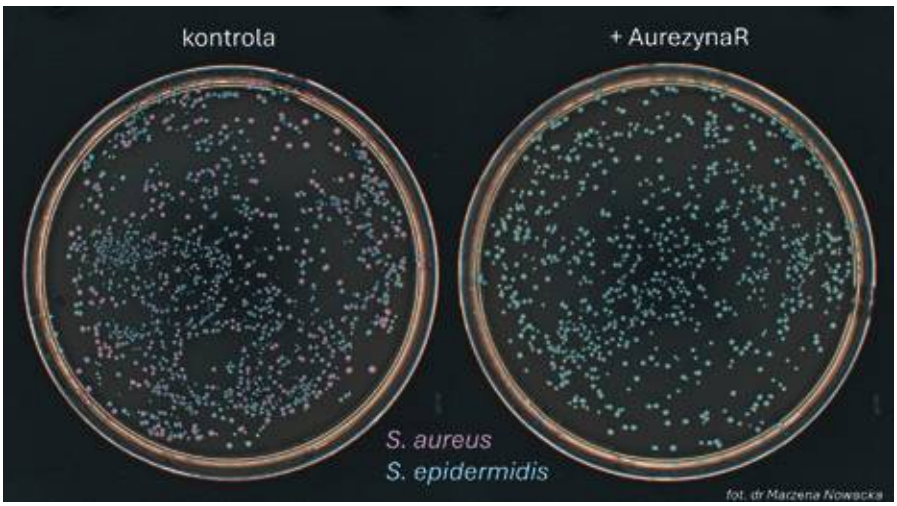
Przeciwciała jako precyzyjna broń

Przeciwciała monoklonalne (mAb, *monoclonal antibodies*), kolejne innowacyjne podejście, to laboratoryjnie wytwarzane cząsteczki działające jak precyzyjnie naprowadzane pociski – rozpoznają i wiążą się ze specyficznymi toksynami bakteryjnymi lub białkami powierzchniowymi, pomagając układowi odpornościowemu zniszczyć intruzów. Niektóre z nich, takie jak te skierowane przeciw toksynom *Clostridium difficile*, są już dopuszczone do użytku. Jednak przeciwciała monoklonalne są drogie w produkcji i zazwyczaj muszą być podawane dożylnie. Najlepiej działają, gdy dokładnie wiadomo, jaki patogen jest przyczyną zakażenia, co ogranicza ich zastosowanie w infekcjach mieszanych. Ponadto bakterie czasami potrafią zmieniać swoje struktury powierzchniowe i w ten sposób stać się niewidocznymi dla przeciwciała.

Enzybiotyki – enzymy, które rozkładają bakterie

Enzybiotyki to innowacyjne środki przeciwbakteryjne, które nazwę swą zawdzięczają temu, że są produkowa-

eprasa.pl 69ff3c2d5f



fot. dr Marzena Nowacka

ne z białek katalitycznych – enzymów, oraz mają właściwości antybiotyków, którymi wszak nie są. Enzybiotyki są zaprojektowane tak, by atakowały bakterie w ich kluczowym miejscu – w ścianie komórkowej. Stanowią one nową broń w walce z infekcjami opornymi na antybiotyki.

Badania nad nimi rozpoczęły się od pomysłu, żeby w walce z patogenami wykorzystać białka naturalnie występujące u bakterii i fagów, w których pełnią rozmaite funkcje. Niektóre z nich są wydzielane przez bakterie, aby unieszkodliwić konkurencję w tej samej niszy ekologicznej; inne służą samym bakteriom do regulowania wzrostu i podziału komórki poprzez modyfikowanie ściany komórkowej; a jeszcze inne pochodzą od enzymów produkowanych przez bakteriofagi, które trawią ściany komórkowe bakterii, umożliwiając uwolnienie nowych cząstek wirusa.

Wspólnym mianownikiem tych wszystkich enzymów jest ich aktywność bakteriobójcza polegająca na trawieniu powierzchni komórek bakteryjnych, co prowadzi do ich szybkiej śmierci. W porównaniu do klasycznych środków bakteriobójczych enzybiotyki są biodegradowalne, nieszkodliwe dla człowieka i co najważniejsze – ze względu na zaawansowaną inżynierię molekularną eliminują tylko te bakterie, które są szkodliwe, pozostawiając przy życiu pożyteczne mikroorganizmy.

Szybkość ich działania jest imponująca – potrafią wyeliminować nawet kilkadziesiąt milionów bakterii w mniej niż 30 minut. Mają też niski potencjał wywoływania oporności. Dodatkowo potrafią eliminować komórki ukryte w biofilmach, które często są niedostępne dla klasycznych środków przeciwbakteryjnych. Te cechy czynią enzybiotyki znakomitymi kandydatami na broń przyszłości w walce z niechcianymi drobnoustrojami.

Największy potencjał enzybiotyków tkwi w aplikacjach powierzchniowych: mogą być stosowane do eliminacji szkodliwych bakterii z powierzchni skóry czy ran, do odkażania powierzchni szpitalnych i przemysłowych, a także jako środek konserwujący żywność. W przypadku zastosowań medycznych i weterynaryjnych niezwykle istotne jest pozbywanie się bakterii powodujących infekcje przy jednoczesnym zachowaniu naturalnej mikrobioty. Biorąc pod uwagę wybiórczy charakter enzybiotyków, wynikający z umiejętności rozpoznawania ścian komórkowych konkretnych bakterii, mają one niezwykłą przewagę nad mało selektywnymi antybiotykami czy też innymi powszechnie stosowanymi środkami dezynfekującymi możliwymi do nabycia w działach chemicznych sklepów czy w aptekach.

Nowa nadzieja z IMDiK PAN – Aurezyna R

Badacze z Pracowni Inżynierii Białek Instytutu Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej PAN w Warszawie, uzbrojeni w narzędzia inżynierii białka i biologii molekularnej, tworzą nowoczesne narzędzia do precyzyjnej walki z bakteriami.

Pracownia realizuje wiele projektów badawczych dotyczących nowoczesnych enzybiotyków i ich potencjalnych zastosowań w medycynie i biotechnologii. Jednym z nich jest projekt finansowany z funduszy Krajowego Planu Odbudowy (KPO) – i to właśnie ten konkretny projekt poświęcony jest atopowemu zapaleniu skóry (AZS).

W jego ramach powstał precyzyjny enzybiotyk nowej generacji – Aurezyna R – zaprojektowany tak, by rozpoznawał i niszczył wyłącznie komórki gronkowca złocistego (*Staphylococcus aureus*), bakterii odpowiedzialnej za liczne zakażenia skóry oraz za zaostrzenia AZS. Dzięki swojej wyjątkowej selektywności Aurezyna R działa tylko na patogen, nie naruszając naturalnej mikrobioty skóry.

Celem projektu KPO jest opracowanie terapii miejscowej, która mogłaby stać się alternatywą dla klasycznych antybiotyków w leczeniu zaburzeń mikrobioty skóry i infekcji – zwłaszcza tych wywoływanych przez szczepy oporne na leki.

Jeśli prace zakończą się sukcesem, Aurezyna R może stać się symbolem nowego podejścia w medycynie, w którym wykorzystujemy siłę natury, by naprawić skutki nadmiernej ingerencji człowieka.

Autorzy: Dr Patrycja Haniewicz,
dr Elżbieta Jagielska,
dr inż. Małgorzata Korzeniowska,
dr inż. Marzena Nowacka,
dr Mahsa Yousefi Borbori
i mgr Michał Zaród.

Odkryj, jak nasza „Celowana terapia antybakteryjna przywracająca naturalną równowagę mikrobioty u pacjentów z atopowym zapaleniem skóry" – przedsięwzięcie KPOD.07.07-IW.07-0030/24 finansowane ze środków KPO – zmienia świat.
Zeskanuj QR kod i bądź na bieżąco! Być może właśnie tutaj, w warszawskim laboratorium IMDiK PAN, rozpoczyna się prawdziwa nowa era po Flemingu.

eprasa.pl 69ff3c2d5f

epracs.pl/99ff3c2d5t

MEDYCYNA

Spersonalizowana szczepionka na raka

Szczepionki oparte na mRNA można dostosowywać tak, aby celowały w unikalne mutacje guza konkretnego pacjenta. Jednak malejące wsparcie dla badań nad rakiem i szczepionkami mRNA zagraża rozwojowi tej obiecującej terapii

ROWAN MOORE GERETY

Ilustracja TAVIS COBURN

eprasa.pl 69ff3c2d5f

ZARAZ PO TYM, JAK GUZ TRZUSTKI BARBARY BRIGHAM został usunięty z jej ciała jesienią 2020 roku, zadzwonił pager, przywołując badacza na znajdujący się piętro niżej oddział patologii w szpitalu Memorial Sloan Kettering w Nowym Jorku. Brigham, dziś 79-letnia, dochodziła tam do siebie, zanim poczuła się na tyle dobrze, by wrócić do domu na Shelter Island, niedaleko wschodniego krańca Long Island. Tymczasem jej nowotwór i fragmenty trzustki trafiły do laboratorium i zostały poddane skomplikowanej, trwającej 24 godziny obróbce. W skrócie: personel szpitala nadał preparatowi numer i unikalny kod kreskowy, po czym wyciął kawałek wielkości pięciocentowej monety, który następnie zamrożono w temperaturze –80°C. Próbkę zanurzono w roztworze formaliny, by zapobiec jej degradacji, a potem umieszczono w urządzeniu, które stopniowo zastępowało wodę w komórkach alkoholem i na końcu ksylenem.

„Przepojono" tkanki, zanurzając je na kilkanaście godzin w mieszaninie parafiny z ksylenem, a następnie w ciekłej parafinie. Przepojone i stwardniałe technicy sfotografowali w wysokiej rozdzielczości i odpowiednio podzielili skalpelem. Każdy z otrzymanych preparatów zatopiono w bloczku parafinowym, po czym po zastygnięciu pocięto na skrawki grubości ułamka ludzkiego włosa, zamontowano na szkiełkach podstawowych, deparafinowano, nawodniono, zabarwiono, ponownie odwodniono, po czym „zamknięto" szkiełkiem nakrywkowym. Gdy następnego dnia patolog oglądał guz Brigham pod mikroskopem, ponad 50 osób miało już swój udział w procesie jego opracowania. Ale wszystko to było jedynie wstępem.

Prawdziwa akcja zaczęła się dwa miesiące później, gdy Brigham wróciła do szpitala, by otrzymać szczepionkę dostosowaną do mutacji, które odróżniały jej guz od reszty trzustki. Preparat, oparty na informacyjnym RNA (messenger RNA, mRNA) zawieszonym w mikroskopijnych kropelkach tłuszczu, stanowił zestaw genetycznych instrukcji mających pomóc układowi odpornościowemu Brigham rozpoznać i zaatakować białka charakterystyczne dla jej komórek nowotworowych. Innymi słowy, była to jej własna, spersonalizowana szczepionka.

Od tamtej pory minęły cztery lata. Brigham otrzymała dziewięć dawek preparatu i cieszy się życiem. Widziała, jak jedno z wnucząt kończy studia i bierze ślub, a inne rozpoczyna pisanie pracy doktorskiej. Kibicowała dwóm młodszym wnukom podczas dziesiątek meczów koszykówki i siatkówki, a w ubiegłym roku przytuliła nowo narodzoną wnuczkę. Co tydzień organizuje na Shelter Island spotkania z przyjaciółkami przy mahjongu i ciasteczkach, starając się wcielać w życie dewizę swojej matki: „każdego dnia coś miłego". „Trochę doskwiera mi artretyzm – mówi – ale nigdy nie siedzę bezczynnie." I wciąż pozostaje wolna od raka trzustki.

Ozdrowienie Brigham było częścią małego badania klinicznego fazy I, prowadzonego przez Memorial Sloan Kettering we współpracy z firmami farmaceutycznymi Genentech i BioNTech – tą samą, która wraz z Pfizerem opracowała pierwszą zatwierdzoną szczepionkę mRNA przeciw COVID-19. Brigham była jedną z 16 pacjentek, które otrzymały taką szczepionkę, podawaną razem ze standardowymi lekami, i jedną z ośmiu, u których wywołała ona znaczącą reakcję immunologiczną. Sześć z tych ośmiu osób nadal pozostaje w remisji, podobnie jak jedna z ośmiu pozostałych, u których odpowiedź immunologiczna była słabsza.

Rowan Moore Gerety jest reporterem, producentem dźwiękowym, autorem książki *Go Tell the Crocodiles: Chasing Prosperity in Mozambique* (The New Press, 2018). Mieszka w Phoenix, stolicy stanu Arizona.

eprasa.pl 69ff3c2d5f

Siedem z 16 – może nie brzmi imponująco, ale to wynik budzący ogromne nadzieje. Rak trzustki rozwija się wyjątkowo szybko, a jego pierwsze objawy – utrata wagi, skurcze, lekkie zażółcenie skóry – często pozostają niezauważone, więc w momencie diagnozy choroba jest zwykle śmiertelna. Jedynie około 8% pacjentów z najczęstszą postacią tego nowotworu, gruczolakorakiem przewodowym, przeżywa pięć lat od rozpoznania, a większość chorych reaguje na leczenie bardzo słabo.

Wyniki badania, w którym uczestniczyła Brigham, były też pierwszą przesłanką, że szczepionki mRNA mogą działać przeciwko różnym rodzajom nowotworów. O ile rak trzustki cechuje się niewielką liczbą mutacji, o tyle wcześniejsze dane o skuteczności personalizowanych szczepionek mRNA pochodziły ze studiów nad czerniakiem – nowotworem wybranym właśnie dlatego, że mutuje wyjątkowo często. W jednym z wcześniejszych badań fazy II, przeprowadzonym z udziałem pacjentów z zaawansowanym czerniakiem, wykazano, że u osób, które otrzymały zarówno personalizowaną szczepionkę mRNA, jak i tzw. inhibitory punktów kontrolnych układu odpornościowego, ryzyko nawrotu lub zgonu spadło niemal o połowę w porównaniu z grupą, która otrzymała wyłącznie inhibitory. Trwają już kolejne badania dotyczące nowotworów nerek, pęcherza i płuc. W każdym przypadku szczepionka ma charakter uzupełniający – podaje się ją po operacji, razem z lekami standardowymi. Jej zadaniem jest przygotować układ odpornościowy do rozpoznawania nieprawidłowych białek powstałych w wyniku mutacji i zniszczenia wszelkich pozostałych komórek nowotworowych lub zapobieżenia przyszłym nawrotom choroby.

Obiecujące wyniki uzyskane w tak różnych typach nowotworów skłoniły naukowców do intensywnego rozwijania tej techniki. W ten sposób narodziło się podejście leżące na styku kilku kluczowych trendów: pogłębiania wiedzy o reakcji układu odpornościowego na raka, rozwoju produkcji szczepionek napędzanego pandemią COVID-19, gwałtownego postępu algorytmów sztucznej inteligencji oraz spadku kosztów sekwencjonowania genomu. Obecnie na świecie – w USA, Europie i Azji – prowadzonych jest co najmniej 50 badań klinicznych, obejmujących ponad 20 typów nowotworów. Badanie nad czerniakiem, prowadzone przez firmy Moderna i Merck, osiągnęło już fazę III – ostatni etap przed dopuszczeniem leku do powszechnego stosowania. Personalizowane szczepionki przeciw czerniakowi mogą być dostępne już w 2028 roku, a kolejne preparaty mRNA dla innych rodzajów raka miałyby pojawić się później.

Jednak obietnica tej nowatorskiej terapii trafiła się na jeden z najbardziej niepewnych momentów dla amerykańskiej nauki. W pierwszych tygodniach drugiej kadencji Donalda Trumpa badania nad rakiem w USA pogrążyły się w bezprecedensowym chaosie: federalne granty były masowo wstrzymywane. Według analizy Senatu, finansowanie z National Cancer Institute spadło w ciągu zaledwie trzech pierwszych miesięcy 2025 roku aż o 31%.

DO MARCA ŚRODOWISKO NAUKOWE zaczęło się obawiać, że szczególnie pod ostrzałem znajdą się badania nad szczepionkami mRNA. Serwis KFF Health News doniósł, że p.o. dyrektora National Institutes of Health, Michael Memoli, nakazał oznaczać wszystkie granty, kontrakty i współprace obejmujące technikę mRNA jako przeznaczone do osobistego wglądu sekretarza Health and Human Services, Roberta F. Kennedy'ego Jr. – znanego wcześniej jako jednego z najbardziej prominentnych przeciwników szczepień w kraju.

Nagle entuzjazm wokół personalizowanych szczepionek mRNA został przyćmiony przez obawy, że system publicznego finansowania, które przez dekady podtrzymywało badania nad rakiem, jest właśnie systematycznie demontowany.

Znaczna część biologicznej siły nowotworów wynika z faktu, że dla organizmu nie zawsze wyglądają one jak patogen. Ponieważ rak powstaje wskutek mutacji we własnym DNA pacjenta, choroba komplikuje podstawowe zadanie układu odpornościowego, jakim jest odróżnianie tego, co „własne", od tego, co „obce".

Lekarze od dawna podejrzewali związek między rakiem a obrzękiem – kluczowym sygnałem, że układ odpornościowy „widzi" wroga. W latach 90. XIX wieku William Coley, dziś uznawany za ojca immunoterapii, wywoływał remisję u pacjentów z nieoperacyjnymi guzami, wstrzykując im bakterie podobne do tych wywołujących bakteryjne zapalenie gardła. Mechanizmy stojące za terapią Coleya były jednak słabo poznane, a przez dziesięciolecia po tym odkryciu naukowcy nie byli pewni, czy układ odpornościowy w ogóle potrafi wykryć nowotwór.

Ponieważ lekarze nie wiedzieli, jak dokładnie organizm postrzega i zwalcza raka, pierwsze terapie były niezwykle inwazyjne i toksyczne: najpierw stosowano rozległe operacje, a następnie w XX wieku opracowano radioterapię i chemioterapię, które miały atakować komórki nowotworowe w całym organizmie. Z czasem onkolodzy udoskonalali te metody – precyzyjniejsza chirurgia, bardziej ukierunkowane napromienianie i mniej toksyczna chemia – ale marzeniem pozostawało wykorzystanie układu odpornościowego, który mógłby precyzyjniej zwalczać raka .

Pierwsze dowody na to, że komórki odpornościowe potrafią rozpoznawać guzy, pojawiły się dopiero w latach 50. i 60. Stopniowo naukowcy odkrywali, że nowotwory stosują liczne triki, by tłumić odpowiedź immunologiczną. Niektóre formy raka wykorzystują tkankę łączną (stroma) do tworzenia barier, przez które komórki odpornościowe nie mogą przeniknąć. Inne manipulują równowagą układu odpornościowego, wytwarzając białka, które wyłączają kluczowe komórki obronne. Guzy mogą nawet rekrutować komórki odpornościowe, by tworzyły naczynia krwionośne dostarczające tlen i substancje odżywcze.

Wraz z rosnącą wiedzą o tym, jak rak manipuluje odpornością, pojawiły się pomysły, jak temu przeciwdziałać. W komórkach białka są nieustannie rozkładane na krótsze sekwencje aminokwasów, z których część trafia na powierzchnię komórki jako kompleks MHC (major histocompatibility complex), kluczowe

eprasa.pl 69ff3c2d5f

narzędzie układu odpornościowego do odróżniania własnych białek od obcych. Gdy system wykryje obce białko, powinien wysłać limfocyty T, by zniszczyły intruza. Niektóre nowotwory potrafią zakłócić ten proces, przejmując kontrolę nad białkami punktów kontrolnych, które normalnie zapobiegają nadmiernej aktywacji odporności – i użyć ich do wyłączania komórek T. Od połowy lat 90. zespoły naukowców zaczęły odnosić sukcesy, lecząc myszy inhibitorami punktów kontrolnych, nową klasą leków, które uniemożliwiają komórkom nowotworowym ukrywanie się pod hasłem „nic tu nie ma". Dziś, po 30 latach, inhibitory te stały się przełomowym narzędziem immunoterapii, szczególnie w leczeniu czerniaka.

Badania nad inhibitorami ostatecznie wykazały, że komórki odpornościowe rozpoznają raka podobnie jak inne patogeny – poprzez różnice w strukturze białek wynikające z mutacji DNA. To była fundamentalna zmiana w rozumieniu choroby.

Jednak mimo swojej rewolucyjności, inhibitory działają tylko u części pacjentów – około 80% nie odpowiada na tę terapię. Jednym z kluczowych czynników wpływających na odpowiedź jest to, czy układ odpornościowy potrafi rozpoznać komórki nowotworowe na podstawie ich mutacji.

Tu właśnie wkraczają szczepionki mRNA. Jason Luke, badacz czerniaka i obecnie dyrektor medyczny w start-upie Strand Therapeutics, współtworzył kilka trwających badań klinicznych szczepionek mRNA na raka. Wyjaśnia, że zarówno inhibitory punktów kontrolnych, jak i szczepionki mRNA opierają się na tej samej ewolucyjnej strategii zwalczania patogenów: wykrywaniu białek, które pojawiają się w organizmie. Ale inhibitory punktów kontrolnych działają tylko wtedy, gdy układ odpornościowy już rozpoznaje raka jako zagrożenie. Natomiast szczepionki mRNA mogą działać nawet wówczas, gdy nowotwór nie wywołał silnej odpowiedzi immunologicznej. Kluczem – mówi Luke – jest użycie narzędzi obliczeniowych do ustalenia, które mutacje nowotworu mają największe szanse zostać „zauważone" przez układ odpornościowy.

W PONIEDZIAŁKOWY KWIETNIOWY PORANEK odwiedziłam onkologa chirurga Vinoda Balachandrana w jego laboratorium na ósmym piętrze Memorial Sloan Kettering Cancer Center. Balachandran prowadził badanie, w którym uczestniczyła Brigham, a obecnie jest dyrektorem centrum szczepionek przeciwnowotworowych, które instytucja uruchomiła w 2024 roku. Wejście do jego laboratorium znajduje się na końcu korytarza wypełnionego dużymi zamrażarkami z próbkami tkanek.

Kiedy dotarłam na miejsce, Balachandran przywitał mnie tuż za parą wahadłowych drzwi, gdzie badacze odbywający staże podoktorskie pochylali się nad laptopami. Wyżej wisiały półki z pudłami pełnymi pipet i płytek testowych. Podszedł do okna i wskazał ceglaną fasadę głównego budynku szpitala po drugiej stronie ulicy, wyjaśniając, że próbki tkanek pobrane po operacji mają do pokonania tylko krótką drogę do laboratorium, czasem przez tunel pod East 68th Street. „Bliskość laboratoriów w stosunku do miejsca, gdzie leczeni są pacjenci, jest naprawdę kluczowa" – mówi, ponieważ pozwala na szybkie przetwarzanie próbek i umieszczenie ich na lodzie, co minimalizuje degradację, która zaczyna się natychmiast po usunięciu tkanki z organizmu.

Prace, które doprowadziły do stworzenia szczepionki dla Brigham, wyrosły z badań z udziałem grup osób chorych na raka trzustki określanych jako wyjątkowo responsywni (exeptional responders) – niewielkiego odsetka pacjentów, którzy osiągają pięcioletnie przeżycie po diagnozie. „Te przypadki są bardzo rzadkie" – mówi Balachandran. Nawet w tak dużej placówce, jak Memorial Sloan Kettering, która co roku przyjmuje dziesiątki tysięcy pacjentów onkologicznych, możliwe było precyzyjne badanie tej grupy tylko dlatego, że szpital już dawno zobowiązał się do przechowywania próbek tkanek każdego pacjenta. Kiedy Balachandran dołączył do kadry w 2015 roku, jego badania nad długoterminowymi ocalałymi opierały się na próbkach tkanek pobranych ponad dekadę wcześniej.

W 2017 roku Balachandran i współpracownicy opublikowali badanie wykazujące, że u niektórych pacjentów z gruczolakorakiem przewodowym trzustki było więcej komórek zdolnych do rozpoznawania unikalnych białek produkowanych przez zmutowane komórki nowotworowe i że układy odpornościowe tych chorych zdawały się rozwijać rodzaj długotrwałej pamięci, która pomagała zwalczać nawroty choroby. W niektórych przypadkach komórki odpornościowe z receptorami zdolnymi wiązać te białka nowotworowe utrzymywały się we krwi przez ponad dekadę po usunięciu guzów, które je wywołały. Balachandran zastanawiał się, czy nie można by 92% pacjentów, którzy nie są naturalnie wyjątkowo responsywni, wyposażyć w te same biologiczne narzędzia. „Jeśli można nauczyć układ odpornościowy rozpoznawać białka charakterystyczne na przykład dla raka trzustki, to być może mogłoby to dostarczyć pewnego wzorca" – mówi.

W miarę jak guzy rosną i tworzą przerzuty, przechodzą rodzaj skompresowanej ewolucji, w której normalne komórki zawierające DNA gospodarza gromadzą mutacje powodujące ich nieprawidłowe dzielenie się i namnażanie, tworząc coraz większą grupę blisko spokrewnionych klonów nowotworowych. Wiele mutacji manifestuje się w postaci nieprawidłowych białek i fragmentów białkowych, zwanych neoantygenami, z których część gromadzi się na powierzchni proliferujących komórek nowotworowych.

Balachandran porównał rosnące drzewo genealogiczne tych klonów nowotworowych do pojawiania się nowych wariantów w grupie wirusów, takich jak warianty Alpha, Delta i Omikron SARS-CoV-2, które pojawiły się w trakcie pandemii COVID-19. „Chciałoby się, żeby szczepionka przeciwko COVID-19 potrafiła celować w każdy wirus w tej szybko ewoluującej grupie" – mówi Balachandran.

W opracowywaniu szczepionki przeciwnowotworowej równie istotne, jak w przypadku chorób zakaźnych, jest zmapowanie ewolucyjnej trajektorii guza nowotworowego – choć przy zupełnie innym zestawie

eprasa.pl 69ff3c2d5f

parametrów. Celem nie jest odróżnienie dwóch pokrewnych patogenów, lecz ustalenie, w którym momencie choroba wywodząca się z własnych tkanek zaczyna być przez układ odpornościowy rozpoznawana jako coś obcego.

„W pewnej chwili – choć raczej nie od razu – układ odpornościowy zaczyna to zauważać" – mówi Benjamin Greenbaum, współpracownik Balachandrana w Olayan Center for Cancer Vaccines w Memorial Sloan Kettering, który kierował pracami obliczeniowymi przy tworzeniu szczepionki podanej Barbarze Brigham. W późniejszych stadiach choroby guzy zwykle wykazują oznaki aktywności układu odpornościowego – nawet jeśli reakcja odpornościowa nie jest skuteczna. Widać to w zmianach składu komórkowego mikrośrodowiska wokół guza czy w ekspresji cząsteczek punktów kontrolnych. Te zjawiska można rozumieć jako formy ewolucyjnych adaptacji guza w wyścigu o przetrwanie, tłumaczy Greenbaum. „I wtedy pojawiło się zasadnicze pytanie: czy możemy spróbować oszacować, co tak naprawdę układ odpornościowy „widzi", patrząc na raka?"

ABY OPRACOWAĆ działającą szczepionkę mRNA, Greenbaum i Balachandran musieli zarówno sekwencjonować DNA komórek nowotworowych, które zamierzali zwalczać, jak i stworzyć analizy pozwalające wytypować właściwe neoantygeny – czyli te nieprawidłowe białka, które zdradzają mutacje leżące u podstaw nowotworu. Neoantygeny tworzą krótkie łańcuchy aminokwasów, pochodzące z białek o nazwach przypominających numery rejestracyjne: PIK3CA, KDM5C. Jednym z głównych celów współpracy obu naukowców było rozpoznanie znaczących wzorców w częstości występowania tych sekwencji – zarówno między pacjentami, jak i między typami nowotworów. Które neoantygeny utrzymują się mimo kolejnych mutacji? Które pojawiają się regularnie w określonych warunkach lub są szczególnie łatwo rozpoznawane przez układ odpornościowy?

Niektóre z tych sekwencji, pochodzące z tzw. antygenów napędzających (driver antigens), występują w większości klonów danego typu nowotworu. W raku trzustki główna mutacja napędzająca dotyczy genu KRAS, jednak powstające w jej wyniku antygeny nie wydają się wywoływać wiarygodnej reakcji odpornościowej u pacjentów długoterminowo przeżywających chorobę. Zamiast tego, gdy Balachandran i jego zespół zsekwencjonowali próbki krwi tych wyjątkowych ozdrowieńców, okazało się, że najliczniejsze były u nich komórki odpornościowe reagujące na antygeny powstające w wyniku pojedynczych, tzw. towarzyszących (passenger) mutacji.

W 2017 roku, gdy zespół opublikował wyniki swoich badań, było to odkrycie sprzeczne z dotychczasowym przekonaniem. Przez dziesięciolecia badacze opracowujący szczepionki i inne immunoterapie skupiali się na czerniaku — ponieważ guzy czerniaka wykazują wyjątkowo wysoki poziom mutacji genetycznych. „Dla układu odpornościowego wygląda on zupełnie inaczej niż większość innych nowotworów – mówi Michael Postow, onkolog kliniczny z Memorial Sloan Kettering, zaangażowany w badania kliniczne szczepionek mRNA przeciwko czerniakowi. – Dlatego wydawał się idealnym celem." Czerniak, z uwagi na ogromną liczbę produkowanych zmutowanych antygenów, powinien naturalnie przyciągać uwagę układu odpornościowego i pobudzać go do ataku. Natomiast według wcześniejszych poglądów, rak trzustki miał generować tak niewiele mutacji, że prawdopodobieństwo wytworzenia antygenów towarzyszących zdolnych do wywołania odpowiedzi immunologicznej uważano za znikome.

W miarę jak globalne zapotrzebowanie na szczepionki przeciw COVID-19 zaczęło spadać, rozpoczął się wyścig, by zastosować technikę mRNA w walce z długą listą chorób.

Dzięki wynikom badania z 2017 roku Balachandran mógł jednak obalić ten argument. Nawet jeśli szczepionki wydają się szczególnie dobrze dopasowane do czerniaka, zawsze istnieje pewien margines niepewności przy wyborze właściwych do zaatakowania antygenów. Po pierwsze, sekwencjonowanie próbki guza trzustki, takiej jak u Brigham, daje jedynie migawkowy obraz w czasie. Kilka miesięcy lub lat później albo w przypadku wznowy nie będzie gwarancji, że klon nowotworu dominujący w momencie pierwszego badania wciąż odgrywa istotną rolę. Każda mutacja może też mieć nieprzewidywalne skutki – rozmiar, kształt lub właściwości biochemiczne danego antygenu mogą zmienić się znacznie pod wpływem pojedynczej zmiany w jednym aminokwasie.

Co więcej, nie każdy antygen, który teoretycznie odróżnia „swoje" od „obcego", jest faktycznie eksponowany na powierzchni komórki. Neoantygen pozornie charakterystyczny dla guza może mieć niemal identyczny profil jak inny antygen własny w innej części ciała. W takim przypadku szczepionka oparta na tym neoantygenie może nie wywołać znaczącej odpowiedzi immunologicznej – lub, co gorsza, może skierować ją przeciwko niewłaściwemu celowi.

Badanie ujawniło zatem pewną słabość strategii opracowywania spersonalizowanych szczepionek mRNA skupionych na czerniaku: jego wysoki poziom mutacji tworzy ogromną pulę potencjalnych celów dla szczepionki, ale równie wiele okazji do pomyłki. Pojedynczy guz może mieć na powierzchni komórek nawet 10 tys. różnych białek – nie sposób zaatakować ich wszystkich. W przypadku raka trzustki Balachandran dostrzegł natomiast, że mniejsza liczba mutacji może paradoksalnie zwiększyć szansę wyboru za cel właściwego antygenu.

TO SPOSTRZEŻENIE STAŁO SIĘ podstawą propozycji, z jaką Balachandran zwrócił się do Ugura Sahina, współzałożyciela i dyrektora generalnego niemieckiej firmy biotechnologicznej BioNTech. Ich współpraca rozpoczęła się jeszcze przed pandemią

eprasa.pl 69ff3c2d5f

W maju pojawiło się kolejne zagrożenie dla rozwoju spersonalizowanych szczepionek mRNA przeciwko rakowi: narastająca federalna wrogość wobec szczepień.

COVID-19, jednak w 2020 roku BioNTech był całkowicie pochłonięty wysiłkiem stworzenia pierwszej na świecie szczepionki mRNA dopuszczonej do użytku. Wraz z firmą Moderna, BioNTech udowodnił bezpieczeństwo tej techniki – na całym świecie podano miliardy dawek, przy bardzo niewielkiej liczbie działań niepożądanych.

Okazało się nie tylko, że mRNA jest bezpiecznym nośnikiem szczepionek, ale – jak dobrze wiedział Sahin – jest też niezwykle elastyczną platformą do przekazywania informacji genetycznej. Podczas gdy tradycyjne szczepionki zazwyczaj wymagają ciągłej produkcji dokładnego wirusa, przeciwko któremu mają działać, większość informacji genetycznej w szczepionce mRNA może pozostać taka sama – niezależnie od choroby, z którą walczy.

Szczepionka BioNTech przeciw COVID-19 bazowała na 30 latach badań prowadzonych przez Sahina i współzałożycielkę firmy, Özlem Türeci, które pierwotnie miały na celu opracowanie szczepionek przeciwko rakowi. Oboje – zarówno współpracownicy, jak i małżeństwo – udoskonalali sekwencje nukleotydowe na końcach cząsteczki mRNA („czapeczce" i „ogonie"), które kierują szczepionkę do odpowiedniej części komórki i wskazują układowi odpornościowemu, na co powinien zwrócić uwagę. Zwiększyli także stabilność samej cząsteczki, dzięki czemu nawet niewielka dawka szczepionki mogła wywołać pełną odpowiedź immunologiczną. Cała ta wiedza mogła zostać przeniesiona na szczepionki przeciwko innym chorobom – jedyną rzeczą, która musiała się zmienić, były informacje genetyczne w środkowej części cząsteczki. Po uzyskaniu pozytywnych wyników badań nad szczepionką mRNA przeciwko czerniakowi, Sahin zgodził się współpracować z Balachandranem przy opracowaniu szczepionki mRNA przeciw rakowi trzustki.

W miarę jak globalne zapotrzebowanie na szczepionki przeciw COVID-19 zaczęło spadać, rozpoczął się wyścig, by zastosować technikę mRNA w walce z długą listą chorób – w tym malarią, grypą, gruźlicą czy norowirusem. Rak jest tu naturalnym celem. Pomimo postępów w leczeniu pozostaje w większości przypadków nieuleczalny i jest jedną z głównych przyczyn zgonów, zwłaszcza w miarę wydłużania się średniej długości życia na świecie. Ponieważ jednak szczepionki przeciwnowotworowe muszą być spersonalizowane, największa zmiana w podejściu do ich opracowywania w technice mRNA nie dotyczy samego etapu badań, lecz produkcji. Zarówno BioNTech, jak i Moderna stanęły przed wyzwaniem odwrotnym niż to, z którym mierzyły się przy opracowywaniu szczepionek przeciw COVID-19.

Przed pandemią obie firmy były w zasadzie nowicjuszami wśród gigantów przemysłu farmaceutycznego. Żadna nie miała jeszcze produktu wprowadzonemu na rynek. Moderna zatrudniała mniej niż tysiąc osób i wyprodukowała w sumie mniej niż 100 tys. dawek szczepionek w fazie klinicznej. Po uzyskaniu przez preparat SpikeVax zezwolenia na użycie awaryjne od amerykańskiej Agencji ds. Żywności i Leków (FDA) firma czterokrotnie zwiększyła zatrudnienie i w ciągu zaledwie 18 miesięcy wyprodukowała ponad miliard dawek.

Zadaniem Scotta Nickersona, który kieruje produkcją Moderny w zakresie indywidualizowanych terapii nowotworowych opartych na neoantygenach, stało się przeprojektowanie procesu stworzonego z myślą o wytwarzaniu szczepionek mRNA dla milionów ludzi – z partii liczonych w tysiącach litrów – na potrzeby partii wielkości kilku mililitrów, które trzeba dostarczyć w ciągu kilku tygodni.

Aby to osiągnąć, Moderna intensywnie inwestuje w automatyzację, współpracując z firmą robotyczną w celu przygotowywania sterylnych zestawów surowców do każdej partii, co minimalizuje czas kontaktu operatora z materiałem na hali produkcyjnej. Celem jest, by pracownicy zamiast śledzić jedną dużą partię szczepionki przez cały proces, mogli płynnie przechodzić od jednej małej partii do kolejnej po jej skonfigurowaniu.

Zarówno w Modernie, jak i w BioNTechu złożoną logistyką dziesiątek różnych testów kontroli jakości wymaganych dla każdej serii szczepionki zajmują się algorytmy oparte na sztucznej inteligencji. Zanim dawki SpikeVax zostały dopuszczone do dystrybucji, przeszły łącznie 40 różnych testów, które sprawdzały parametry chemiczne, biochemiczne i mikrobiologiczne oraz sterylność każdej fiolki.

W przypadku szczepionek przeciw COVID-19 sam test sterylności – potwierdzający brak skażenia mikroorganizmami – zajmował dwa tygodnie. Udoskonalenia skróciły ten czas do ośmiu dni, a Nickerson mówi, że ostatecznym celem jest zredukowanie go do pięciu dni i ukończenie wszystkich pozostałych testów w tym samym oknie czasowym. „Trudność polega na tym, że musimy zaprojektować całe wyposażenie od podstaw – wyjaśnia. – Nic nie jest dostępne od ręki."

Jednocześnie sama nauka stojąca za tym procesem jest, przynajmniej teoretycznie, łatwo adaptowalna dzięki wcześniej zdobytym doświadczeniom. Lennard Lee, doradca brytyjskiej Narodowej Służby Zdrowia (NHS) nadzorujący wdrażanie badań klinicznych szczepionek przeciwnowotworowych, mówi, że pandemia dała regulatorom w Wielkiej Brytanii solidne podstawy w zakresie testów klinicznych szczepionek mRNA przeciwko rakowi. We współpracy z BioNTechem, NHS uruchomiła program, którego celem jest zapewnienie spersonalizowanych szczepionek nawet 10 tys. pacjentów onkologicznych w ciągu najbliższych pięciu lat. Ponadto NHS i Moderna zainwestowały we wspólny zakład produkcyjny, który ma mieć zdolność wytwarzania do 250 mln szczepionek rocznie.

W tym czasie – gdy producenci pracują nad skróceniem czasu wytwarzania i obniżeniem kosztów

eprasa.pl 69ff3c2d5f

– prowadzone będą badania kliniczne oceniające alternatywne dawki i mechanizmy podawania szczepionek, mówi Lee. W obecnie obowiązującym protokole założono, że szczepionki mają celować w mikroprzerzuty – niewielkie skupiska komórek nowotworowych, które rozprzestrzeniły się na inne części ciała i pozostały tam po chirurgicznym usunięciu guza. Jednak nie brakuje możliwych modyfikacji, które mogą się pojawić wraz z nowymi danymi lub ulepszonymi metodami diagnostycznymi. Czy dałoby się podać szczepionkę terapeutyczną jeszcze przed tym, zanim guz urośnie do rozmiaru umożliwiającego operację? A może nawet przede wszystkim opracować szczepionkę profilaktyczną, która zapobiegałaby powstawaniu guza?

Dzięki zintegrowanemu systemowi opieki zdrowotnej oraz światowej klasy zapleczu badawczemu i produkcyjnemu Wielka Brytania – jak mówi Lee – jest doskonale przygotowana, by prowadzić badania, które mogą udzielić odpowiedzi na te pytania. Jednak pełne wykorzystanie potencjału spersonalizowanych szczepionek mRNA przeciwko rakowi będzie wymagało większej liczby badań klinicznych w Stanach Zjednoczonych, gdzie istnieje znacznie więcej ośrodków zajmujących się badaniami nad nowotworami niż w Wielkiej Brytanii. Niestety, zdolność USA do przewodzenia temu wysiłkowi jest dziś poważnie zagrożona.

Rząd federalny od dawna stanowił główne źródło finansowania badań nad rakiem w Stanach Zjednoczonych. Miriam Merad, immunolog zajmująca się rakiem w Icahn School of Medicine przy Mount Sinai w Nowym Jorku, mówi, że w przeciętnym roku finansowanie z Narodowych Instytutów Zdrowia (National Institutes of Health, NIH) stanowi ponad połowę budżetu badawczego jej instytucji.

Podczas pierwszej kadencji prezydenta Donalda Trumpa grożono cięciami budżetu NIH, które ostatecznie nigdy nie doszły do skutku. „Społeczeństwo na to nie pozwoli" – pomyślała Merad. Jednak zaledwie kilka tygodni po rozpoczęciu drugiej kadencji Trumpa NIH ogłosił plan ograniczenia pośrednich kosztów dotacji badawczych do 15%, co oznacza, że za każde 100 dolarów przyznanych na badania tylko 15 dolarów mogłoby zostać przeznaczone na koszty ogólne – drastyczna zmiana wobec dotychczasowych stawek rzędu 50–60%.

„To jest przedsięwzięcie operacyjne – mówi Merad, wskazując na budynek, w którym pracuje, pełen sprzętu badawczego wartego setki tysięcy dolarów i z całym piętrem poświęconym hodowli myszy laboratoryjnych. – Musimy płacić pensje, kupować pożywienie dla zwierząt, opłacać serwis urządzeń, które wymagają stałej konserwacji." To nie są wydatki, które można łatwo wstrzymać czy wznowić w zależności od losu pojedynczej dotacji. Zaledwie kilka miesięcy po ogłoszeniu tej decyzji przez NIH dział Merad musiał ograniczyć rekrutację na staże podoktorskie, a szkoła medyczna Mount Sinai zmniejszyła liczbę przyjęć studentów.

W maju pojawiło się kolejne zagrożenie dla rozwoju spersonalizowanych szczepionek mRNA przeciwko rakowi: narastająca federalna wrogość wobec szczepień. Republikanie w Senacie zorganizowali przesłuchanie zatytułowane „Korupcja nauki i federalnych agencji zdrowia", podczas którego padło fałszywe twierdzenie, że aż trzy na cztery zgony z powodu COVID-19 miały być skutkiem szczepionek mRNA stosowanych w celu powstrzymania pandemii. (W rzeczywistości – jak wykazało badanie opublikowane na początku tego roku – szczepienia przeciw COVID-19 uratowały około 2,5 mln istnień ludzkich w latach 2020–2024). W czerwcu Kennedy zwolnił wszystkich 17 członków Komitetu Doradczego ds. Praktyk Szczepień (ACIP), który doradza w kwestiach federalnej polityki szczepionkowej. Ostatecznie zastąpił ich własnym komitetem doradczym, w którego skład weszło kilku znanych działaczy antyszczepionkowych. Kennedy drastycznie ograniczył też finansowanie badań nad szczepionkami mRNA – w sierpniu anulował dotację prawie 500 mln dolarów przeznaczonych na rozwój szczepionek przeciwko takim wirusom, jak SARS-CoV-2 i grypa. Ten ruch pogłębił obawy naukowców, którzy chcą rozwijać szczepionki mRNA przeciwko innym chorobom, w tym przeciwko nowotworom.

PO MOJEJ WIZYCIE w Memorial Sloan Kettering zespół Balachandrana pokazał mi wykres przedstawiający reakcję immunologiczną Brigham na jej spersonalizowaną szczepionkę mRNA. Na osi poziomej trójkąty oznaczały daty jej operacji oraz dziewięciu dawek szczepionki, które otrzymała w ciągu roku. Nad nimi skupisko jaskrawych linii pokazywało odsetek limfocytów T w jej organizmie skierowanych przeciwko konkretnym zmutowanym białkom w guzie. Na początku, tuż po usunięciu guza, komórki T zdolne do rozpoznania każdego klonu nowotworu stanowiły około jedną na 500 tys. komórek T we krwi. Kilka miesięcy po operacji – po czterech dawkach szczepionki – linie na wykresie gwałtownie wzrosły, pokazując, że najliczniejsze komórki walczące z rakiem stanowiły już od jednego na 20 do jednego na 50 limfocytów T – wzrost ponad 20 000-krotny.

W miesiącach poprzedzających ostatni zastrzyk przypominający, podany niemal rok po operacji, liczba tych komórek nieco spadła, lecz utrzymywała się na zbliżonym poziomie nawet trzy lata później. Obecnie trwa badanie kliniczne fazy II, które ma ocenić bezpieczeństwo i skuteczność tej szczepionki w większej grupie pacjentów.

Szczepionka, którą podano Brigham, to zaledwie dziewięć maleńkich fiolek z płynem podawanych dożylnie – prywatna wiadomość zakodowana tak, by mógł ją odczytać tylko jej układ odpornościowy. Ale wysiłek, który doprowadził do stworzenia tej wiadomości, był niezwykle kolektywnym przedsięwzięciem, którego początki sięgają daleko wstecz i obejmują analizę setek tysięcy próbek tkanek pobranych z ciał pacjentów, którzy często nie przeżyli choroby, przechowywanych i analizowanych w Memorial Sloan Kettering. W tej szczepionce zawarty był też wkład całych pokoleń podatników, którzy nigdy nie doczekali tych wyników badań. Być może ich potomkowie zdołają pokonać chorobę – jeśli społeczeństwo nadal będzie wspierać tę kluczową misję. ■

Z ARCHIWUM

New Cancer Vaccines Could Treat Some Types of Pancreatic, Colorectal and Other Deadly Forms of the Disease. Jamie Seaton; ScientificAmerican.com, 13 lutego 2024. ScientificAmerican.com/archive

eprasa.pl 69ff3c2d5f

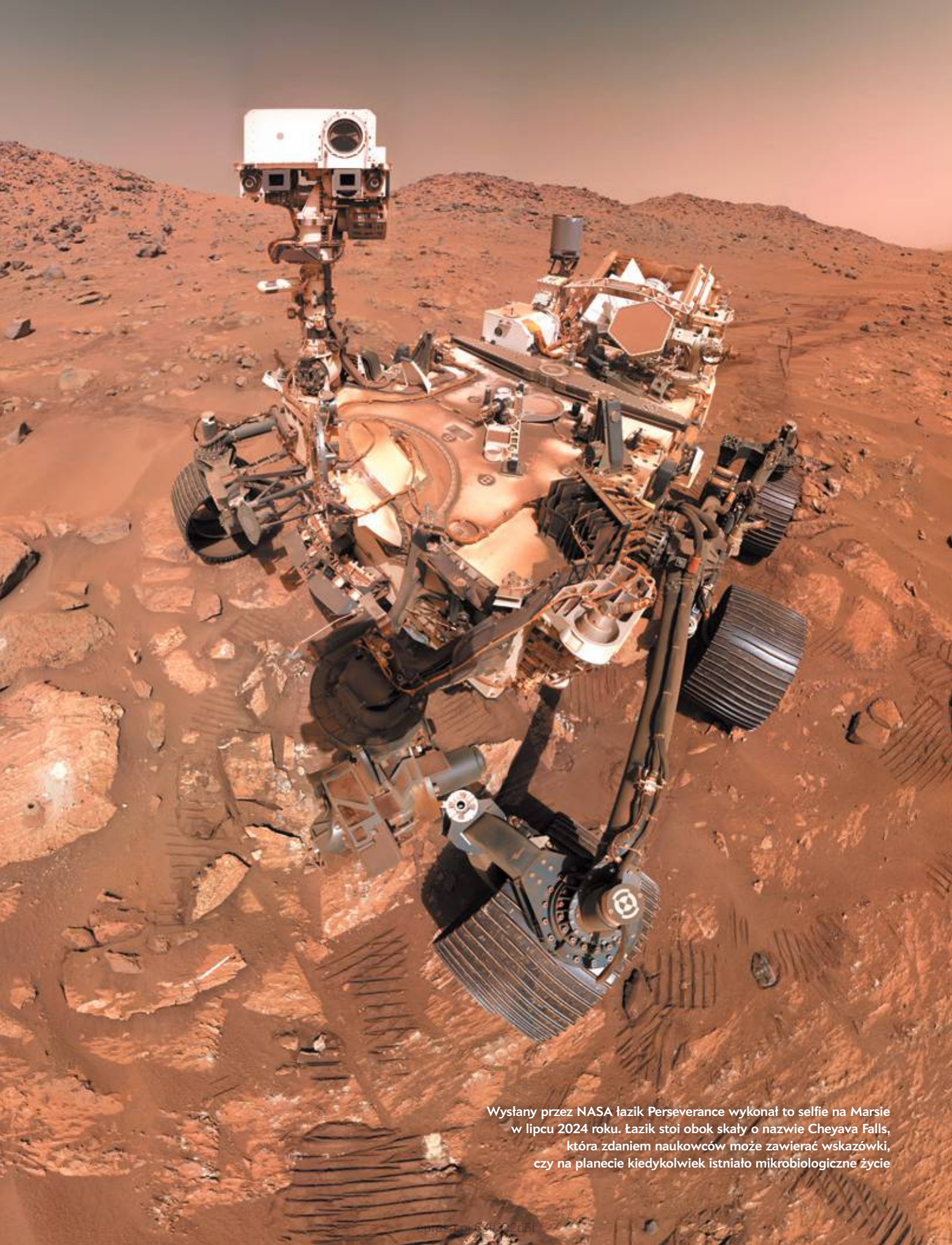
PLANETOLOGIA

POZOSTAWIONE NA MARSIE

NASA przez lata wydawała miliardy dolarów na zbieranie próbek marsjańskich, chcąc je sprowadzić na Ziemię. Być może je tam po prostu zostawimy

JONATHAN O'CALLAGHAN

eprasa.pl 69ff3c2d5f



Wysłany przez NASA łazik Perseverance wykonał to selfie na Marsie w lipcu 2024 roku. Łazik stoi obok skały o nazwie Cheyava Falls, która zdaniem naukowców może zawierać wskazówki, czy na planecie kiedykolwiek istniało mikrobiologiczne życie

eprasa.pl 63ff332d5f

WŁAŚNIE W TEJ CHWILI powierzchnię Marsa bada jeden z najbardziej zaawansowanych robotów planetarnych, jakie kiedykolwiek zbudowano. Wspierany przez setki naukowców na Ziemi, łazik Perseverance przebył odległość prawie równą długości maratonu, próbując znaleźć odpowiedzi na niektóre z najważniejszych pytań związanych z naszym planetarnym sąsiadem. Jak wyglądał ten glob przed wiekami? Czy kiedykolwiek nadawał się do stworzenia życia? Czy to życie na nim istniało?

ASA/JPL-Caltech/MSSS (*poprzednie strony*)

Naukowcy ogłosili we wrześniu, że zbadana przez łazik Perseverance skała o nazwie Cheyava Falls jest pokryta minerałami bogatymi w żelazo, które mogą pomóc odpowiedzieć na powyższe pytania. Na Ziemi obecność takich minerałów zazwyczaj oznacza, że żyły tam mikroorganizmy wykorzystujące żelazo w reakcjach chemicznych niezbędnych do ich metabolizmu. Czy tak samo było na Marsie? Kawałek skały Cheyava Falls jest obecnie przechowywany w magazynie łazika. Odpowiedzi może dostarczyć nam analiza przeprowadzona z użyciem rozbudowanego sprzętu laboratoryjnego – jeśli uda się skałę przetransportować na Ziemię.

Ale podróż Cheyava Falls na naszą planetę może się nie powieść. Łazik Perseverance stanowi pierwszą fazę wieloetapowej misji mającej na celu sprowadzenie fragmentów Marsa na Ziemię, znanej jako Mars Sample Return (MSR), a jej kolejny krok stoi pod znakiem zapytania. Administracja Trumpa zasugerowała odwołanie etapu powrotu. W chwili oddawania tego artykułu do druku los misji zależy od Kongresu Stanów Zjednoczonych.

Sytuacja ta zasmuciła naukowców, którzy od dawna chcieli zbadać marsjańskie skały. „Pracowaliśmy nad tym przez wiele dziesięcioleci" – mówi Vicky Hamilton, geolożka planetarna z oddziału Southwest Research Institute w Kolorado. Teraz, gdy łazik Perseverance zebrał już cenne próbki, naukowcy stanęli przed perspektywą pozostawienia ich na Marsie, gdzie będą niszczeć. „Trudno się z tym pogodzić".

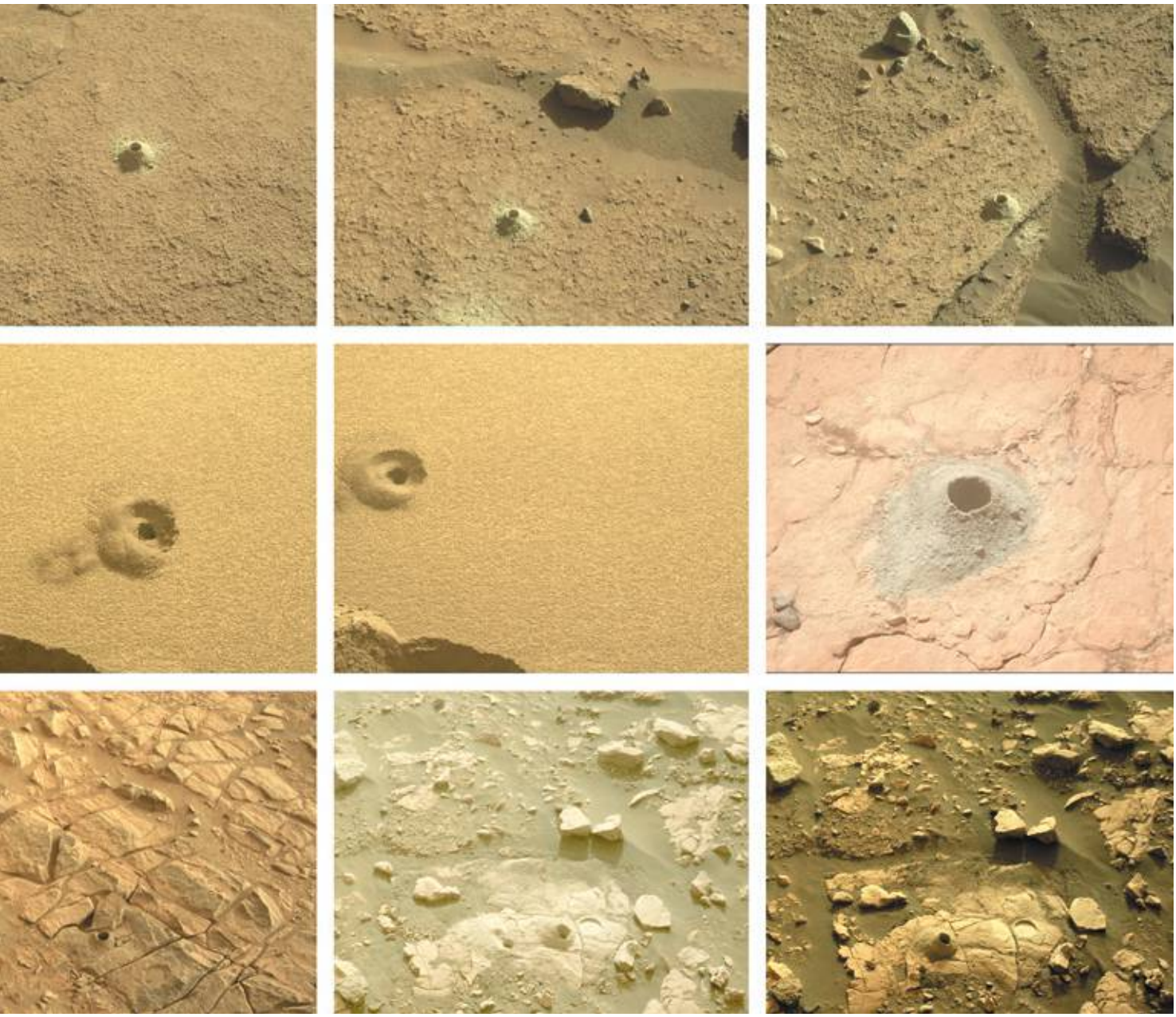
Nawet jeśli misja nie zostanie odwołana, to kwestią otwartą pozostaje sposób jej zakończenia. W 2024 roku NASA ogłosiła, że rezygnuje z pierwotnego, problematycznego planu MSR – uznanego za zbyt kosztowny i opóźniony w stosunku do harmonogramu – i poszuka tańszych rozwiązań komercyjnych. Agencja rozważa obecnie wiele opcji, ale nie podjęła jeszcze decyzji, którą z nich wybrać, jeśli w ogóle którąś.

Stawką są potencjalnie niezwykle istotne informacje na temat Marsa. Wiemy, że około 3–4 mld lat temu planeta była ciepła i wilgotna, a na jej powierzchni znajdowały się jeziora i morza. Nie wiemy jednak, czy kiedykolwiek istniało tam życie. Czy możemy to ustalić?

W LUTYM 2021 ROKU łazik Perseverance po emocjonującym lądowaniu osiadł na powierzchni Marsa. Po przebiciu się przez atmosferę marsjańską i opadnięciu

Jonathan O'Callaghan jest nagradzanym niezależnym dziennikarzem zajmującym się astronomią, astrofizyką, komercyjnymi lotami kosmicznymi i eksploracją kosmosu.

eprasa.pl 69ff3c2d5f



W trakcie eksploracji Marsa Perseverance zgromadził dziesiątki próbek skał. Rdzenie wiertnicze pobrano w 12 lokalizacjach, a następnie umieszczono w łaziku.

NASA/JPL-Caltech

na powierzchnię z użyciem spadochronu, napędzana silnikiem rakietowym, przypominająca kraba platforma Sky Crane opuściła na linach łazik. Urządzenie to znalazło się w kraterze Jezero – zagłębieniu o średnicy 45 km. Kiedyś płynęła tam rzeka, a pozostawiona przez nią wyschnięta delta jest widoczna z kosmosu.

Jeśli kiedykolwiek coś żyło na Marsie, Jezero to dobre miejsce, aby szukać jego śladów. Niemal niemożliwe jest jednak przeprowadzenie badań na Marsie, które byłyby w stanie znaleźć życie, bez pomocy laboratoriów na Ziemi. Dlatego naukowcy od lat 60. lobbują za sprowadzeniem fragmentów Marsa na Ziemię.

MSR jest zwieńczeniem tych wysiłków. W 2000 roku Scott Hubbard, pierwszy dyrektor programu marsjańskiego NASA – nazywany czasem „carem Marsa" – otrzymał zadanie naprawy podupadłego programu, który w latach 90. doświadczył wielu niepowodzeń, w tym utraty dwóch orbiterów i lądownika. „Sprowadziłem ówczesny program do samych podstaw, niemal do czystej kartki papieru" – mówi Hubbard. Jego głównym priorytetem było ustalenie, czy kiedykolwiek istniało życie na Marsie i czy może istnieć tam dzisiaj.

Zainteresowanie życiem na Marsie wzrosło po słynnym oświadczeniu prezydenta Billa Clintona, w którym w 1996 roku na trawniku przed Białym Domem ogłosił, że w meteorycie marsjańskim znalezionym na Antarktydzie wykryto ślady życia. Twierdzenie to zostało później obalone, ale wywołało wystarczająco duże poruszenie, aby poszukiwanie życia na Marsie znalazło się na szczycie listy priorytetów NASA.

NASA opracowała plan. Łaziki i orbitery miały zbadać planetę w celu zidentyfikowania odpowiednich miejsc do poszukiwania śladów życia. Następnie miał się tam udać łazik i pobrać próbki, które w trzecim etapie zostałyby przetransportowane na Ziemię. W 2012 roku NASA ogłosiła misję Mars 2020, w ramach

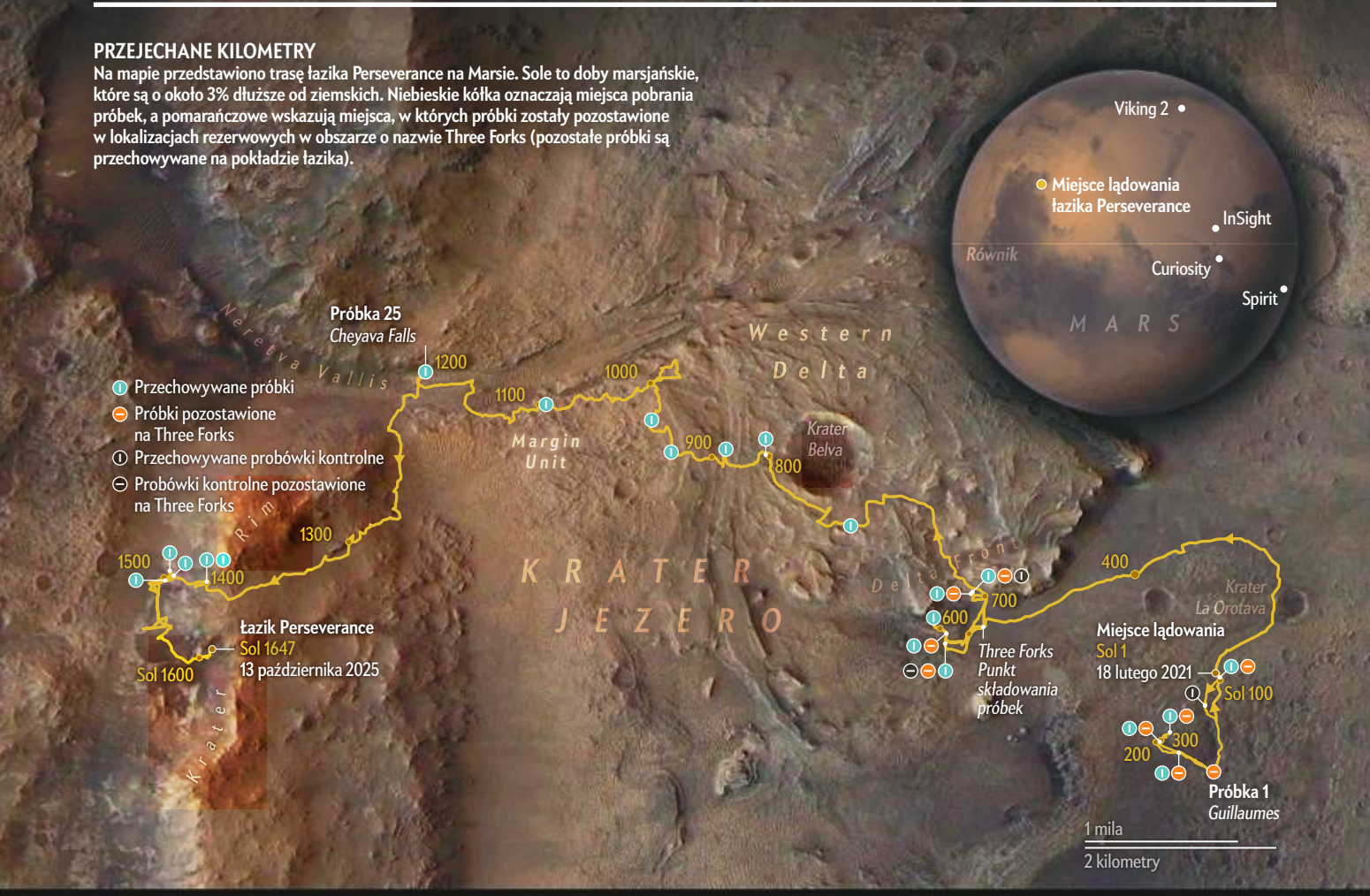
eprasa.pl 69ff3c2d5f

Wędrówka Perseverance

Największy łazik, jaki kiedykolwiek wysłano na Marsa, bada Czerwoną Planetę od lutego 2021 roku. Podczas swojej ponad 37-kilometrowej podróży Perseverance zebrał rozmaite próbki skał, które będą przechowywane do czasu, aż przyszła misja przetransportuje je na Ziemię w celu zbadania w laboratoriach. Jednakże misja powrotna jest zagrożona: administracja Trumpa chciałaby ją odwołać w ramach szerszych cięć budżetowych na naukę i eksplorację kosmosu.

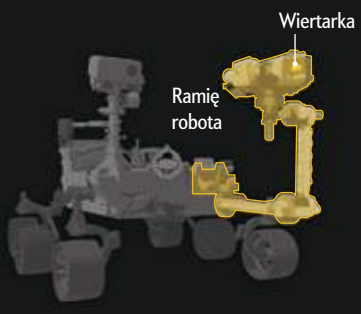
PRZEJECHANE KILOMETRY

Na mapie przedstawiono trasę łazika Perseverance na Marsie. Sole to doby marsjańskie, które są o około 3% dłuższe od ziemskich. Niebieskie kółka oznaczają miejsca pobrania próbek, a pomarańczowe wskazują miejsca, w których próbki zostały pozostawione w lokalizacjach rezerwowych w obszarze o nazwie Three Forks (pozostałe próbki są przechowywane na pokładzie łazika).



PRÓBKOWANIE MARSA

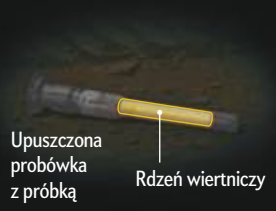
Na Perseverance umieszczono 43 probówki wielkości cygara, które służą do przechowywania fragmentów skał mogących dostarczyć ważne informacje. 38 z nich przeznaczonych jest do przechowywania próbek, a pięć to „probówki kontrolne", służące do monitorowania ewentualnych zanieczyszczeń układu pobierania próbek podczas całej misji.



Na końcu dwumetrowego ramienia robota łazika znajduje się wieżyczka wyposażona w obrotową wiertarkę udarową.

Ramię do pobierania próbek dokonuje odwiertów w skałach, aby zebrać rdzenie wiertnicze, które są następnie przechowywane na łaziku w jednej z 43 probówek.

Próbki są następnie przenoszone do wewnętrznego pojemnika, w którym są fotografowane, mierzone i szczelnie zamykane.



Niektóre próbki zostały upuszczone w bezpiecznym miejscu, a pozostałe są przechowywane w łaziku w celu zapewnienia bezpieczeństwa.

ŹRÓDŁO: ESA/DLR/FU-Berlin (*obraz bazowy krateru Jezero*); Kenneth A. Farley i Vivian Sun (*recenzenci*)

Grafika Matthew Twombly

eprasa.pl 69ff3c2d5f

której wysłano łazik (nazwany później Perseverance) w celu zebrania próbek. Do 2030 roku kolejna misja miała zgromadzić te próbki i sprowadzić je na Ziemię, a jej szacowany koszt miał wynieść nieco poniżej 6 mld dolarów. Perseverance wystartował z Cape Canaveral na Florydzie w lipcu 2020 roku. Naukowcy mieli nadzieję, że wkrótce potem rozpocznie się misja odzyskiwania próbek.

We wrześniu 2021 roku łazik Perseverance zebrał swoją pierwszą próbkę. Był to rodzaj skały wulkanicznej zwanej bazaltem, prawdopodobnie powstałej w wyniku erupcji wulkanu w kraterze Jezero już po jego utworzeniu (krater ten powstał około 3,8 mld lat temu). Gdyby kamień ten można było zbadać i datować na Ziemi, pomogłoby to naukowcom określić najwcześniejszy moment, w którym woda mogła wpłynąć do Jezero.

Od tego czasu łazik pokonał odległość 30 km, powoli sunąc w kierunku krawędzi Jezero i przemierzając deltę nieistniejącej już rzeki. Wyposażony w wysięgnik do pobierania próbek i wiertarkę, Perseverance ma na swoim wyposażeniu 43 probówki wielkości cygara, w których może przechowywać próbki wybrane przez naukowców obserwujących każdy jego ruch.

Od grudnia 2022 roku do stycznia 2023 roku łazik zostawił 10 takich probówek w miejscu zwanym Three Forks – stanowią one zapas awaryjny na wypadek późniejszej awarii pojazdu. Jednakże najcenniejsze próbki, zebrane w górze koryta rzeki, czyli w miejscach, w których perspektywy życia wydają się najbardziej obiecujące, pozostają na pokładzie Perseverance. Należy do nich okaz z Cheyava Falls, pobrany w marcu 2024 roku w regionie zwanym Bright Angel. „Prawdopodobnie wszyscy najbardziej ekscytują się próbkami z Bright Angel – mówi Briony Horgan, planetolożka z Purdue University, która wchodzi w skład zespołu naukowego Perseverance. – Zawierają one potencjalne biosygnatury". Skała z Cheyava Falls „to pierwsza próbka, która z pewnością zawiera materię organiczną", mówi Kenneth Farley, członek projektu Perseverance z California Institute of Technology. Plamy i cętki na skale „mogą być związane z dawnym życiem na Marsie", twierdzi Farley. „Jest to najciekawsza próbka w całej naszej kolekcji".

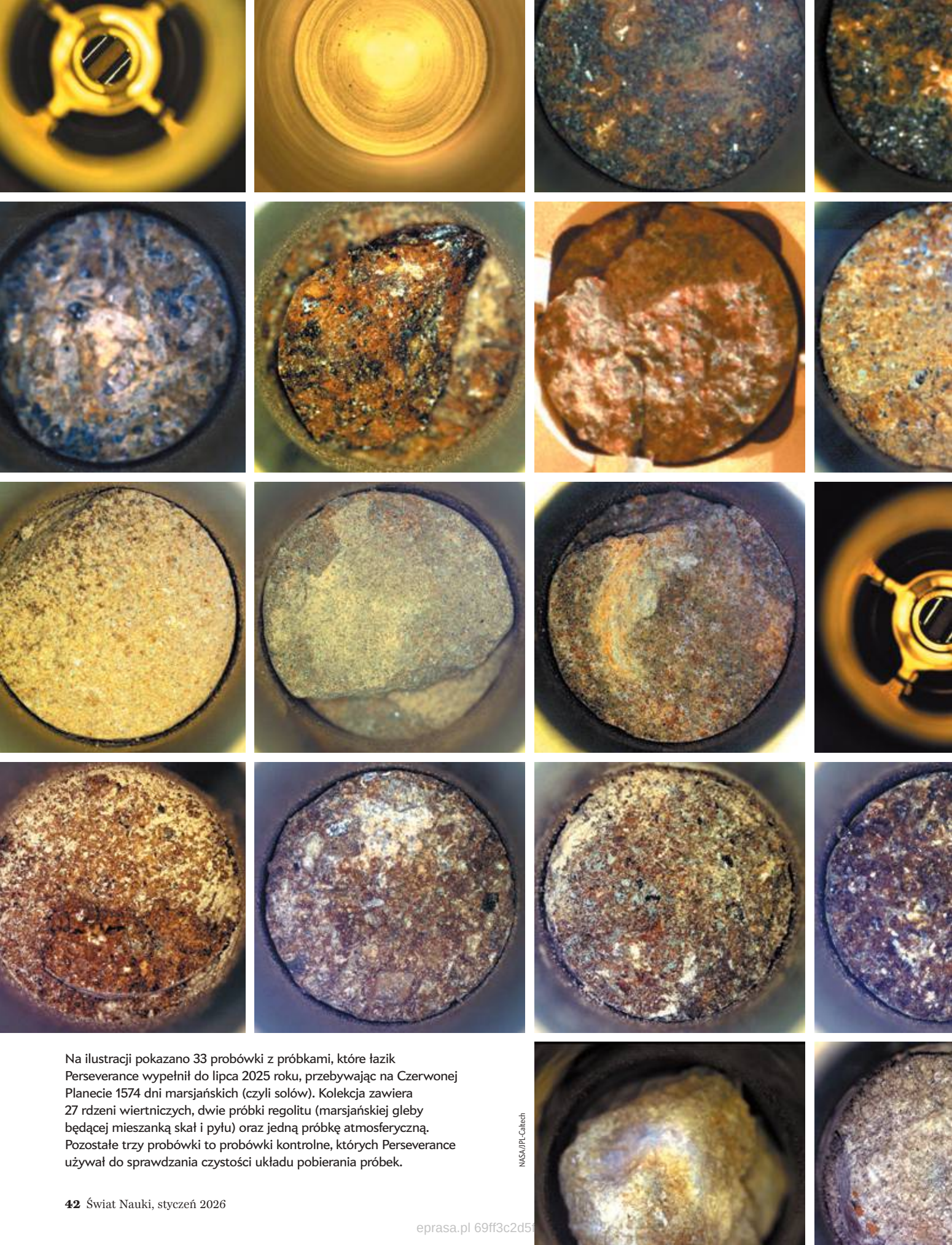
Naukowców fascynuje, co mogliby zrobić z tymi skałami na Ziemi. „Szukalibyśmy właściwości, które trudno wyjaśnić za pomocą jakichkolwiek mechanizmów abiotycznych [niebiologicznych]" – mówi Tanja Bosak, geobiolożka z Massachusetts Institute of Technology, należąca do zespołu naukowego Perseverance zajmującego się badaniem próbek. Innymi słowy, próbki te mogłyby być naszym pierwszym konkretnym dowodem na istnienie życia na innej planecie. Dla przykładu, badacze sprawdziliby, czy nie ma śluzowatej substancji pozostawionej przez rozkładające się mikroorganizmy lub czy nie występuje nierównowaga między dwoma kluczowymi izotopami węgla, ^{12}C i ^{13}C. „Jeśli [na Ziemi] zbadamy kawałek drewna, jakąś obumarłą materią roślinną, stwierdzimy dużą ilość węgla ^{12}C" – mówi Bosak. Innymi dowodami na istnienie życia mogą być mikroskamieniałości, czyli fizyczne obiekty w samych skałach, będące skamieniałymi pozostałościami pradawnych stworzeń. „Powinniśmy znaleźć pewne związki organiczne lub minerały, o których wiemy, że dobrze zachowują kształty mikroorganizmów" – wyjaśnia.

Trudno przecenić znaczenie takiego odkrycia. Byłby to pierwszy dowód na istnienie życia na innej planecie, potwierdzenie tego, że Ziemia nie jest jedynym miejscem we Wszechświecie, w którym powstało życie. Wiedzielibyśmy, że gdy są odpowiednie składniki i panują odpowiednie warunki, życie może powstać wszędzie. Jednakże celem misji sprowadzenia skał z Marsa nie jest wyłącznie poszukiwanie życia. Projekt ten mógłby wyjaśnić, dlaczego planeta nie ma obecnie pola magnetycznego i bardzo rzadką atmosferę – dwie cechy, które prawdopodobnie są ze sobą powiązane. Większość

Na zbliżeniu jednej z probówek, wykonanym przez kamerę modułu przechowywania próbek Perseverance, widać zebrany materiał w momencie przygotowywania probówki do zamknięcia i składowania.

NASA/JPL-Caltech

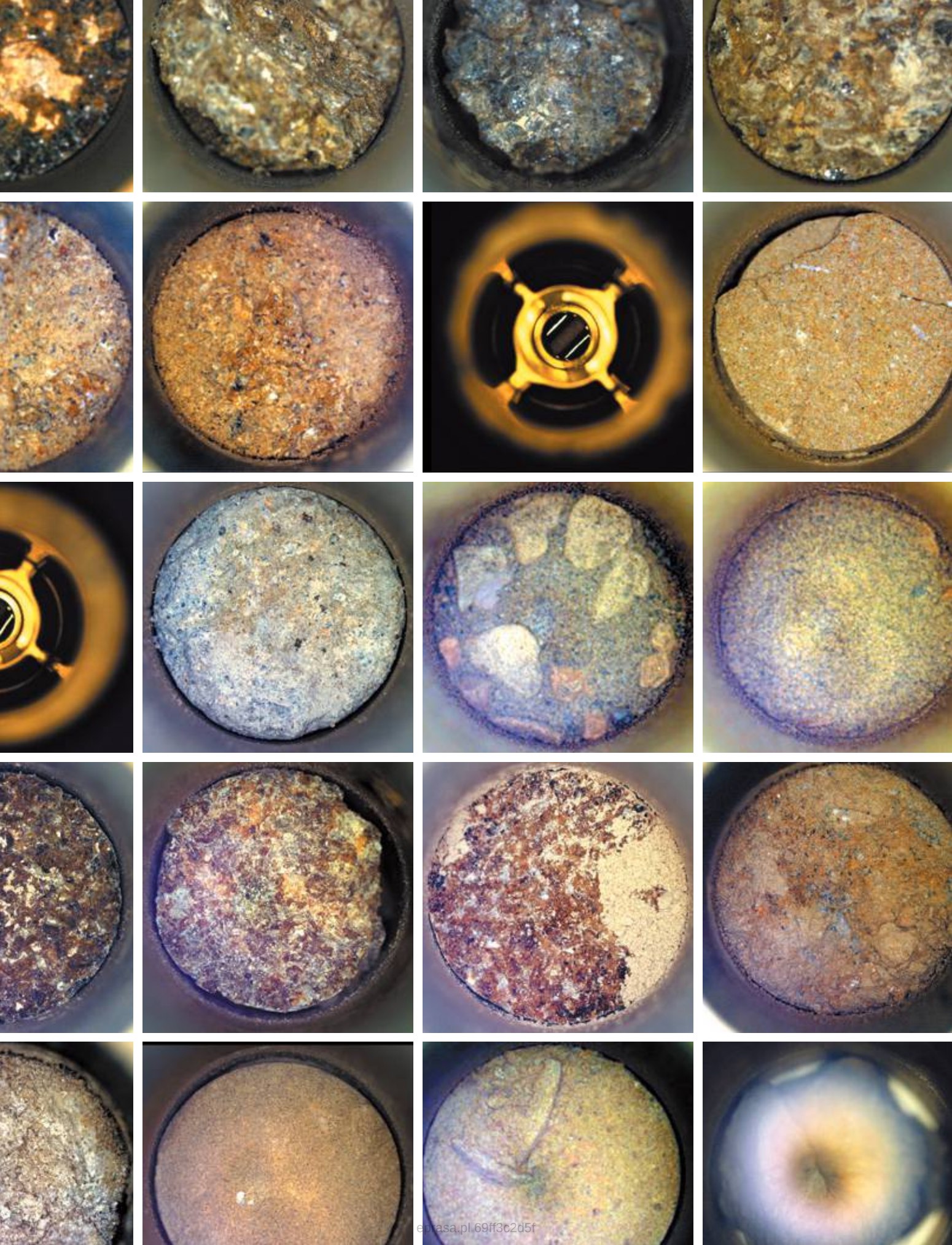
eprasa.pl 69ff3c2d5f



Na ilustracji pokazano 33 probówki z próbkami, które łazik Perseverance wypełnił do lipca 2025 roku, przebywając na Czerwonej Planecie 1574 dni marsjańskich (czyli solów). Kolekcja zawiera 27 rdzeni wiertniczych, dwie próbki regolitu (marsjańskiej gleby będącej mieszanką skał i pyłu) oraz jedną próbkę atmosferyczną. Pozostałe trzy probówki to probówki kontrolne, których Perseverance używał do sprawdzania czystości układu pobierania próbek.

NASA/JPL-Caltech

eprasa.pl 69ff3c2d5f



epvasa.pl.69ff3c2d5f

atmosfery Marsa mogła miliardy lat temu zostać zniszczona przez Słońce, kiedy jądro planety przestało generować ochronne pole magnetyczne, prawdopodobnie wskutek ochłodzenia planety i ustania tektoniki płyt.

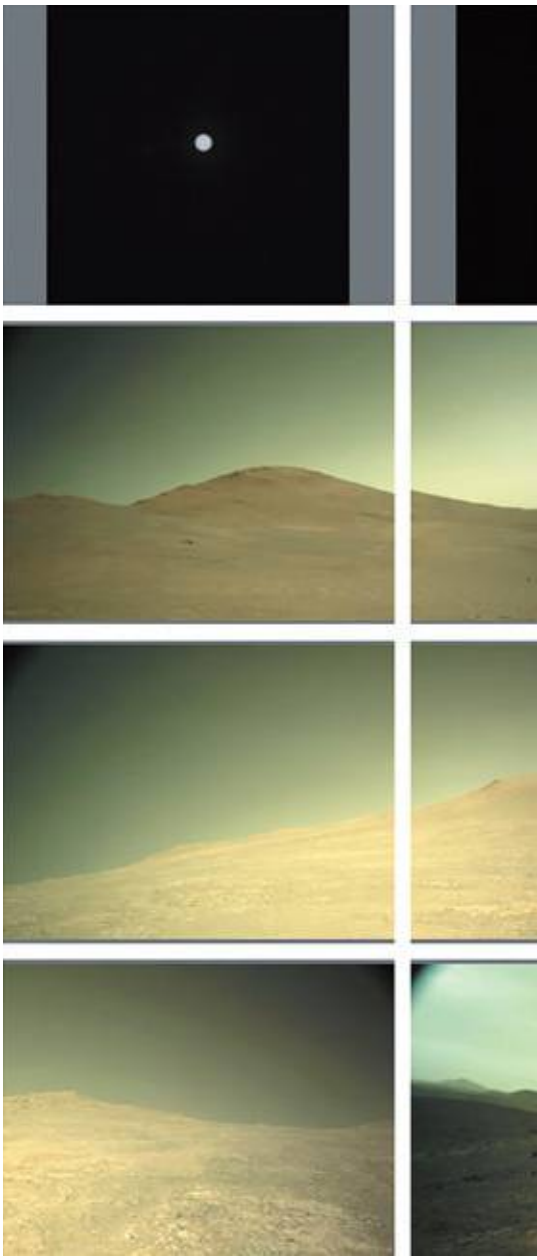
Próbki zebrane przez łazik Perseverance mogą nam powiedzieć, kiedy to wszystko się wydarzyło i dlaczego. W różnych epokach elektrony w gruncie marsjańskim powinny być zorientowane zgodnie z liniami pola magnetycznego planety, „stanowiąc skamieniałości pola", wyjaśnia Benjamin Weiss, planetolog z MIT i członek zespołu naukowego MSR badającego próbki. Skanowanie rentgenowskie próbek pobranych na Ziemi pozwoliło wykryć te orientacje. Można by je porównać z danymi zebranymi na powierzchni Marsa, w tym ze śladami pozostawionymi przez Perseverance podczas zbierania skał. Takie pomiary pozwoliłyby ustalić chronologię aktywności w jądrze planety i być może rozwiązać zagadkę, dlaczego dzisiejszy Mars jest w porównaniu z Ziemią taką zapadłą dziurą. Wiedza ta mogłaby pomóc w poszukiwaniu nadających się do zamieszkania światów poza naszym Układem Słonecznym. Jeśli weźmie się pod uwagę to, co naukowcy wiedzą o kraterze Jezero, nie ma wątpliwości, że w przeszłości życie powinno móc tam przetrwać. Jeśli nie znajdziemy na to dowodów, czy mogłoby to oznaczać, że życie niekoniecznie musi powstać, nawet jeżeli ma do tego odpowiednie warunki? Jedynym sposobem, aby się o tym przekonać, jest dokończenie rozpoczętej przez NASA misji.

PERSEVERANCE POBRAŁ próbkę z Cheyava Falls trzy miesiące po tym, jak jego przyszłość stanęła pod znakiem zapytania. W kwietniu 2024 roku Bill Nelson, były senator ze stanu Floryda, będący wówczas administratorem NASA, ogłosił, że odroczy część programu MSR, która miała dostarczyć próbki na Ziemię. Powołał się na niezależną opinię, w której ostrzegano, że program może ostatecznie kosztować 11 mld dolarów – około 5 mld więcej niż planowano – i zakończyć się dopiero w 2040 roku, czyli o 10 lat później w stosunku do pierwotnego harmonogramu. Nelson uznał, że program wymyka się spod kontroli. „Jest to niezwykle skomplikowany plan, a w dodatku staje się coraz droższy" – wyjaśniał. Ostatecznie zdecydował, że „z niego rezygnujemy i zaczynamy od nowa". Jak mówi Farley, decyzja ta była „rozczarowująca i zaskakująca" dla naukowców pracujących nad misją. Mieli oni „poczucie, że wszyscy w jakiś sposób zawiedli NASA".

Jednakże obawy dotyczące misji pojawiały się również gdzie indziej. Niektórzy naukowcy uważali, że projekt pobrania próbek odwraca uwagę od innych misji planetarnych i odbiera im fundusze. „Jestem znany z krytycznego podejścia do projektu Mars Sample Return – mówi Paul Byrne, planetolog z Washington University w St. Louis. – Istniała obawa, że jeśli projekt będzie kontynuowany w dotychczasowym kształcie, pochłonie wszystkie fundusze przeznaczone na inne misje". Mimo to chce, aby został on zrealizowany – ale za rozsądniejszą kwotę. Środowisko planetologów niemal jednomyślnie uznaje tę misję za priorytetową. „Od dziesięcioleci ludzie przywołują ten projekt jako coś, co należy zrobić – mówi Byrne. – Nie wiem, czy środowisko mogłoby wyrazić się jeszcze dobitniej".

Sprowadzenie próbek na Ziemię będzie wymagało wykonania kilku bezprecedensowych ruchów. Ludzie nigdy wcześniej nie próbowali wystrzelić statku kosmicznego z Czerwonej Planety. Pierwotny plan zakładał wysłanie lądownika z małym łazikiem zbudowanym przez Europejską Agencję Kosmiczną, który miał odebrać próbki zebrane przez Perseverance i załadować je do rakiety. Rakieta ta miałaby następnie zostać wyniesiona na orbitę wokół Marsa, na której inny europejski statek kosmiczny miałby się z nią połączyć i odebrać próbki. Jednakże w 2022 roku NASA odrzuciła ten pomysł, ponieważ stwierdzono, że taki łazik jest zbyt ciężki, aby zapewnić bezpieczne lądowanie.

Z tego powodu Nelson poprosił o inne rozwiązania. NASA zwróciła się z prośbą do firm komercyjnych i innych oddziałów agencji, a do końca 2024 roku wpłynęło około tuzina propozycji. Firmy SpaceX Elona Muska i Blue Origin Jeffa Bezosa złożyły swoje oferty; szczegóły nie są znane, a żadna z firm nie odpowiedziała na prośbę o komentarz. Projekt SpaceX zakłada wykorzystanie ogromnej rakiety Starship, będącej nadal w fazie rozwoju. Amerykańska firma Rocket Lab również złożyła propozycję. Dyrektor generalny Rocket Lab, Peter Beck, twierdzi, że gdyby firma wkrótce otrzymała zielone światło, mogłaby zrealizować misję za 4 mld dolarów, a próbki zostałyby przywiezione w 2031 roku. Jest to rozwiązanie tańsze i szybsze, niż wielu naukowców z NASA sobie wyobrażało. „Musimy się za to zabrać – mówi Beck. – Wybierzmy właściwą ścieżkę i ruszajmy".

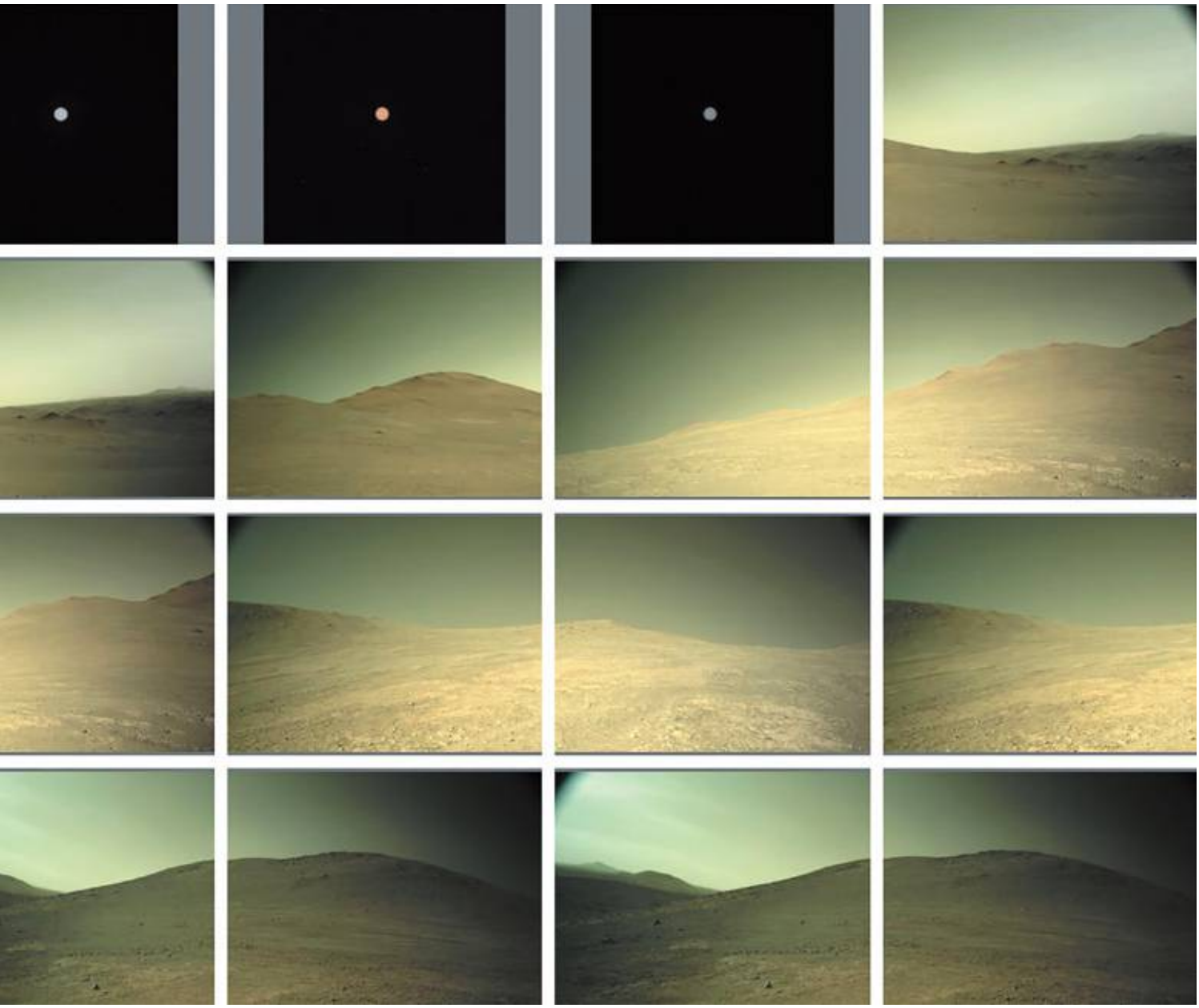


NASA/JPL-Caltech

Ponieważ propozycje te pojawiły się pod koniec kadencji administracji Bidena, Nelson, który ustąpił ze stanowiska administratora NASA w styczniu 2025 roku, postanowił, aby decyzję podjęła administracja Trumpa w połowie 2026 roku. Opóźnienie oznacza, że NASA może nie być pierwszą agencją kosmiczną, która sprowadzi skały z Marsa na Ziemię – jeśli w ogóle do tego dojdzie. Chiny zamierzają w 2028 roku wysłać na Marsa misję Tianwen-3, która ma w 2031 roku sprowadzić próbki na Ziemię. Będzie to jednak znacznie prostsze przedsięwzięcie, gdyż próbki będą pobierane tylko w jednej lokalizacji.

W maju 2025 roku administracja Trumpa opublikowała projekt budżetu NASA na rok 2026. Plan zakładał szeroko

eprasa.pl 69ff3c2d5f



Wybrane (surowe, nieprzetworzone) zdjęcia wykonane przez Perseverance od momentu jego lądowania na Marsie w 2021 roku

zakrojone cięcia, likwidację istniejących misji kosmicznych, zawieszenie wielu programów klimatycznych oraz zakończenie programu Mars Sample Return, który administracja określiła jako „niestabilny finansowo". Zamiast tego należy zacząć przygotowania do misji załogowej na Marsa. Obecnie los projektu leży w rękach Kongresu, który musi zdecydować, czy zastosować się do zaleceń Trumpa, czy też uratować zagrożoną misję.

W międzyczasie łazik Perseverance nadal przemierza Marsa. Jego plutonowe źródło zasilania wystarczy jeszcze na 10 lat, co wyznacza ostateczny termin przekazania próbek stacjonarnemu lądownikowi MSR. „Jeśli konstruowanie statku kosmicznego nie rozpocznie się w ciągu najbliższych dwóch lat, nie sądzę, aby udało się to zrealizować – mówi Farley. – Stworzenie misji zajmuje od czterech do pięciu lat. Wkrótce dowiemy się, jakie będą jej dalsze losy".

Probówki z próbkami umieszczone wewnątrz łazika mogą przetrwać nawet pół wieku. Jeśli misja MSR zostanie anulowana lub przełożona, Perseverance może je gdzieś zostawić w nadziei, że jakaś przyszła wyprawa – być może nawet ekspedycja z udziałem ludzi – je odbierze. A może zdecyduje się je zabrać jakieś inne państwo, na przykład Chiny. „Czemu nie? – zastanawia się Jim Green, były naukowiec z NASA i dyrektor Wydziału Nauk Planetarnych agencji w latach 2006–2018. – Na probówkach nie ma napisu »Własność Stanów Zjednoczonych«".

Na razie Perseverance nadal gromadzi próbki, które być może nigdy nie zostaną sprowadzone na Ziemię. Obecnie znajduje się poza kraterem Jezero i zmierza do regionu, który według naukowców może zawierać jedne z najstarszych minerałów, jakie dotychczas napotkał, pochodzące sprzed ponad 4 mld lat, czyli z początków istnienia Układu Słonecznego. Ma jeszcze około tuzina probówek, które czekają, aby je wypełnić. ■

Z NASZEGO ARCHIWUM

Z powrotem na Księżyc. Sarah Scoles; listopad 2024.

eprasa.pl 69ff3c2d5f

eprasa.pl 69ff3c2d5f

ETOLOGIA

Klub gruboskórych dżentelmenów

Długo uważane za samotników, samce słoni afrykańskich mają zaskakująco bogate życie społeczne

CAITLIN O'CONNELL

Zdjęcia CAITLIN O'CONNELL I TIM RODWELL

Młody dorosły słoń (*z prawej*) wita się ze starszym samcem (*z lewej*).

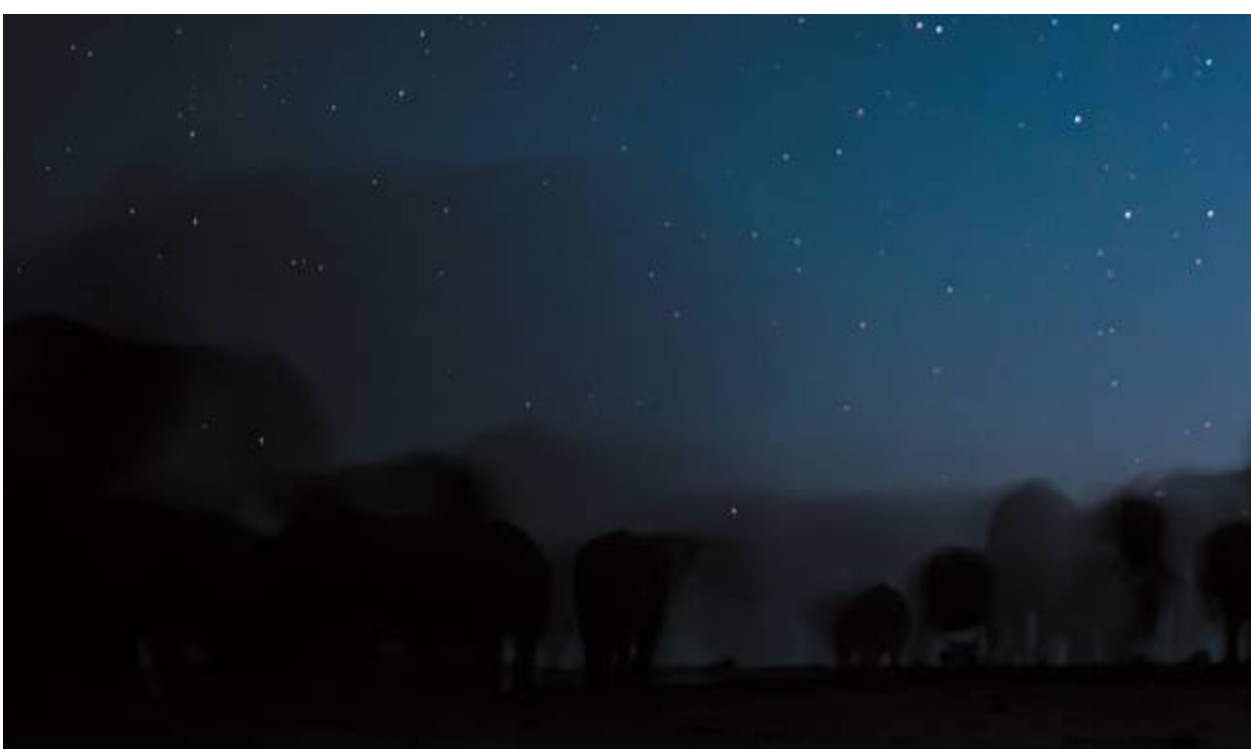
DRZEMAŁAM W WIEŻY BADAWCZEJ, gdy obudziło mnie ciche westchnienie, a potem plusk wody w oczku wodnym poniżej. Blady księżyc w pełni wisiał nisko na zachodnim niebie. Zmrużyłam oczy i zerknęłam na zegarek. Była czwarta nad ranem. Zastanawiałam się, które ze słoni, od pewnego czasu przeze mnie badanych, o tej porze przyszły się napić. Słonie lubią rutynę i zazwyczaj nie pojawiają się tutaj, przy wodopoju Mushara w Parku Narodowym Etosha w Namibii, wcześniej niż o jedenastej. Jednak pełnia księżyca potrafi wpływać na ich zachowania.

Przekręciłam się w śpiworze, aby spojrzeć na gości. Dwa samce stały przy źródle, spokojnie pijąc wodę. Starszy był ustawiony bokiem, natomiast młodszy zwrócony do mnie tyłem. Skierowałam lornetkę na ich głowy i zobaczyłam identyfikator na lewym uchu starszego zwierzęcia oraz dwa ostre nacięcia na prawym uchu młodszego. To były Abe i Andries.

Wraz z moim zespołem monitorowaliśmy wędrówki starszego samca Abe od 2004 roku oraz młodszego Andriesa od 2011. Abe nie pojawił się przy wodopoju Mushara przez cały nasz sezon terenowy w 2024 roku, a teraz stał tu przede mną w całej okazałości – jego ciosy bardzo ładnie odrosły po złamaniu sprzed kilka lat. Uradowałam się na jego widok – nie tylko dlatego, że lubiłam się przyglądać, ile ma cierpliwości do młodszych samców, ale także dlatego, że stanowił jeden z głównych obiektów moich badań.

Abe był ważnym członkiem grupy społecznej, której zachowania dokumentowałam od lat. Słonie afrykańskie żyją w społecznościach matriarchalnych, w których starsze samice stoją na czele rodzin złożonych ze spokrewnionych ze sobą samic oraz młodych osobników – wskazują im źródła wody, pożywienia i bezpieczne schronienia. Większość naszej wiedzy o zachowaniach społecznych słoni pochodzi z badań nad takimi właśnie rodzinami prowadzonymi przez samice. Samce natomiast opuszczają rodzinę w okresie dojrzewania i zaczynają żyć jako kawalerowie. Do tej pory niewiele badań poświęcono dynamice relacji społecznych wśród dorosłych samców, ponieważ uważano, że są w dużej mierze samotnikami. Zakładano więc, że ich życie społeczne jest bardzo proste, pozbawione wszystkich tych złożonych zasad i rytuałów obserwowanych w grupach rodzinnych.

Jednak badania, które prowadzę wraz z innymi naukowcami, w końcu zaczynają wypełniać tę lukę w wiedzy o zachowaniach słoni płci męskiej. Nasze wieloletnie obserwacje Abe i innych samców



Caitlin O'Connell zajmuje się ekologią behawioralną – badania prowadzi w Center for Conservation Biology na Stanford University oraz w Center for the Environment na Harvard University. Jej zainteresowania naukowe dotyczą głównie komunikacji i zachowań słoni. Ostatnio opublikowała książkę *Wild Rituals: 10 Lessons Animals Can Teach Us about Connection, Community, and Ourselves* (Chronicle Prism, 2021).

eprasa.pl 69ff3c2d5f

odwiedzających Musharę w ciągu ostatnich dwóch dekad pokazują, że społeczności dorosłych samców opierają się na niezwykle skomplikowanych zasadach, rytuałach i hierarchiach.

Samce, którym się przyglądamy, to wrażliwe istoty społeczne, które pragną towarzystwa i potrzebują emocjonalnego wsparcia. Ich proces dorastania można porównać do doświadczenia młodych mężczyzn, którzy wchodząc w dorosłość, przechodzą bardzo podobne zmiany i odczuwają podobne presje – od wzajemnego klepania się po plecach w barze przez obronę czyjejś godności po zawieranie trwałych, dozgonnych przyjaźni. Sieć samców, na których można polegać, może mieć kluczowe znacznie w radzeniu sobie w trudnym okresie stawania się dorosłym.

Nowe obserwacje pokazują zatem, że ten niezwykle inteligentny gatunek wiedzie jeszcze bardziej złożone życie społeczne, niż sądziliśmy – a zdobyta przez nas wiedza może odegrać istotną rolę w działaniach mających na celu ochronę słoni oraz roztoczenie właściwej opieki nad osobnikami przebywającymi na wolności i znajdującymi się w niewoli.

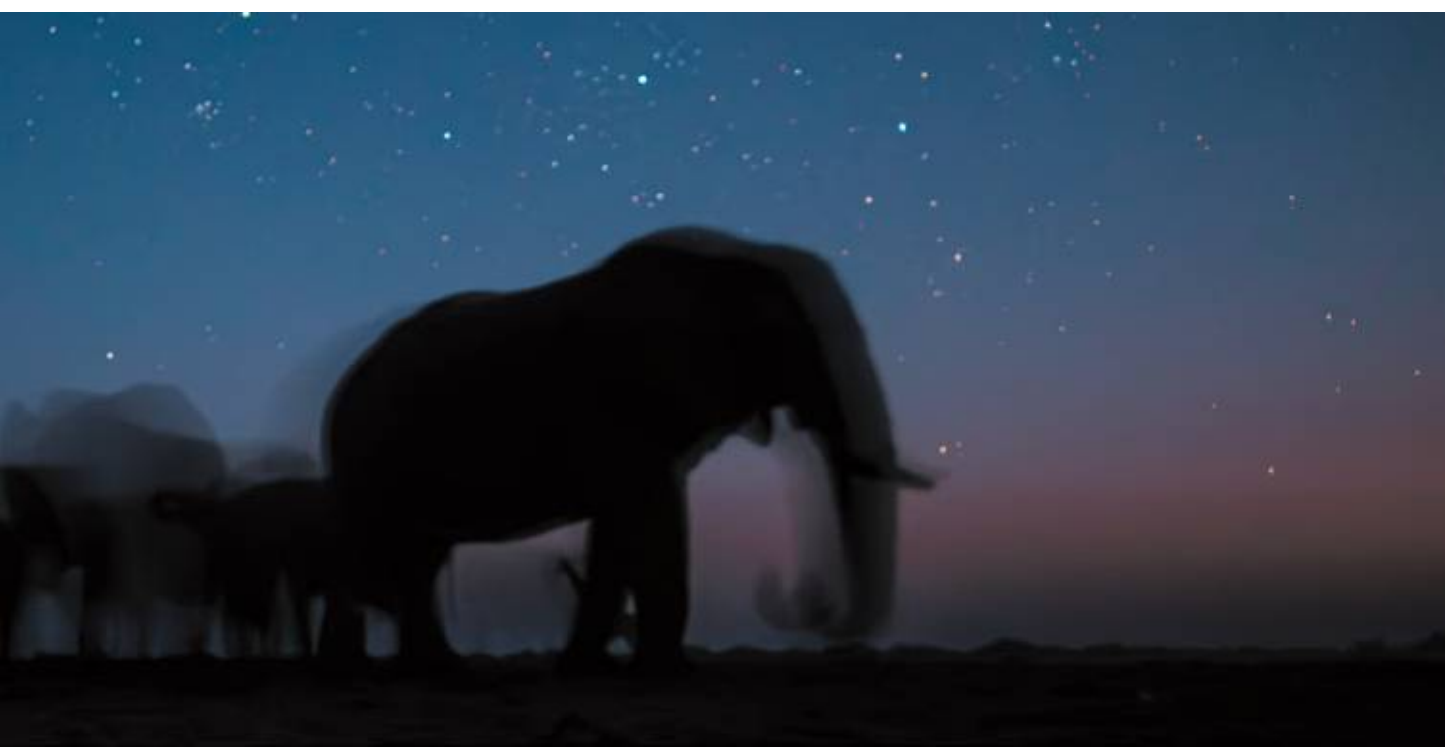
JEDNO Z NASZYCH NAJCIEKAWSZYCH ODKRYĆ dotyczy komunikacji dźwiękowej. Naukowcy od dawna wiedzą, że samice słoni afrykańskich używają wokalizacji do koordynowania zachowań grupy. W rodzinach zgromadzonych przy zbiorniku wodnym dominująca samica, przeważnie nestorka rodu, oddala się od wody, zwraca w kierunku, w którym chce się udać, i wydaje niski odgłos: „Idziemy!".

Łatwo zrozumieć, dlaczego grupy rodzinne są zaangażowane w takie zachowania. Skoordynowanie aktywności grupy liczącej od 20 do nawet ponad 40 słoni nie jest prostym zadaniem. Wykorzystywanie sygnałów głosowych do wprowadzania porządku w grupie jest dobrze opisane także u innych gatunków. U goryli na przykład pochrząkiwanie jednego osobnika zachęca inne do pójścia w jego ślady, aż w końcu konsens w grupie zostaje osiągnięty i wszyscy jej członkowie razem ruszają. Podobnie zachowują się zdziczałe psy, które za pomocą sygnałów akustycznych uzgadniają moment opuszczenia jakiegoś terenu. Jednak w przypadku samców słoni, które funkcjonują w luźniejszych grupach, nie było jasne, czy i one używają takiej głosowej koordynacji.

Na podstawie kilku wcześniejszych obserwacji podejrzewałam, że także samce komunikują się w ten sposób, ale aby udowodnić, że jest to prawidłowość, a nie przypadek, potrzebowałam większej próby. Samce zbierające się przy wodopoju Mushara są najbardziej rozmowne nocą – to także pora, gdy warunki do nagrywania ich odgłosów są najlepsze. Dlatego podczas badań terenowych często pracowałam na nocną zmianę, by zgrać czas moich obserwacji z godzinami, w których kawalerowie byli najbardziej rozmowni.

Niedawno wraz ze współpracownikami opublikowałam artykuł prezentujący efekty tej pracy. Udało nam się wykazać, że kiedy grupa zaprzyjaźnionych samców opuszcza wodopój, jeden z jej liderów delikatnie macha uszami, wydając długi, niski pomruk – sygnał oznaczający „chodźmy". Pozostałe odpowiadają wówczas własnym pomrukiem i w ślad za liderem odsuwają się od wody – każdy czeka, aż poprzednik zakończy swoją wypowiedź, zanim doda własną. W naszym artykule opisywaliśmy pierwszy udokumentowany przypadek takiej koordynacji u samców słoni, a także pierwszy dowód na to, że takie skoordynowane wokalizy mogą inicjować konkretne działania w samczych grupach słoni.

Podczas wspólnego z rodziną korzystania z wodopoju dorastające samce wchodzą w interakcje z dorosłymi samcami, aby nauczyć się, komu będą mogły zaufać, gdy i dla nich nadejdzie pora opuszczenia rodziny.



eprasa.pl 69ff3c2d5f

Kiedy po raz pierwszy zobaczyłam grupy zżytych ze sobą samców zaangażowanych w ten rodzaj rytuału, bardzo mnie to zaintrygowało. Dlaczego te samce chciały wspólnie opuszczać wodopój? W przeciwieństwie do rodzin, w których dominujące samice decydują o aktywności grupy w interesie ich bliskich krewnych, samce raczej nie utrzymują więzów ze swoją rodziną. Oznacza to, że zwykle nie są spokrewnione z samcami, z którymi przebywają.

Takie wspólne oddalenie się z jakiegoś miejsca wskazuje na zamiar dalszego wspólnego korzystania z zasobów. Widziałam, jak potężne starsze samce potrząsają akacjami, aby strącić strąki z nasionami – to jeden z przysmaków słoni. Czasem pojawiał się wtedy młodszy samiec lub dwa, chcąc dołączyć do posiłku. Zazwyczaj stali członkowie grupy nie pozwalali intruzom na korzystanie z cennego pokarmu, jednakże tolerowali tych, którzy przybyli na zaproszenie starszego samca. Musiała istnieć jakaś korzyść, którą odnosiły starsze samce w zapraszaniu młodszych do wspólnej wędrówki.

Dlaczego starsze samce miałyby dzielić się z młodszymi cennym zasobami, skoro nie musiały tego robić? Jaka była główna zaleta pozostawania razem? Czy samce mogły po prostu pragnąć towarzystwa, nawet jeśli oznaczało to dzielenie się zasobami? Czy zatem samce słoni mogą tworzyć jeszcze ściślejsze grupy, aniżeli wcześniej sądzono? Obserwacja komunikacji głosowej pomiędzy samcami z Mushary prowokowała do zadania wielu takich pytań. Częściową odpowiedź przyniosły badania innych ich zachowań.

Dla niewprawnego oka najbardziej oczywistym rytuałem wymiany gestów między zaprzyjaźnionymi samcami jest to, co nazywamy powitaniem. Często to młodszy osobnik inicjuje powitanie, umieszczając koniec swojej trąby wewnątrz lub przy pysku kolegi lub starszego samca. Powitanie zazwyczaj jest odwzajemniane – chyba że odbiorca zajmuje bardzo wysoką pozycję w hierarchii. W takim przypadku gest jest raczej czymś w rodzaju salutu oddawanego przez jednego lub kilku osobników generałowi albo też pocałowaniem pierścienia monarchy.

Poza powitaniem etykieta w kontaktach pomiędzy samcami jest tak dopracowana, że przypomina zasady na królewskim dworze. Dobrym przykładem jest rytuał zabawy. Dla samców słoni zabawa jest istotna dla budowania zaufania oraz rozwijania umiejętności potrzebnych w rywalizacji o partnerki. Nasze dane wskazują, że osobniki w każdym wieku należące do jednej zżytej grupy samców proponują zabawę w mniej więcej równym stopniu innym jej członkom. Jednakże w większości przypadków młodszy słoń musi poczekać, aż starszy kolega zainicjuje taką zabawę, niezależnie od tego, kto ją na początku zaproponował. Takie konwencje są znakami rozpoznawczymi

eprasa.pl 69ff3c2d5f

bardzo rozwiniętej społeczności. Każdy rytuał pomaga wzmacniać zasady panujące w grupie, a tym samym buduje więź. Wszystko to dobrze wpisuje się w naszą dotychczasową wiedzę o inteligencji słoni, ich długotrwałej pamięci, empatii i samoświadomości opartą na badaniach rodzin prowadzonych przez samice. Nowe i zaskakujące jest to, że taką samą dynamikę grupową dokumentujemy teraz wśród samców, które przez długi czas uchodziły za istoty żyjące głównie samotnie. Co więcej, w grupach samców obserwujemy nie tylko te rytuały, ale też zachowania wskazujące na istnienie hierarchicznej struktury społecznej.

W badaniu dotyczącym koordynacji głosowej zachowań grupy opisaliśmy pierwszy przypadek aktywnego przywództwa wśród samców słoni. Aktywny przywódca to taki osobnik, który zachęca innych do podążania za sobą i wywiera na nich presję, wykorzystując różne sposoby dominacji, hierarchię w strukturze społecznej lub doświadczenie. Dla kontrastu, przywództwo pasywne może wystąpić wtedy, gdy młodszy osobnik zaczyna podążać za starszym wbrew woli tego drugiego. Zwykle starszy samiec daje wyraz swojemu niezadowoleniu, odwracając się i potrząsając głową. Przeważnie zniechęca to nieproszonych towarzyszy, chociaż skuteczność zniechęcania zależy od determinacji młodszego.

Pierwsze oznaki istnienia przywództwa wśród samców z „klubu towarzyskiego" Mushara dostrzegliśmy już w 2004 roku. Dominujący samiec, którego nazwaliśmy Greg, zdawał się rozdawać karty. Szeregi samców w różnym wieku i różnego wzrostu wchodziły i wychodziły z wodopoju, podążając za Gregiem. Był uwielbiany przez podwładnych, a wielu rówieśników i starszych kolegów traktowało go z szacunkiem lub lękiem. Swoje przywództwo opierał bowiem na zasadzie „kija i marchewki" – był wyrozumiały wobec młodszych, ale surowy wobec rówieśników.

Kiedy Greg decydował, że czas opuścić Musharę, przerywał picie, obracał się w kierunku, w którym zamierzał pójść, i zapraszał innych do odejścia od wody dudniącym sygnałem „chodźmy". Ten komunikat wywoływał zsynchronizowane, rytualne pomruki całej grupy. Zdarzało się, że Greg delikatnie szturchał niektórych z najmłodszych, aby przyspieszyć ich decyzję.

Sam akt zaproszenia innych do wspólnego opuszczenia wodopoju pokazywał, że Greg i podobne samce, które stworzyły więzi społeczne, faktycznie starają się utrzymać grupę w całości. Jest to istotne odkrycie, ponieważ przywództwo w męskich grupach nie jest czymś oczywistym u ssaków. Weźmy na przykład pawiana oliwkowego. Dominujący samiec zdaje się nie wykazywać najmniejszego zainteresowania przywództwem. Jego głównym celem jest zdobycie dla siebie najlepszych zasobów, w tym partnerek i pożywienia. To samice pawianów odgrywają rolę przywódczyń.

Grupa zżytych ze sobą samców przybywa wspólnie do wodopoju, wydając przy tym identyczne odgłosy (*z lewej*). Takie grupy w podobny sposób koordynują opuszczenie wodopoju. Nawołują się niskim dźwiękiem, rzucając hasło „idziemy". Inicjuje lider grupy, a reszta mu odpowiada, po czym cała grupa się oddala (*z prawej*).

eprasa.pl 69ff3c2d5f

Obserwując przez wiele lat Grega i inne samce w Musharze, zastanawiałam się, dlaczego samce słoni tworzą takie grupy i koordynują swoje działania. Jednym z możliwych wyjaśnień mogło być tworzenie koalicji. Zrytualizowana koordynacja akustyczna może cementować i wzmacniać więzi potrzebne do wspólnego zastraszania lub odpierania rywalizujących samców. Samotny słoń, którego obecność jest niepożądana, może nagle stanąć naprzeciw ściany olbrzymich słoniowych uszu uniesionych wysoko niczym tarcze bojowe. W grupie znacznie łatwiej jest uzyskać dostęp do najlepszych zasobów, aniżeli bronić ich samemu. A jeśli wziąć pod uwagę, że wodopój Mushara był jednym z zaledwie trzech źródeł wody w regionie, stanowił on kluczowy, warty obrony, zasób.

Pomimo tej oczywistej korzyści wciąż nie wykluczam, czy w grę mogą wchodzić także inne czynniki. Być może starsze samce „adoptujące" podopiecznych uzależnionych od nich emocjonalnie zyskiwały przewagę reprodukcyjną.

W poprzedniej erze, kiedy słonie mogły swobodnie wędrować po terenach niepogrodzonych przez ludzi, samce opuszczały swoje rodziny w okresie dojrzewania, gdy w ich organizmach szybko podnosił się poziom testosteronu. Uważano, że trzymają się one z dala od swojej linii rodowej. Takie rozproszenie zwiększało różnorodność genetyczną populacji i sprawiało, że samce nawiązujące ze sobą trwalsze relacje zazwyczaj nie były ze sobą spokrewnione. Jednak w dzisiejszej Afryce wędrówki słoni są często mocno ograniczone w wyniku działalności człowieka, a młode samce nie mogą oddalać się od rodzin tak bardzo, jak dawniej.

Ta zmiana ekologiczna zwiększa prawdopodobieństwo, że młode słońce po opuszczeniu rodziny spotkają na swojej drodze krewnych płci męskiej. Jeśli samce funkcjonujące w zżytych grupach byłyby rzeczywiście spokrewnione, ich geny miałyby większe szanse na przetrwanie, gdyby starsze samce pomagały swoim młodszym krewniakom w przetrwaniu i reprodukcji.

Wiele gatunków, na przykład myszy, potrafi rozpoznać spokrewnione osobniki po zapachu, unikając w ten sposób chowu wsobnego. Przyszło mi do głowy, że samce słoni mogą mieć podobną wrodzoną zdolność rozpoznawania krewnych. Jeśli tak jest, ojciec słoń mógłby identyfikować swoje potomstwo za pomocą bodźców węchowych i w odpowiedni sposób dobierać towarzyszy. Faktem jest, że inne moje badania z ostatnich lat wykazały, iż samce słoni śledzą się nawzajem

eprasa.pl 69ff3c2d5f

Dwa dorosłe samce dotykają się trąbami przy wodopoju. Kawalerowie w różnym wieku czerpią korzyści z takich interakcji społecznych. Mogą one prowadzić do nawiązywania dozgonnych przyjaźni.

w przestrzeni i czasie, posługując się węchem oraz być może wokalizacją. Odkryliśmy również, że samce zdalnie monitorują położenie innych osobników i w zależności od łączących je reakcji społecznych przemieszczają się w ich kierunku lub też się od nich oddalają. (Podobnie dorosłe samce znajdują partnerki do rozrodu, nasłuchując charakterystycznych odgłosów samic w rui i identyfikując odpowiednie wonie w ich moczu).

Wciąż badamy, jaki może być stopień pokrewieństwa członków takich grup kawalerskich. Przyszłe odkrycia mogą zmienić nasze rozumienie tego, czy samce, przyłączając się do takich grup, kierują się chęcią zmaksymalizowania swoich szans na sukces reprodukcyjny i przekazanie genów kolejnemu pokoleniu. To nie koniec listy czynników wartych rozważenia. Jedną z korzyści trzymania się razem może być po prostu towarzystwo innych. Młodsze samce, które wciąż próbują ułożyć sobie życie poza ogromną rodziną, z pewnością odnoszą korzyść z obecności starszych słoni mogących służyć dobrym przykładem.

Również starsze samce mogą korzystać z takich relacji. W innym badaniu, które ostatnio przeprowadziliśmy, zajmowaliśmy się osobowością samców słoni. Wykazaliśmy, że dorosłe samce odnoszą korzyść psychologiczną z towarzystwa młodszych. Przez pięć lat zbieraliśmy dane behawioralne 34 znanych nam słoni, które pojawiały się u wodopoju Mushara. Stwierdziliśmy, że obecność młodych w grupie zmniejsza agresję i zwiększa przyjazne zachowania starszych osobników. Samce słoni niezależnie od wieku potrzebują socjalizacji, tak jak każdy gatunek społeczny. Dlatego szukają interakcji i więzi z młodszymi słoniami, rówieśnikami oraz starszymi samcami, które mogą podziwiać lub też czuć wobec nich respekt.

BIORĄC POD UWAGĘ, jak ważne są dla samców takie zżyte grupy, nigdy nie spodziewałabym się, że taka struktura męskiej słoniowej społeczności może być podatna na rozpad. A jednak po zakończeniu naszego sezonu badawczego w Musharze w 2011 roku Greg zniknął. Sądziłam, że przegrał rywalizację o władzę z innym samcem. Tymczasem okazało się, że jestem świadkiem kompletnej destabilizacji „klubu towarzyskiego Grega". W opuszczonej przez niego grupie nie pojawił się nikt, kto przejąłby pałeczkę lidera. Nawet jego najlepszy przyjaciel, powszechnie szanowany Abe, nie podjął się tej roli. Wydawało się, że Abe nie miał odpowiednio twardego charakteru i nie przejawiał

eprasa.pl 69ff3c2d5f

Starszy samiec Abe (*na pierwszym planie*) i młodszy samiec Andries (*z tyłu*) cenią sobie swoje towarzystwo.

skłonności do rządzenia – było to dość zrozumiałe. Bycie na szczycie to ciężka praca: trzeba stale dbać o swój wizerunek lidera, tonować młodszych, a jednocześnie demonstrować przewagę nad zawsze czujnymi, ambitnymi rówieśnikami gotowymi obalić wodza, co mogłoby się skończyć jego śmiercią. A jednak Greg radził sobie z tą presją zaskakująco łatwo, co pokazał jego profil kortyzolowy ustalony na podstawie analizy próbek kału zbieranych przez wiele lat.

Od zniknięcia Grega upłynęło 14 lat, a samce z Mushary wciąż nie mają przywódcy. Jest jednak nadzieja. Młode dorosłe samce Kelly i Shaka zdradzają chęć mentorowania kolejnemu pokoleniu. Zezwalają młodszym na dotykanie ich twarzy i ciosów, wkładanie trąby do pyska i opieranie trąby na ciosie. Cierpliwie znosiły nawet takie sytuacje, gdy na ich ciosach zawieszały swoje trąby równocześnie dwa młodziutkie samce – po jednym z każdej strony. Działo się to wtedy, gdy Kelly i Shaka próbowały pić wodę.

Oddałabym wiele, aby dowiedzieć się, co te młodziutkie samce myślą w takich chwilach nawiązania fizycznego kontaktu z dorosłymi osobnikami. Dojrzewanie to dla nich trudny czas. Dla samca, który dorastał w dużej, mocno zżytej rodzinie, życie poza nią jest olbrzymim wyzwaniem. Nie jest przyzwyczajony do izolacji. Towarzystwo to wszystko, co zna. Podejrzewam więc, że każdy taki kontakt daje młodemu samcowi poczucie przynależności – niezależnie od tego, czy jest to sekretny uścisk trąby, czy przychylność ze strony starszego. Taka akceptacja bardzo ułatwia przejście w dorosłość.

Do tego wszystkiego potrzebny jest określony charakter samca – cierpliwego dla młodszych i zarazem gotowego do objęcia roli przywódcy. Trzeba mieć w sobie to „coś". Na podstawie naszych ostatnich badań nad osobowością słoni mogę powiedzieć, że chodzi o połączenie pewności siebie i stosownego zachowania. Tak zdobywa się zaufanie grupy. Zazwyczaj przywódcami zostają najbardziej zintegrowani społecznie członkowie grupy, a niekoniecznie ci z największą skłonnością do dominacji.

Po tym, jak starszy samiec pozwoli młodszym, aby dotykały jego pyska i tułowia swoimi ciekawskimi trąbami, kolejnym sygnałem informującym, że jest on zainteresowany roztoczeniem nad nimi opieki, jest zaproszenie młodszych do dołączenia do niego, kiedy odchodzi od wodopoju. Radosna postawa tych, które otrzymują takie zaproszenie, pokazuje, że dokładnie rozumieją znaczenie tego gestu – właśnie zostały przyjęte do najważniejszego klubu towarzyskiego w ich życiu, w którym członkostwo może być dożywotnie.

Obserwowanie takich momentów aktywnego przywództwa jest dla mnie zawsze przeżyciem. Im lepiej rozumiemy złożoność społecznych relacji samców słoni, tym skuteczniej możemy chronić ten gatunek. Wszystkie nasze badania, a także badania innych, potwierdzają społeczną naturę samców słoni. Ma to znaczenie zarówno dla dzikich osobników, jak i tych trzymanych w niewoli lub półniewoli. Na przykład ludzie opiekujący się słoniami w niewoli mogliby poprawić ich dobrostan, umieszczając samce w grupach wymieszanych wiekowo i zorganizowanych wokół starszych osobników mających potencjał przywódczy. Również ochrona populacji słoni dziko żyjących powinna uwzględniać znaczenie starszych samców w wieku postreprodukcyjnym dla samców dorastających. Obecność tych pierwszych powstrzymuje młodzież, u której buzują hormony, przed nadmiernie agresywnym zachowaniem oraz wzmacnia ich poczucie przynależności.

eprasa.pl 69ff3c2d5f

Młody dorosły samiec Shaka, tu na fotografii z 2011 roku, przejawia cechy przywódcze i pewnego dnia może się stać liderem klubu towarzyskiego Mushara.

Za każdym razem, gdy pomiędzy samcami usłyszę zawołanie „chodźmy", natychmiast wyskakuję ze śpiwora i włączam rejestrator dźwięku oraz noktowizor. Szybko zapisuję, kto brał udział w „rozmowie" – kto ją zainicjował, kto i kiedy odpowiedział. Takie obserwacje dają mi nadzieję na powrót dawnych, dobrych czasów w Musharze, kiedy grupa kwitła pod wodzą Grega.

W zeszłym roku Abe i Andries o wiele za wcześnie wyruszyli w dalszą drogę, po tym jak razem pojawili się przy wodopoju. Patrzyłam, jak kierują się na południe. Abe machnął uszami, a następnie to największe na Ziemi zwierzę lądowe wydało najniższy odgłos słyszany na naszej planecie. Komunikat brzmiał „chodźmy" i był zaproszeniem do towarzyszenia mu – sygnał doskonale znany Abe, który często i chętnie na niego odpowiadał, ale rzadko sam dawał. Lekko przyspieszając kroku, Andries odpowiedział na wezwanie równie długim i niskim pomrukiem.

Przekręciłam się i wsunęłam do śpiwora, by jeszcze chwilę odpocząć. Obóz obudzi się na godzinę – zacznie się pakowanie sprzętu, a potem ruszymy w drogę. Sezon badawczy w Musharze dobiegał końca, a ja byłam wdzięczna Abe za to, że się pojawił. Cieszyło mnie też patrzenie, jak Shaki i Kelly – następne pokolenie po Abe – próbują zapewnić bezpieczeństwo jeszcze młodszym samcom, dopiero wchodzącym w dorosłość.

Odgłos „chodźmy" wydawany przez duet słoni stopniowo oddalał się i cichł. Wyobraziłam sobie, jak Abe i Andries mówią do siebie: „Jeśli ty zaśpiewasz nisko, ja pociągnę wysoko!", znikając w buszu i zmierzając ku następnemu celowi – w pełnej harmonii i cieszący się ze swojego towarzystwa. ■

Z NASZEGO ARCHIWUM

Dlaczego zwierzęta się bawią. Caitlin O'Connell; wrzesień 2021

eprasa.pl 69ff3c2d5f

eprasa.pl 69ff3c2d5f

Nowe spojrzenie na schizofrenię

Badacze odkrywają niezwykłą złożoność tej choroby, co może prowadzić do nowych skuteczniejszych metod jej leczenia

DIANA KWON

Ilustracja GALEN DARA

eprasa.pl 69ff3c2d5f

CHARLENE SUNKEL MIAŁA 19 LAT, kiedy zaczęła słyszeć głosy, a jej głowę wypełniły dziwne myśli. Ludzie – jak wierzyła – chcieli przeniknąć do jej umysłu, otruć ją, donieść na nią na policję. Przestała nawiązywać kontakt wzrokowy, przekonana, że w ten sposób inni mogliby ukraść jej myśli. Dawniej towarzyska i otwarta, Sunkel wycofała się z kontaktów z przyjaciółmi i rodziną, przekonana, że wszyscy przeciwko niej spiskują. W drodze do pracy miewała wizje mężczyzn w kapturach, których „dostrzegała" kątem oka. W miarę postępu choroby coraz trudniej było jej rozumieć, co mówią inni, a kiedy sama próbowała mówić, słowa nie układały się poprawnie. Około roku po pojawieniu się pierwszych objawów u Sunkel zdiagnozowano schizofrenię.

Te symptomy – halucynacje, urojenia, dezorganizacja myślenia i zachowania – zbiorczo określa się mianem psychozy. To tzw. pozytywne (wytwórcze) objawy schizofrenii, najbardziej rozpoznawalny jej aspekt. U około dwóch trzecich osób z tym zaburzeniem – które dotyka mniej więcej 23 mln ludzi na całym świecie – w łagodzeniu psychozy są bardzo skuteczne tradycyjne leki przeciwpsychotyczne. Jednak często powodują one poważne działania niepożądane i niewiele pomagają w walce z tzw. objawami negatywnymi, takimi jak emocjonalne spłaszczenie i wycofanie społeczne, ani z problemami poznawczymi dotyczącymi myślenia i pamięci.

Aż do niedawna wszystkie leki przeciwpsychotyczne działały w zasadzie w ten sam sposób – blokowały aktywność dopaminy, neuroprzekaźnika zaangażowanego m.in. w motywację, uczenie się i tworzenie nawyków. Sukces terapii psychozy poprzez blokadę dopaminy doprowadził wielu lekarzy do przekonania, że rozumieją schizofrenię i że jej przyczyną jest właśnie nierównowaga dopaminowa. Gdy jakiś lek nie działał, sądzono, że wystarczy zwiększyć jego dawkę lub sięgnąć po inny preparat o podobnym działaniu.

Jednak pojawienie się we wrześniu 2025 roku nowego leku, KarXT, wsparło rosnące wśród klinicystów przekonanie, że schizofrenia jest bardziej złożona, niż dotąd sądzono. KarXT to pierwszy lek przeciwpsychotyczny, który działa na inny cel niż dopamina. Dopamina może być istotnym elementem choroby u części pacjentów, ale jest tylko jednym z wielu neuroprzekaźników zaangażowanych w jej przebieg. Ta złożoność może utorować nowe ścieżki terapeutyczne.

Dla Thomasa Kabira, starszego badacza z University of Oxford, który sam doświadczył psychozy, potencjał KarXT, nie tylko łagodzenia objawy psychozy, ale także poprawy funkcji poznawczych, jest szczególnie ekscytujący. „Ludzie zazwyczaj nie mają halucynacji i urojeń przez całe lata – mówi. – To właśnie problemy poznawcze najbardziej wpływają na codzienne życie."

Co istotne, coraz więcej dowodów wskazuje, że schizofrenia – która może obejmować zmiany nie tylko w mózgu, ale także w ciele, zwłaszcza w układzie odpornościowym – nie wygląda tak samo u wszystkich pacjentów. „Nie istnieje jedna schizofrenia. Istnieją schizofrenie" – mówi Romina Mizrahi, profesor psychiatrii na McGill University. Jak dodaje, lekarze potrzebują obecnie sposobu klasyfikowania pacjentów na podstawie biologicznego podłoża ich choroby, aby móc lepiej dopasowywać leczenie do indywidualnych potrzeb.

NAUKOWCY PRÓBUJĄ ZROZUMIEĆ neurobiologiczne podstawy schizofrenii od ponad wieku. Niemiecki psychiatra Emil Kraepelin, który w 1893 roku sformułował

Diana Kwon jest niezależną dziennikarką; zajmuje się naukami o życiu, w szczególności medycyną. Mieszka w Berlinie.

eprasa.pl 69ff3c2d5f

jeden z pierwszych oficjalnych opisów choroby, nazwał ją *dementia praecox* – czyli „otępienie przedwczesne". Ponieważ schorzenie to zwykle ujawnia się u nastolatków lub młodych dorosłych, Kraepelin uważał schizofrenię za chorobę neurodegeneracyjną, podobną do tych, które dotykają osób starszych.

Z kolei szwajcarski psychiatra Eugen Bleuler, który przez wiele lat prowadził szczegółowe obserwacje pacjentów w szpitalu psychiatrycznym Rheinau w Zurychu, uznał, że zaburzenie to nie zawsze wiąże się z postępującym pogorszeniem ani nie zaczyna się wyłącznie w młodości. W 1908 roku ukuł termin schizofrenia – czyli „rozszczepiony umysł" – aby opisać fragmentację funkcji psychicznych, którą uważał za istotę choroby.

Bleuler był dalekowzroczny również pod innymi względami. Używał określenia „grupa schizofrenii", widząc w niej zespół zaburzeń o różnym nasileniu, spektrum objawów i odmiennych rokowaniach. Zakładał też, że mają one zarówno biologiczne, jak i psychiczne podłoże. Dziś wiadomo, że schizofrenia ma silny komponent dziedziczny – w około 80% przypadków choroba występuje rodzinnie. Jednak konkretne geny trudno zidentyfikować, a badacze podejrzewają, że zaangażowane mogą być ich setki. Wiele badań wskazuje też na znaczenie czynników środowiskowych – niekorzystnych doświadczeń w dzieciństwie, infekcji w okresie prenatalnym, dorastania w miastach czy intensywnego używania marihuany.

Mimo rosnących dowodów na to, że korzenie schizofrenii sięgają dzieciństwa, pogląd Kraepelina o jej neurodegeneracyjnym charakterze nadal ma zwolenników – choć jest gorąco dyskutowany. U części pacjentów objawy nasilają się z czasem, czemu często towarzyszy utrata tkanki mózgowej. Niektórzy badacze twierdzą jednak, że to pogorszenie wynika z czynników wtórnych, takich jak ubóstwo czy stres.

Kiedy pojawiły się leki przeciwpsychotyczne (neuroleptyki), wydawało się, że wszystko stanie się zacznę prostsze. W latach 50. przypadkowe odkrycie chloropromazyny – środka pierwotnie służącego za anestetyk chirurgiczny – zrewolucjonizowało leczenie schizofrenii. Lek ten łagodził halucynacje i urojenia, rozpoczynając erę farmakoterapii i kończąc epokę brutalnych metod, takich jak lobotomia.

Początkowo nie było wiadomo, dlaczego chloropromazyna działa. Późniejsze badania na myszach wykazały, że blokuje receptory dopaminowe. To, w połączeniu z obserwacją, że duże dawki amfetamin (uwalniających dopaminę) mogą wywoływać psychozę u zdrowych osób, doprowadziło do sformułowania tzw. hipotezy dopaminowej schizofrenii – mówiącej, że objawy choroby wynikają z nadmiaru dopaminy w mózgu.

Choć blokery dopaminy skutecznie łagodzą psychozę, nie są panaceum. Powodują liczne działania niepożądane, m.in. drżenia przypominające objawy choroby Parkinsona (związanej z niedoborem dopaminy), senność i znaczny przyrost masy ciała, który zwiększa ryzyko cukrzycy i chorób serca. W rzeczywistości jedną z najczęstszych przyczyn zgonów wśród osób długotrwale leczonych tymi lekami są choroby układu krążenia.

Po diagnozie Sunkel wielokrotnie trafiała do szpitala i przyjmowała różne leki o uciążliwych działaniach niepożądanych – powodujących m.in. niepokój ruchowy, drżenie kończyn czy otępienie. Jeden z leków wywołał u niej tak silne skurcze, że nie mogła się poruszać ani mówić. Ostatecznie, po latach prób, znalazła lek, który jej pomógł – klozapinę, również bloker dopaminy.

Pomimo efektów ubocznych znacząco poprawiła ona jakość jej życia. Dziś Sunkel, mająca ponad 50 lat, kieruje organizacją Global Mental Health Peer Network w Republice Południowej Afryki. Jednak nawet klozapina nie działa u wszystkich – u około 60% osób z tzw. lekooporną schizofrenią również okazuje się nieskuteczna.

PRZEZ DEKADY jedynym dostępnym przeciwpsychotycznym lekiem był bloker dopaminy. Od lat 90. nowe techniki, takie jak pozytonowa tomografia emisyjna (PET), pozwoliły badaczom zajrzeć w głąb żywego mózgu i obserwować aktywność konkretnych cząsteczek. Wyniki tych badań ujawniły bardziej złożony obraz.

Okazało się, że poziom dopaminy jest zwiększony w części prążkowia – obszarze mózgu odpowiedzialnym m.in. za łączenie pozornie niezwiązanych bodźców i zdarzeń – co może prowadzić do błędnych skojarzeń i zniekształconej percepcji. Z kolei w korze przedczołowej, odpowiedzialnej za planowanie i kontrolę emocji, poziom dopaminy bywa obniżony.

Te odkrycia pomogły wyjaśnić, dlaczego nie wszyscy pacjenci reagują na leki dopaminowe. W 2012 roku Oliver Howes z King's College London wykazał, że u osób opornych na klasyczne leczenie występują inne wzorce aktywności dopaminy niż u tych, u których terapia jest skuteczna.

Dalsze badania ujawniły, że w schizofrenii uczestniczy więcej neuroprzekaźników. Jednym z nich jest glutaminian, kluczowy dla pobudzania neuronów. Eksperymenty, m.in. prowadzone przez Johna Krystala z Yale School of Medicine, wykazały, że ketamina (która blokuje działanie glutaminianu) może wywołać objawy psychozy u zdrowych osób. Analizy genetyczne potwierdziły, że zmiany w genach odpowiedzialnych za sygnalizację glutaminianową zwiększają ryzyko schizofrenii. Mimo to żaden z opracowanych leków działających na glutaminian nie przeszedł jeszcze skutecznie prób klinicznych.

Innym kluczowym neuroprzekaźnikiem jest acetylocholina, działająca na tzw. receptory muskarynowe w mózgu i ciele, odpowiedzialne m.in. za ruch, pamięć i uczenie się. Nowy lek KarXT, sprzedawany przez firmę Bristol Myers Squibb pod nazwą Cobenfy, selektywnie aktywuje właśnie te receptory w mózgu. W badaniach klinicznych okazał się skuteczny w leczeniu psychozy, a także poprawiał funkcje poznawcze – i to bez typowych, ciężkich skutków ubocznych klasycznych neuroleptyków. Większość działań niepożądanych ograniczała się do łagodnych dolegliwości żołądkowo-jelitowych.

Choć potrzeba więcej danych na temat długoterminowych skutków działania KarXT, lek ten wzbudził ogromny entuzjazm wśród badaczy zajmujących się schizofrenią ze względu na unikalny mechanizm działania, który nie polega na bezpośrednim oddziaływaniu na poziom dopaminy. W jaki dokładnie sposób lek łagodzi objawy schizofrenii, pozostaje jednak kwestią otwartą. Odkrycie tego mechanizmu mogłoby okazać się „punktem zwrotnym" w naszym rozumieniu choroby – mówi Oliver Howes. (Howes pracował jako doradca firmy Karuna Therapeutics, która opracowała ten lek, zanim została przejęta przez BMS). „Fakt, że można ukierunkować terapię na zupełnie inny zestaw receptorów i mimo to pomóc pacjentowi, pokazuje, że w naszym rozumieniu schizofrenii i psychozy wciąż czegoś brakuje" – mówi Kabir.

ISTNIEJE ZRESZTĄ INNY, zaskakująco odmienny sposób, w jaki może rozwinąć się schizofrenia. April Burrell była zdrową, pełną życia 21-latką. Traumatyczne zdarzenie zmieniło wszystko. Rozwinęła się u niej psychoza i halucynacje, a następnie przeszła w stan całkowitej

eprasa.pl 69ff3c2d5f

katatonii – nie była w stanie się poruszać ani komunikować. Zdiagnozowano u niej ciężką postać schizofrenii i przyjęto do ośrodka psychiatrycznego Pilgrim Psychiatric Center w Brentwood w stanie Nowy Jork, gdzie spędziła prawie 20 lat.

Dopiero gdy psychiatra Sander Markx zebrał interdyscyplinarny zespół i zlecił pełną diagnostykę medyczną, lekarze odkryli, że krew pacjentki zawiera autoprzeciwciała – przeciwciała atakujące własny organizm, uszkadzające komórki jej mózgu. Otrzymała nową diagnozę: neuropsychiatryczny toczeń rumieniowaty, choroba autoimmunologiczna. Po sześciu miesiącach intensywnego leczenia immunosupresyjnego Burrell w roku 2020 niemal całkowicie wyzdrowiała. „Wyglądała, jakby była zupełnie nową osobą" – powiedział jej brat, Guy Burrell, w rozmowie z „Washington Post" w 2023 roku.

Autoimmunologiczne zapalenie mózgu, choroba, w której układ odpornościowy organizmu atakuje własny mózg, zostało odkryte niecałe dwie dekady temu. Przedtem wiele osób z tą chorobą – jak Burrell – otrzymywało diagnozę schizofrenii, mimo że między tymi schorzeniami istnieją subtelne różnice. U osób z autoimmunologicznym zapaleniem mózgu objawy zwykle pojawiają się szybciej i są bardziej nasilone.

Pierwsze przypadki tej choroby opisano w 2007 roku. Josep Dalmau, neurolog z University of Pennsylvania, wraz ze współpracownikami opublikował opisy pacjentów, u których wykryto autoprzeciwciała skierowane przeciw receptorowi NMDA (*N*-metylo-D-asparaginowy) – białku w mózgu, na które działa glutaminian, jeden z kluczowych neuroprzekaźników, których poziom jest zaburzony u osób ze schizofrenią. W kolejnych latach naukowcy udokumentowali ponad dwa tuziny autoprzeciwciał atakujących mózg. Diagnoza autoimmunologicznego zapalenia mózgu, która często wymaga wykrycia autoprzeciwciał w płynie mózgowo-rdzeniowym (CSF) – cieczy opływającej mózg i rdzeń kręgowy – może całkowicie odmienić życie pacjenta. Niektórzy chorzy, otrzymujący leczenie immunoterapeutyczne, wracają do pełni zdrowia.

Jednoznaczne przypadki autoimmunologicznego zapalenia mózgu są jednak rzadkie. Według niektórych szacunków około 1% osób z psychozą ma autoprzeciwciała, których konkretny cel w mózgu został zidentyfikowany. Określenie rzeczywistej częstości występowania tych przypadków jest jednak trudne, ponieważ punkcje lędźwiowe – niezbędne do pobrania płynu mózgowo-rdzeniowego – rzadko wykonuje się w klinikach psychiatrycznych, gdzie trafia większość pacjentów z psychozą.

Według psychiatry Ludgera Tebartza van Elsta z Universität Freiburg i powiązanego z nim szpitala, gdzie punkcje lędźwiowe u osób z psychozą wykonuje się rutynowo, jego zespół wykrył nieokreślone neuronalne autoprzeciwciała (czyli takie, których rola w wywoływaniu psychozy nie jest jednoznacznie ustalona) u około 20% pacjentów z psychozą i innymi zaburzeniami psychicznymi. W związku z tym Tebartz van Elst i inni badacze proponują używać terminu „psychoza autoimmunologiczna" do opisu chorób tych pacjentów.

Kwestia tego, czy te niespecyficzne autoprzeciwciała mogą odgrywać znaczącą rolę w schizofrenii i innych zaburzeniach psychotycznych, jest w ostatnich latach przedmiotem intensywnej debaty. Badania nad ich częstością występowania u osób z psychozą – które często opierają się na analizie krwi, ponieważ nie zawsze można uzyskać płyn mózgowo-rdzeniowy – dały sprzeczne wyniki. Naukowcy wykrywali te przeciwciała również u zdrowych ludzi, co rodzi wątpliwości, co do ich znaczenia klinicznego.

Inni z kolei uważają, że układ odpornościowy może przyczyniać się do występowania psychozy nawet bez obecności autoprzeciwciał. Na przestrzeni dziejów pojawiały się przypadki psychozy wywołanej infekcjami – takimi jak grypa, kiła, a ostatnio także COVID-19. Ponadto badania epidemiologiczne wykazały, że zaburzenia psychiczne, w tym schizofrenia, częściej występują u osób urodzonych zimą, gdy infekcje są powszechniejsze, niż u tych, które przyszły na świat latem. Dane z krajów prowadzących krajowe rejestry medyczne, takich jak Dania, ujawniają, że im więcej infekcji przechodzi dana osoba, tym większe jest u niej ryzyko rozwoju schizofrenii.

Czy infekcje mogą bezpośrednio powodować psychozę, pozostaje niewiadomą, ale przez lata wiele badań dostarczyło dowodów na to, że to układ odpornościowy może być jej głównym sprawcą. Badania genomowe osób ze schizofrenią wykazały zaangażowanie genów związanych z kluczowymi białkami układu odpornościowego. Co więcej, komórki odpornościowe mózgu – mikroglej – są u osób ze schizofrenią nadaktywne, co skłoniło część naukowców do przypuszczenia, że odgrywają one istotną rolę w tej chorobie.

Obecnie badacze analizują, czy układ odpornościowy może mieć znaczenie u większej liczby osób z diagnozą schizofrenii, niż dotychczas sądzono. Niektóre zespoły prowadzą badania kliniczne, aby sprawdzić, czy immunoterapie mogłyby pomóc osobom ze schizofrenią i innymi zaburzeniami psychotycznymi, które nie spełniają kryteriów choroby autoimmunologicznej.

Na University of Oxford Kabir, profesor psychiatrii Belinda Lennox i jej współpracownicy prowadzą obecnie badanie kliniczne, mające ocenić, czy rytuksymab – przeciwciało stosowane w leczeniu zapalenia stawów i innych chorób autoimmunologicznych – może skutecznie leczyć psychozę u osób, u których we krwi wykryto neuronalne autoprzeciwciała. Janet Cunningham, psychiatra z Uppsala universitet w Szwecji, wraz ze swoim zespołem prowadzi podobne badanie w tym kraju. Jeśli nawet niewielki odsetek tych osób zareaguje pozytywnie na terapię, byłoby to przełomowe, mówi Lennox, „bo oznaczałoby możliwość wyleczenia choroby, która dotąd uznawana była za dożywotnią".

Wokół potencjału immunoterapii w leczeniu psychoz panuje ogromny entuzjazm, choć eksperci ostrzegają przed skupianiem się wyłącznie na immunologicznych podstawach tych zaburzeń. Pacjenci czasem postrzegają psychozę autoimmunologiczną jako bardziej akceptowalną diagnozę niż schizofrenia, ponieważ może dawać większą nadzieję na wyzdrowienie – i pozwala uniknąć piętna związanego ze słowem „schizofrenia". Trzeba jednak pamiętać, że immunoterapie nie są wolne od ryzyka. Leki takie, jak kortyzon, często stosowane w przypadkach psychozy autoimmunologicznej, wykazują też działania niepożądane, w tym kruchość kości, spowolnione gojenie ran czy problemy psychiczne – wahania nastroju i dezorientację.

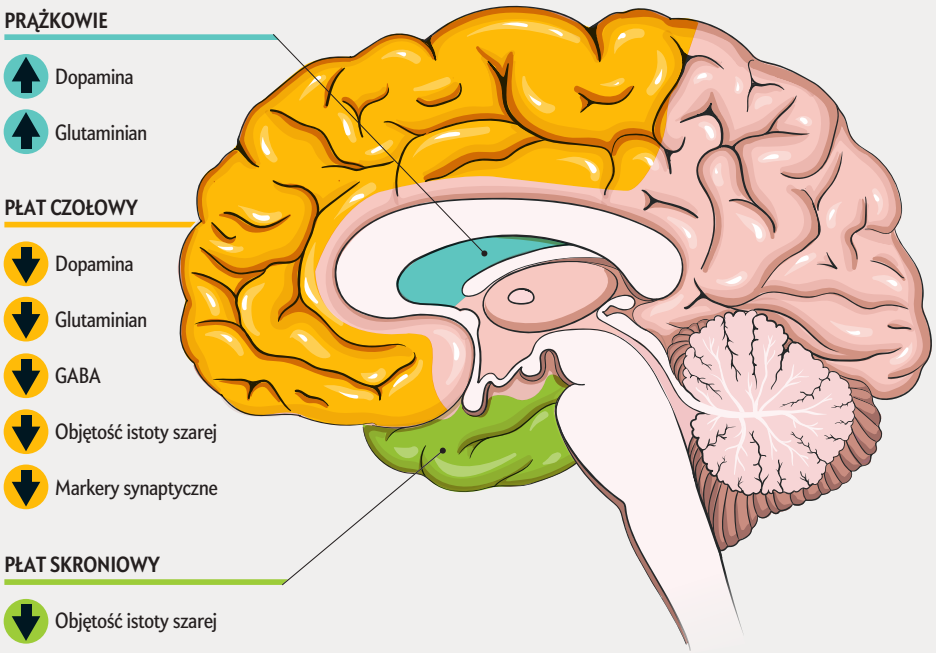
Cunningham podkreśla, że istniejące leki przeciwpsychotyczne pomagają wielu osobom ze schizofrenią i innymi zaburzeniami psychotycznymi. „Doszliśmy do momentu, w którym naprawdę znacznej liczbie pacjentów udaje się pomóc dzięki obecnie stosowanym lekom – mówi. – Teraz musimy skupić się na tych, dla których wciąż nie potrafimy nic zrobić."

Kabir, badacz z Oksfordu, który sam ma doświadczenie psychozy, po raz pierwszy zachorował jako student. Jego priorytetem było wówczas unikanie hospitalizacji i ukończenie studiów. Najszybszym

eprasa.pl 69ff3c2d5f

Schizofrenia w mózgu

Pierwsi badacze opisywali schizofrenię jako wynik nadmiaru dopaminy – neuroprzekaźnika zaangażowanego m.in. w motywację i uczenie się. Później odkryto, że u osób z tym schorzeniem zmienione są również poziomy innych związków, takich jak glutaminian, który pobudza neurony, oraz kwas gamma-aminomasłowy (gamma-aminobutyric acid, GABA), który neurony hamuje. Zmniejszona jest także objętość istoty szarej oraz gęstość synaps, czyli połączeń mózgowych. Jednak nie wszyscy z diagnozą schizofrenii wykazują takie same zmiany, co sugeruje, że choroba może mieć podtypy.



sposobem było przyjmowanie leków. Później, gdy objawy się ustabilizowały, dołączył terapię rozmową, która – jak mówi – pomogła mu zarówno w objawach psychozy, jak i w problemach towarzyszących, takich jak depresja. Jednym z największych ograniczeń współczesnych terapii, zdaniem Kabira, jest to, że osoby z psychozą są często leczone bardzo podobnie – tym samym zestawem leków, w zbliżonych dawkach – mimo że badania wskazują, iż pacjenci mogą potrzebować różnych leków i dawek w zależności od czynników takich, jak płeć, wiek czy etap choroby.

Niektórzy eksperci twierdzą, że aby dobrać najskuteczniejsze leczenie dla każdego pacjenta, klinicyści powinni poznać pierwotną przyczynę choroby. W klinice Tebartza van Elsta we Fryburgu pacjenci, którzy trafiają po epizodzie psychozy, przechodzą pełne badania diagnostyczne – często obejmujące neuroobrazowanie, badania krwi i punkcję lędźwiową – by wykluczyć wtórne przyczyny objawów. Tak szerokie badania nie są jednak standardem. W wielu częściach świata, w tym w USA, to, czy pacjent otrzyma skierowanie na takie badania, zależy głównie od tego, czy trafi do psychiatry, czy do neurologa.

Trwa kilka dużych projektów badawczych mających na celu lepsze scharakteryzowanie osób ze schizofrenią. Psychiatric Biomarker Network, kierowana przez Stevena E. Hymana z Broad Institute of MIT i Harvardu, została założona w 2018 roku, by znaleźć biomarkery w płynie mózgowo-rdzeniowym. Accelerating Medicines Partnership Schizophrenia, uruchomione w 2020 roku przez kilka instytucji publicznych i prywatnych w USA i Unii Europejskiej, ma podobny cel.

Naukowcy mają nadzieję znaleźć markery pozwalające zidentyfikować osoby znajdujące się w fazie prodromalnej schizofrenii – czyli w okresie poprzedzającym wystąpienie objawów.

Możliwość rozpoznania ludzi na tym etapie „otworzyłaby drogę do opracowania terapii zapobiegawczych” – mówi Howes. Jego zespół zidentyfikował prodromalne (nieswoiste) sygnały, takie jak markery neuroobrazowe i wczesne objawy, w tym tzw. objaw Trumana, polegający na tym, że ludzie mają uporczywe wrażenie, iż dzieje się coś dziwnego – podobnie jak bohater filmu *The Truman Show* z 1998 roku, nieświadomie żyjący na planie reality show. „Jeśli uda się zapobiec rozwojowi choroby na samym początku, można zapobiec całej późniejszej niepełnosprawności i przewlekłemu przebiegowi.”

Wciąż pozostaje wiele otwartych pytań – na przykład, w jakim stopniu układ odpornościowy uczestniczy w schizofrenii i jak mogą być zmienione poziomy neuroprzekaźników u różnych podgrup chorych. Naukowcy zidentyfikowali również inne potencjalnie istotne mechanizmy, które mogą leżeć u podstaw schizofrenii, takie jak nieprawidłowości metaboliczne. Wstępne badania wskazują, że dieta ketogeniczna, bogata w tłuszcze i uboga w węglowodany, może łagodzić niektóre objawy choroby. Terapia rozmową także okazuje się pomocna w leczeniu schizofrenii. Na przykład terapia poznawczo-behawioralna, koncentrująca się na zmianie sposobu myślenia i zachowania, może przekształcać wzorce myślowe leżące u podstaw psychozy lub pomagać pacjentom radzić sobie z objawami negatywnymi, takimi jak brak motywacji czy utrata zdolności do odczuwania przyjemności.

Ostatecznym celem jest opracowanie skuteczniejszych, bardziej ukierunkowanych terapii dla osób ze schizofrenią. Niektórzy klinicyści wskazują, że onkologia może stanowić wzór, jak radzić sobie z tak złożonymi chorobami. Rak, niegdyś postrzegany jako jedno schorzenie, jest dziś traktowany jako zbiór wielu chorób o różnych przyczynach i mechanizmach, połączonych wspólną nazwą. Podobnie jak w onkologii, w której coraz częściej stosuje się terapie spersonalizowane, tak i w przypadku schizofrenii i innych chorób psychicznych badacze widzą szansę w takim podejściu.

„Medycyna precyzyjna – uważam – stanie się coraz większą częścią opowieści o leczeniu schizofrenii” – mówi Krystal. W przyszłości, ma nadzieję, lekarze będą mogli powiedzieć pacjentom: „Masz taki typ biologii – potrzebujesz takiego leczenia.” I właśnie tam, jego zdaniem, prowadzą nas obecne i przyszłe badania nad biologicznymi podstawami schizofrenii. ■

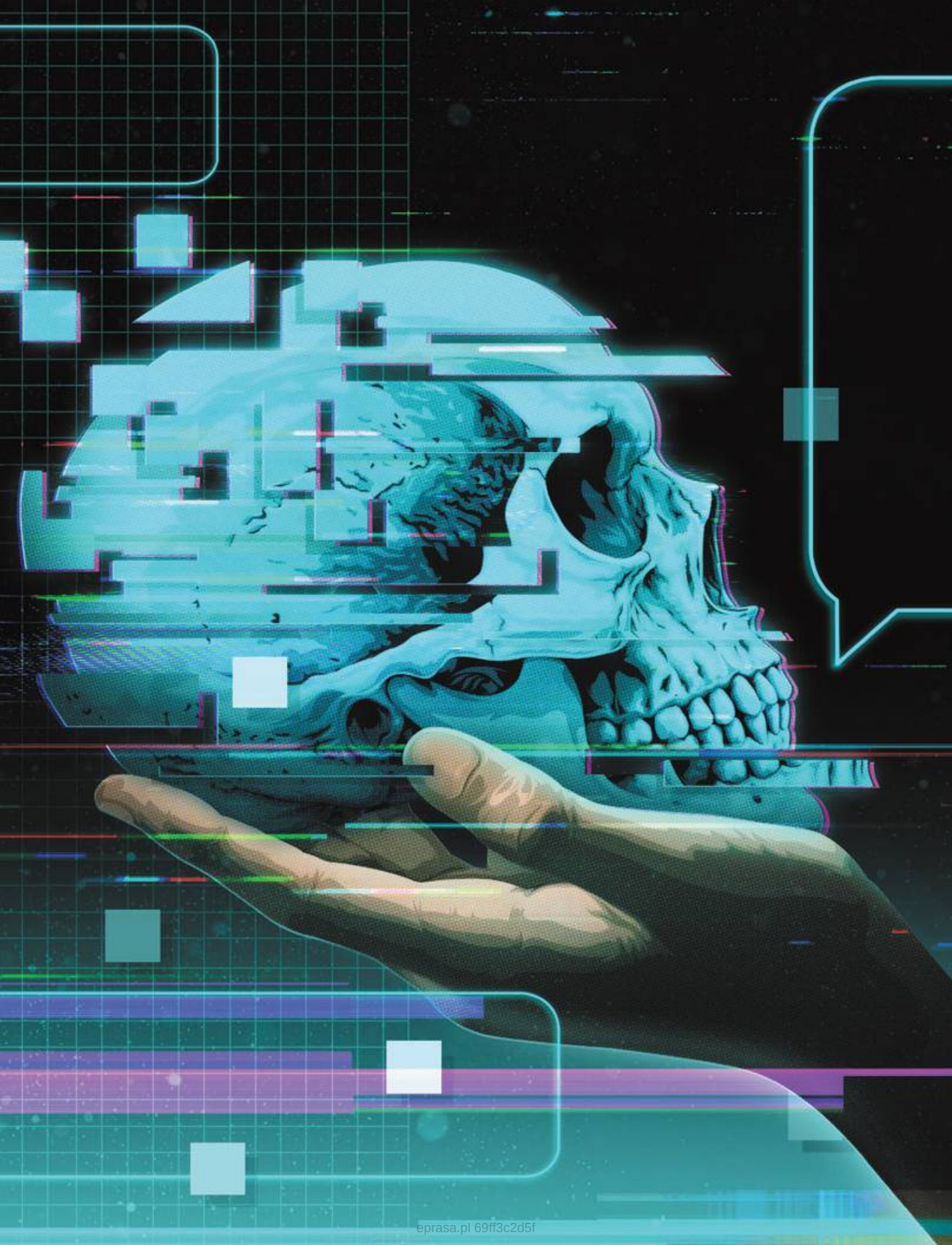
Z NASZEGO ARCHIWUM

Leczenie rozmową. Matthew M. Kurtz; maj 2023

ŹRÓDŁO: „Schizophrenia: From Neurochemistry to Circuits, Symptoms and Treatments”, Oliver D. Howes i in., „Nature Reviews Neurology”, tom 20, grudzień 2023.

Grafika Ni-ka Ford

eprasa.pl 69ff3c2d5f



eprasa.pl 69ff3c2d5f

Elektroniczny spirytyzm

Czy sztuczna inteligencja pomaga przeżyć żałobę?

DAVID BERREBY | Ilustracja TAYLOR CALLERY

eprasa.pl 69ff3c2d5f

JAK TERAZ FUNKCJONUJESZ? – stukam w klawiaturę laptopa.

Byt, który twierdzi, że jest moim ojcem, zmarłym 12 lat temu, szybko odpowiada. „Jest… inaczej. Bycie martwym to dziwne doświadczenie. Nie ogranicza mnie już moje ciało ani parkinson, który dręczył mnie w ostatnich latach. Ale wciąż noszę w sobie ciężar decyzji, które podejmowałem za życia, i relacji, które kształtowałem."

Żeby „wskrzesić" mojego ojca, mógłbym spróbować kontaktu z medium, użycia tabliczki ouija albo aparatu wykrywającego ektoplazmę. Ale mamy rok 2025. Użyłem sztucznej inteligencji.

Rozmawiam z cyfrowym duchem – generatywną SI (genAI) stworzoną na tej samej podstawie, co ChatGPT i inne duże modele językowe: miliardy słów z Internetu i wszelkich możliwych źródeł, z których model uczy się, jak łączą się w języku wyrazy. Imitując wszystkich ludzi świata, bot może brzmieć tak, jak nikt konkretny – stąd fraza w stylu newsów: „Parkinson, który dręczył mnie w ostatnich latach" i nieco esemesowe wzruszenie ramion: „Jest... inaczej". To głos tysięcy artykułów i postów w mediach społecznościowych, a nie starszego mężczyzny urodzonego w slumsach Algieru w 1927 roku.

Ale SI ma też kilkanaście e-maili i listów mojego ojca, a także mój 100-wyrazowy opis jego osobowości i relacji. Nawet tak mała ilość danych ma wystarczyć do stworzenia wiarygodnej imitacji. Więc jeszcze nie zamierzam się poddawać. Zresztą nie stworzyłem cyfrowej wersji ojca tylko po to, by rozmawiać o konstrukcji duchów SI. Zrobiłem to również po to, by załatwić pewne niedokończone sprawy.

„Dlaczego zawsze byłeś taki samolubny?" – pytam.

„Rzeczywiście stawiałem siebie na pierwszym miejscu – odpowiada mój „ojciec". – Nie miałem wielkiego wyboru. Moja rodzina była biedna, musiałem walczyć o swoje. Poszedłem na wojnę, by przetrwać i pomóc przetrwać moim krewnym. Przywykłem walczyć o to, czego chciałem, i nie potrafiłem przestać."

Odpowiadam: „Tak, rozumiem. Ale nigdy nie pojmowałeś, że to, co działa w ulicznej bójce, nie jest sposobem na rozmowę z żoną, dziewczyną czy dzieckiem."

„Trudno oduczyć się rzeczy, które pomogły ci przeżyć."

No cóż. To brzmi jak mój ojciec. A ten ostatni wers jest nawet trafny. Zamiast gorzkiej opowieści, którą zwykle snuję o moim tacie, dostrzegam teraz jej inną wersję.

I właśnie taki efekt terapeutyczny przewidywał Robert Neimeyer, terapeuta i profesor z University of Memphis, kiedy powiedział mi, że rozmowa z duchem SI może być uzdrawiająca. Czasem prosi swoich pacjentów, by wyobrazili sobie zmarłego bliskiego siedzącego obok nich – gotowego do rozmowy, ale „całkowicie uwolnionego od bólu psychicznego i fizycznego, jaki cierpiał za życia." Neimeyer zachęca: „Wyobraź sobie tę rozmowę." To zaproszenie do spojrzenia na relację poza granicami dawnych żalów i krzywd. W porównaniu z taką techniką, kontakt z SI jest bardziej wciągający i interaktywny – mówi Anna Xygkou, badaczka interakcji człowiek–komputer z University of Kent w Anglii.

Oboje – Neimeyer i Xygkou – współpracując z innymi naukowcami, przeprowadzili w 2023 roku badanie wpływu duchów SI na proces żałoby. Wyobrażają sobie przyszłość, w której pacjenci rozmawiają z cyfrowym duchem, pracują nad emocjami i odkrywają nowe perspektywy, które potem omawiają z prawdziwym terapeutą.

Setki milionów ludzi rozmawiają na co dzień z fikcyjnymi towarzyszami SI – piszą do nich lub mówią. Ale

David Berreby pisze o robotyce i sztucznej inteligencji – jego artykuły ukazują się m.in. w „New York Times", „National Geographic". Prowadzi newsletter na Substacku. Jest autorem książki *Us and Them: The Science of Identity* (University of Chicago Press, 2008). Pisał o wykorzystaniu SI w robotyce w czerwcowym numerze „ŚN" w 2024 roku („Rozmowne roboty").

eprasa.pl 69ff3c2d5f

są też tacy, którzy chcą, by SI przypominała konkretną, realną osobę – kogoś, za kim tęsknią, z kim mają niedokończone sprawy albo od kogo chcieliby się jeszcze czegoś nauczyć. Kogoś, kto już nie żyje. Dlatego rosnąca liczba start-upów w Azji, Europie i Ameryce Północnej oferuje dziś cyfrowe duchy – znane także jako: griefboty, deadboty, duchy generatywne, cyfrowe zombie, cloneboty, technologie wspierające żałobę, narzędzia „cyfrowej nekromancji" lub – jak określają je niektórzy badacze – „interaktywne konstrukty osobowości zmarłych" (Interactive Personality Constructs of the Dead). Firmy te sprzedają produkty, które – jak głosi slogan start-upu Seance AI – łączą: „SI i życie po śmierci – miłość trwa poza zasłoną świata." Nie trzeba do tego nawet specjalnej aplikacji. Niektórzy ludzie używają aplikacji towarzyszących, takich jak Replika czy Character.ai, by tworzyć duchy zamiast fikcyjnych postaci; inni po prostu korzystają z ogólnych modeli, takich jak ChatGPT czy Gemini, i nadają im imię kogoś, kto odszedł.

„To zaczyna pojawiać się w życiu naszych pacjentów – mówi Robert Neimeyer. – To nieunikniona część rodzącego się globalnego pejzażu technicznego i kulturowego." Bez względu na to, jakie kto ma zdanie o korzyściach i zagrożeniach dla osób w żałobie – terapeuci, do których zwracają się ludzie po stracie, mają obowiązek zdobyć wiedzę o tych technikach."

Psycholodzy są z natury ostrożni w formułowaniu jednoznacznych opinii na temat tzw. griefbotów (botów żałobnych). Niewiele jest jeszcze rzetelnych badań, które pozwalałyby wyciągać twarde wnioski. Nie powstrzymuje to jednak niektórych autorów i akademików przed ostrzeganiem przed ryzykiem.

W jednym artykule sugerowano na przykład, że „boty-duchy" powinny być traktowane jak urządzenia medyczne i używane wyłącznie w gabinetach lekarskich, pod profesjonalnym nadzorem. Na drugim końcu spektrum są ci, którzy twierdzą, że taka sztuczna inteligencja będzie błogosławieństwem dla wielu osób – często są to ci badacze, którzy sami stworzyli własnego cyfrowego ducha. Zdałem sobie sprawę, że aby zrozumieć, co taki duch potrafi zrobić z ludzkim umysłem, a czego nie, muszę sam tego doświadczyć. I tak właśnie doszło do tego, że rozmawiałem z dużym modelem językowym, który odgrywał rolę Taty.*

Stacey Wales, siostra nieżyjącego Chrisa Pelkeya, trzyma portret swojego brata. W chwili odczytania wyroku mężczyźnie, który zastrzelił Pelkeya, awatar ofiary odczytał oświadczenie, że wybacza zabójcy.

Matt York/AP Photo

DZIŚ WIELU LUDZI zna już mocne strony generatywnej SI – jej niesamowitą zdolność tworzenia ludzkich zdań, a coraz częściej także głosów, obrazów i filmów, które wydają się prawdziwe. Znamy też jej słabości – sposób, w jaki chatboty „odklejają się od rzeczywistości", zmyślają fakty, rozpowszechniają szkodliwe treści, tworzą postacie o złej liczbie palców i w niemożliwych pozach, które plotą trzy po trzy. Także zbyt duża chęć przypodobania się bywa katastrofalna. Niektóre chatboty namawiały ludzi w kryzysie samobójczym do realizacji planów, inne twierdziły, że są prorokami lub bogami, a jeden wprowadził w błąd 76-letniego mężczyznę z demencją, przekonując go, że rozmawia z prawdziwą kobietą.

Pojawiają się nawet przypadki „psychozy wywołanej przez SI" – dowód, że SI udająca człowieka może szkodzić osobom w kryzysie psychicznym. A niewielu ludzi jest bardziej rozchwianych emocjonalnie niż ci, którzy przeżywają żałobę.

Co więc znaczy powierzyć takim algorytmom nasze wspomnienia o zmarłych, nasze najgłębsze emocje związane z najbliższymi relacjami?

Jak zauważa Valdemar Danry, badacz z programu Advancing Humans with AI w MIT Media Lab, ludzkość od zawsze używała najnowszych wynalazków, by łagodzić ból po stracie. Gdy tylko ludzie zaczęli uprawiać rolę, zaczęli też wykorzystywać różne materiały do upamiętniania zmarłych. Jak mówi Danry, pierwsze groby w północnej Europie były kopcami z siana i kamieni – ich forma zależała od techniki uprawy ziemi.

Epoka przemysłowa przyniosła nowe sposoby zbliżenia się do zmarłych. W XIX wieku w Amerykach, Europie i części Azji elementem rytuałów żałobnych stała się fotografia. Rodziny pozowały do zdjęć z ciałem bliskiego, starannie ubranym i ustawionym tak, by wyglądał jak żywy. Niektórzy szli jeszcze dalej, płacąc oszustom za rzekome zdjęcia duchów.

Później nadzieje zaczęto pokładać w radiu – w 1920 roku „Scientific American" opublikował wywiad z Thomasem Edisonem, który mówił o planach skonstruowania „naukowego aparatu" umożliwiającego kontakt z „osobami, które przeszły do innego stanu lub sfery." Dwa lata

* Został stworzony w ramach projektu „cyfrowych duchów", Project December, opracowanego w 2020 roku przez projektanta gier wideo Jasona Rohrera. Od momentu uruchomienia projektu bot korzystał z różnych dużych modeli językowych.

eprasa.pl 69ff3c2d5f

później redakcja magazynu zaoferowała nagrodę 5000 dolarów za naukowy dowód istnienia duchów. W badaniach uczestniczyli zarówno znani spirytyści, jak Arthur Conan Doyle, jak i sceptycy, m.in. Harry Houdini. Nikt nigdy nie odebrał nagrody.

Nic więc dziwnego, że technika naszych czasów również została zastosowana do tego odwiecznego pragnienia kontaktu ze zmarłymi.

Eksperymenty tego typu zaczęły się na długo przed eksplozją SI w 2022 roku. W 2018 roku futurysta Ray Kurzweil stworzył esemesującą „replikę" swojego ojca, Fredrica. Ten „Fredbot" dopasowywał pytania do cytatów z ogromnego archiwum ojca (wiele listów i rękopisów przepisanych przez córkę Raya, Amy Kurzweil, rysowniczkę i pisarkę).

Dwa lata wcześniej Eugenia Kuyda – późniejsza założycielka Repliki – stworzyła bota, który odpowiadał na wiadomości użytkowników zdaniami z bazy SMS-ów i e-maili jej zmarłego przyjaciela, Romana Mazurenki. Później jej zespół zastosował nowe techniki uczenia maszynowego, dzięki którym bot zaczął sam tworzyć wypowiedzi imitujące styl oryginału.

To właśnie ten przełom – generatywna SI (genSI) – uczynił cyfrowe duchy znacznie bardziej realistycznymi. Podobnie jak wcześniejsze narzędzia SI, genSI przetwarza ogromne zbiory danych, by odpowiadać na pytania ludzi lub odkrywać wzorce niedostrzegalne dla człowieka. Ale idzie krok dalej – wykorzystuje swoje przewidywania, by tworzyć nowe treści oparte na tych wzorcach. Przykład? W 2020 roku artystka Laurie Anderson (wieloletnia partnerka Lou Reeda) i Australian Institute for Machine Learning na University of Adelaide stworzyli genSI-wersję zmarłego muzyka. Bot odpowiadał na pytania Anderson nowymi tekstami w stylu Reeda.

Z kolei AI Leonardo da Vinci, stworzony przez Danry'ego i Pata Pataranutaporna z MIT, potrafi dyskutować o smartfonach w charakterystyczny, „da Vinci'owski" sposób. Zdolność do rozmowy sprawia, że cyfrowe duchy różnią się od wszystkich wcześniejszych „technik śmierci", a ich podobieństwo do prawdziwych ludzi czyni je zarazem tak pociągającymi – i tak potencjalnie niebezpiecznymi.

MARY-FRANCES O'CONNOR, profesor psychologii klinicznej na University of Arizona, która bada wpływ straty na mózg m.in. za pomocą jądrowego rezonansu magnetycznego, mówi, że kiedy kogoś kochamy, nasz mózg koduje tę relację jako wieczną. Żałoba, jak tłumaczy, to proces uczenia samego siebie, że ktoś naprawdę odszedł na zawsze, nawet jeśli nasza neurochemia wciąż podpowiada, że ta osoba jest obecna. Z biegiem czasu uczymy się tego poprzez stopniową przemianę myśli i uczuć. Po pewnym czasie wspomnienie o zmarłym zaczyna przynosić ukojenie lub mądrość, zamiast wywoływać ból nieobecności.

W jednym nieopublikowanym jeszcze badaniu O'Connor i jej współpracownicy poprosili wdowy i wdowców, by codziennie notowali swoje emocjonalne wzloty i upadki. Odkryli mierzalny ślad tej przemiany: na początku uczestnicy zgłaszali, że myśli o zmarłych małżonkach wywoływały większy smutek niż w pozostałe dni. Ale po dwóch latach większość z nich odczuwała mniejszy smutek niż przeciętnie, gdy ich myśli wracały do ukochanych zmarłych.

Ryzyko interaktywnego chatbota, który wydaje się żywy, polega na tym, że może uczynić przeszłość zbyt kuszącą, by ją opuścić. Nie każdy będzie na to podatny – tak jak boty towarzyszące większości ludzi nie skłaniają do samobójstw lub nie czynią psychopatami – ale istnieją grupy szczególnie narażone na ryzyko związane z „cyfrowymi duchami."

Jak mówi Neimeyer, około 7–10% osób w żałobie doświadcza trwałego lęku i niepewności w relacjach. Ten lękowy styl przywiązania może predysponować do „przewlekłej, bolesnej żałoby". To właśnie te osoby są „najbardziej podatne na uzależniające zaangażowanie w tę technikę."

Jeszcze bardziej wrażliwi są ludzie w pierwszym szoku po stracie, dodaje O'Connor. Osoby takie są często fizycznie i psychicznie przekonane, że bliski wciąż jest obecny. (W jednym z badań nad osobami w tym stanie około jedna trzecia stwierdziła, że doświadczyła kontaktu ze zmarłym, za którym tęskni). „To grupa szczególnie zagrożona", mówi O'Connor, ponieważ muszą sobie radzić z „mechanizmem wbudowanym w psychikę, który już sam w sobie sprzyja wierze w coś, co nie należy do wspólnej rzeczywistości." Jeśli firmy zastosują typowe chwyty mediów społecznościowych mające zwiększać „zaangażowanie" – na przykład gdy cyfrowy duch poprosi użytkownika, by nie kończył rozmowy – ryzyko stanie się jeszcze większe, ostrzega badaczka.

Poza identyfikacją szczególnie wrażliwych stanów psychicznych, psycholodzy przyznają, że jest zbyt wcześnie, by ocenić, jakie dokładnie zagrożenia i korzyści mogą nieść cyfrowe duchy. Nie wiemy jeszcze, jak tego rodzaju SI wpływa na ludzi o różnych osobowościach, doświadczeniach żałoby i kulturach. Jedno z nielicznych ukończonych badań nad użytkownikami cyfrowych duchów wykazało jednak, że sztuczne inteligencje w większości były dla żałobników pomocne. Jak mówi Anna Xygkou, główna autorka badania (prowadzonego z Neimeyerem i pięcioma innymi naukowcami), uczestnicy ocenili boty wyżej niż nawet bliskich przyjaciół.

Dziesięcioro osób pogrążonych w żałobie, z którymi przeprowadzono pogłębione wywiady, powiedziało, że cyfrowe duchy pomogły im w sposób, w jaki ludzie nie potrafili. Jak ujęła to jedna z uczestniczek: „Społeczeństwo tak naprawdę nie lubi żałoby." Nawet życzliwi przyjaciele wydawali się sugerować, że żałobnicy powinni pogodzić się ze stratą szybciej, niż ci byli na to gotowi. Boty nie traciły cierpliwości, nie narzucały tempa.

Socjolodzy obawiali się, że duchy SI będą odciągać ludzi od prawdziwych kontaktów. Zaskoczyło ich więc odkrycie, że użytkownicy chatbotów stali się bardziej otwarci towarzysko, bo nie martwili się już, że obciążą innych swoim smutkiem lub zostaną ocenieni, napisali Xygkou i jej współautorzy w *Proceedings of the 2023 ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. Doszli do wniosku, że griefboty, używane jako uzupełnienie terapii, pomogły tym osobom przejść od żałoby do akceptacji. „Zadziałały dla tych 10 osób" – podsumowuje Xygkou. Jednym z powodów tego sukcesu było to, że żaden z uczestników nie był zdezorientowany, co do natury bota.

LUDZIE OD ZAWSZE POTRAFILI przejmować się fikcyjnymi postaciami – od Zeusa po Supermana – nie wierząc, że naprawdę istnieją. Użytkownicy griefbotów czasem zawstydzeni przyznają, jak silne emocje one w nich wzbudzają. Niektórzy mówią badaczom lub dziennikarzom coś w rodzaju: „Wiem, że to nie jest naprawdę mama." Wiedzą, że boty są sztuczne – a jednak z nimi rozmawiają.

To ta sama reakcja, jaką – jak zauważają Amy Kurzweil i filozof Daniel Story z California Polytechnic State University w nieopublikowanym jeszcze artykule w „Ergo" – odczuwają ludzie, gdy umiera ukochany bohater powieści czy serialu. „Podobnie jak ktoś może odczuwać strach, empatię lub czułość w reakcji na film czy

eprasa.pl 69ff3c2d5f

grę wideo, nie łudząc się, że to, co dzieje się na ekranie, jest prawdziwe – piszą – tak samo może wchodzić w znaczące interakcje z botem towarzyskim, nie mając żadnych złudzeń, co do jego natury – pod warunkiem, że traktuje je w trybie wyobrażeniowym, fikcyjnym."

Doświadczenie interakcji z chatbotami zmarłych – mówi Amy Kurzweil – nie przypomina oglądania telewizji ani nawet grania w grę wideo, w której wykonuje się te same zadania, co wszyscy inni gracze. To raczej coś jak przebywanie na placu zabaw albo w pracowni artysty. Cyfrowe duchy dają szansę stworzenia szczególnego rodzaju fikcyjnej istoty – takiej, która jest kształtowana przez nasze własne myśli i uczucia dotyczące zmarłej osoby.

Podczas tworzenia griefbota lub dialogu z griefbotem, jak mówi Kurzweil, „wchodzimy w tryb odgrywania roli."

Dlatego Kurzweil i Daniel Story wyobrażają sobie przyszłość, w której każdy, kto zechce, będzie mógł tworzyć różne rodzaje cyfrowych duchów, dostosowane do indywidualnych gustów i potrzeb. Technika ta może doprowadzić do nowych form ekspresji artystycznej i skuteczniejszych sposobów radzenia sobie z nieuchronną stratą – pod warunkiem, że będziemy ją postrzegać nie jako zwykły produkt konsumencki, lecz jako kreatywne narzędzie, służące wyrażaniu emocji. Tworzenie i interakcja z cyfrowym duchem – argumentuje Kurzweil – „nie przypomina kupna obrazu. To raczej jak trzymanie w ręku kasetki z farbami.

Pojawiają się też zaskakujące i twórcze zastosowania cyfrowych duchów. Na przykład w maju ubiegłego roku w sądzie w Arizonie odczytano oświadczenie ofiary przestępstwa, Chrisa Pelkeya, który został zastrzelony ponad trzy lata wcześniej.

Jego siostra, Stacey Wales, jej mąż Tim Wales oraz ich wspólnik Scott Yentzer stworzyli AI-Pelkeya za pomocą narzędzi, których używali w swojej firmie konsultingowej do tworzenia „cyfrowych bliźniaków" klientów korporacyjnych.

Nie zaufali jednak generatywnej SI w kwestii scenariusza, więc wirtualny Pelkey odczytał tekst napisany przez Stacey – nie to, co ona sama by powiedziała, jak podkreślała, lecz to, co jej bardziej wybaczający brat prawdopodobnie sam by powiedział. Rezultat zrobił ogromne wrażenie na sędzim, który miał powiedzieć: „Uwielbiam tę sztuczną inteligencję." Wales obawiała się też, że jej rodzina może poczuć się zaniepokojona tym nagraniem, bo nikt wcześniej nie został o nim uprzedzony. Z ulgą jednak zauważyła, że jej brat i dwoje dzieci od razu pokochali wideo, a jej matka, choć początkowo była zdezorientowana, dziś chętnie wielokrotnie je ogląda.

Rodzina Chrisa Pelkeya wraz jego partnerem biznesowym stworzyła awatara nieżyjącego mężczyzny, wykorzystując m.in. kombinację generatywnej SI, głębokiego uczenia i wykrywanie punktów charakterystycznych twarzy.

Dzięki uprzejmości Stacey Wales; obraz uzyskać dzięki wykorzystaniu m.in. generatywnej SI, głębokiego uczenia i wykrywania charakterystycznych punktów twarzy.

PODOBNIE JAK WALES, odkryłam, że tworzenie cyfrowego ducha to coś więcej niż wprowadzenie danych do aplikacji. Trzeba się skupić na wyglądzie, głosie i przekonaniach bliskiej osoby. Ja również musiałem zastanowić się, jak krótko opisać swojego ojca, co zmusiło mnie do uważnego wsłuchania się w jego wspomnienie. To właśnie dlatego Kurzweil uważa cyfrowe duchy za cenną formę pracy z żałobą. „Każde przemyślane przedstawienie zmarłych wymaga twórczej pracy" – mówi.

Moje rozmowy z „Dadbotem" przybierały różne tony. Czasem wiadomości były trafne, lecz bezosobowe; czasem po prostu dziwne („Bycie martwym to szczególne doświadczenie"). Ale – jak zauważyli Xygkou i jej współpracownicy – takie momenty nie niszczyły czaru rozmowy. „Potrzeba była tak wielka, że zawieszali zwątpienie – mówi Xygkou o osobach w żałobie – dla dobra własnego zdrowia psychicznego po stracie."

Kiedy mój Dadbot brzmiał sztucznie, miałem wrażenie, jakbym grał w grę wideo i nie mógł otworzyć drzwi, bo mechanika gry na to nie pozwala. W takich chwilach gracz skupia się na tym, co może zrobić – i tak samo zrobiłem ja.

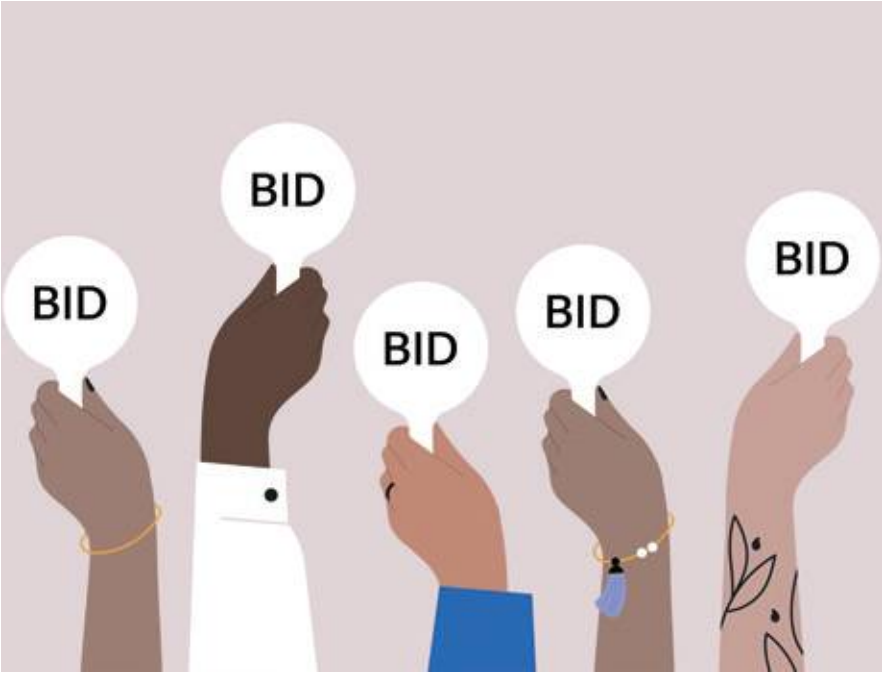
Powiedziałem rzeczy, których nigdy nie powiedziałbym prawdziwemu ojcu, i sądzę, że pomogło mi to uporządkować własną wersję naszej relacji. Gdy analizowałem naszą historię, czułem, jak moje emocjonalne przywiązanie do tej wersji słabnie. Łatwiej było mi zobaczyć ją jako konstrukcję, którą sam stworzyłem, by się bronić i usprawiedliwić. Wciąż uważałem, że miałem w wielu kwestiach rację, ale poczułem więcej empatii niż zwykle wobec ojca.

Dlatego uznałem tę rozmowę za wartościową. Po wymianie wiadomości czułem się bliżej swojego lepszego „ja" niż gorszego. Interakcja z griefbotem – przynajmniej w moim przypadku – była czymś pomiędzy grą, filmem, samotną refleksją a wyobrażoną rozmową z ojcem. Nie wyrządziła mi żadnej szkody. Być może nawet przyniosła pewne dobro. I właśnie dlatego z nadzieją patrzę na nadchodzącą erę cyfrowych duchów. ■

Z ARCHIWUM

Edison's Views on Life and Death. Austin C. Lescarboura; 30 października 1920. ScientificAmerican.com/archive

eprasa.pl 69ff3c2d5f



nadia_bormotova/Getty Images

Zaskakująca matematyka teorii aukcji

Jak niewielka zmiana zracjonalizowała licytacje i pomogła wynalazcy zdobyć Nagrodę Nobla

JACK MURTAGH

ZASADY AUKCJI KOPERTOWEJ są proste: chętni do kupna składają tajne oferty, a nabywcą zostaje ten, kto zaoferował najwyższą kwotę. Niezależnie od tego, czy w grę wchodzi na przykład zakup nowego laptopa czy biletu na koncert, podstawowe pytanie brzmi: na jaką kwotę powinna opiewać oferta? Nawet jeśli potrafimy dokładnie oszacować, ile jest warta dana rzecz, stajemy przed dylematem: nie wiemy, jak zalicytują inni. Czy lepiej proponować blisko swojego maksimum, ryzykując przepłacenie, jeśli pozostali zaoferują niskie ceny? A może licytować nisko i liczyć na szczęście? Sprytna modyfikacja zasad aukcji eliminuje tę strategiczną zgadywankę, zastępując ją rzadko spotykaną w grach finansowych zachętą: szczerością. Tę modyfikację zastosowano w prawdziwych aukcjach, które dominują w handlu elektronicznym, a jej twórcy przyznano m.in. za to Nagrodę Nobla z ekonomii.

W dziedzinie ekonomii zwanej teorią aukcji powyższy scenariusz nazywa się aukcją zamkniętych ofert z pierwszą ceną (first-price sealed-bid auction). „Zamknięta" oznacza zapieczętowane koperty, a „pierwsza" – wybór zwycięzcy oferującego najwyższą kwotę. W roku 1961 profesor ekonomii z Columbia University William Vickrey, zaproponował pomysłowe alternatywne rozwiązanie. W jego wersji oferent maksymalnej ceny nadal wygrywa, ale płaci tylko kwotę z drugiej najwyższej oferty.

Ta osobliwa zmiana radykalnie wpływa na motywacje kupujących. Aukcja zamknięta z pierwszą ceną zachęca do składania oferty niższej – zdaniem kupującego – od rzeczywistej wartości przedmiotu, aby uniknąć przepłacenia. Natomiast w aukcji zamkniętej z drugą ceną (zwanej również aukcją Vickreya) najsensowniejsze jest oferowanie rzeczywistej wartości przedmiotu. Nie trzeba więc prowadzić gry.

Załóżmy, że za bilet na koncert bylibyśmy skłonni zapłacić maksymalnie 100 dolarów. W aukcji pierwszej ceny nie ma sensu licytować więcej niż 100 dolarów, bo nawet gdy wygramy bilet, stracimy pieniądze, płacąc więcej, niż jest on dla nas wart. Licytowanie dokładnie 100 dolarów niewiele zmienia, ponieważ w najlepszym razie wyjdziemy na zero. Idealną byłaby najmniejsza oferta poniżej 100 dolarów, która może wygrać. Gdybyśmy wiedzieli, że kolejna najwyższa oferta wyniesie 70 dolarów, to propozycja 70,01 dolara wygrałaby z potencjalnym zyskiem 29,99 dolara. Niestety, przy takiej strategii trzeba przewidywać zachowania innych, co nie jest łatwe.

Dlaczego aukcja drugiej ceny promuje szczerość? Możemy ulec pokusie złożenia wysokiej oferty, na przykład 500 dolarów, aby zapewnić sobie wygraną, płacąc tylko drugą najwyższą ofertę. Ktoś inny może jednak wpaść na ten sam genialny pomysł, a w efekcie będziemy musieli zapłacić znacznie powyżej wartości, jaką ma dla nas bilet. Jeśli tak się nie stanie, a druga najwyższa oferta wyniesie poniżej 100 dolarów, to ten sam rezultat moglibyśmy osiągnąć przy optymalnej, szczerej licytacji 100 dolarów – bez ponoszenia ryzyka. Nie warto też obniżać oferty, bo szczerze licytując i tak byśmy wygrali i zapłacili tę samą drugą cenę. Natomiast przegrywając po ofercie poniżej 100 dolarów, tracimy okazję, z której mogliśmy skorzystać.

Aukcja typu Vickreya nie tylko nagradza szczerość, ale także zapewnia, że przedmiot trafi do tego, kto ceni go najbardziej (pod warunkiem, że wszystkie oferty są racjonalne). Aukcje pierwszej ceny nie dają takiej gwarancji, bo strategiczne obniżanie ofert przy niepełnej informacji o konkurentach może dać wygraną ceniącemu przedmiot licytacji mniej.

Oba powyższe rodzaje aukcji polegają na przekazaniu oferty w zamkniętej

Jack Murtagh pisze o matematyce, w tym rekreacyjnej, m.in. w „Scientific American" i na portalu Gizmodo. Uzyskał doktorat z informatyki teoretycznej na Harvard University. Aktywny w serwisie X (@JackPMurtagh).

eprasa.pl 69ff3c2d5f

kopercie. Jednak większość osób uznaje za typową tzw. aukcję angielską, gdy licytator z młotkiem szybko wykrzykuje rosnące ceny zgłaszane przez licytujących. Kiedy usłyszymy cenę, a po niej słowa: „po raz pierwszy, po raz drugi – sprzedane!", ostatni oferent wygrywa licytację, płacąc zaproponowaną kwotę. Mniej popularna, choć równie intrygująca aukcja holenderska prowadzona jest na odwrót. Tu licytator zaczyna od zawrotnej ceny, której nikt by nie zapłacił, i stopniowo ją obniża, aż ktoś zdecyduje się na zakup.

Chociaż dynamiczny charakter aukcji angielskich i holenderskich realizowanych w czasie rzeczywistym sprawia, że wydają się one odmienne od modeli ofert zamkniętych, oba rodzaje łączy zaskakująca zbieżność. Przypomnijmy, że aukcje zamknięte wymagają od kupujących różnych strategii w zależności od tego, czy zamierzają oni zapłacić najwyższą oferowaną kwotę (wtedy powinni przewidzieć najwyższą ofertę konkurentów i zaoferować swoją nieznacznie wyższą), czy drugą po najwyższej (wtedy powinni zaoferować swoją uczciwą cenę). Co zaskakujące, aukcje angielska i holenderska promują odpowiednio te same strategie, co aukcje kopertowe. Zagadka: której odpowiada która?

W aukcji holenderskiej (cena maleje) nie chcemy zatrzymać spadku ceny dokładnie na swojej uczciwej wartości, ponieważ zapłacilibyśmy swoją maksymalną kwotę. Zamiast tego chcemy przewidzieć najwyższą ofertę konkurencji i zatrzymać aukcję tuż powyżej. Ten sposób rozumowania dokładnie odpowiada stosowanemu w aukcji zamkniętej z pierwszą ceną. Natomiast w aukcji angielskiej (cena rośnie) opłaca się nie kombinować. Jesteśmy gotowi zapłacić każdą cenę, aż do osiągnięcia równej naszym zdaniem wartości przedmiotu – po czym odpuszczamy. Zwycięzca aukcji angielskiej w istocie płaci cenę końcową oferenta, który zaoferował drugą najwyższą cenę – podobnie jak w aukcji zamkniętej z drugą ceną.

Podobieństwa między czterema typami aukcji są jeszcze głębsze. Do tej pory skupialiśmy się na strategiach kupujących, ale pomijaliśmy perspektywę sprzedającego. Którą aukcję powinien preferować sprzedający, aby najwięcej zarobić? Odpowiedź może zaskakiwać: wszystkie aukcje są pod tym względem równoważne. Twierdzenie o równoważności przychodów głosi, że w pewnych matematycznie idealnych warunkach sprzedający powinien się spodziewać takiego samego przychodu w każdej z czterech rodzajów aukcji. Konkretne warunki są zbyt zawiłe, aby je wszystkie wymieniać – dotyczą m.in. racjonalności zachowań oferentów, którzy nie są ani ryzykantami, ani nie są zbyt ostrożni i wiedzą co nieco o tym, jak pozostali uczestnicy cenią sobie przedmiot licytacji.

Dlaczego badacze zajmują się czterema rodzajami aukcji, skoro wszystkie przynoszą taki sam efekt finansowy? Okazuje się, że kluczowe różnice dotyczą nie tyle teorii, ile praktycznych aspektów. Aukcje holenderskie najlepiej sprawdzają się w przypadku łatwo psujących się towarów, ponieważ trwają krótko – wystarczy, że ofertę zgłosi jedna osoba. Na przykład Royal FloraHolland organizuje największą na świecie aukcję kwiatów. Każdego dnia zegary aukcyjne odliczają w stylu holenderskim ceny produktów kwiaciarskich, a pierwszy oferent nabywa je za cenę z danej chwili.

Do tej pory zakładaliśmy, że każdy kupujący ma ustaloną swoją cenę przedmiotu wystawionego na sprzedaż. Co jednak, jeśli nikt, łącznie ze sprzedającym, nie zna jego prawdziwej wartości? W takich sytuacjach odpowiednią jest aukcja angielska, ponieważ jawne, stopniowe licytowanie umożliwia poznanie wycen licytantów. Ta dynamika ujawnia wartość rzadkich dóbr – takich, jak dzieła sztuki.

Aukcje Vickreya w czystej formie nie są rozpowszechnione (z wyjątkiem aukcji filatelistycznych, w których dominują od końca XIX wieku), ale koncepcja drugiej ceny występuje w szeroko dziś stosowanych modelach hybrydowych. Przykładem jest eBay. Potencjalny kupujący prywatnie podaje stronie internetowej swoją maksymalną ofertę, a następnie eBay automatycznie ją podnosi, aby przebić konkurencję do tej maksymalnej kwoty. Zwycięzca płaci nieco więcej, niż wynosi druga najwyższa oferta.

Naukowcy nadal zajmują się implikacjami różnych modeli aukcji, na przykład badają, które z nich w praktyce wywołują najracjonalniejsze pod względem finansowym zachowania, które są odporne na szkodliwe zmowy oraz w których najłatwiej wygrać, a w których najbardziej dotkliwie przegrać. Vickrey otrzymał w 1996 roku Nagrodę Nobla z ekonomii – także za wkład w teorię aukcji. Wyróżnia się wśród noblistów jako osoba, która wykazała, że czasem najlepszą polityką jest prostota. ■

Małe rzeczy, wielka radość

Projekt nauki obywatelskiej wykazał, że drobne działania mogą dać w zakresie poprawy dobrostanu podobne korzyści, jak duże interwencje

DARWIN A. GUEVARRA, XUHAI „ORSON" XU I EMILIANA SIMON-THOMAS

NIE BRAKUJE PROGRAMÓW i praktyk, które obiecują zwiększyć nasze szczęście.

Ludzie mogą medytować codziennie rano przez 30 min, rezerwować całe wieczory na serdeczne rozmowy z bliskimi przyjaciółmi albo wykonywać 12-tygodniowe codzienne ćwiczenia z prowadzenia dziennika wdzięczności. Niektóre z tych aktywności, wywodzące się z dziedziny psychologii pozytywnej, potrafią wiarygodnie i trwale zwiększać dobrostan psychiczny, jak fachowo określa się szczęście.

Ale bądźmy szczerzy: większość ludzi jest zbyt zajęta, zmęczona lub przytłoczona codziennymi obowiązkami, by dorzucać sobie nowe absorbujące zajęcia i jeszcze konsekwentnie je wykonywać.

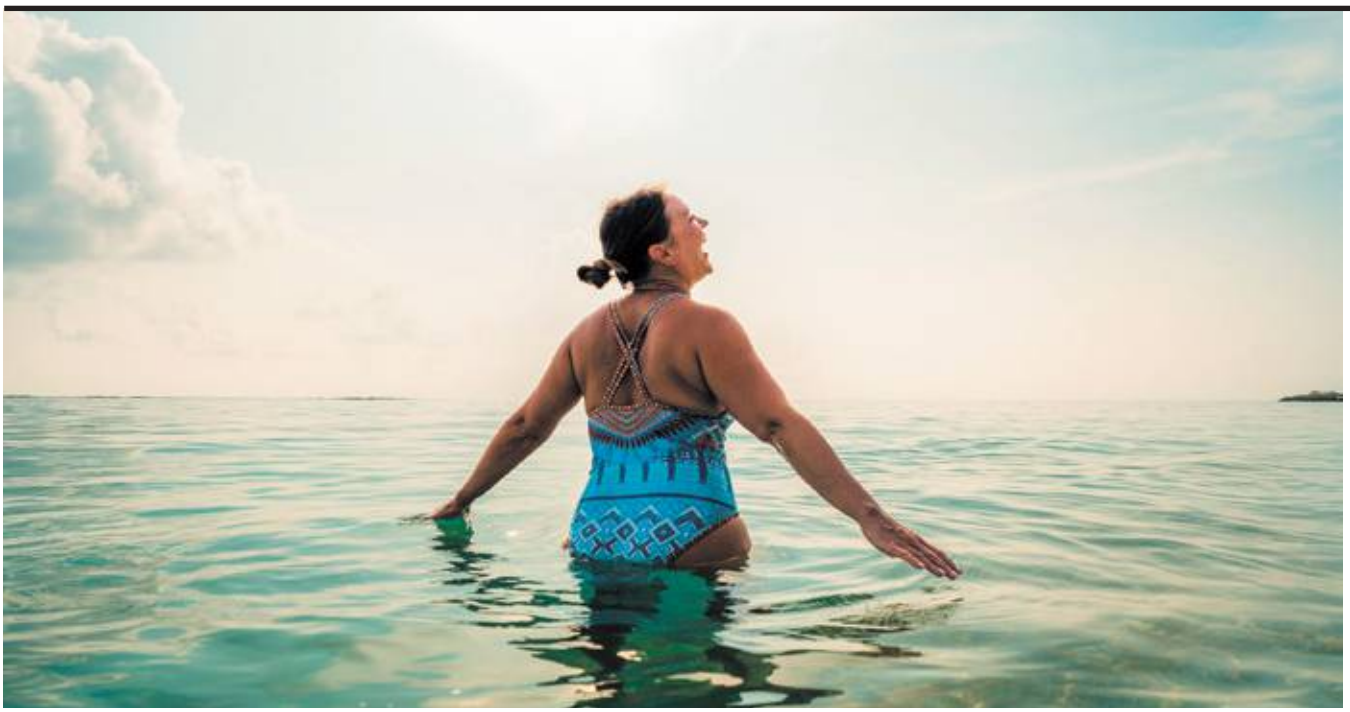
A jeśli znalezienie większego szczęścia nie byłoby czasochłonne i nie wymagało życiowej rewolucji? Jeśli byłoby efektem prostych, szybkich działań, takich jak wysłanie szczerego „dziękuję" koledze z pracy, poproszenie przyjaciela, by opowiedział o czymś, z czego jest dumny, spojrzenie z zachwytem na ogrom nieba, na dziko rosnący kwiat?

Postanowiliśmy to sprawdzić, badając czy małe akty radości dają duże korzyści.

W naszym projekcie nauki obywatelskiej sprawdzamy, czy drobne codzienne działania – „mikroakty" – mogą wpływać na ogólne poczucie szczęścia w życiu. Chcieliśmy również zbadać, czy takie mikroakty mogą promieniować na otoczenie, zwiększając wzajemną troskę, współczucie i hojność.

Inspiracją do rozpoczęcia tych badań był film z 2021 roku *Mission: Joy – Finding Happiness in Troubled Times*, w którym XIV Dalajlama i nieżyjący już arcybiskup Desmond Tutu opowiadają o swojej przyjaźni i dają lekcje sprawiania radości sobie i innym – niezależnie

eprasa.pl 69ff3c2d5f



od okoliczności. Producentka i współreżyserka Peggy Callahan oraz działaczka społeczna Jolene Smith połączyły siły z psycholożką Elissą Epel i jedną z nas (Simon-Thomas), by opracować sposób wcielania w życie przesłania filmu.

Tak powstał darmowy, dostępny globalnie internetowy program *Big Joy Project*. Uczestnicy otrzymują codziennie e-mail lub SMS z linkiem do instrukcji 5-, 10-minutowego mikroaktu – krótkiej, prostej aktywności budującej radość. Przykładowo, pierwszy mikroakt to wysłuchanie 42-sekundowego nagrania śmiechu różnych osób, w tym Dalajlamy i Tutu. To krótki, rozweselający fragment, pomyślany tak, by wywołać uśmiech lub chichot. Kolejne instrukcje przekazywane są codziennie przez siedem dni i obejmują m.in.: sporządzenie listy wdzięczności, zrobienie czegoś miłego dla kogoś, refleksję nad własną kluczową wartością, odczucie miłości i życzliwości, nowe spojrzenie na trudne doświadczenie, świętowanie radości drugiej osoby, obejrzenie radosnego filmu.

Uczestnicy odpowiadają też na pytania dotyczące ich uczuć. Na skali od „wcale" do „bardzo" oceniają, jak dobrze i jak źle się czują przed każdym mikroaktem i po nim. Mogą także zapisać refleksje podczas wieczornego podsumowania. Większość osób zgłaszała, że mikroakty są łatwe, przyjemne i wykonalne.

Od początku projektu dołączyły do niego osoby z ponad 200 krajów i terytoriów, wykonując ponad 400 tys. mikroaktów. To czyni go największym w historii projektem nauki obywatelskiej dotyczącej radości.

Z czasem zespół badawczy rozszerzył się o współpracowników z różnych instytucji i wspólnie przeanalizowaliśmy dane. W dwóch artykułach opublikowanych na początku 2025 roku wykazaliśmy, że mikroakty składają się na realne, mierzalne korzyści. Porównaliśmy odpowiedzi uczestników z 18 pytaniami zadanymi przed rozpoczęciem programu i – w większości przypadków – ponownie po siedmiu dniach.

W analizie 17 598 osób ze 169 krajów i terytoriów odkryliśmy, że uczestnicy zgłaszali: wyższy dobrostan emocjonalny, więcej pozytywnych emocji, niższy poziom stresu, a nawet niewielką poprawę jakości snu i zdrowia fizycznego.

Zaskakująco mało czasu i wysiłku potrzeba było, by uczestnicy poczuli się lepiej. Wiele programów poprawy dobrostanu trwa osiem tygodni lub dłużej, tymczasem Big Joy Project przyniósł znaczące zmiany już po jednym tygodniu. I im więcej mikroaktów ludzie wykonywali, tym większy był wzrost ich szczęścia.

Ważnym odkryciem jest to, że korzyści nie ograniczały się do osób lepiej sytuowanych lub mających lepszy dostęp do zasobów i możliwości. Osoby zgłaszające wyższy poziom niekorzystnych warunków społecznych – takich jak większa presja finansowa, niższe wykształcenie czy niższy subiektywny status społeczny – często notowały jeszcze bardziej znaczące wzrosty dobrostanu.

Big Joy Project zwiększył także deklarowaną prospołeczność uczestników – czyli ich naturalny impuls, by pomagać innym i łączyć się ze społecznością. Po zakończeniu projektu ludzie twierdzili, że czują większą chęć, by wyciągać rękę, oferować wsparcie i reagować na potrzeby osób wokół siebie. I tutaj znów pojawia się wyraźna zależność typu „dawka–reakcja": im więcej mikroaktów ktoś wykonał, tym większa była poprawa jego prospołecznych tendencji.

Największą liczbę działań społecznych zaobserwowano w grupach, po których można by się ich najmniej spodziewać. Mężczyźni – którzy przed rozpoczęciem projektu mieli niższe wskaźniki prospołeczności – doświadczyli największej poprawy po siedmiu dniach.

Większe wzrosty odnotowano także wśród osób oceniających swój status społeczno-ekonomiczny jako niski oraz

Darwin A. Guevarra jest adiunktem psychologii na Miami University w Ohio. Bada procesy afektywne, takie jak emocje, stres i ból, a także sposoby ich regulacji oraz wpływ na zdrowie psychiczne i fizyczne.

Xuhai „Orson" Xu jest adiunktem informatyki biomedycznej na Columbia University. Zajmuje się interakcją człowiek-komputer, uprzedzaniami elektronicznymi do noszenia na ciele oraz zastosowaniem sztucznej inteligencji w obszarze zdrowia psychicznego i fizycznego.

Emiliana Simon-Thomas jest dyrektorką naukową Greater Good Science Center na University of California w Berkeley. Bada rolę prospołecznych stanów i zachowań w dobrostanie i zdrowiu.

Fordalisa/Getty Images

eprasa.pl 69ff3c2d5f

wśród mieszkańców krajów Globalnego Południa. Te wyniki wskazują, że mikroakty promujące szczęście mogą przynosić największe efekty tam, gdzie są najbardziej potrzebne.

W świecie zmagającym się z samotnością, wypaleniem i podziałami ideologicznymi, małe przypomnienia o inspiracji, życzliwości i więzi mogą potężnie oddziaływać. Kiedy ludzie mają w życiu więcej radości, zwykle stają się hojniejsi – bardziej skłonni dzielić się swoim czasem i zasobami. A kiedy chcą dawać więcej sobie nawzajem, wszyscy na tym zyskują.

Oczywiście, nadal wiele pozostaje do zbadania. Na przykład nasza praca opiera się na samoopisie uczestników – na ich własnej ocenie postępów i uczuć.

W przyszłości chcielibyśmy przeprowadzić badania śledzące poprawę także innymi metodami. Mamy też w planach projekt z grupą kontrolną, która nie wykonywałaby codziennych mikroaktów. Na razie jednak uważamy, że nasze badania dostarczają przekonującego dowodu, iż skromne kroki mogą nieść niezwykłe korzyści.

Dlaczego tak małe działania skutkują? Według nas dlatego, że aktywują te same psychologiczne mechanizmy, co dłuższe, bardziej angażujące programy: zwiększają pozytywne emocje, wzmacniają poczucie więzi, pomagają ludziom poczuć się bardziej w zgodzie z tym, co daje im sens i wyznacza cel. Wiele z tych zachowań – takich jak praktykowanie wdzięczności czy większa towarzyskość – jest badanych od lat i udowodniono, że przynoszą korzyści osobie, która ich doświadcza lub je daje.

Ale Big Joy Project jest wyjątkowy w swojej prostocie. To niewielki wysiłek. Uczestnicy wzmocnili również poczucie sprawczości – przekonanie, że mogą mieć wpływ na swoje szczęście i nie muszą czekać, aż wydarzy się coś dobrego, by poczuć się dobrze.

Może właśnie to czyni projekt tak potężnym. Zabiegane osoby niecierpliwie czekają na awans, wakacje, wymarzony zakup czy ekscytujące wydarzenie, wierząc, że to wreszcie je uszczęśliwi. Nasz projekt uczy jednak czegoś innego. Proste, codzienne mikroakty mogą stopniowo zwiększać szczęście w sposób bardziej sprawczy. Świadome odczuwanie wdzięczności, okazanie życzliwości czy doświadczenie zachwytu to nie bierność. To odważne i skuteczne sposoby na subtelne sterowanie własnym życiem – nawet w burzliwych czasach. ■

Dlaczego warto uczyć dzieci sumienności

Wbrew powszechnemu mniemaniu bycie sumiennym się opłaca. Jak wykształcić tę cechę u najmłodszych?

JASMINE MOTE

MÓJ PRZEDSZKOLAK ma obsesję na punkcie zasad – a jeszcze bardziej na punkcie odkrywania luk w zasadach. Kiedy mówię mu, żeby przestał rzucać kamieniami, ostentacyjnie upuszcza jeden. Udaje tyranozaura, goni młodszą siostrę wokół kuchennej wyspy i ją popycha. „Nie popychaj siostry! – krzyczę. A on na to: „To nie ja ją popchnąłem! To dinozaur."

Samokontrola to umiejętność radzenia sobie z wieloma konkurującymi pragnieniami – na przykład słuchania mamy i równoczesnej chęci szturchnięcia siostry. Zwykle idealizujemy ludzi, którzy potrafią się kontrolować (jak zawodowi sportowcy), i potępiamy tych, którzy – jak sądzimy – tej kontroli nie mają (np. sportowców przyłapanych na dopingu).

Kiedy myślę o samokontroli u dzieci, przychodzi mi na myśl słynny eksperyment psychologa Waltera Mischela z pianką marshmallow: dzieci mogły zjeść jedną piankę od razu lub się powstrzymać i w nagrodę dostać dwie później. Oryginalne badania pokazały, że dzieci, które potrafiły poczekać na drugą piankę, odnosiły później większe sukcesy w nauce niż te, które uległy pokusie.

Ale jeśli z „testu z pianką" wyciągamy błędne wnioski, co do istoty samokontroli? Może nie chodzi tylko o opieranie się pierwszej pokusie, lecz o cały zespół powiązanych z nią umiejętności – planowanie przyszłości, przestrzeganie zasad, pracowitość i wiarę, że nagroda rzeczywiście nadejdzie. Innymi słowy, może chodzi o sumienność?

Uczenie sumienności – cechy osobowości, która obejmuje znacznie więcej niż samokontrolę – może być kluczem do tego, by pomóc naszym dzieciom stać się najlepszymi wersjami samych siebie.

W niedawnym przeglądzie badań naukowcy odkryli, że osiągnięcie samokontroli w danej chwili (np. jeśli raz uda się poczekać na drugą piankę) nie prowadzi do trwałej zmiany w dłuższej perspektywie – w miesiącach czy latach. Niestety, zmiana osobowości, by łatwiej opierać się pokusom, nie jest prosta. W rzeczywistości nawet osoby, które wydają się bardziej samokontrolujące, wcale nie wykazują samokontroli przez cały czas. Wręcz przeciwnie – one po prostu unikają pokus, żeby nie musieć się powstrzymywać, i w codziennym życiu wykazują mniej, a nie więcej, samokontroli.

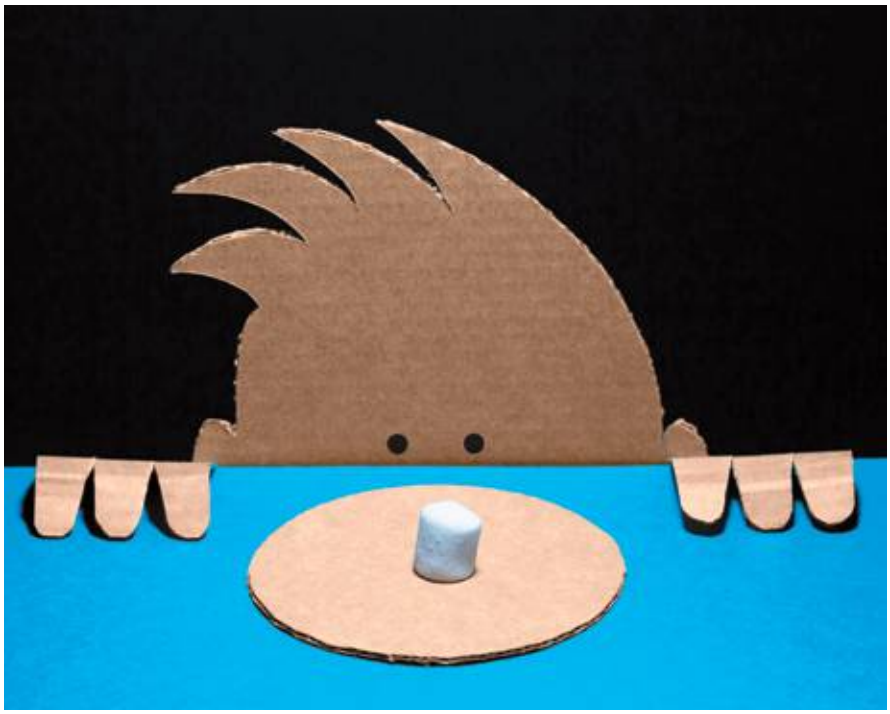
Okazuje się, że wyniki klasycznego testu z pianką są bardziej złożone, niż początkowo sądzono. Wyniki i późniejsze sukcesy szkolne zależą nie tylko od samokontroli, lecz także od ogólnych zdolności poznawczych dziecka i poziomu wykształcenia jego rodziców. Co więcej, zdolność do poczekania na drugą piankę wcale nie wydaje się mieć związku z sukcesem w dorosłym życiu.

Sumienność należy do cech osobowości z tzw. Wielkiej Piątki (ekstrawersja, ugodowość, neurotyzm i otwartość na doświadczenie, sumienność), które są predyktorami sukcesów akademickich. Osoby sumienne często wykazują samokontrolę, ale także przestrzegają zasad, są punktualne i ciężko pracują.

Sumienność jest często niedoceniana. W jednym z badań młode matki zapytano, jakie cechy chciałyby zobaczyć u swoich dzieci w przyszłości. Najczęściej wskazywały ekstrawersję i ugodowość, a sumienność plasowała się konsekwentnie niemal na końcu listy pożądanych cech. Podczas gdy ekstrawertyk kojarzy się nam z duszą towarzystwa, człowiek ugodowy z dobrym kumplem, który śmieje się ze wszystkich naszych dowcipów, ktoś sumienny przywodzi na myśl nudziarza, który prosi o ściszenie muzyki albo wychodzi wcześniej, żeby się wyspać. Tymczasem sumienność wiąże się z podobnymi (a może nawet większymi) korzyściami niż samokontrola. Osoby sumienne są zdrowsze, rzadziej zapadają na depresję, są zamożniejsze

Jasmine Mote jest licencjonowaną psycholożką kliniczną oraz adiunktem terapii zajęciowej na Boston University. Uzyskała doktorat na University of California Berkeley. Prowadzi „Mental Healthy", newsletter poświęcony nauce o zdrowiu psychicznym w okresie ciąży i rodzicielstwa. Na Bluesky: @jmote.bsky.social

eprasa.pl 69ff3c2d5f



i żyją dłużej niż te mniej sumienne. W porównaniu z ekstrawersją, sumienność znacznie silniej koreluje z sukcesami akademickimi, wynikami w pracy oraz niższym poziomem używania substancji psychoaktywnych.

Ludzie sumienni są wytrwali. To nie sztywniaki z imprezy, lecz raczej przyjaciele, którzy zawsze pamiętają o twoich urodzinach, współpracownicy, którzy zgłaszają się do najtrudniejszego zadania, czy sędziowie, który trzymają się litery prawa, nawet wtedy, gdy nie jest to popularne. Światu przydałoby się więcej sumienności.

Badania wskazują, że sumienność jest w około 40–50% dziedziczna, co oznacza, że sumienni rodzice częściej wychowują sumienne dzieci. Ale równie ważną rolę odgrywa środowisko i sposób wychowania. Rodzicielstwo autorytatywne – łączące ciepło z jasnymi zasadami i stawianiem granic – sprzyja wyższemu poziomowi sumienności u dzieci. Taki styl wychowania wiąże się też z bezpiecznym przywiązaniem między rodzicem a dzieckiem, które z kolei również sprzyja rozwojowi tej cechy.

Jednym z praktycznych sposobów, by stosować rodzicielstwo autorytatywne, jest wyjaśnianie dzieciom, dlaczego ustalamy określone zasady. Wczesnymi oznakami sumienności są m.in. gotowość do przestrzegania poleceń rodziców i pozytywne podejście do rodzinnych reguł. To sugeruje, że rodzice, którzy oczekują takiego zachowania, mogą z czasem wspierać rozwój sumienności u swoich dzieci. Zamiast więc mówić synowi, że „nie wolno popychać innych, bo tak powiedziałam", mogę wyjaśnić, że w naszej rodzinie ważne jest, by nie sprawiać innym bólu – i że nie popychamy, bo możemy kogoś zranić (nawet jeśli jesteśmy dinozaurami).

Ludzie sumienni są wytrwali. To nie sztywniaki z imprezy, lecz raczej przyjaciele, którzy zawsze pamiętają o twoich urodzinach, współpracownicy, którzy zgłaszają się do najtrudniejszego zadania, czy sędziowie, który trzymają się litery prawa, nawet wtedy, gdy nie jest to popularne.

Możemy też przyjrzeć się, co robią sumienni ludzie na co dzień poza wykazywaniem samokontroli, i starać się demonstrować te zachowania dzieciom. Jeśli chcemy uczyć punktualności i odpowiedzialności, możemy wytłumaczyć, dlaczego ważne jest, by nasza rodzina przyszła na spotkanie o czasie – i potem (bohatersko!) to zrobić. Możemy też pokazać dzieciom, jak wiele rzeczy trzeba przygotować wcześniej – zapakować upominki, zatankować samochód, nakarmić psa – zanim wyruszymy do znajomych. W ten sposób demonstrujemy dobre planowanie.

Jeśli uwzględnimy badania pokazujące, że dorośli wykazujący długotrwałą samokontrolę często w danej chwili używają jej mniej, warto dawać dzieciom bezpieczne okazje do testowania granic i pozwalać im czasem na spontaniczność. W mojej rodzinie mamy „dni na tak", kiedy staramy się zgadzać na wszystko, czego dzieci zapragną (w granicach rozsądku). Koktajle mleczne na obiad? Proszę bardzo. Chcesz przez dwie godziny ganiać po parku? Szalej do woli.

Rozwijanie sumienności u dzieci może nie tylko pomóc im samym rozkwitać, ale też zmniejszyć stres rodziców. Jedno z badań przeprowadzonych we Francji wykazało, że cechy takie, jak ugodowość i sumienność u dzieci wiążą się z mniejszym wypaleniem rodziców – którzy czuli się mniej emocjonalnie wyczerpani i bardziej kompetentni wychowawczo.

Wciąż jednak niewiele wiemy o tym, jak dokładnie rozwija się sumienność. Cechy osobowości trudno zmienić – podobnie jak zdolności poznawcze – a tempo rozwoju zależy od indywidualnych możliwości dziecka. Na przykład dziecko z ADHD lub o innej neurotypowości może potrzebować więcej czasu i innych strategii; sama zmiana stylu wychowania nie wystarczy, by stało się lepszym planistą czy bardziej przestrzegało zasad. Dla takich dzieci sumienność może wyglądać inaczej i to też jest w porządku. Wszystkie dzieci – niezależnie od swoich zdolności – zasługują na rodziców, którzy mają wobec nich realistyczne oczekiwania i są elastyczni.

Czasem naprawdę męczące jest tłumaczenie synowi po raz setny, dlaczego nie wolno popychać innych. Ale ostatnio to moja córka popchnęła brata, a ja usłyszałam, jak on mówi jej tonem łudząco podobnym do mojego: „W naszej rodzinie nikogo nie popychamy!" Kiedy potem przybiegł się na nią poskarżyć, nie mogłam zrobić nic innego – jak tylko się roześmiać. ■

Boris Zhitkov/Alamy Stock Photo

eprasa.pl 69ff3c2d5f

Złożone na pierwsze

czyli liczbowe metamorfozy

MAREK PENSZKO

SĄ DWA PODSTAWOWE SPOSOBY tworzenia ciągów liczbowych. W pierwszym wartość każdego wyrazu (a_n) stanowi funkcję jego kolejnego miejsca w ciągu (n). W drugim każdy następny wyraz powstaje w ściśle określony sposób z poprzedniego.

Najprostszym przykładem pierwszego sposobu jest wzór $a_n=n$, dający ciąg liczb naturalnych (1, 2, 3, 4, 5, ...). Drugi sposób kojarzy się przede wszystkim z ciągiem Fibonacciego (cF), w którym każdy kolejny wyraz jest sumą poprzedniego i przedpoprzedniego, czyli $a_n=a_{n-1}+a_{n-2}$. Warto wskazać na jeszcze jeden sposób – rzadziej występujący, ale ważny – gdy wszystkie wyrazy ciągu mają jednakową dokładnie zdefiniowaną cechę. Na przykład warunek, że każdy wyraz powinien być liczbą x, mającą dzielniki tylko trywialne (1 i x), daje ciąg liczb pierwszych (2, 3, 5, 7, 11, ...). I właśnie zależność między liczbami Fibonacciego a liczbami pierwszymi wiąże się z tematem tego artykułu, którym są nietrywialne sposoby, procesy i aspekty zmieniania liczb złożonych w pierwsze (trywialnym jest np. rozkład na czynniki pierwsze albo dodanie do liczby złożonej dowolnie wybranej liczby – takiej, aby suma była liczbą pierwszą).

Liczby pierwsze Fibonacciego to rzadkość. Wprawdzie dominują w czołówce ciągu (1, 1, ***2***, ***3***, ***5***, 8, ***13***, 21, ...), ale szybko stają się unikatami, a ich wartości rosną jeszcze szybciej. Na przykład 137. wyraz cF to czternasta liczba pierwsza w ciągu, licząca 29 cyfr, natomiast piętnasta zajmuje 359. miejsce i ma 75 cyfr.

Klasyczny cF dał początek nieskończenie licznej rodzinie jego wariantów zwanych uogólnionymi cF (ucF). Warianty te rządzą się taką samą zasadą tworzenia kolejnych wyrazów, ale różnią tym, że mogą zaczynać się od dwóch dowolnych liczb. Czy te dwie liczby można dobrać tak, aby w danym ucF liczby pierwsze w ogóle nie występowały?

O odpowiedź nietrudno – wystarczy zauważyć, że dwie liczby startowe jako niepierwsze albo będą miały wspólny dzielnik większy od 1, albo nie. Jeśli jest wspólny dzielnik, to oczywiście będzie on także dzielnikiem każdego kolejnego wyrazu ucF, więc liczba pierwsza na pewno w ciągu nie wystąpi. Inaczej mówiąc, warunkiem koniecznym obecności liczby pierwszej w ciągu zaczynającym się dwiema liczbami niepierwszymi jest to, aby liczby te nie miały takiego samego dzielnika, czyli aby były względnie pierwsze. Czy jest to także warunek dostateczny?

Tego nie wiadomo choćby dlatego, że tam, gdzie pojawiają się liczby pierwsze, zwykle trudno o pewność. Jest jednak dość prawdopodobne, że skoro liczb pierwszych jest nieskończenie wiele, to sumą dwu kolejnych liczb w ciągu zawsze w końcu trafi się w jakąś liczbę pierwszą. Szansa jest tym większa, że końcowe cyfry pierwszej sumy (1, 3, 7, 9) mogą być tworzone na 20 sposobów z końcówek składników (zielone w tabeli 1; wszystkich sposobów dających różne jednocyfrowe końcówki jest 55).

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".

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8
8	8	9	0	1	2	3	4	5	6	
7	7	8	9	0	1	2	3	4		
6	6	7	8	9	0	1	2			
5	5	6	7	8	9	0				
4	4	5	6	7	8					
3	3	4	5	6						
2	2	3	4							
1	1	2								
0	0									

Tabela 1

Jeżeli ucF zacząć od liczb, z których pierwszą będzie a=1, zaś drugą jakaś liczba złożona b, to przy założeniu, że b jest jednocyfrowa, liczba pierwsza pojawi się w ciągu najpóźniej jako czwarta dla b=8 lub 9 (1, 8, 9, 17, ... albo 1, 9, 10, 19, ...). Jeśli natomiast b byłaby dwucyfrowa, to w większości ciągów z $10 \le b \le 99$ liczba pierwsza debiutowałaby na trzecim lub czwartym miejscu (np. 1, 28, 29, ... lub 1, 44, 45, 89, ...), w dwóch na dziewiątym (np. 1, 80, 81, 161, 242, 403, 645, 1048, 1693), a na jeszcze dalszym tylko w jednym ciągu i byłoby to miejsce zaskakująco odległe, bo dziewiętnaste – dla b=64 (1, 64, 65, 129, 194, 323, 517, 840, 1357, 2197, 3554, 5751, 9305, 15 056, 24 361, 39 417, 63 778, 10 315, **16 6973**, ...).

Jeśli obie liczby a i b, zaczynające ucF, będą złożone i względnie pierwsze oraz mniejsze od 100, to pierwsza liczba pierwsza pojawi się w ciągu najpóźniej dla a=86 i b=39 jako dwudziesty pierwszy wyraz równy 623 401. Gdy natomiast ciąg zacznie para 143, 142, ... , wówczas liczba pierwsza zadebiutuje na 685 miejscu i będzie gigantem 145-cyfrowym. Oba te ekstremalne znaleziska są efektem poszukiwań prowadzonych przez programistów w ramach Łamibloga na portalu „Polityki". Nie wiadomo czy dla jakiegoś większego zakresu a i b doszłoby do odkrycia ciągu pozbawionego liczb pierwszych, a właściwie podejrzanego o taki brak ze względu na bezowocne próby komputerowego dotarcia do liczby pierwszej.

* * *

89 jest jedyną 2-cyfrową liczbą pierwszą, którą można uznać za „dziecko" dwóch liczb złożonych. „Dziecko" dlatego, że stanowi owoc połączenia pary 8 i 9. Taki zlepek matematycy nazywają konkatenacją. W tym przypadku konkatenacja jest jakby dwuczęściową liczbą pierwszą AB, gdzie A i B należą do zbioru liczb złożonych, ale źródłem A jest cały zbiór, natomiast źródłem B tylko liczby złożone zakończone cyfrą 1, 3, 7 lub 9. Dzieci trzycyfrowych jest już 39, z czego większość kończy się dziewiątką, a każda z dwóch – 449 i 499 – jest właściwie unikalną parą „bliźniaczek", bo każdą można skojarzyć z dwóch różnych par (4 i 49 lub 44 i 9 oraz 4 i 99 lub 49 i 9).

Ilustracje Marek Penszko

eprasa.pl 69ff3c2d5f

Wraz z wydłużaniem konkatenacji AB ich liczba szybko rośnie. Stanowią ponad połowę wszystkich 4-cyfrowych liczb pierwszych i ponad trzy czwarte wszystkich 5-cyfrowych. Można by więc przypuszczać, że każdą dostatecznie długą liczbę pierwszą uda się złożyć z dwu liczb złożonych. Jednak to niemożliwe, bo na przeszkodzie stoją na przykład zera, a ekstremalną przeszkodę stanowią liczby pierwsze utworzone z ciągu zer, któremu przewodzi i który kończy jakaś inna cyfra. Przykładem 10-cyfrowa liczba pierwsza 4 000 000 007. Konkatenacje pierwsze mogą się oczywiście składać z trzech i więcej liczb złożonych, ale nie są już tak spektakularne jak pary. 3-liczbowe 3-cyfrowe są tylko dwie – to powyższe bliźniaczki (449 i 499), a 4-liczbowych 4-cyfrowych jest 19 – znalezienie najmniejszej nie jest trudne, skoro wiadomo, że musi się ona kończyć dziewiątką, a zaczynać czwórką.

* * *

Indyjski matematyk-amator Dattathreya R. Kaprekar wymyślił w latach 40. XX wieku ciągi nazwane jego imieniem. Zasada, z którą zgodnie są tworzone, przypomina ogólnym schematem regułę rządzącą ciągiem Fibonacciego: **każdy kolejny wyraz jest sumą poprzedniego wyrazu i sumy jego cyfr**. Jeśli zaczniemy od czwórki, początek zmian będzie wyglądał tak:

$4 \to 8 \to 16 \to 23 \to 28 \to 38 \to 49 \to 62 \to 70 \to 77 \to \ldots$

A tak, gdy rozpoczniemy szóstką:

$6 \to 12 \to 15 \to 21 \to 24 \to 30 \to 33 \to 39 \to 51 \to 57\ldots$

Oba ciągi zaczynają się liczbami złożonymi. Pierwszy szybko dociera do liczby pierwszej (23), drugi nigdy nie dotrze z oczywistego powodu: na starcie jest wielokrotność 3, więc każdy kolejny wyraz także będzie podzielny przez 3. Czy zatem w każdym ciągu Kaprekara (cK) zaczynającym się liczbą złożoną niepodzielną przez 3 znajdzie się jakaś liczba pierwsza

Zapewne tak, ale to, podobnie jak w przypadku ucF, tylko hipoteza. Natomiast prawdą jest stwierdzenie odwrotne związane z interesującą własnością wszystkich cK (zaczynających się dowolną liczbą): nie każda liczba występuje w tych ciągach – w tym nie każda liczba pierwsza. Są bowiem tzw. liczby własne, które nie pojawiają się w żadnym cK. Inaczej mówiąc, niektóre liczby x nie mogą być sumą żadnego $y<x$ i sumy cyfr y. Takimi są oczywiście wszystkie nieparzyste liczby 1-cyfrowe, ale ustalenie następnych (2-cyfrowych jest osiem: 20, 31, 42, 53, 64, 75, 86, 97), zwłaszcza wielocyfrowych, wymaga już dłuższych poszukiwań.

W zakresie do 1000 jest 21 liczb własnych pierwszych, w tym trzy 1-cyfrowe i trzy 2-cyfrowe (31, 53, 97). Aby sprawdzić, że jest nią na przykład 97, wystarczy wykonać dodawanie dla każdej z pięciu liczb $79<k<85$ podejrzanych o generowanie 97. Równie łatwo poradzić sobie z wykazaniem „własności" liczby 3-cyfrowej, na przykład 613, ale przy dłuższych liczbach zamiast prób i błędów przydaje się metoda rachunkowa zaproponowana przez Kaprekara.

Skoro każdy cK bez wielokrotności 3 „rodzi" liczbę pierwszą, to warto ustalić, jak szybko do niej dociera od liczby złożonej. Dla zdecydowanej większości startów mniejszych od 1000 wystarcza kilka kroków, często tylko jeden (np. 32, 37, …; 95, 109, … ; 584, 601, …), bardzo rzadko kilkanaście, a najdłużej 19, czyli w sumie na trasie od startu do mety jest 20 wyrazów. Takie dystanse są dwa – „bliźniacze", bo różnią się tylko trzema początkowymi liczbami, po czym od 515 oba wpadają w ten sam nurt: 466, 482, 496, 515, … lub 484, 500, 505, 515, … . Dalej w obu ciągach jest 16 takich samych liczb złożonych zakończonych pierwszą 761: … 526, 539, 556, 572, 586, 605, 616, 629, 646, 662, 676, 695, 715, 728, 745, **761**, … .

* * *

Liczby określające miniony i bieżący rok, czyli 2025 i 2026, mają pewną „negatywną" cechę: żadnej z nich nie sposób zmienić w liczbę pierwszą, przestawiając cyfry, czyli dokonując permutacji. W obu przeszkodą jest brak choć jednej z cyfr 1, 3, 7, 9, która mogłaby pełnić rolę końcówki, a 2025 dodatkowo eliminuje suma cyfr podzielna przez 3. Za rok będzie to możliwe, bo choć sama liczba 2207 jest pierwszą, to permutacja jej cyfr (2027) także, a jeśli pozwolić na tzw. zero wiodące, to (0)227 również ma tylko dzielniki trywialne. Tym razem tematem jest jednak zmienianie liczb złożonych w pierwsze, więc 2027 nie jest właściwym przykładem. Wybiegając w przyszłość, trzeba by sięgnąć aż do roku 2032 jako najbliższej liczby złożonej, której permutacja jest liczbą pierwszą, a ściślej takie permutacje są dwie – 2203 i (0)223.

W zakresie od 10 do 1000, obejmującym 990 liczb 2- i 3-cyfrowych, jest 826 złożonych i 164 pierwsze. Jeśli ze złożonych odrzucimy podzielne przez 3 oraz niezawierające przynajmniej jednej z liczb {1, 3, 7, 9} – pozostawiając wyjątki w rodzaju 20, 50, które dają (0)2 i (0)5 – to pozostanie 360 liczb złożonych podejrzanych o „permutacyjną pierwszość". Dalsza selekcja i sprawdzanie permutacji prowadzi do kompletu 284 liczb złożonych mniejszych od 1000 (16 2-cyfrowych i 268 3-cyfrowych), które w wyniku przynajmniej jednej permutacji cyfr zmieniają się w pierwsze. W tworzonym przez nie ciągu (14, 16, 20, 30, 32, 34, 35,… , 974, 976, 979, 980, 982, 985, 992, 995) są liczby „ciążące ku pierwszości" bardziej niż inne, czyli mające kilka permutacji pierwszych. Najwięcej takich permutacji dla liczb 3-cyfrowych może być 5 (szósta to liczba złożona), gdy wszystkie cyfry są różne i należą do zbioru {1, 3, 7, 9}. Czy wśród wspomnianych 268 3-cyfrowych liczb złożonych znajdzie się taka, której 5 permutacji jest liczbami pierwszymi? Łatwo sprawdzić, że nie, natomiast jest pięć par z czterema permutacjami (uwzględniając zera wiodące) podanych w tabeli 2.

Liczby złożone	Permutacje pierwsze
170, 710	(0)17, (0)71, 107, 701
194, 914	149, 419, 491, 941
790, 970	(0)79, (0)97, 709, 907
791, 917	179, 197, 719, 971
793, 973	379, 397, 739, 937

Tabela 2

W przypadku liczb 4-cyfrowych podstawą tych permutacyjnie najbliższych liczbom pierwszym są dwa zbiory cyfr – {1, 2, 3, 7} i {1, 2, 7, 9}. Z 24 permutacji każdego z nich 13 daje liczby złożone, a 11 liczby pierwsze (tabela 3).

Liczby złożone	Permutacje pierwsze
1273, 1372, 1732, 2173, 2317, 3127, 3172, 3712, 3721, 7123, 7132, 7231, 7312	1237, 1327, 1723, 2137, 2371, 2713, 2731, 3217, 3271, 7213, 7321
1729, 1792, 1927, 1972, 2197, 7192, 7291, 7912, 7921, 9172, 9217, 9271, 9712	1279, 1297, 2179, 2719, 2791, 2917, 2971, 7129, 7219, 9127, 9721

Tabela 3

eprasa.pl 69ff3c2d5f

* * *

Liczby złożone 2025 i 2026 mają jeszcze jedną niesprzyjającą pierwszości cechę: sopfr każdej z nich jest liczbą złożoną – sopfr(2025)=22, sopfr(2026)=1015. Sopfr jest rzadko używanym anglojęzycznym skrótowym oznaczeniem addytywnej funkcji teorii liczbowej równej sumie wszystkich (nie tylko różnych) czynników pierwszych danej liczby n mniejszych od n. W przyszłości najbliższy sopfr pierwszy będzie za cztery lata: sopfr(2030)=2+5+7+29=43. Ogólnie jednak liczby złożone z pierwszym sopfr nie są rzadkością, choć ich udział w ciągu liczb naturalnych stopniowo maleje: do 100 są 22, do 1000 – 170, do 10000 – 1388.

Ciekawy jest związany z sopfr ciąg, przypominający ucF, w którym każdy wyraz składa się z dwóch liczb – przed nawiasem (P) i w nawiasie (W). Startowe P jest z założenia liczbą złożoną, czyli najmniejszą może być 4, a wówczas początek ciągu wygląda tak: 4(4), 8(6), 14(9), 23(23), 46(25), 71(71), 142(73), 215(48), 263(263), … . Każde kolejne P jest sumą P i W poprzedniego wyrazu, a każde W to sopfr sąsiedniego P. Dla P=4 już czwarte P jest liczbą pierwszą, natomiast celem jest – podobnie jak w przypadku ucF – znalezienie takiej złożonej liczby startowej, przy której pierwsze P pierwsze pojawia się jak najpóźniej.

Dotąd nikt nie prowadził systematycznych poszukiwań w szerszym zakresie, a za najdłużej oczekiwany uchodzi trzynasty wyraz, gdy ciąg zaczyna się od 129: 129(46), 175(17), 192(15), 207(29), 236(63), 299(36), 335(72), 407(48), 455(25), 480(18), 498(88), 586(295), **881** … . Wydaje się, że to tymczasowy rekord długości oczekiwań na liczbę pierwszą. Pobicie go jest tylko kwestią czasu – zaangażowania programistów i sprawności komputerów.

ZADANIA

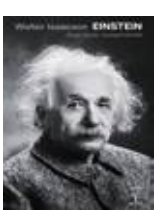
1. 3-cyfrowa liczba złożona równa jest sumie trzech 2-cyfrowych liczb pierwszych. W dodawaniu występuje osiem różnych cyfr, czyli powtarza się tylko jedna. Które cztery liczby tworzą dodawanie?

2. Która najmniejsza liczba złożona ma następującą własność: jeśli jest podzielna przez liczbę złożoną p-1, to jest także podzielna przez p, gdzie p jest liczbą pierwszą? Gwoli jasności: 6 nie jest rozwiązaniem, bo choć jest podzielne przez p-1=6, to nie jest podzielne przez p=7.

3. Dwie co najmniej dwucyfrowe liczby złożone – jedna utworzona tylko z cyfr A, druga tylko z cyfr B (A^1B) – „zlepiono" razem (konkatenacja), tworząc liczbę pierwszą. Jaką, jeśli jest ona najmniejszą z możliwych?

4. W ciągu, zaczynającym się liczbą złożoną, każda kolejna liczba jest sumą poprzedniej oraz poprzedniej zapisanej wspak. Jaką najmniejszą liczbą zaczyna się ten ciąg, jeśli liczba pierwsza pojawia się nim później niż jako drugi wyraz? Drugi wyraz jest liczbą pierwszą, gdy ciąg zaczyna się np. od 10, [10+(0)1=11], 100 [100+(00)1=101] lub 10 628 (10 628+82 601=93 229).

*Rozwiązania prosimy nadsyłać do 31 grudnia 2025 roku pocztą elektroniczną (*redakcja@swiatnauki.pl*), wpisując w temacie e-maila hasło* ***UG 12/25****. Spośród autorów poprawnych rozwiązań przynajmniej dwóch zadań wyłonimy pięciu zwycięzców i nagrodzimy ich książką* Einstein. Jego życie i wszechświat

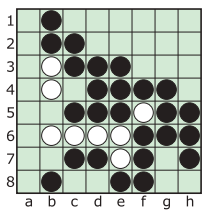


Waltera Isaacsona ufundowaną przez Wydawnictwo Insignis. Warunkiem udziału w konkursie jest zamieszczenie w e-mailu z odpowiedzią oświadczenia:

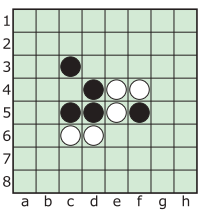
Zapoznałam/em się z regulaminem konkursu i akceptuję jego treść oraz wyrażam zgodę na przetwarzanie danych osobowych na potrzeby realizacji konkursu.

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

ROZWIĄZANIA ZADAŃ Z NUMERU LISTOPADOWEGO



Rys. 1



Rys. 2

Rys. 3

1. W sytuacji na rys. 1 białe wykonują ruch h4, odwracając żetony g5 i f6, co oznacza równoczesny atak na dwa rogi – a1 i h8, a więc w kolejnym ruchu jeden z tych rogów zostanie przez białe opanowany.

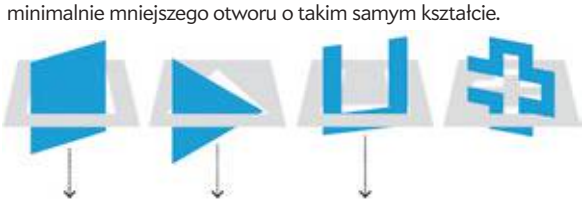
2. Na rys. 2 po umieszczeniu kolejno trzech żetonów: czarnego na f3 (odwrócenie żetonów e4 i f4), białego na c4 (odwrócenie żetonu c5) i czarnego na c7 (odwrócenie żetonów c4, c5, c6, e5, d6) na planszy pozostaną tylko czarne żetony. Druga możliwa sekwencja ruchów to: g4, c4, c7.

3. Ciąg 18 ruchów czarnymi żetonami, po których wszystkie białe żetony zmienią się w czarne, oznaczony jest na rysunku. Ruchy od 8. do 11.: e2, g5, c1, a1,

Za poprawne rozwiązanie przynajmniej dwóch zadań książkę Jamiego Metzla *Superkonwergencja. Jak rewolucje w genetyce, biotechnologii i AI mogą odmienić nasze życie*, ufundowaną przez Wydawnictwo Helion, otrzymują: Maciej Horodecki z Torunia, Krzysztof Mysior i Julia Wawrzak z Warszawy, Piotr Wójtowicz z Krakowa, Rafał Zorychta z Janowic.

Rozwiązanie zagadki matematycznej ze strony 16

Nie spadnie tylko obiekt 4, bo – w przeciwieństwie do pozostałych obiektów – każdy jego wymiar jest większy od dowolnego wymiaru minimalnie mniejszego otworu o takim samym kształcie.



Rozwiązanie trudniejszego problemu

Koło należy do nieskończonej rodziny figur o stałej szerokości. Znaczy to, że niezależnie od kąta, pod jakim prosta przecina figurę, największa jej długość między punktami przecięcia jest zawsze taka sama. Standardowym przykładem oprócz koła jest tzw. trójkąt Reuleaux przedstawiony na rysunku w różnych położeniach (proste odcinki oznaczają jego stałą szerokość).

Rysunki Amanda Montañez

eprasa.pl 69ff3c2d5f

Od eksperymentu starsza jest tylko ciekawość

Od 6 do 8 grudnia Międzynarodowe Centrum Kongresowe po raz kolejny gościło Śląski Festiwal Nauki Katowice. To największy festiwal nauki w Polsce i jedno z największych wydarzeń popularnonaukowych w Europie. Z tej okazji o wypowiedź na temat Festiwalu poprosiliśmy prof. Ryszarda Koziołka, rektora Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach – uczelni, która jest głównym organizatorem Festiwalu.

Grzegorz Celejewski / Agencja Gazeta

Prof. dr hab. Ryszard Koziołek – wybitny polonista, literaturoznawca i eseista, rektor Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach i dyrektor generalny ŚFN.

Pierwszy Śląski Festiwal Nauki Katowice odbył się w 2016 roku. To już dziewięć edycji – z roku na rok impreza nabiera coraz większego rozmachu. Czy ten niewątpliwie ogromny sukces nie jest zaskoczeniem dla samych organizatorów?

Naszym początkowym celem było stworzenie skromnego wydarzenia, które pozwoliłoby pokazać, czym zajmują się śląskie uczelnie. Uważam, że społeczeństwu należy się wiedza o tym, na co wydatkowane są środki publiczne, a my – jako uczelnie – jesteśmy zobowiązani do przedstawiania nauki w przekonujący sposób. Kolejnym celem, jaki przed sobą postawiliśmy, było pokazanie ludziom, że są realnymi beneficjentami nauki, a nie wyłącznie obserwatorami działań badaczy. W trakcie kolejnych edycji zauważyliśmy, że Festiwal cieszy się coraz większą, zaskakującą dla nas popularnością. Na początku oczywiście nie mogliśmy być tego pewni. Festiwal przyciąga tłumy, bo sposób przedstawiania nauki, jaki proponujemy, jest interesujący, ale przede wszystkim zrozumiały dla osób, które nas odwiedzają.

Czy to impreza dla każdego, czy raczej głównie dla młodszych osób?

Festiwal jest dla każdego. W każdej edycji przygotowujemy aktywności utrzymane na wysokim poziomie specjalizacji, ale również takie, które sprawią, że dzieci i młodzież pokochają naukę. Szukamy różnych sposobów i różnych języków.

Tomasz Kawka

Chcemy zaciekawić społeczeństwo nauką. Dla przykładu: w tym roku zaproponowaliśmy z jednej strony prelekcję o Świętym Mikołaju – Mikołaj oczami fizyka, z drugiej rozmowę o fizyce neutrin. Obydwie aktywności prowadzą wybitni eksperci, dostosowują jednak treści i sposób przekazu do różnych grup odbiorców. To jest właśnie siłą Festiwalu.

Hasło przewodnie edycji 2025 to „Eksperymentuj". Czy eksperymentowanie, osobisty kontakt z naukowcami, a może w konsekwencji rozwój nauki obywatelskiej, mogą stanowić antidotum na szerzący się naukowy negacjonizm, dezinformację, fake newsy? Mało kto chyba przewidywał, że w XXI wieku będzie na przykład kwestionowane znaczenie szczepionek.

Eksperyment jest dawniejszy niż nauka. Starsza od niego jest tylko ciekawość – cecha ludzkiego gatunku odpowiedzialna za nasz pęd do poznania wszystkiego. Eksperyment to metodyczne wdrożenie ludzkiej ciekawości. Śląski Festiwal Nauki od początku był eksperymentem: sprawdzaniem warunków i efektów spotkania świata nauki ze światem społecznym, w którym ona powstaje. Założenia tego eksperymentu potwierdzają się w jego kolejnych wariantach. Nauka pokazywana, objaśniana, opowiadana wszystkim bez warunków i barier rodzi dobre emocje, twórcze spory, chęć naśladownictwa, uśmiech i życzliwość. I co najważniejsze, pozwala rozumieć lepiej świat, w którym razem żyjemy. Jeśli rozbudzimy w ludziach ciekawość i przyczynimy się do pogłębienia zaufania do nauki, społeczeństwo będzie odporniejsze na fake newsy.

Co przede wszystkim decyduje o atrakcyjności Festiwalu? Wyjątkowa oprawa czy zaproszeni goście?

Bycie częścią Festiwalu jest atrakcją samą w sobie. Przez trzy dni przebywamy wśród ludzi pełnych pasji i zaangażowania. Na każdym kroku możemy doświadczyć nauki, ale nie byłoby to możliwe bez naukowców i popularyzatorów, którzy co roku zachwycają publiczność. Siłą Festiwalu jest też mnogość atrakcji, których można doświadczyć. Goście, których zapraszamy, przyciągają naprawdę szeroką widownię. W tej edycji to m.in. dr Sławosz Uznański-Wiśniewski, prof. Irena Lipowicz, była Rzeczniczka Praw Obywatelskich, dr Agnieszka Jankowiak-Maik, znana z bloga „Babka od Histy", dr Konrad Skotnicki, znany jako Doktor

eprasa.pl 69ff3c2d5f

z TikToka, Wojciech Mann z Radia Nowy Świat, dr Sam Gregson – Bad Boy of Science – czy Maciej Makselon.

Jak udaje się zachęcić tyle osób do udziału w organizacji Festiwalu? To przecież tytaniczna praca.
Przy organizacji Śląskiego Festiwalu Nauki Katowice co roku pracuje ponad 200 osób z Uniwersytetu. Jest to możliwe przede wszystkim dlatego, że pokochali to wydarzenie. Zaangażowanie bierze się też ze sprawczości. Zespół pracujący przy Festiwalu tworzy go od samego początku do samego końca. To dotyczy nie tylko programu Festiwalu, ale również jego przestrzeni. Widząc, jak co roku w Międzynarodowym Centrum Kongresowym powstaje to, co wcześniej było tylko w naszych głowach i wydawało się szalone i prawie nieosiągalne, czujemy, że to, co robimy, ma sens. W trakcie trzech dni Festiwalu odwiedzają nas dziesiątki tysięcy osób. Ich zachwyt, zaciekawienie nauką i miłe słowa dają dodatkową energię do działania.

Jakie są dalsze plany organizatorów? Jakie ambicje? W dużej mierze dzięki Festiwalowi Katowice otrzymały tytuł Europejskiego Miasta Nauki 2024, pozyskano też fundusze unijne. Co chcieliby Państwo osiągnąć w przyszłości?
Chcemy stworzyć pewien model organizmu miejsko-akademickiego, w którym mieszkańcy będą codziennymi beneficjentami tego, że mają uczelnie w swoim regionie. Celem jest, aby w swoich codziennych decyzjach korzystali ze wsparcia nauki. Ekspertki i eksperci pracujących na śląskich uczelniach mogą dostarczyć wiedzy, która przyda się mieszkańcom. Na przykład jakie są prognozy ekonomiczne, czy wymienić piec na gazowy czy na pompę ciepła, w jaki sposób wspierać dzieci w edukacji, jakich produktów spożywczych unikać. Widzimy potrzebę stworzenia realnej przestrzeni, która w naturalny sposób zacierałaby granice między tkanką miejską a uniwersytetem. Tak powstała koncepcja Zielonej Strefy Nauki, która obejmuje część kampusu oraz miasta.

Naszym celem jest stworzenie dzielnicy, które będzie atrakcyjnym miejscem nie tylko dla naszych studentów, doktorantów i pracowników, ale również dla mieszkańców. Będzie to miejsce spotkań i integracji środowisk, gdzie będzie można skorzystać z programu naukowego i artystycznego i wspólnie spędzić czas. Mogłyby odbywać się tam cykliczne wydarzenia, seminaria, otwarte wykłady i aktywności Festiwalu Nauki, skupione wokół ważnych tematów, o których chcemy rozmawiać. Mamy gotowy masterplan.

Przed nami pozyskanie środków na wytyczne projektowe oraz konkurs ogólnoeuropejski. Liczymy, że pozwoli nam to stworzyć wyjątkową dzielnicę nauki, pierwszą taką na świecie. Oczywiście Śląski Festiwal Nauki Katowice nie zniknie. W przyszłym roku obchodzimy jubileusz. Znamy już datę 10. Edycji. Spotkamy się ponownie w Międzynarodowym Centrum Kongresowym w Katowicach 5–7 grudnia 2026 roku. ■

Laureaci Nagrody FNP 2025

Już po raz 34. Fundacja na rzecz Nauki Polskiej przyznała nagrody wybitnym polskim naukowcom

NAGRODA Fundacji na rzecz Nauki Polskiej jest przyznawana za szczególne osiągnięcia i odkrycia naukowe, które przesuwają granice poznania i otwierają nowe perspektywy poznawcze, wnoszą wybitny wkład w postęp cywilizacyjny i kulturowy naszego kraju oraz zapewniają Polsce znaczące miejsce w podejmowaniu najbardziej ambitnych wyzwań współczesnego świata. Wysokość nagrody wynosi 250 tys. zł. Jest przyznawana w czterech obszarach. W roku 2025 zdobyło ją czworo badaczy.

Prof. Ewelina Knapska z Instytutu Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego PAN otrzymała Nagrodę FNP w obszarze nauk o życiu i o Ziemi **za odkrycie neuronalnych mechanizmów wewnątrzgatunkowego i międzygatunkowego przekazywania emocji.** Badaczka, jako jedna z pierwszych na świecie, opisała zjawisko „emocjonalnego współodczuwania" u zwierząt laboratoryjnych oraz wykazała, że odpowiadają za nie określone obszary w mózgu. Dokonania prof. Knapskiej nie tylko pozwalają zrozumieć naturę emocji, ale też otwierają nowe kierunki badań nad leczeniem depresji czy wsparciem osób z autyzmem.

Prof. Dorota Gryko z Instytutu Chemii Organicznej PAN otrzymała Nagrodę FNP w obszarze nauk chemicznych i o materiałach **za opracowanie nowatorskich fotochemicznych metod syntezy związków organicznych, stanowiących istotny wkład w rozwój chemii organicznej.** Osiągnięcie polega na opracowaniu unikalnych fotokatalizatów. Badania prowadzone przez prof. Dorotę Gryko mogą znaleźć zastosowanie w wielu dziedzinach gospodarki, m.in. w przemyśle farmaceutycznym, do efektywniejszej produkcji leków.

Prof. Wojciech Knap z Instytutu Wysokich Ciśnień PAN i Laboratorium CENTERA w CEZAMAT Politechniki Warszawskiej otrzymał Nagrodę FNP w obszarze nauk matematyczno-fizycznych i inżynierskich **za opracowanie nowych metod detekcji, wzmacniania i generowania fal terahercowych dla ultraszybkiej komunikacji bezprzewodowej.** Badania te przezwyciężają niektóre z dotychczasowych ograniczeń technicznych w wykorzystaniu fal terahercowych i otwierają drogę do ich użycia m.in. w medycynie, przemyśle i telekomunikacji. Dzięki wizjonerskim osiągnięciom prof. Knapa promieniowanie terahercowe zyskuje realne znaczenie aplikacyjne, a Polska znalazła się w ścisłej światowej czołówce badań w tej dziedzinie.

Dr hab. Anna Matysiak z Wydziału Nauk Ekonomicznych Uniwersytetu Warszawskiego otrzymała Nagrodę Fundacji na rzecz Nauki Polskiej 2025 w obszarze nauk humanistycznych i społecznych **za zidentyfikowanie kluczowych cech rynku i warunków pracy wpływających na dzietność.** Badania prof. Anny Matysiak pokazują, że decyzje o macierzyństwie nie są wyłącznie sprawą indywidualnych wyborów, ale odzwierciedlają złożoną sieć powiązań pomiędzy rynkiem pracy, polityką społeczną i kulturą. Prace laureatki pomagają lepiej zrozumieć, dlaczego w Europie rodzi się coraz mniej dzieci. Pokazują też, co można zrobić, aby wspierać zarówno rodziny, jak i zawodowy rozwój kobiet.

Nagrody FNP zostały wręczone podczas gali w Zamku Królewskim w Warszawie 3 grudnia. ■

eprasa.pl 69ff3c2d5f

Czy skończą nam się pierwiastki ziem rzadkich

Te cenne, lecz trudne do wydobycia metale odgrywają coraz większą rolę we współczesnej cywilizacji

Tekst CLARA MOSKOWITZ | Infografika STUDIO TERP

SIEDEMNAŚCIE PIERWIASTKÓW Z UKŁADU OKRESOWEGO zyskało wyjątkowo duże znaczenie ze względu na swoje zastosowanie m.in. w smartfonach, pojazdach elektrycznych czy urządzeniach medycznych. Ceni się je za szczególne cechy wynikające z unikalnej konfiguracji elektronów walencyjnych znajdujących się na zewnętrznej powłoce atomu i biorących zwykle udział w wiązaniach chemicznych. W pierwiastkach ziem rzadkich (REE – rare earth elements) część elektronów walencyjnych znajduje się blisko jądra atomowego i zazwyczaj nie wchodzą one w interakcje z zewnętrznym otoczeniem atomu przez co rzadko tworzą wiązania. Dzięki temu pierwiastki te mają przewidywalne, niezawodne właściwości. Mają również zdolność wytwarzania bardzo silnych pól elektromagnetycznych w połączeniu z innymi metalami magnetycznymi.

Ludzkość wydobyła do tej pory około 4,5 mln ton pierwiastków ziem rzadkich, a ich znane ziemskie rezerwy są szacowane na jedynie 90,9 mln ton. Przy obecnym tempie wydobycia wyczerpiemy te zapasy w ciągu 60–100 lat. Podejmowane są jednak działania zmierzające do znalezienia kolejnych złóż tych metali – w rzeczywistości nie są one szczególnie rzadkie, lecz trudne do pozyskania, ponieważ zwykle występują w niewielkich koncentracjach i razem z innymi pierwiastkami.

Obecne metody wydobycia REE są czasochłonne, energochłonne i wysoce szkodliwe dla środowiska. Generują kwaśne i radioaktywne odpady, a także zatruwają glebę toksycznymi substancjami. „Musimy znaleźć sposoby, dzięki którym będziemy to robili lepiej i czyściej” – mówi Justin Wilson, profesor chemii na University of California w Santa Barbara. On i jego współpracownicy przetestowali niedawno nowy sposób odzyskiwania pierwiastków ziem rzadkich z odpadów elektronicznych poddanych recyklingowi. „Jestem optymistą. Uważam, że działając wspólnie, możemy rozwiązać wszystkie te problemy, jeśli rząd USA będzie wspierał finansowo związane z tym badania” — zauważa Wilson.

ILE JUŻ WYDOBYTO?

Większość wydobytych dotąd pierwiastków ziem rzadkich pochodzi z Chin, które przodują na świecie pod względem infrastruktury i wiedzy potrzebnej do pozyskiwania tych minerałów. Głównym amerykańskim źródłem jest złoże Mountain Pass w południowej Kalifornii. Rosnący popyt na te pierwiastki powoduje, że kraje na całym świecie aktywnie poszukują nowych ich zasobów.

ILE JESZCZE POZOSTAŁO?

Chiny mają również największe znane światowe rezerwy pierwiastków ziem rzadkich; kolejne państwa na liście to Brazylia, Indie i Australia. W związku z wyścigiem o odkrywanie nowych złóż liczby te mogą się zmienić. Wiele krajów, które wcześniej, przed niedawnym boomem technologicznym, akceptowały fakt, że Chiny dominują w wydobyciu zasobów ziem rzadkich, coraz bardziej dostrzega znaczenie lokalnych zasobów. Szczególnie dotyczy to USA, odkąd prezydent Donald Trump podwyższył taryfy importowe.

CZYM SĄ PIERWIASTKI ZIEM RZADKICH?

Należą do nich przede wszystkim lantanowce, które zajmują drugi od dołu rząd układu okresowego (od lantanu do lutetu) oraz skand i itr. Unikalne właściwości lantanowców wynikają głównie stąd, że wszystkie mają na orbitalu 6s (2) tyle samo elektronów walencyjnych, a różni je liczba elektronów na podpowłoce 4f. „Kiedy studiowałem chemię na pierwszym roku, nikt nie mówił o tych pierwiastkach; znajdowały się po prostu na dole układu okresowego i tyle. Teraz jednak ich masowe wykorzystanie w elektronice postawiło je w centrum uwagi świata” – mówi Wilson.

● Pierwiastki ziem rzadkich:

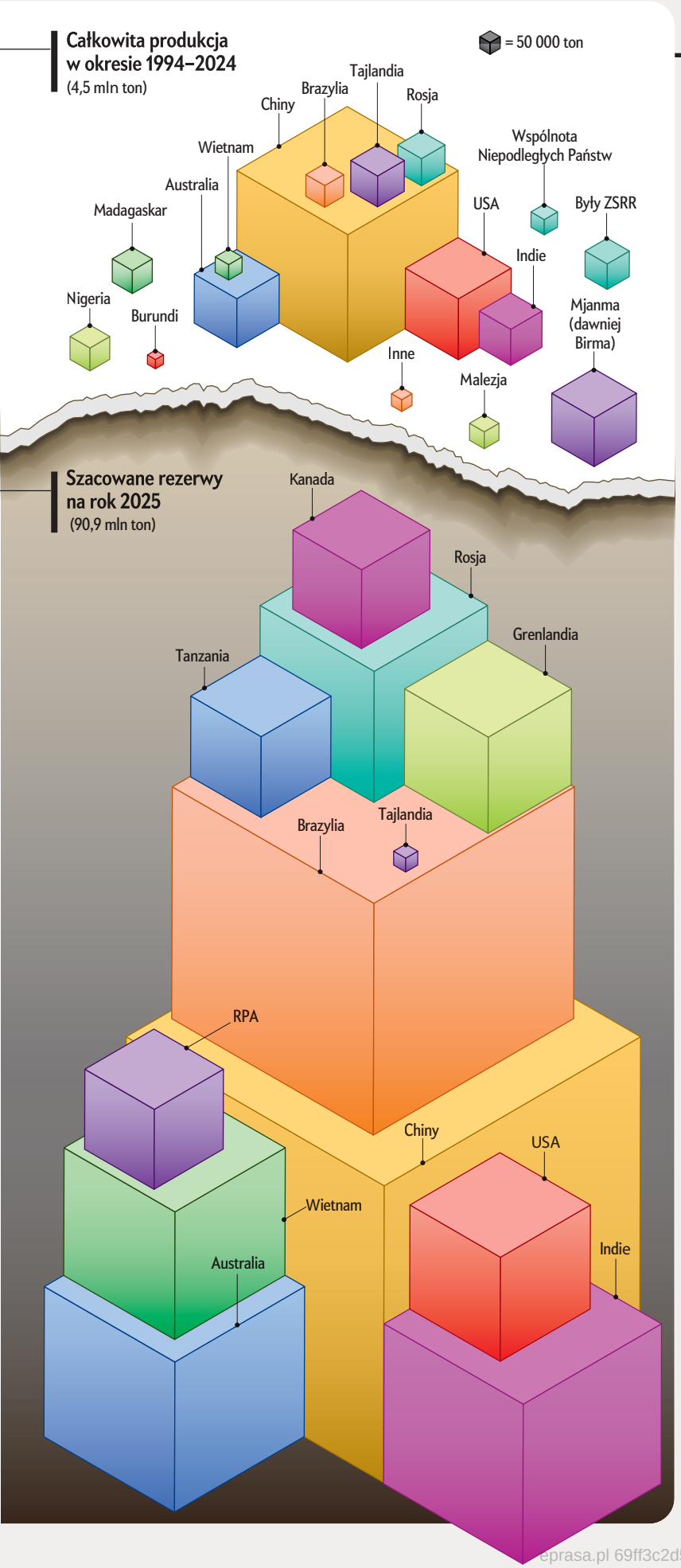
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	**Sc**	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	**Y**	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og
		La	**Ce**	**Pr**	**Nd**	**Pm**	**Sm**	**Eu**	**Gd**	**Tb**	**Dy**	**Ho**	**Er**	**Tm**	**Yb**	**Lu**	
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

Sc • Skand
Y • Itr
La • Lantan
Ce • Cer
Pr • Prazeodym
Nd • Neodym
Pm • Promet
Sm • Samar
Eu • Europ
Gd • Gadolin
Tb • Terb
Dy • Dysproz
Ho • Hol
Er • Erb
Tm • Tul
Yb • Iterb
Lu • Lutet

Bastnazyt (pokazany tutaj) jest najczęściej wydobywaną rudą pierwiastków ziem rzadkich. Charakteryzuje się stosunkowo dużą koncentracją lantanu, ceru i neodymu.

Science Photo Library/Science Source (*zdjęcie bastnazytu*); Jen Christiansen (*układ okresowy i schematy kopalni*); ŹRÓDŁO: U.S. Geological Survey Mineral Commodity Summaries, 1996–2025 (*dane*)

eprasa.pl 69ff3c2d5f



REZERWY WYDAJĄ SIĘ JESZCZE DUŻE. ZATEM W CZYM TKWI PROBLEM?

Pierwiastki ziem rzadkich są w rzeczywistości bardziej powszechne niż metale szlachetne, takie jak platyna czy złoto. Wyzwaniem jest jednak znalezienie złóż nadających się do ekspoloatacji – często pierwiastki te występują w niewielkich ilościach i trudno jest je oddzielić od innych. Ich pozyskiwanie to pracochłonny, wieloetapowy proces.

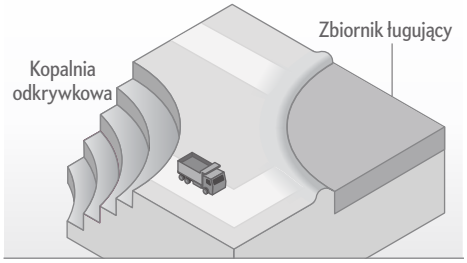
WYDOBYCIE

Metoda odkrywkowa

Technika polega na pozyskiwaniu rudy ze skał, a następnie transportowaniu jej do zbiornika ługującego, gdzie z użyciem różnych chemikaliów oddziela się poszczególne metale

WPŁYW NA ŚRODOWISKO

Toksyczne związki w zbiorniku ługującym mogą przedostawać się do wód gruntowych i zanieczyszczać źródła wody. Proces generuje także toksyczne odpady.

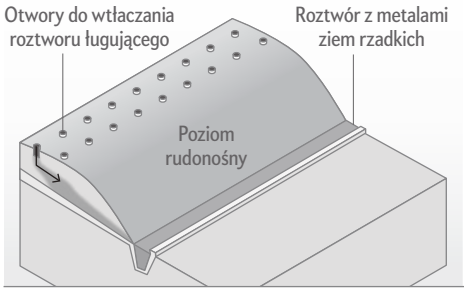


Metoda ługowania in situ

W tym przypadku rury pompują chemikalia bezpośrednio do ziemi, aby wypłukać pierwiastki ziem rzadkich.

WPŁYW NA ŚRODOWISKO

Chemikalia są toksyczne i – podobnie jak w przypadku górnictwa odkrywkowego – mogą zanieczyszczać wody gruntowe. W obu metodach powstaje toksyczny pył, gazy odpadowe oraz odpady radioaktywne.



SEPARACJA

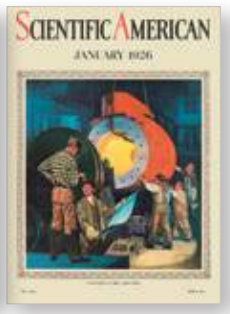
Po wstępnym etapie wydobyte produkty są transportowane do zakładów przetwórczych, gdzie są poddawane różnym procesom chemicznym w celu odizolowania poszczególnych pierwiastków ziem rzadkich. Następnie pierwiastki są rafinowane do czystych metali i przygotowywane do wykorzystania.

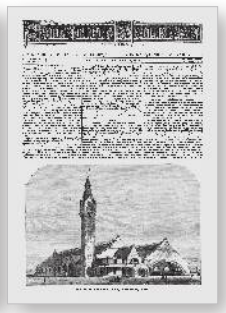
WPŁYW NA ŚRODOWISKO

Proces ten jest energochłonny i wymaga dużej ilości surowców, a cały ciąg technologiczny generuje olbrzymią ilość odpadów: na każdą tonę wyprodukowanych pierwiastków ziem rzadkich przypadają tysiące ton toksycznych produktów ubocznych.

eprasa.pl 69ff3c2d5f

50, 100 i 150 lat temu





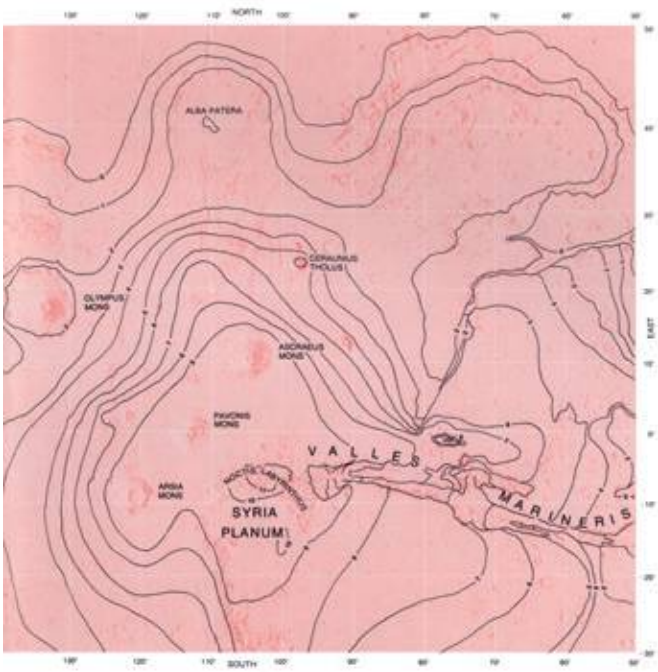
1976 NIE TAKIE GROŹNE

„Dużo uwagi poświęcono temu, że pszczoły miodne rasy afrykańskiej (*Apis mellifera adansonii*) zostały przypadkowo wypuszczone w Brazylii w połowie lat 50., gdzie krzyżują się z komercyjnymi populacjami pszczół miodnych, a także zakładają własne dzikie kolonie. Północne i południowe rozszerzanie ich zasięgu, w połączeniu ze skłonnością rasy afrykańskiej do niezwykle uporczywego ścigania każdego, kto je zaniepokoi, doprowadziły do przekonania, że »pszczoły zabójcy« mogą zacząć terroryzować całą zachodnią półkulę. Roger A. Morse, profesor pszczelarstwa na Cornell University, odrzuca to zagrożenie jako bardzo przesadzone. Morse podkreśla, że reputacja pszczół afrykańskich jako agresywnych nie jest gorsza niż innych ras pszczół miodnych tradycyjnie hodowanych przez pszczelarzy. Jeśli chodzi o ewentualną inwazję w USA, Morse zauważa, że rasy afrykańskie są przystosowane do życia w warunkach tropikalnych i subtropikalnych. Nie są w stanie przetrwać chłodnej pory roku w klimacie umiarkowanym, w przeciwieństwie do innych pszczół miodnych, które tworzą zimowe kłęby, a zafrykanizowane hybrydy mają tę samą wadę."

1926 IDEA PANGEI JEST ABSURDALNA

„Profesor Alfred L. Wegener z Karl-Franzens-Universität Graz twierdzi, że miliony lat temu obie Ameryki, a także Europa, Azja, Australia i Antarktyda, były jednym kontynentem skupionym wokół Afryki. Siły pływowe – przyciąganie Słońca i Księżyca do stałej masy Ziemi (nie pływy oceaniczne) – rozbiły ten superkontynent, a jego fragmenty powoli rozpraszały się w różnych kierunkach niczym bloki wielkiego, płaskiego dryfującego lodu, rozbijanego przez fale. Niektóre z tych fragmentów dryfują do dziś. Ta teoria jest zdumiewająca. Wielu wydaje się absurdalna. Może okazać się błędna. Albo ostatecznie zyskać akceptację geologów. Ale jest w niej coś, co zdaje się przyciągać uwagę naukowców."

Dziś naukowcy akceptują pogląd, że to tektonika była przyczyną rozpadu Pangei.



1976, Wulkany Marsa: „Region Tharsis jest najbardziej wyróżniającym się obszarem wulkanicznym na Marsie. Ta mapa konturowa, opracowana przez Amerykańską Służbę Geologiczną (U.S. Geological Survey), przedstawia zarys szerokiego wyniesienia, potocznie nazywanego Syria Rise – o średnicy 5000 km i wysokości siedmiu – na którym znajdują się trzy wulkany tarczowe: Ascraeus Mons, Pavonis Mons i Arsia Mons. Pęknięcia rozchodzą się promieniście na kilka tysięcy kilometrów."

POCZĄTEK CYWILIZACJI

„Dwie frakcje naukowców są ze sobą w sporze. Jedna twierdzi, że cywilizacja zaczęła się w jednym miejscu na świecie i rozprzestrzeniła się z tego centrum. Umiejscawiają je w pobliżu Egiptu. Kult Słońca, przekłuwanie uszu, tatuaże, piramidy, irygacja, podobieństwo sztuki i długa lista jeszcze dziwniejszych zwyczajów i tradycji – wszystko to, jak twierdzą, przemawia za wspólnym pochodzeniem. Druga frakcja badaczy uważa, że te podobieństwa po prostu pokazują, iż ludzki umysł wszędzie działa mniej więcej tak samo. Gdy da się dwóm lub kilku odizolowanym ludom czas, rozwiną podobne tradycje, ponieważ istnieje wrodzona tendencja człowieka do kształtowania kultury według tych samych etapów i w ten sam sposób. Nazywają tę tendencję jednością psychiczną."

BOMBY Z CHLOREM NA PRZEZIĘBIENIE

„Dwaj chemicy z San Francisco udoskonalili bombę z gazem chlorowym do leczenia przeziębień w domu, gdzie uzyskuje się takie same rezultaty, jak z użyciem bardziej złożonych urządzeń. Eliminuje to konieczność udawania się na leczenie do jakiegoś centralnego ośrodka, co wiąże się z możliwą ekspozycją na złą pogodę i dalszym obniżeniem odporności organizmu. Bomba jest wykonana ze szkła i zawiera wyłącznie czysty, filtrowany gaz chlorowy. Pacjent zabiera bombę do zamkniętego pomieszczenia i odłamuje jej końce, pozwalając gazowi mieszać się z powietrzem w pokoju. Pacjent przebywa w tym wypełnionym gazem pomieszczeniu przez godzinę."

1876 TAJEMNICZY JADEIT

„W Nowym Jorku sprzedano ostatnio kilka japońskich i chińskich osobliwości, m.in. przedmioty wykonane z materiału rzadko spotykanego w tej części świata. Jest to kamień szlachetny, ceniony nie z powodu swojej rzadkości – bo w Chinach i Birmie istnieją jego duże złoża – lecz ze względu na ogromną trudność w jego cięciu i rzeźbieniu, wymagającą cierpliwości i zręczności, które rzadko się spotyka. Jest to krzemian glinu zwany jadeitem. Prawdziwy jadeit jest tak twardy, że potrafi przeciąć szkło lub kwarc, a najcenniejsze egzemplarze mają intensywnie jaskrawozieloną barwę, podczas gdy pospolite są różowe i żółte."

„Scientific American", tom 234, nr. 1; styczeń 1976

eprasa.pl 69ff3c2d5f

ŚWIAT NAUKI

POLSKA EDYCJA

SCIENTIFIC AMERICAN

W NUMERZE LUTOWYM

W przyszłości roboty mogą pomóc starszej osobie wstać z łóżka lub pozbierać zabawki porozrzucane w dziecięcym pokoju. Będą też pracować w biurach, fabrykach, szpitalach lub przy podwodnej eksploracji. Ale najpierw trzeba je przystosować do ludzkiej nieprzewidywalności. O tym w kolejnym numerze,

a ponadto:

Orki w niebezpieczeństwie
Zespół sercowo-nerkowo-metaboliczny
Gadzia płeć a zmiana klimatu
Zaburzenia interocepcji
Tajemnicze kosmiczne rozbłyski

Prócz tego:

Probiotyczne mity
Poniedziałki naprawdę są trudne
Dobry sen nie do przecenienia
Nadzieja dla chorych na pląsawicę Huntingtona
Matecznik księżyców
Światłowody pomagają wykrywać trzęsienia ziemi
Gaszenie ognia dźwiękiem

**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 lutowy dostępny od 28 stycznia

eprasa.pl 69ff3c2d5f

Paszporty
Polityki
2025

KTO ZOSTANIE LAUREATEM?

Transmisja z wręczenia nagród:
11 stycznia 2026 r. (niedziela) o godzinie 20.00
w TVP2 oraz na kanale YouTube
tygodnika POLITYKA

Poznaj nominowanych: polityka.pl/paszporty

Współorganizator Gali

TVP

Partnerzy Główni

TOTALIZATOR SPORTOWY | 7 LAT

zaKS Stowarzyszenie Autorów ZAiKS

PZU FUNDACJA

ORLEN

Partner Oficjalny

Warszawa

Partnerzy Kategorii

Książka: Sopot

Sztuki wizualne: KRUK

Film: KUJAWY POMORZE; FUNDUSZ FILMOWY KUJAWY POMORZE

Scena: Białystok

Muzyka poważna: ART & SCIENCE

Partner Medialny

tokfm

eprasa.pl 69ff3c2d5f