

SWIATNAUKI

POLSKA EDYCJA

swiatnauki.pl • projektpulsar.pl

SCIENTIFIC AMERICAN

Grudzień 2025 nr 12 (412)

Cena 18 zł 99 gr (w tym 8% VAT)

Afera
z meteorytem

Coraz częstsze
osuwiska

Stereotypy
ruchowe

Wielkie wybuchy życia

Czy jego złożone formy
mogły pojawić się
wcześniej, niż sądzimy,
i więcej niż raz?

ASTRONOMIA

Jak się odkrywa
księżyc



StatSoft

Statistica
NR 1 NA POLSKICH UCZELNIACH*

Statistica

LICENCJE AKADEMICKIE SITE LICENSE

Najczęściej wykorzystywane na polskich uczelniach oprogramowanie do statystycznej analizy danych i data mining

- Dla pracowników oraz studentów
- Dla całej uczelni lub dla wydziału/institutu
- Instalacja na domowych komputerach pracowników i studentów
- Aktualizacje w czasie trwania licencji
- Bezpłatna pomoc techniczna
- Bardzo korzystne warunki cenowe
- Zniżka na szkolenia StatSoft Polska

StatSoft

DLA UCZELNI I NAUKI

- Oprogramowanie Statistica - licencje akademickie Site License
 - Szkolenia z analizy danych
 - Projekty badawcze
 - realizacja zadań analitycznych
- Doradztwo w zakresie statystyki, uczenia maszyn, data mining, modeli predykcyjnych
 - Konferencje naukowe
- Konkurs na najlepszą pracę doktorską i magisterską

* Aż 90% uczelni z pierwszej dwudziestki uwzględnionej w XXVI Rankingu Szkół Wyższych Perspektywy 2025 korzysta ze specjalnych licencji akademickich na oprogramowanie Statistica.

Zainteresowany? Zapytaj o szczegóły!

☎ tel.: +48 12 428 43 00

✉ e-mail: info@StatSoft.pl

★ www.StatSoft.pl

GRUDZIEŃ 2025
NUMER 12 (412)

ŚWIAT
NAUKI

POLSKA EDYCJA

SCIENTIFIC
AMERICAN

EWOLUCJA

28 WIELKIE WYBUCHY ŻYCIA

Kontrowersyjne dowody sugerują, że złożone formy życia mogły powstać setki milionów lat wcześniej, niż dotąd sądzono – i prawdopodobnie więcej niż raz.

ASHER ELBEIN

PLANETOLOGIA

38 AFERA Z METEORYTEM

Przemoc, kłamstwa i przemysł – to ziemska historia dziewiątego pod względem wielkości meteorytu na świecie.

DAN VERGANO

NEURONAUKA

46 WYZWAŁAJĄCA DIAGNOZA

Po latach dręczącej niepewności, co do stanu swojej psychiki, autorowi udaje się poznać przyczynę nietypowego zachowania.

PAUL MARINO

ZMIANA KLIMATU

54 OSUWISKO TUŻ ZA DOMEM

W miarę jak zmiany klimatu przynoszą w góry coraz gwałtowniejsze deszcze, rośnie zagrożenie niebezpiecznymi spływami rumowisk.

JEN SCHWARTZ

BIOLOGIA

62 PTAKI, KTÓRE ŁAMIĄ BINARNOŚĆ

Niewielkie powszechnie wstępujące w Ameryce Północnej ptaki dają ciekawy wgląd w kwestie płci.

DONNA L. MANEY

6 WOKÓŁ NAUKI

Ameryka przegrywa na własne życzenie
 REDAKCJA „SCIENTIFIC AMERICAN”

7 FORUM

Czy SI prześcignie matematyków?
 EMILY RIEHL

8 Q&A

Wiele księżyców Saturna
 MEGHAN BARTELS

12 SKANER

Czerpiąc wodę, zmieniamy lądy ♦ Janusowe oblicze wirusów ♦ Co w drzewach piszczy ♦ Antykoncepcyjne równouprawnienie ♦ Podglądanie zarodka ♦ Podprogowa edukacja ♦ Dlaczego coś, a nie nic

22 SIŁA MYŚLI

Mroki dzieciństwa
 NICK TURK-BROWNE

23 WSZECHŚWIAT

Kosmiczne echa świetlne
 PHIL PLAIT

26 ZDROWIE

Ćwiczenia a rak
 LYDIA DENWORTH

25 METRUM

Senny koszmar Mendelejewa
 LIANA CHRISTENSEN

70 UMYŚŁ GIĘTKI

Kwaterny kwadratów
 MAREK PENSZKO

74 MATEMATKA

O triku matematycznym ukrytym w numerach kart kredytowych
 JACK MURTAGH

78 FAKTOGRAF

Ach, ci cykliści!
 ALLISON PARSHALL I DTAN STUDIO

80 Z ARCHIWUM „SCIENTIFIC AMERICAN”

Uścisk ratujący życie ♦ Martwota przyszłości ♦ Telefon antidotum na wojny ♦ Nowy Nowy Świat ♦ Cyrk w słoiku



6

Martin Gee



26

Jay Bendit

OKŁADKA



Tradycyjnie uważa się, że ewolucja złożonych form życia była jedynym, długo dojrzewającym przełomem w historii Ziemi. Coraz liczniejsze dowody podważają jednak tę prostą opowieść. Pojawiła się kontrowersyjna teza, że złożone życie mogło powstać setki milionów lat wcześniej, niż dotąd sądzono – i być może nie tylko raz.

Ilustracja Deena So'Oteh

Polska wersja okładki Jolanta Kotas

PRENUMERATA „ŚWIATA NAUKI”

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 odświeżeniu. 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.

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

gpr@polityka.pl

Druk P/mnt

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 jakiegokolwiek 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**



**Pięknych, spokojnych Świąt
i wszystkiego najlepszego w nadchodzącym roku
życzy Czytelnikom
Redakcja**

Drodzy Państwo,

przywzycailiśmy się już, że wiele ustaleń uważanych za pewnik wraz z rozwojem badań okazuje się błędnych. Niektóre jednak fakty wydają się niepodważalne – na przykład to, jak i kiedy rozwinęły się na Ziemi złożone formy życia. Ale, jak zauważył Benjamin Franklin, jedyne pewne rzeczy na tym świecie to śmierć i podatki. Tak więc i w teorii powstania życia zaznacza się rysa – odkrycia, budzące wielkie kontrowersje, które zdają się świadczyć, że proces ten rozpoczął się znacznie wcześniej, niż sądziliśmy, a ponadto powtarzał się wielokrotnie (s. 28).

Gdy mowa o meteorytach, raczej odrywamy się od spraw przyziemnych, myślami bujamy w kosmicznych przestrzeniach, a czasami zaczynamy się obawiać, że taka spadająca z nieba skała może zagrozić ludzkości. Tym razem jednak opowieść dotyczy zupełnie czego innego – kradzieży, przemytu, przemocy. Bo meteoryty to nie tylko cenne obiekty badań, ale również okazy kolekcjonerskie, za które wiele osób jest gotowych zapłacić niemałe pieniądze (s. 38).

Niewykluczone, że wielu z nas miało podobne doświadczenie – coś nam dolega i nikt nie wie, co dokładnie. A skoro tak, to nie wiadomo też, czy to „coś” należy leczyć, czy zagraża życiu albo jest tylko niedogodnością. Taki problem miał autor kolejnego artykułu – w chwilach ekscytacji wykonywał palcami rąk rytmiczne ruchy. Nie wiązało się to u niego z żadnym innym problemem zdrowotnym. Uzyskana po wielu latach diagnoza przyniosła ulgę (s. 46).

Zmiany klimatu niosą ze sobą mnóstwo zagrożeń – jedno z nich to osuwiska ziemi wywołane przez coraz gwałtowniejsze deszcze. Są z reguły trudne do przewidzenia, a w skutkach zawsze bardzo niszczycielskie (s. 54).

Sprawy płci budzą ostatnio wiele emocji, podsycanych w dodatku przez polityków. A może, żeby obniżyć nieco temperaturę dyskusji, wystarczy przyjrzeć się przyrodzie? (s. 62)
Miłej lektury!

Elżbieta Wieteska

Zapraszamy na nasz portal popularnonaukowy

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



TŁUMACZE, AUTORZY I KONSULTANCI BIEŻĄCEGO NUMERU

dr Michał Czerny	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.

Granice mikroświata

– o sztucznych błonach komórkowych

W organizmach trwa nieustanny ruch przez granice komórkowe – do środka trafiają potrzebne substancje, a na zewnątrz usuwane są odpady metabolizmu. Granicę stanowi błona komórkowa, kontrolująca cały proces. Efektem tej kontroli jest także subtelna zmiana w „podpisie chemicznym” pierwiastków, czyli w proporcjach ich izotopów. Naukowcy z UW badają, jak magnez – pierwiastek kluczowy dla życia – pokonuje wspomnianą barierę.

Izotop to odmiana tego samego pierwiastka, różniąca się tylko masą atomową. Można je porównać do jabłek z tego samego sadu – wszystkie są jabłkami, ale jedne są lżejsze, inne cięższe. To, ile „w koszyku” trafi się lekkich, a ile ciężkich izotopów, daje naukowcom cenną wskazówkę o stanie organizmu. Na przykład u pacjentów z cukrzycą typu 1 stwierdzono, że proporcje „lekkich” i „ciężkich” atomów w moczu różnią się od tych u osób zdrowych. Oznacza to, że choroba zostawia swój ślad nie tylko w poziomie cukru we krwi, ale też w samym składzie atomów, z których zbudowany jest nasz organizm.

Ważny pierwiastek

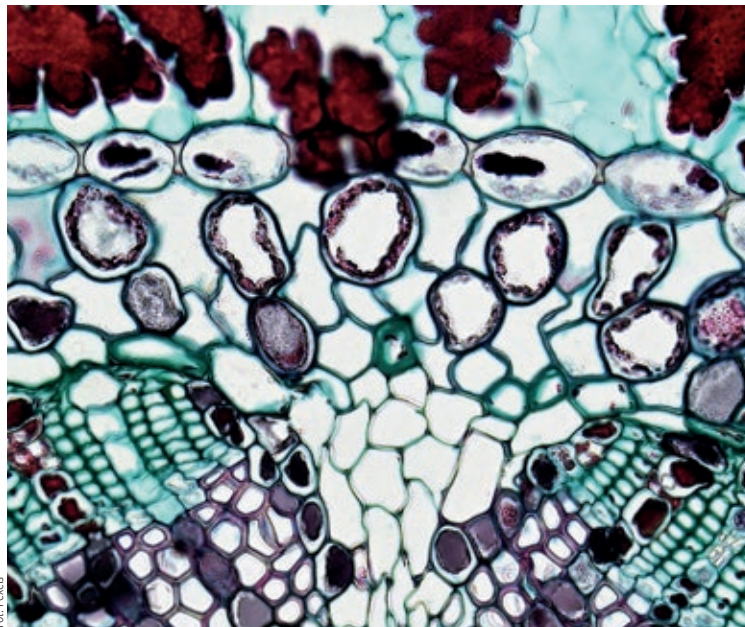
Jednym z kluczowych pierwiastków w naszym organizmie jest magnez. Choć na co dzień kojarzy się głównie z suplementami diety, odpowiada za wiele procesów niezbędnych do życia. Jego jony uczestniczą m.in. w regulowaniu ciśnienia krwi, przewodzeniu impulsów w układzie nerwowym czy budowie kości.

Czy skład izotopowy magnezu zmienia się podczas przechodzenia przez błonę komórkową? To pytanie postawili sobie naukowcy z Centrum Badań Biologiczno-Chemicznych Uniwersytetu Warszawskiego pod kierunkiem prof. dr hab. Ewy Bulskiej oraz dr. Andrii Tupysa.

Aby znaleźć odpowiedź, skonstruowali syntetyczną błonę biologiczną. Jej powierzchnia została zaprojektowana tak, by miała ujemny ładunek oraz specjalne „uchwyty” dla magnezu, tzw. jonofory. Dzięki temu membrana selektywnie przepuszczała jony Mg^{2+} , a inne, jak sód czy potas, zatrzymywała w dużo większym stopniu.

Do sprawdzenia, co dzieje się po obu stronach tej sztucznej granicy, badacze wykorzystali spektrometrię mas. Pozwala ona „policzyć” atomy i cząsteczki dzięki różnicom w stosunku masy do ładunku. W ten sposób można ściśle określić, jakie pierwiastki i izotopy znajdują się w próbce oraz w jakiej ilości.

– Membrana jest zaprojektowana w taki sposób, że ma odpowiedni ujemny ładunek i specjalny jonofor, który selektywnie przepuszcza magnez, to znaczy że przechodzenie Mg^{2+} przez membranę jest preferowane, a jakieś inne jony typu K^+ , Na^+ przechodzą w znacznie mniejszym stopniu – tłumaczy dr Andrii Tupys.



Fot. Pixels

Fracjonowanie na zawołanie

Magnez ma trzy naturalnie spotykane izotopy: ^{24}Mg , ^{25}Mg oraz ^{26}Mg . Wszystkie zachowują się chemicznie tak samo, ale jedne są lżejsze, inne cięższe. Średnia ich „wagi” daje wartość masy atomowej, którą znamy z układu okresowego pierwiastków.

Przez długi czas uważano, że proporcje tych izotopów w przyrodzie są stałe. Dziś wiemy, że mogą się zmieniać.

– Okazuje się, że zmiany w składzie izotopów zachodzą, a szczególnie dobrze widać je w próbkach geologicznych, w których w ciągu milionów lat przyroda dość istotnie pozmięniała stosunki izotopów. Na tych zmianach właśnie polega frakcjonowanie izotopowe – np. jednego izotopu zostało więcej w skale, a drugiego więcej przedostało się do wody termalnej. Takie zjawisko chcieliśmy odkryć dla naszych membran – precyzuje dr Tupys.

Do analizy takich zmian badacze posłużyli się specjalnym rodzajem spektrometrii mas – z jonizacją w plazmie indukcyjnie sprzężonej (ICP). To technika, w której próbka trafia do strumienia przypominającego płomień, ale osiągającego znacznie wyższą temperaturę i stabilność. Dzięki niemu powstaje wiązka jonów, których proporcje można dokładnie zmierzyć za pomocą detektora mas. Czemu jednak służą takie badania? Kolejnym krokiem może być np. zmodyfikowanie sztucznych błon poprzez dodanie związków odgrywających ważne role w komórkach, np. adenozyno-5'-trifosforanu (ATP). ATP to rodzaj uniwersalnej „waluty energetycznej” życia – cząsteczki, w której komórki przechowują i przenoszą energię. Badania naukowców z CNBCh UW to także ważny krok w stronę praktycznych zastosowań przemysłowych. Skonstruowane membrany można wykorzystać też do usuwania jonów metali ciężkich z wody, co oznacza czystsze środowisko i realne korzyści dla zdrowia publicznego. Trzymamy kciuki!



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



Ameryka przegrywa na własne życzenie

Stany Zjednoczone nie będą kosmicznym supermocarstwem, jeśli utracą projekty naukowe NASA

NA POCZĄTKU XV WIEKU, na prawie 100 lat przed pamiętną podróżą Kolumba do Ameryki, Chiny wydawały się najbardziej predysponowane, by dzięki swojej potędze morskiej stworzyć globalne imperium. Począwszy od 1405 roku, admirał Zheng He, zaufany człowiek cesarza Yongle z dynastii Ming dowodził potężną flotą statków, w tym ogromnych „okrętów skarbowych” (baochuanów) podczas serii rejsów przez Ocean Indyjski aż po wschodnie wybrzeże Afryki, demonstrując bogactwo i siłę Chin. Jednak w 1433 roku te finansowane przez państwo chińskie rejsy zostały wstrzymane.

Naukowcy wciąż debatuje, co skłoniło XV-wieczne Chiny do zamknięcia się w sobie i „scedowania” swojej potęgi na innych – co ostatecznie doprowadziło do odkrycia Nowego Świata. Niezależnie od przyczyny, nie ulega wątpliwości, że była to utracona szansa. [Najprawdopodobniej wyprawy były dużym obciążeniem dla skarbcza, a okazały się mieć wymiar jedynie symboliczny – nie przełożyły się na materialne korzyści – przyp. red. „ŚN”]

Dzisiaj mamy do czynienia z dziwnym echem tego epizodu – nie na morzu, lecz

na rubieżach kosmosu. Tym razem jednak to Chiny zyskują na znaczeniu, podczas gdy USA zaprzepaszcza swoją przewagę. W przeciwieństwie do dworu Ming, który nie ukrywał, że zdecydowanie porzuca chińskie aspiracje morskie, niektórzy przywódcy amerykańscy werbalnie nadal traktują przestrzeń kosmiczną jako obszar zażartej rywalizacji. Jednak pomimo ich zapewnień, że chcą utrzymać dominację Ameryki w eksploracji kosmosu, podejmowane przez nich działania są sprzeczne z tym celem i blokują jego realizację.

Sceptycyzm, jeśli nie wprost pogarda, wobec wydatków na cywilną eksplorację kosmosu, jest praktycznie tradycją ponadpartijną w polityce amerykańskiej, lecz mówimy tu głównie o polityce prezydenta Donalda J. Trumpa prowadzonej pod hasłem „Make America Great Again”. 20 lipca 2025 roku, w 56. rocznicę lądowania Apollo II na Księżycu, Białe Dobre wydał oświadczenie, w którym Trump z dumą ogłosił, że jego administracja „przywraca prymat USA w podboju kosmosu” i zobowiązał się do powrotu amerykańskich astronautów na Księżyc oraz wysłania ich na Marsa. Kilka tygodni wcześniej, dzięki

podpisanej przez Trumpa ustawie „Big Beautiful Bill”, NASA otrzymała prawie 10 mld dolarów dodatkowego finansowania na budowę potężnych rakiet nośnych, załogowych statków kosmicznych i innych elementów kluczowych dla programu Artemis, który został oficjalnie zainaugurowany za pierwszej kadencji Trumpa. Pełniący obowiązki administratora NASA Sean Duffy, wtórując prezydentowi, wielokrotnie powtarzał podobne szumne zapowiedzi. Podczas jednej z wrześniowych konferencji prasowych stwierdził: „Aktualnie uczestniczymy w drugim wyścigu kosmicznym; Chińczycy chcą wylądować na Księżycu przed nami. Nie dopuścimy do tego. Ameryka przodowała w kosmosie w przeszłości i będziemy nadal w nim przodować”. Duffy zapewnił, że Stany Zjednoczone osiągną ten cel w 2027 roku. (Wypowiedź ta padła tydzień po tym, jak jego poprzednik mianowany przez Trumpa, Jim Bridenstine, bardziej realistycznie zeznał przed Kongresem, że „jeśli nic się nie zmieni, jest skrajnie mało prawdopodobne, że USA ubiegną Chiny, które planują lądowanie ludzi na Księżycu w 2030 roku”).

Niemniej administracja Trumpa zasługuje na słowa uznania za kilka rozsądnych decyzji w zakresie polityki kosmicznej, takich jak dwa dekrety prezydenckie: jeden z 2020 roku, rozszerzający granice sfery gospodarczej Stanów Zjednoczonych i ich sojuszników poza niską orbitę okołoziemską, drugi z 2025 roku, zwiększający w dużym stopniu potencjał kosmiczny Stanów Zjednoczonych poprzez uproszczenie przepisów dotyczących krajowych przedsiębiorstw działających w branży aerokosmicznej. Analogicznie, w sierpniu tego roku Duffy ogłosił plany administracji dotyczące przyspieszenia przez NASA przygotowań do dostarczenia na Księżyc do 2030 roku reaktora jądrowego – co stanowi śmiałe przedsięwzięcie mające na celu zabezpieczenie cennych terytoriów na Księżycu, a później zaopatrywanie w energię amerykańskich kolonii na jego powierzchni.

Jednak działania te należy rozpatrywać w kontekście innych posunięć, które mają wpływ na perspektywy naukowe i techniczne Stanów Zjednoczonych zarówno poza Ziemią, jak i na Ziemi.

Najważniejszym spośród nich jest proponowany przez Białe Dobre przyszlóroczny budżet. Pomimo znacznych środków przeznaczonych na realizację programu Artemis propozycja Trumpa na rok

podatkowy 2026 zakłada zmniejszenie ogólnego budżetu NASA o około 25%, a budżet działu nauki o prawie połowę. Grupy lobbingowe, takie jak Planetary Society potępiły te planowane cięcia jako katastrofalne dla amerykańskich badań kosmicznych. Ostrzegają, że doprowadzą one do odwołania ponad 40 trwających i planowanych misji kosmicznych USA. Gilotyna Trumpa dotyka głośne projekty, które przygotowywano od dziesięcioleci, takich jak Mars Sample Return, misja NASA mająca na celu dostarczenie na Ziemię próbek gruntu marsjańskiego, oraz Nancy Grace Roman Space Telescope, teleskop kosmiczny nowej generacji. Projekty te mają swoje odpowiedniki w Chinach, które dzięki temu obejmą pozycję lidera.

Cięcia proponowane na rok budżetowy 2026 nie są jedynymi szkodliwymi posunięciami administracji – działania Białego Domu doprowadziły do zwolnienia ponad 2500 pracowników NASA, w większości o długim stażu. Niezliczone federalne granty badawcze zostały anulowane, zawieszono lub opóźniono ze względu na konieczność weryfikacji ideologicznej. Tysiące zagranicznych studentów i wysoko wykwalifikowanych specjalistów nie wpuszczono do USA lub zniechęcono do życia i pracy w tym kraju w konsekwencji wprowadzonych przepisów dotyczących imigracji i pracowników tymczasowych. W miarę jak finansowany ze środków federalnych amerykański sektor naukowy chwieje się pod ciężarem kolejnych cięsoś, a odpływ talentów z USA przyspiesza – Chiny i inne kraje otwierają podwoje dla międzynarodowych studentów i naukowców, w tym także Amerykanów. Oferują im hojne zachęty finansowe oraz budują nowoczesne ośrodki badawcze, by przyciągnąć talenty z całego świata.

Choć nie wiadomo, w jakim stopniu straty Ameryki w tych niezliczonych dziedzinach przełożą się na korzyści innych krajów, można przewidzieć, że USA stracą wiele wspaniałych możliwości. Podobnie jak w przypadku zaskakującej decyzji Chin sprzed prawie 600 lat o rezygnacji z pozycji morskiej potęgi, jeszcze trudniej jest zrozumieć, dlaczego dzisiejsi przywódcy Stanów Zjednoczonych tak gorliwie prą do przegrania nowego wyścigu kosmicznego. Trump dąży do przywrócenia wielkości Ameryki w kosmosie, jakby zakładając, że nie jest ona już największą potęgą kosmiczną na świecie – a tymczasem nadal nią niewątpliwie jest, choć być może nie potrwa to długo. ■

Czy SI prześcignie matematyków?

Sposób, w jaki uzyskuje odpowiedzi, przypomina, dlaczego nadal potrzebujemy w matematyce ludzi EMILY RIEHL

JEDNO Z MOICH najbardziej pamiętnych wspomnień z ostatniej klasy liceum to dziewięciogodzinny egzamin z matematyki, na którym trzeba było rozwiązać zaledwie sześć zadań. Sześciu uczestników z najwyższymi wynikami zakwalifikowało się do drużyny, która miała reprezentować USA na Międzynarodowej Olimpiadzie Matematycznej (International Math Olympiad, IMO) – najstarszym na świecie konkursie matematycznym dla uczniów szkół średnich. Ja się nie zakwalifikowałam, ale i tak zostałam profesorem matematyki.

Tegoroczna olimpiada, która odbyła się w lipcu na australijskim Sunshine Coast, miała jednak nietypowy dodatek. Podczas gdy 110 uczniów z całego świata pochylało się nad trudnymi zadaniami z kartką i długopisem, kilka firm zajmujących się sztuczną inteligencją po cichu testowało swoje nowe modele na skomputeryzowanej wersji tego egzaminu. Tuż po ceremonii zakończenia zawodów OpenAI, a wkrótce potem Google DeepMind, ogłosiły, że ich modele zdobyły (nieoficjalne) złote medale, rozwiązując pięć z sześciu zadań.

Niektórzy badacze, tacy jak Sébastien Bubeck z OpenAI, nazwali ten sukces „ładowaniem na Księżyca” dla branży SI. Ale czy rzeczywiście tak jest? Czy sztuczna inteligencja zastąpi profesjonalnych matematyków? Na dowód wciąż czekam.

Zrozumiałe, że wokół wyników SI wzbudziło takie zamieszanie – olimpiada jest naprawdę trudna. W ostatnim roku liceum zrezygnowałam z analizy i algebry liniowej, żeby skupić się na zadaniach w stylu olimpijskim, które były znacznie większym wyzwaniem. Poza tym nowe modele w fazie rozwoju poradziły sobie o wiele lepiej niż dostępne komercyjnie wersje. W równoległym konkursie organizowanym przez MathArena.ai modele Gemini 2.5 Pro, Grok 4, o3 High, o4-mini High i DeepSeek R1 nie potrafiły poprawnie rozwiązać ani jednego zadania. To pokazuje, że SI rzeczywiście

się rozwija, a jej zdolności rozumowania gwałtownie rosną.

Mimo to nie obawiam się utraty pracy. Najnowsze modele dobrze zdały pojedynczy test – podobnie jak wielu uczniów – a bezpośrednie porównanie ludzi i maszyn nie jest do końca uczciwe. Modele często stosują strategię „best-of-n”, czyli generują wiele rozwiązań, a następnie same wybierają to, co najlepsze. To trochę tak, jakby kilku uczniów rozwiązywało zadanie niezależnie, a potem wspólnie wybrali jedno. Gdyby uczestnikom IMO też na to pozwolono, ich wyniki pewnie byłyby lepsze.

Inni matematycy również studzą entuzjazm. Terence Tao – złoty medalista IMO z 1988 roku, obecnie profesor na University of California w Los Angeles – zauważył na Mastodonie, że możliwości SI zależą w dużym stopniu od metodologii testów. Prezes IMO, Gregor Dolinar dodał, że organizacja „nie może zweryfikować metod użytych przez modele SI – ani mocy obliczeniowej, ani udziału człowieka, ani powtarzalności wyników”.

Poza tym zadania z IMO nie przypominają pytań, nad którymi pracują zawodowi matematycy – tych najbardziej zaawansowanych, których rozwiązanie może zająć dziewięć lat, a nie dziewięć godzin. Jak zauważył Kevin Buzzard, profesor matematyki w Imperial College London: „Kiedy przyjechałem do Cambridge ze złotym medalem IMO, nie potrafiłem pomóc żadnemu z pracujących tam badaczy”.

Dojście do poziomu eksperckiego w danej dziedzinie matematyki może zająć całe życie, a i to może nie wystarczyć. Podobnie jak wielu kolegów po fachu,

czasem ulegam pokusie tzw. *vibe proving* – rozmów z dużym modelem językowym (LLM) o matematyce, tak jak z kolegą po fachu. Pytam: „Czy prawdą jest, że...”, po czym podaję sformułowaną w języku matematycznym hipotezę. Chatbot zazwyczaj przedstawia klarowny tok rozumowania – który, bywa poprawny w standardowych

Emily Riehl jest matematyczką na Johns Hopkins University, gdzie zajmuje się teorią kategorii, teorią typów homotopijnych oraz komputerową formalizacją matematyki. Jest współautorką, wraz z Dominikiem Veritym, książki *Elements of ∞ -Category Theory* wydanej przez Cambridge University Press w 2022 roku.



Lucas/Getty Images

tematach, ale często błędny w najbardziej nowatorskich. Na przykład każdy model, który pytałam, popełniał ten sam subtelny błąd, zakładając, że teoria idempotentów działa tak samo w przypadku słabych topologii nieskończenie wymiarowych, jak w zwykłych. A to – wierzcie mi na słowo – według ludzkich ekspertów nie jest prawdą.

Nigdy nie zaufam LLM-owi, który w gruncie rzeczy jedynie przewiduje, jaki tekst powinien pojawić się dalej, żeby dostarczył mi dowód matematyczny, którego sama nie potrafię zweryfikować.

Na szczęście istnieje sposób, by sprawdzać, czy dowody są rzeczywiście poprawne – tzw. asystenty dowodów. To oprogramowanie (niekorzystające ze sztucznej inteligencji), które analizuje, czy dany argument logiczny faktycznie dowodzi postawionej tezy. Coraz częściej przyciąga ono uwagę matematyków, takich jak Tao, Buzzard czy ja sama, którzy chcą mieć pewność, że ich dowody są wolne od błędów.

Wyobraźmy sobie, że dostaję list z miasta Erode w stanie Tamil Nadu w Indiach, napisany odręcznie nieznanym mi charakterem pisma i zawierający dowód matematyczny. Może być genialny albo kompletnie bez sensu. Musiałabym poświęcić godzinę, by prześledzić każdy krok argumentacji i ocenić, czy wnioski rzeczywiście są poprawne.

Ale gdyby taki dowód był zapisany w odpowiedniej składni komputerowej, asystent dowodów mógłby sprawdzić jego logikę automatycznie. Ja, jako matematyk, musiałabym zrozumieć jedynie znaczenie terminów w samym twierdzeniu. Tak właśnie było ze Srinivasą Ramanujanem, genialnym matematykiem z Erode, który w 1913 roku wysłał list z własnymi

pomysłami do brytyjskiego matematyka G. H. Hardy'ego. Na szczęście Hardy rozpoznał jego geniusz i zaprosił go do Cambridge – i tak rozpoczęła się kariera jednego z największych matematyków w historii.

Co ciekawe, niektóre modele SI biorące udział w tegorocznej IMO zapisały swoje rozwiązania w języku Lean, czyli w języku asystenta dowodów, tak by komputer mógł sprawdzić poprawność ich rozumowania. Start-up Harmonic opublikował formalne dowody wygenerowane przez swój model dla pięciu z sześciu zadań, a ByteDance osiągnął poziom srebrnego medalu, rozwiązując cztery z sześciu. Jednak zadania trzeba było odpowiednio przystosować do ograniczeń językowych modeli, a rozwiązanie zajęło im kilka dni.

Mimo to formalne dowody są wyjątkowo wiarygodne. Modele „rozumujące” potrafią co prawda rozbijać problem na kolejne kroki i tłumaczyć swój tok myślenia, ale często tworzą argumenty, które brzmią logicznie, lecz nie są prawdziwymi dowodami. Asystent dowodów natomiast nie zaakceptuje rozwiązania dopóty, dopóki nie będzie ono w pełni precyzyjne i rygorystyczne, uzasadniające każdy etap rozumowania.

Nie każda aplikacja sztucznej inteligencji daje się jednak tak łatwo zweryfikować – nie zawsze można jednoznacznie stwierdzić, czy wynik jest poprawny. W życiu często panuje niepewność i łatwo o błąd. Właśnie dlatego tak kocham matematykę – bo pozwala udowodnić definitywnie, że coś jest nieprawdziwe. Z radością pozwolę SI pomagać mi w rozwiązywaniu problemów matematycznych – ale tylko wtedy, gdy wyniki będą formalnie weryfikowalne. A do tego jeszcze daleko. ■

Wiele księżyców Saturna

Edward Ashton przyczynił się do odkrycia dwóch trzecich znanych księżyców planety
MEGHAN BARTELS

ZALEDWIE DEKADĘ TEMU astronomowie znali zaledwie 62 księżycy Saturna. Dziś ta otoczona pierścieniami planeta może pochwalić się imponującą liczbą 274 oficjalnych satelitów. To więcej niż jakikolwiek inny glob w Układzie Słonecznym – i zdecydowanie zbyt wiele, żeby większość ludzi mogła je spamiętać. Astronom Edward Ashton nie jest wyjątkiem, mimo że sam pomógł odkryć, jak szybko obliczył w pamięci, 192.

Ashton odbywa obecnie staż podoktorski w Instytucie Astronomii i Astrofizyki Academia Sinica na Tajwanie. Zainteresował się poszukiwaniem księżyców Saturna w 2018 roku, wtedy kiedy jego ówczesny promotor na University of British Columbia zaproponował mu ten temat doktoratu. Poszukiwania okazały się owocne. W marcu Ashton i jego współpracownicy ogłosili odkrycie 128 nowych satelitów Saturna.

„Scientific American” rozmawiał z Ashtonem o naukowych podstawach odkrywania tak wielu stosunkowo małych ciał – większość z nich ma zaledwie kilka kilometrów średnicy – z wykorzystaniem ogromnych ilości danych zebranych przez znajdujący się na Hawajach Canada-France-Hawaii Telescope; CFHT.

Poniżej zredagowany zapis wywiadu.

Jak odkryłeś te księżycy?

Aby je wykryć, stosujemy metodę przesunięć i nakładania. W ciągu trzech godzin wykonujemy 44 kolejne zdjęcia tego samego fragmentu nieba, ponieważ w takim czasie księżycy poruszają się względem gwiazd z prędkością podobną do Saturna. Jeśli nałożymy zdjęcia na siebie, księżycy pojawią się na obrazach jako smuga, która może być zbyt słaba do dostrzeżenia.

Przesuwamy więc obrazy względem siebie z różnymi prędkościami podobnymi do prędkości Saturna, a następnie przełączamy się między nimi, jak w książeczce typu



flipbook. Jeśli prędkość przesuwania różni się od prędkości księżyca, kształt księżyca będzie lekko wydłużony. W miarę jak zbliżamy się do prędkości księżyca, jego obraz powoli łączy się w punkt. Następnie, gdy prędkość księżyca jest większa, jego obraz ponownie się wydłuża. Analizujemy więc obrazy, a następnie szybko przeglądamy różne prędkości, i widzimy, jak księżyc kurczy się i rozszerza.

To tylko w trakcie jednej nocy, ale samo wykrycie obiektu poruszającego się z prędkością zbliżoną do Saturna w pobliżu tej planety nie gwarantuje, że jest to jej księżyc. Jest wysoce prawdopodobne, że tak właśnie jest, ale nie zostało to potwierdzone z całą pewnością. Musimy więc śledzić obiekty, aby pokazać, że krążą wokół planety. Aby to zrobić, powtarzamy proces przesuwania i nakładania przez miesiące i lata.

Dlaczego to odkrycie nastąpiło dopiero teraz? Czy do wykonania tej pracy potrzebne były nowe metody i obserwatoria?

Ta metoda znana jest już od jakiegoś czasu; wykorzystano ją do odkrywania księżyców Neptuna i Urana. Jednak obszary nieba wokół tych planet, na których mogą znajdować się ich księżyce, są znacznie mniejsze, więc przeszukanie danych zajmuje mniej czasu. Jednym z powodów, dla których nie zrobiono tego w przypadku Saturna, jest to, że proces ten jest bardzo czasochłonny.

Dlaczego te inne planety mają mniej miejsca dla księżyców niż Saturn?

Uran i Neptun są lżejsze, dlatego stabilne orbity, na których mogą być ich księżyce, są ciasniejsze.

Zastanawiałam się, czy ta metoda sprawdza się również w przypadku innych planet. Odpowiedź jest jasna: tak. Czy uważasz, że istnieją księżyce krążące wokół Saturna lub innych planet, których jeszcze tą metodą nie odkryto?

Znaleźliśmy kandydatów na księżyce wokół Saturna, których nie byliśmy w stanie śledzić wystarczająco długo, aby móc je potwierdzić, że faktycznie są księżycami. Jeśli więc zastosujemy tę technikę, będziemy w stanie znaleźć więcej księżyców, ale działa tu prawo malejących korzyści. Jeżeli użyjemy większego teleskopu niż CFHT, będziemy w stanie dostrzec słabsze księżyce, a więc znajdziemy ich więcej.

Jeśli zastosujemy tę metodę dla Jowisza, możliwe będzie odkrycie słabszych księżyców. Problem polega na tym, że powierzchnia nieba zajmowana przez księżyce Jowisza jest znacznie większa niż powierzchnia nieba zajmowana przez księżyce Saturna, więc w przypadku Jowisza metoda ta jest jeszcze bardziej czasochłonna. A Jowisz jest o wiele jaśniejszy od Saturna i innych planet, dlatego mamy wokół niego dużo rozproszonego światła, przez co trudniej wypatrzeć księżyce.

Znalezienie satelitów wokół Jowisza jest więc jeszcze trudniejsze, a jak wspominałeś, inne grupy wykonały już to zadanie dla Urana i Neptuna. Czy to oznacza, że dopóki nie pojawią się doskonalsze metody obserwacyjne, dopóty nasze możliwości będą już wyczerpane?

Tak, prawdopodobnie trzeba poczekać na lepszą technikę.

Czy obecnie trwają prace lub planowane jest wdrożenie takiej lepszej techniki?

Już dziś istnieją teleskopy, które mogą sięgać głębiej niż teleskop CFHT, na przykład Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba (James Webb Space Telescope; JWST). Problem polega na tym, że pole widzenia JWST jest bardzo małe, więc żeby objąć wymagany obszar, trzeba przeprowadzić sporo obserwacji. Jednakże wkrótce ma zostać uruchomiony teleskop o dość dużym polu widzenia: Kosmiczny Teleskop Nancy Grace Roman. Będzie to więc dobry instrument do polowania na większą liczbę księżyców.

Co wiadomo o nowo odkrytych księżycach?

W zasadzie znamy jedynie ich orbity i przybliżone rozmiary. Ale jeśli przyjrzeć się rozkładowi orbit, można dowiedzieć się nieco więcej o historii układu. Księżyce, które są niejako skupione w przestrzeni orbitalnej, powstały najprawdopodobniej w wyniku kolizji, dzięki czemu można stwierdzić, które z nich mają ten sam obiekt macierzysty.

Czy układ Saturna jest niezwykły?

Niezwykła jest liczba obiegających go księżyców. Wygląda na to, że planety mają mniej więcej taką samą liczbę dużych księżyców. Ale jeśli chodzi o mniejsze, Saturn wydaje się mieć ich znacznie więcej. Tak więc jest to interesujące. Przyczyną może być niedawna kolizja w układzie Saturna, po której pozostała duża liczba fragmentów.

Czy musisz im wszystkim nadać nazwę?

Chyba nie muszą. Niektóre z nowych księżyców zostały powiązane z obserwacjami innej grupy sprzed ponad 10 lat. To może być jakieś 20–30 obiektów. Jeśli chodzi o resztę, to skoro my jesteśmy jedynymi odkrywcami, to mamy prawo je nazwać. Ale nie można zrobić tego już teraz. Najpierw, gdy precyzyjnie zostaną wyznaczone ich orbity, otrzymają numery. Nie wiem, jak długo to potrwa.

Masz więcej obserwacji księżyców do przeanalizowania?

Nie, robię sobie małą przerwę od księżyców! Zajmuję się teraz innymi projektami, związanymi z obiektami transneptunowymi. Są one dość daleko. Trudno je dostrzec. Kryją w sobie tajemnice. Byłoby interesujące zrozumieć ich strukturę i ich związek z formowaniem się planet.