ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
swiatnauki.pl • projektpulsar.pl

SCIENTIFIC AMERICAN

Lipiec 2026 nr 7 (419)
Cena 18 zł 99 gr (w tym 8% VAT)

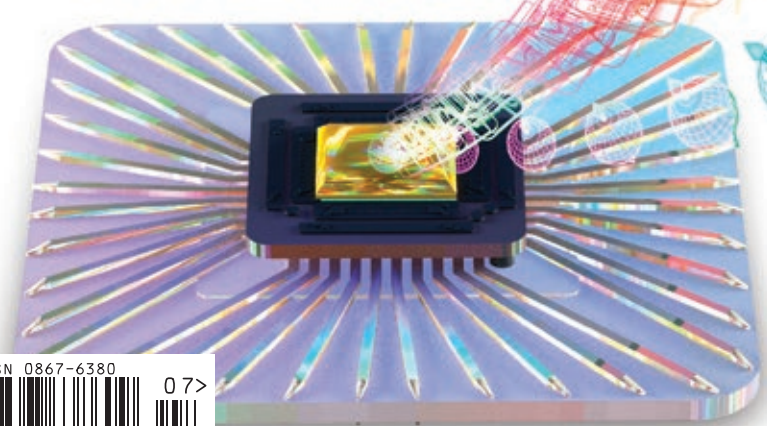
Czy sztuka AI jest etyczna?

Paradoksy mechaniki kwantowej

Zabójcze trio

KWANTOWA REWOLUCJA

Czy kolejny przełom w informatyce spełni nadzieje?



KOSMOS
Powrót na Księżyc

ŚWIAT NAUKI 07/2026
INDEKS 378194
ISSN 0867-6380
9 770867 638609 07>

eprasa.pl 5b4d5e3312

Pulsar – serwis popularnonaukowy POLITYKI

POPULARYZATOR NAUKI 2024 i 2025

projektpulsar.pl

Wszystko, co warto wiedzieć o nauce:

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

...i jeszcze więcej:

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



PAWEŁ SIKORSKI:
Wirusy celowo zakładają czapki

DOROTA ROSIŃSKA, MAREK SZCZEPAŃCZYK:
Chcemy sięgnąć początków Wszechświata



KATARZYNA SZNAJD-WERON:
O ruchach ciał społecznych

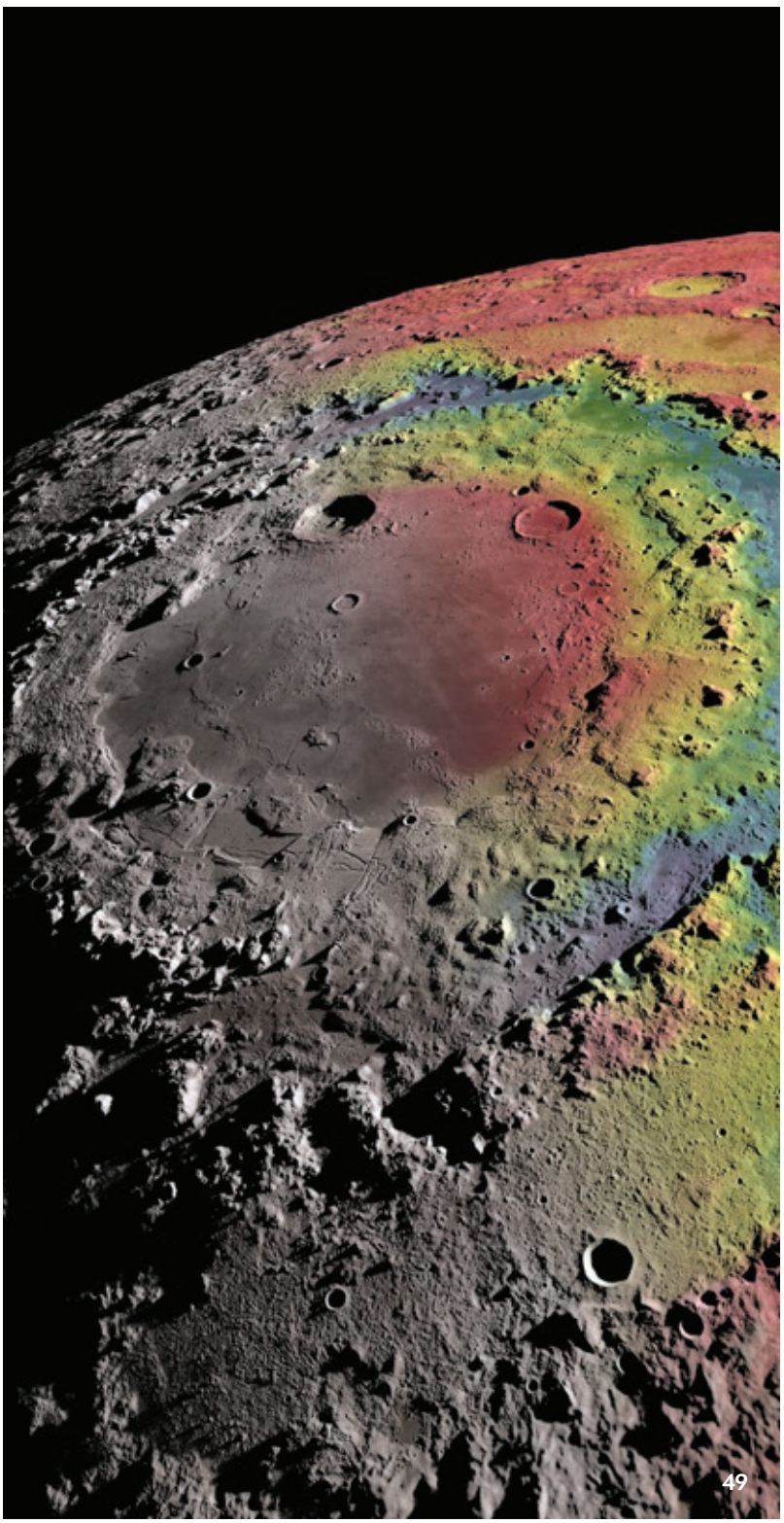


Zaprenumeruj nas:
projektpulsar.pl

eprasa.pl 5b4d5e3312

POLSKA EDYCJA
ŚWIAT NAUKI
SCIENTIFIC AMERICAN

LIPIEC 2026
NUMER 7 (419)



NASA's Scientific Visualization Studio

FIZYKA

28 KWANTOWA REWOLUCJA
Czy komputery oparte na fizyce kwantowej zmienią świat?
ADAM BECKER

INFORMATYKA

36 DO CZEGO WŁAŚCIWIE MOŻE SIĘ PRZYDAĆ KOMPUTER KWANTOWY?
Komputery kwantowe zapowiadają rewolucję m.in. w kryptografii, projektowaniu nowych materiałów, telekomunikacji. Ale te obietnice nie staną się faktem z dnia na dzień – jeśli w ogóle kiedykolwiek.
ZEEYA MERALI

POWRÓT NA KSIĘŻYC

44 NOWY KSIĘŻYCOWY WYŚCIG
Triumfalna misja Artemis II wyznacza nową erę eksploracji Srebrnego Globu. Oto jak przebiegała i jaki będzie ciąg dalszy.
NADIA DRAKE

49 GEOLOGIA SREBRNEGO GLOBU
Jeśli ambitne plany NASA eksploracji Księżyca się powiodą, naukowcy pokryją jego powierzchnię czujnikami i znajdą odpowiedzi na kilka nurtujących pytań dotyczących wewnętrznego Układu Słonecznego.
ROBIN GEORGE ANDREWS

52 KSIĘŻYCOWE OCZY
Misje księżycowe Artemis zapowiadają przełom w astronomii.
JOSEPH HOWLETT

56 NUKLEARNY KSIĘŻYC
NASA chce, aby księżycową bazę zasilał reaktor jądrowy. To nie jest tak szalone, jak się wydaje.
ROBIN GEORGE ANDREWS

MEDYCYNA

64 ZABÓJCZE TRIO
Choroby serca, nerek i cukrzyca typu 2 mogą być w rzeczywistości jednym i tym samym problemem zdrowotnym – zespołem sercowo-nerkowo-metabolicznym.
JYOTI MADHUSOODANAN

eprasa.pl 5b4d5e3312

ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
SCIENTIFIC AMERICAN

LIPIEC 2026
NUMER 7 (419)

6 ZDROWIE
Opowieść o dwóch suplementach
LYDIA DENWORTH

7 SIŁA MYŚLI
Twórczość AI a etyka
IONELA BARA

10 SKANER
Popsute jajka w kosmosie ◆ Miasteczka mikroorganizmów ◆ Gra w planszówki nauką podejmowania decyzji ◆ Życie seksualne ośmiornic ◆ Sejsmometry na biegunie ◆ Sześcionodzy obserwatorzy Księżyca ◆ Przyrodniczy katalog kafelków

20 TECHNIKA I BIZNES
Skanowanie skały
ADAM BLUESTEIN

24 MILITARIA
Wojna na widoku
SARAH SCOLES

26 WSZECHŚWIAT
Inwazja fałszywych gwiazd
PHIL PLAIT

70 Q&A
Co jest nie tak z mechaniką kwantową?
TIM FOLGER

72 MATEMATKA
Zagadka spaceru po mostach zapoczątkowała nowy dział matematyki
JACK MURTAGH

74 UMYSŁ GIĘTKI
Śladami tatami
MAREK PENSZKO

78 FAKTOGRAF
Przewodnik po kubitach
CLARA MOSKOWITZ

80 Z ARCHIWUM „SCIENTIFIC AMERICAN”
Naturalny reaktor ◆ Matematyka mydlanej bańki ◆ Dyplomacja zamiast wojny ◆ Kontrowersyjne ziele

OKŁADKA



Czy komputery kwantowe zrewolucjonizują kryptografię, inżynierię materiałową, telekomunikację lub projektowanie leków? Na jakim etapie znajduje się dziś ta dziedzina i co musi się wydarzyć, aby spełniła pokładane w niej nadzieje?

Ilustracja Violet Frances

Polska wersja okładki Jolanta Kotas


6

Ilustracja Jay Bendt


26

Alan Dyer/VWPics/Alamy


80

Interfoto/Alamy Stock Photo

eprasa.pl 5b4d5e3312

PRENUMERATA „ŚWIATA NAUKI”

ŚWIAT NAUKI SCIENTIFIC AMERICAN

Prenumeruj druk



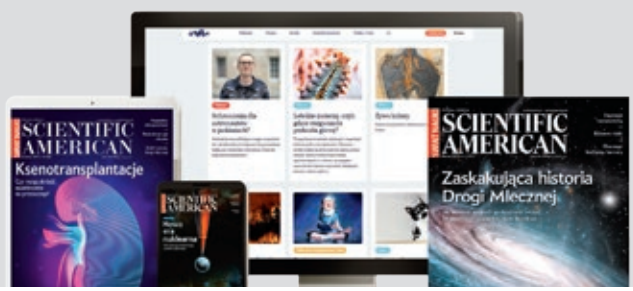
KUP TERAZ

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 5b4d5e3312

ŚWIAT NAUKI POLSKA EDYCJA SCIENTIFIC AMERICAN

www.projektpulsar.pl

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

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

Kontakt z redakcją
redakcja@swiatnauki.pl

Korekta
Mariola Będkowska

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

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

Prezes zarządu
Jerzy Baczyński

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

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

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

Kontakt w sprawie bezpieczeństwa produktu
gpsr@polityka.pl

Druk P/mint

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

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

SCIENTIFIC AMERICAN

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

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

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

Szanowni Czytelnicy,

tematem lipcowego numeru jest kwantowa rewolucja (*s. 28*), a dokładniej komputer kwantowy. To dziedzina rozpalająca wyobraźnię – stworzenie maszyny liczącej o możliwościach niemal nieograniczonych w porównaniu z możliwościami dzisiejszych komputerów, to faktycznie byłby niezwykły postęp.

Byłby – bo tak naprawdę nie wiadomo, czy zbudowanie takiego komputera w użytecznej skali jest wykonalne. Pomysłów jest bardzo dużo, zaangażowane są ogromne pieniądze, mimo to skalowanie pozostaje bardzo poważnym wyzwaniem. Załóżmy jednak, że ktoś pokona przeszkody i stworzy ten niesamowity komputer. Co wtedy? W niektórych dziedzinach będzie to oznaczać skokowy wręcz postęp – projektowanie nowych materiałów, leków, a także rozwój samej fizyki. Ale taka na przykład kryptografia? Zabezpieczenia przestaną działać, bo szyfry dadzą się złamać, co więc na przykład z bankowością?

Inny gorący temat to zastosowanie komputerów kwantowych do rozwoju sztucznej inteligencji. To dobrze czy źle? I nie chodzi nawet o apokaliptyczne wizje przejęcia przez AI kontroli nad światem, wystarczy, że tak potężne narzędzie wykorzystają ludzie o złych intencjach. Trzeba też pamiętać, że komputery kwantowe nie zastąpią konwencjonalnych – choćby z powodu swoich rozmiarów. Jaka jednak będzie ich przyszłość, nie wiemy. Jak pisze Adam Becker, autor „Kwantowej rewolucji", każdy, kto twierdzi, że wie, prawdopodobnie próbuje nam coś sprzedać.

Drugi duży temat w bieżącym numerze to program „powrotu na Księżyc" – Artemis, a w szczególności zakończona sukcesem misja Artemis II. Autorzy raportu podkreślają też jej wartość w innej dziedzinie – społecznej. Wśród astronautów kobieta, czarnoskóry i Kanadyjczyk (sic!). Mamy 20. lata XXI wieku. Fakt, że takie rzeczy określa się przełomem, nie wymaga komentarza.

Mimo ciągłego wspominania o zjednoczeniu ludzkości przebija się motyw rywalizacji i dominacji. Niepokoi też nieco pomysł elektrowni jądrowej na Księżycu. Niby racjonalne, ale... Można odnieść wrażenie, że zapomnieliśmy już o wojnach światowych i zimnej wojnie. Proszę zwrócić też uwagę, że mamy w piśmie nowy cykl felietonów – zatytułowaliśmy go „Militaria", w oryginale brzmi groźniej: „Science of War".

Polecam Państwu dwa krótsze teksty, które nawiązują bezpośrednio lub w pewnym sensie do głównych tematów – o „inwazji" sztucznych satelitów (*s. 26*), i problemach z mechaniką kwantową (*s. 70*), o rodzajach kubitów (*s. 78*) i, bardzo aktualny, o problemach etycznych z twórczością AI (*s. 7*).

Warto również przeczytać, dla własnego dobra, artykuł o zespole „sercowo-nerkowo-metabolicznym" (*s. 64*), czyli o tym, że choroby serca, cukrzyca typu 2 i choroby nerek są ze sobą ściśle powiązane. Cóż, może sztuczna inteligencja szybciej by wpadła na ten chyba jednak dość oczywisty (dla wielu doświadczonych lekarzy praktyków) wniosek. A więc szklanka do połowy pełna czy pusta?

Zapraszam do lektury,

Elżbieta Wieteska

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

TŁUMACZE, AUTORZY I KONSULTANCI BIEŻĄCEGO NUMERU

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

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

eprasa.pl 5b4d5e3312

Najgroźniejsza susza to ta, której nie widać

Susza najczęściej kojarzy się z wyschniętymi rzekami, spękaną ziemią. Tymczasem – jak podkreśla hydrolog, prof. Ewa Krogulec z Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego – najgroźniejsza forma suszy, czyli susza hydrogeologiczna, jest niewidoczna. Rozgrywa się pod powierzchnią ziemi.

Susza uderza nie tylko w przyrodę. To droższa żywność, problemy rolników i przemysłu, ograniczenia w dostępie do wody. W Polsce podstawowym źródłem wody pitnej są wody podziemne – to ok. 70% ujęć wykorzystywanych do tego celu.

Wielowymiarowość problemu suszy stała się punktem wyjścia dla interdyscyplinarnej monografii *Susza – zjawisko, konteksty, ramy prawne*, pokazującej, że susza nie jest jedynie zjawiskiem meteorologicznym, lecz efektem złożonej interakcji czynników naturalnych i działalności człowieka. W monografii szczególne miejsce zajmuje opis suszy hydrogeologicznej. Wnioski zawarte w tej publikacji bazują m.in. na badaniach prowadzonych od blisko trzech dekad w Kampinoskim Parku Narodowym.



Fot. Julszczepanski/AdobeStock

Niski stan wody w Wiśle. Okolice Warszawy.

– Dlaczego susza jest zjawiskiem niejednoznacznym? Ponieważ znajduje się na styku nauk przyrodniczych, ekonomicznych i prawnych, a dodatkowo istotną rolę odgrywa jej społeczne postrzeganie. Nie zawsze jest to zjawisko katastrofalne, lecz bywa również sygnałem ostrzegawczym, który powinniśmy analizować i na który należy odpowiednio reagować – tłumaczy prof. Ewa Krogulec.

Susza ma etapy – i nie wszystkie są równie groźne.

– Rozwój suszy przebiega w kilku fazach: meteorologicznej, rolniczej, hydrologicznej i hydrogeologicznej. Początkowe stadia są w dużej mierze odwracalne – wystarczy odpowiedni, spokojny i długotrwały opad, by skutki suszy meteorologicznej czy glebowej zaczęły ustępować. Zupełnie inaczej jest w przypadku wód podziemnych. Tutaj skutki są długotrwałe, a niekiedy wręcz nieodwracalne. Właśnie dlatego ta faza jest najgroźniejsza – wyjaśnia prof. Krogulec.

Susza meteorologiczna pojawia się wtedy, gdy przez dłuższy czas suma opadów wyraźnie odbiega od normy wieloletniej. Z czasem przechodzi w suszę glebową, potem hydrologiczną, czyli obniżenie poziomu wód w rzekach i jeziorach. Najpóźniej rozwija się susza hydrogeologiczna – najgroźniejsza, bo oznaczająca spadek poziomu wód podziemnych. Odbudowa tych zasobów może trwać latami.

– Wody podziemne głównie zasilane są poprzez infiltrację opadu atmosferycznego. Gdy brakuje opadów, dopływ do systemu wodonośnego jest ograniczony. Wtedy poziom wód podziemnych się obniża – wyjaśnia badaczka.

Polska: wody są, ale nie tam, gdzie trzeba

O tym, że w Polsce jest mniej wody niż w Afryce, lubią rozpisywać się krajowe media. Jednak pomijają one fakt, że to nie rzeki, lecz wody podziemne stanowią nasz podstawowy i najcenniejszy zasób wody słodkiej.

– Jeśli spojrzymy na wody podziemne w skali całego kraju, wykorzystujemy obecnie około 20–22% ich zasobów. Teoretycznie dysponujemy ogromnym potencjałem i rezerwą – wyjaśnia prof. Krogulec. *– Jednak statystyka bywa zwodnicza, ponieważ lokalnie sytuacja wygląda zupełnie inaczej. Mamy regiony, jak chociażby Wielkopolska, Kujawy czy Śląsk, w których zasobów tych jest mało lub dostęp do nich jest utrudniony.*

„Pamięć" wód podziemnych

Jednym z najbardziej frapujących wniosków z badań jest fakt, że dynamika suszy wymyka się prostym zależnościom. Co ciekawe, system wodonośny „zapamiętuje" wcześniejsze warunki.

– To, co nazywam „pamięcią" warstwy wodonośnej, oznacza, że wody podziemne nie reagują na opady natychmiast, lecz z opóźnieniem – tłumaczy prof. Ewa Krogulec.

Z badań wynika, że o suszy hydrogeologicznej można mówić dopiero wtedy, gdy poziom wód podziemnych systematycznie spada poniżej tzw. średniego niskiego poziomu i utrzymuje się tam przez pewien czas. Prawdziwe epizody suszy hydrogeologicznej odnotowano m.in. w latach 2003, 2005, 2008 i 2015, przy czym rok 2003 okazał się najsuchszy.

W debacie o przyszłości zasobów wodnych coraz częściej pojawia się pytanie o konflikty, a nawet „wojny o wodę".

– Jestem przekonana, że w Polsce nie stoimy w obliczu poważnych konfliktów o wodę. To raczej kwestia naszej odpowiedzialności, przemyślanego zarządzania zasobami i podejmowania działań tu i teraz – podkreśla prof. Ewa Krogulec.

W obliczu deficytów wody potrzebne są zarówno regulacje prawne, jak i oddolne działania – choćby retencja wody i zbieranie deszczówki. Woda podziemna jest cichym fundamentem naszego bezpieczeństwa – przyrodniczego, gospodarczego i społecznego. To, jak będziemy nią zarządzać dziś, zdecyduje o warunkach życia przyszłych pokoleń.

UNIWERSYTET WARSZAWSKI | SERWIS NAUKOWY

Artykuł jest częścią cyklu poświęconego badaniom realizowanym na Uniwersytecie Warszawskim.

eprasa.pl 5b4d5e3312



Opowieść o dwóch suplementach

Kreatyna buduje mięśnie, ale błękit metylenowy nie wspomaga mózgu

LYDIA DENWORTH

Mój mąż, fanatyk sprawności fizycznej, codziennie wypija rozpuszczoną w wodzie sproszkowaną kreatynę. „Wyniki badań potwierdzają, że to pomaga w budowaniu mięśni" – mówi. Dwa lata temu rozpoczęłam treningi siłowe, więc ten temat mnie ciekawi. Ale jestem również dziennikarką naukową i z podejrzliwością podchodzę do deklaracji na temat suplementów, zwłaszcza tych, które są wychwalane w mediach społecznościowych, tak jak kreatyna. Mnóstwo badań nad suplementami jest źle zaprojektowanych, a w dodatku tabletki czy sproszkowane specyfiki nie trzymają tych samych standardów, co leki dopuszczone do użytku przez państwo. Zastanawiałam się, o jakich badaniach mówi Mark, który z reguły jest bardzo wnikliwy.

W powodzi informacji dostępnych w internecie może być trudno odróżnić fakty od fikcji. „Niektórzy z twórców pseudonauki są w tym bardzo dobrzy – mówi Joe Schwarz, profesor chemii i dyrektor Office for Science and Society na McGill University. – Nauczyli się przebierać w naukowe szaty. Mogą brzmieć bardzo przekonująco i mistrzowsko wprowadzają ludzi w błąd, sprzedając im produkty, których nikt tak naprawdę nie potrzebuje". Obecnie na przykład często wspomina się o kreatynie w połączeniu z błękitem metylenowym – syntetycznym barwnikiem, który według influencerów w mediach społecznościowych ma poprawiać zdolności poznawcze i spowalniać starzenie. Dodatkowo barwi język na niebiesko.

Jeśli chodzi o samą kreatynę, to jest bardzo prawdopodobne, że Mark ma rację i nie został wprowadzony w błąd. Kreatyna to związek występujący naturalnie w organizmie, zbudowany z aminokwasów i wspomagający zarządzanie energią w naszych komórkach. Jest jak „zapasowy akumulator" dla trójfosforanu adenozyny (adenosine triphosphate, ATP), stanowiącego główne źródło energii w każdej ludzkiej komórce, mówi fizjolog wysiłku i treningu fizycznego Richard Kreider, prowadzący też badania naukowe nad odżywianiem na Texas A&M University. Komórki zużywają ATP nawet w spoczynku, a potrzebują go jeszcze więcej wtedy, kiedy są bardziej aktywne. Kreatyna w komórkach jest przekształcana w inną substancję chemiczną, fosfokreatynę, która uzupełnia poziom ATP. „Kreatyna bardzo, bardzo szybko wytwarza ATP" – mówi Schwarz. Jest to szczególnie przydatne podczas nagłych, wymagających ruchów, takich jakie wykonują wyczynowi sportowcy.

Dziesięciolecia badań wskazują, że suplementacja kreatyny prowadzi do wzrostu siły i mocy. Są to m.in. randomizowane badania z grupą kontrolną, stanowiące złoty standard w nauce, pozwalający wykazać zależność między przyczyną a skutkiem. Według International Society of Sports Nutrition przyjmowanie kreatyny zwiększa poziom fosfokreatyny w mięśniach i może poprawiać wydolność. Może także wspomagać rekonwalescencję, rehabilitację oraz zapobiegać urazom.

Nowsze badania wskazują, że kreatyna może być przydatna także w przypadku osób nieuprawiających sportu, chociaż korzyści są bardziej jednoznaczne, kiedy regularnie wykonujemy treningi siłowe. Niektóre badania wykazały, że suplementacja kreatyną może przynosić korzyści u starzejących się dorosłych. Kreider stwierdza, że może ona pomagać starszym osobom utrzymać masę mięśniową, a „mięśnie i siła są kluczowe dla długowieczności". Schwarz mówi również, że w kilku badaniach powiązano kreatynę z poprawą funkcji poznawczych. Kreatyna może ograniczać szkodliwe skutki niedotlenienia – zmniejszonego przepływu krwi, który może ograniczać dostawy tlenu do kluczowych narządów, takich jak serce czy mózg – chociaż nie we wszystkich badaniach uzyskiwano te same pozytywne skutki. „Jeśli nie ma dostatecznie dużo tlenu w tkankach, w tym w mózgu czy sercu, ta dodatkowa fosfokreatyna stanowi rezerwę, dzięki której w przypadku wstrząśnienia mózgu czy udaru uszkodzenia będą relatywnie mniejsze" – mówi Kreider.

Organizm wytwarza codziennie mniej więcej połowę potrzebnej nam kreatyny. Reszta pochodzi z pożywienia, na przykład z czerwonego mięsa i owoców morza – albo z suplementów. Kreatyna w proszku ma wysoką biodostępność: po jej strawieniu składniki aktywne docierają do odpowiednich komórek gotowe do użytku. Spośród innych suplementów wiele dociera do komórek jedynie w niewielkiej ilości. Wiele osób przyjmuje od dwóch do pięciu gramów kreatyny dziennie. Dawka dla sportowców, jak mówi Kreider, zależy od wieku oraz wagi i może sięgać 10 g.

Pomimo tak dobrze udokumentowanych korzyści związanych z kreatyną, w Internecie nadal można znaleźć różne niezgodne z prawdą informacje. Reklamuje się tam wszelkiego rodzaju produkty,

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

Ilustracja Jay Bendt

eprasa.pl 5b4d5e3312

jednak skuteczność wykazano tylko dla jednego rodzaju kreatyny: sproszkowanego czystego monohydratu. Twierdzenia dotyczące innych rodzajów nie zostały zweryfikowane badaniami naukowymi. Istnieją również pewne negatywne opinie, które należy zweryfikować. W mediach społecznościowych krążyły anegdotyczne opisy poważnych działań niepożądanych kreatyny, na przykład skurczów mięśni. Jednak w przeglądzie 685 badań klinicznych, obejmujących 26 tys. uczestników, nie stwierdzono znacząco zwiększonego ryzyka ich występowania.

Schwarz stwierdza natomiast, że błękit metylenowy to „zupełnie inna bajka". Jego historia jest długa, jednak nie ma dotąd wiarygodnych dowodów na to, aby u przeciętnej osoby miał wspomagać funkcje poznawcze. „Nie ma przekonujących badań klinicznych z udziałem ludzi, które wykazałyby jakiekolwiek korzyści" – mówi.

Błękit metylenowy to jeden z najstarszych syntetycznych barwników, dostępny od lat 70. XIX wieku. Początkowo naukowcy odkryli, że u ludzi zabija on pasożyty wywołujące malarię, dlatego jest czasem stosowany zamiast chininy. Barwnik ten jest także znany z zastosowania w leczeniu methemoglobinemii – rzadkiej choroby krwi, zwykle wywołanej przyjęciem określonych leków lub toksyn.

Pomysł, że ten niebieski barwnik mógłby poprawiać funkcjonowanie mózgu, pochodzi ze wstępnych badań dotyczących użycia błękitu metylenowego w celu leczenia choroby Alzheimera. Badania te opierają się na teorii, że barwnik mógłby wiązać się z białkami tau, odgrywającymi rolę w rozwoju tej choroby. Jednak większość tych badań prowadzono na zwierzętach, te nieliczne z udziałem ludzi obejmowały bardzo małe grupy i wykazywały jedynie znikome efekty.

Zdaniem ekspertów nadal nie można wykluczyć korzystnego działania błękitu metylenowego, jednak dotychczas nie ma na to dowodów. „To dość ciekawe, ale jeszcze za mało wiadomo" – mówi Kreider. Dodatkowo związek ten niesie ze sobą znaczące ryzyko wystąpienia działań niepożądanych u osób przyjmujących niektóre leki psychiatryczne, m.in. przeciwdepresyjne.

Powiedziałam Markowi, że na tyle, na ile potrafię stwierdzić – opierając się na wiedzy naukowej – miał rację, co do kreatyny. I na szczęście, gdy to usłyszał, nie dodał kolejnej porcji proszku do szklanki. ■

Twórczość AI a etyka

Kiedy ludzie poznają procesy stojące za sztuką generowaną przez AI, zaczyna ona budzić ich moralne wątpliwości

IONELA BARA

NA POCZĄTKU 2025 ROKU dom aukcyjny Christie's w Nowym Jorku sprzedał niezwykłą kolekcję dzieł sztuki. Surrealistyczne portrety, fotorealistyczne obrazy i inspirowane kreskówkami kompozycje – wszystkie wygenerowane przez sztuczną inteligencję – przyniosły ponad 700 tys. dolarów, przekraczając przewidywane wyniki sprzedaży. To pierwsze wydarzenie tego rodzaju wywołało jednak również falę sprzeciwu. Ponad 6000 artystów zaprotestowało, twierdząc, że modele AI użyte do stworzenia tych prac były trenowane na chronionych prawem autorskim obrazach bez zgody ich twórców. Chociaż dom aukcyjny argumentował, że dzieła te pokazują „sprawczość człowieka w epoce AI", krytycy uznali wydarzenie za przykład komercjalizacji techniki wykorzystującej nieopłaconą pracę twórczą.

Także inne środowiska artystyczne i zawodowe wyrażały obawy. Raport opublikowany w listopadzie ubiegłego roku wykazał, że ponad połowa ankietowanych powieściopisarzy w Wielkiej Brytanii uważała, iż AI może zakończyć ich karierę. Wielu autorów uważało, że ich twórczość została już wykorzystana bezprawnie do trenowania dużych modeli językowych i że AI zalewa rynek niskiej jakości prozą. Odbiorcy również wydają się mieć wobec tej techniki mieszane uczucia. Jak wykazało jedno z badań, wielu Amerykanów akceptuje AI jako narzędzie wspomagające pracę twórców, ale nie jako zastępstwo ich pracy.

Stosunek odbiorcy do sztuki AI może jednak zależeć od tego, jak dużo wie on o sposobie jej tworzenia. Zajmuję się neuroestetyką – dziedziną łączącą neuronaukę, psychologię oraz nasze postrzeganie piękna i sztuki. Wraz ze współpracownikami odkryłam, że im więcej ludzie dowiadują się o zapleczu działania AI – zbiorach danych, procesie trenowania i promptowaniu – tym więcej mają obiekcji, co do etyczności oraz wartości prac wygenerowanych przez AI.

Zainteresowałam się AI, ponieważ jej szybkie rozprzestrzenianie się w świecie sztuki zaczęło ujawniać rozdźwięk między tym, czym ta technika jest, a tym, co ludzie o niej wiedzą. Wcześniejsze badania pokazały, że ludzie zwykle niżej oceniają sztukę AI pod względem kreatywności, wartości i głębi emocjonalnej. W swojej własnej pracy badałam zaś, jak wiedza o sztuce zmienia sposób, w jaki ją postrzegamy. To doświadczenie skłoniło mnie do zastanowienia się, czy wiedza o AI wpływa na wartościowanie sztuki generowanej przez AI i czy może pomóc wyjaśnić często obserwowaną stronniczość.

Aby odpowiedzieć na to pytanie, nasz zespół przeprowadził trzy eksperymenty; w każdym z nich wzięło udział 100 uczestników. Zaczęliśmy od pokazania ludziom obrazów wygenerowanych przez AI i zadania pytań o ich etyczność oraz wartość estetyczną. Na przykład uczestnicy dwóch z tych eksperymentów musieli ocenić, na ile moralnie akceptowalne jest używanie AI do tworzenia takiej sztuki, zarabianie pieniędzy lub zdobywanie prestiżu dzięki tym pracom oraz określanie ich mianem konwencjonalnej sztuki. Badani musieli również ocenić, jak bardzo podobają im się prezentowane obrazy.

W pierwszym eksperymencie pokazaliśmy uczestnikom 20 pejzaży i 20 portretów wygenerowanych za pomocą DALL-E 3 na podstawie promptów inspirowanych impresjonistyczną sztuką hiszpańskiego malarza Joaquína Sorolli. Aby mieć pewność, że obrazy wygenerowane przez AI będą bardzo podobne do dzieł artysty, daliśmy jej bardzo szczegółowe instrukcje. Jeden z promptów brzmiał tak: „Impresjonistyczny obraz prostych drewnianych łodzi rybackich unoszących się na płytkiej wodzie, styl początku XX wieku, Walencja, duże białe żagle, śmiałe pociągnięcia pędzla, Sorolla, mistrz światła".

Połowa uczestników oglądała wygenerowane obrazy bez żadnego dodatkowego kontekstu. Druga połowa otrzymała krótki tekst dostarczający więcej informacji. Brzmiał on: „Ten

Ionela Bara, na stażu podoktorskim, prowadzi wykłady w laboratorium Social Brain Sciences na ETH Zurich. Bada kognitywne i neuronalne podstawy estetycznych doznań i to, jak ludzie odbierają sztukę wizualną, angażują się w nią emocjonalnie i ją oceniają.

eprasa.pl 5b4d5e3312

obraz został wygenerowany przez algorytm AI, który tworzy obrazy na podstawie opisów tekstowych. Osiągnięcie celu wymaga kilku kroków. Najpierw algorytm AI jest trenowany poprzez uczenie się na dużym zbiorze obrazów oraz odpowiadających im opisów tekstowych, takich jak nazwisko twórcy. Następnie algorytm AI generuje nowe obrazy na podstawie różnych promptów tekstowych (np. nazwisko artysty, styl, informacja o tym, co obraz ma przedstawiać – morze, pejzaż czy ludzi".

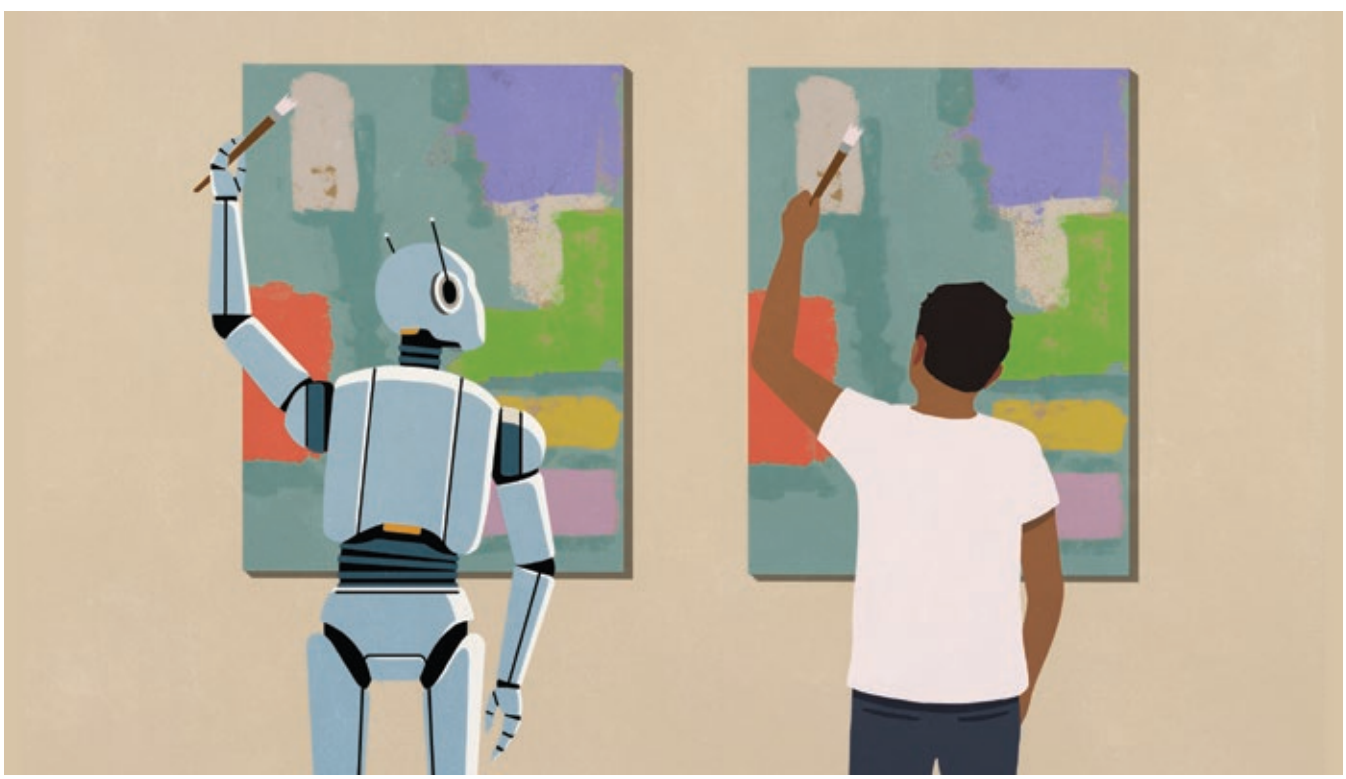
Dodatkowe informacje wpływały na ocenę. Kiedy ludzie wiedzieli, jak działa system AI, postrzegali tworzone przez niego obrazy jako mniej etycznie akceptowalne – szczególnie wtedy, gdy ich tworzenie wiązało się z zyskiem finansowym i uznaniem artystycznym. Estetyczna atrakcyjność obrazów jednak się nie zmieniła, co wskazuje, że poznanie sposobu działania AI skłaniało do refleksji nad etyką, a nie estetyką.

Psychologowie odkryli, że osądy dotyczące tego, co jest dobre lub wartościowe, mogą się zmieniać, gdy oceniający dowiadują się, że jakieś dzieło zdobyło nagrody lub uznanie ekspertów. Na przykład efekt autorytetu sprawia, że jesteśmy bardziej skłonni zgadzać się z ludźmi, którzy wydają się mieć władzę albo wiedzę. Ponadto konotacje takie, jak sukces czy prestiż, mogą sprawić, że ludzie uznają coś za bardziej etyczne. W naszym drugim badaniu powiedzieliśmy uczestnikom, że część sztuki AI była wystawiana, sprzedawana lub chwalona. Ku naszemu zaskoczeniu okazało się jednak, że informacja o sukcesie dzieła nie poprawiła moralnej akceptowalności obrazu w oczach osób, które dowiedziały się, jak powstała ta sztuka.

W ostatnim eksperymencie testowaliśmy automatyczne oceny dzieł stworzonych przez AI w porównaniu ze sztuką stworzoną przez ludzi. Użyliśmy narzędzia psychologicznego zwanego zadaniem skojarzeniowym typu go/no-go, w którym ludzie muszą bardzo szybko połączyć jeden rodzaj bodźca, taki jak obraz, z innym, takim jak słowo „dobry" albo „zły". W tym eksperymencie pokazywaliśmy uczestnikom obrazy impresjonistycznych dzieł malarskich (wygenerowanych przez AI albo stworzonych przez człowieka) wraz z etykietami kategorii obiektów po lewej stronie („dzieło AI" albo „dzieło człowieka") i etykietami cech po prawej stronie (takimi jak „dobre" albo „złe"). Uczestnicy musieli kliknąć przycisk, jeśli obraz i etykiety były zgodne, oraz powstrzymać się od odpowiedzi, jeśli zgodne nie były. Zadanie musiało być wykonane szybko i wielokrotnie, aby dało się uchwycić najbardziej bezpośrednie skojarzenia. Pracowaliśmy z osobami, którym nie przekazano żadnej dodatkowej wiedzy na temat AI, aby spróbować zrozumieć, co może myśleć przeciętna osoba.

Nie znaleźliśmy silnej automatycznej tendencji do postrzegania sztuki AI albo sztuki ludzkiej jako z natury lepszej lub gorszej. Wynik ten pokazuje, że ludzie nie mają jeszcze odruchowej reakcji ani głęboko zakorzenionej opinii o sztuce AI w porównaniu ze sztuką tworzoną przez człowieka. Świadczy on również, że – jak sugerowały nasze wcześniejsze eksperymenty – moralny opór wobec sztuki AI jest czymś, czego ludzie uczą się z czasem.

Ogólnie rzecz biorąc, kiedy ludzie wiedzą, jak działa AI, stają się ostrożniejsi w ocenianiu jej moralnej uczciwości. Wynik ten wskazuje, że edukowanie odbiorców, artystów, kuratorów i decydentów politycznych na temat działania AI może wpłynąć na przyszłość tej techniki w świecie sztuki. Artyści pracujący z narzędziami AI mogą pomóc w tym procesie, dzieląc się informacjami o modelach, danych lub promptach, których użyli, oraz wyjaśniając, w jakich miejscach proces był kierowany przez człowieka. Chociaż taka przejrzystość może prowadzić do krytyki, może również budować wiarygodność i wyposażać ludzi w narzędzia potrzebne do krytycznego myślenia o technice." ■



Malte Mueller/Getty Images

eprasa.pl 5b4d5e3312

POLITYKA

SŁUCHAJ I OGLĄDAJ!



















Rozmawiamy nie tylko o polityce.

Poruszamy sprawy, które mają znaczenie.

Szukamy odpowiedzi na trudne pytania.

POLITYKA.PL/PODKASTY

eprasa.pl 5b4d5e3312

SKANER

PLANETOLOGIA

Dziwne światy

Siarkowe piekło może zmienić sposób, w jaki klasyfikujemy planety

BILIONY KILOMETRÓW OD ZIEMI grupa planet krąży wokół własnego słońca – a jeden z tych światów jest osobliwym dziwakiem spowitym siarką. Badania sugerują, że planeta L 98-59 d pachnie zgniłymi jajami i jest pokryta oceanem magmy. I nie jest tylko odstępstwem od normy w swoim własnym układzie planetarnym. To pierwsza dotychczas odkryta egzoplaneta o tak osobliwych cechach i wygląda na to, że definiuje własną kategorię.

Naukowcy po raz pierwszy ją zaobserwowali w 2019 roku, kiedy satelita Transiting Exoplanet Survey Satellite dostrzegł L 98-59 d przechodzącą przed czerwonym karłem znajdującym się w centrum jej układu. Późniejsze obserwacje wykonane przez Kosmiczny Teleskop Hubble'a oraz Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba dostarczyły wskazówek dotyczących składu planety, lecz im więcej naukowcy się dowiadywali, tym mniej nowo odkryty glob pasował do istniejących kategorii planet tej wielkości. L 98-59 d nie jest ani skalistą planetą z grubą atmosferą wodorową, ani światem oceanicznym. Według badań opublikowanych w „Nature Astronomy" może należeć do nowej klasy stopionych, siarkowych egzoplanet.

„To dość piekielne, bardzo obce miejsce – mówi Harrison Nicholls, główny autor badania i badacz podoktorski na University of Cambridge. – Gdy zdobędziemy więcej danych, być może odkryjemy również inne planety do niej podobne".

Pierwsze potwierdzone odkrycie egzoplanety – choć od dawna przewidywane – nastąpiło 34 lata temu. Od tego czasu coraz potężniejsze teleskopy gwałtownie rozwijają tę dziedzinę badań dzięki kolejnym odkryciom – obecnie znamy już ponad 6000 egzoplanet. Jednak czym innym jest odnalezienie egzoplanety, a czym innym zrozumienie warunków panujących na jej powierzchni.

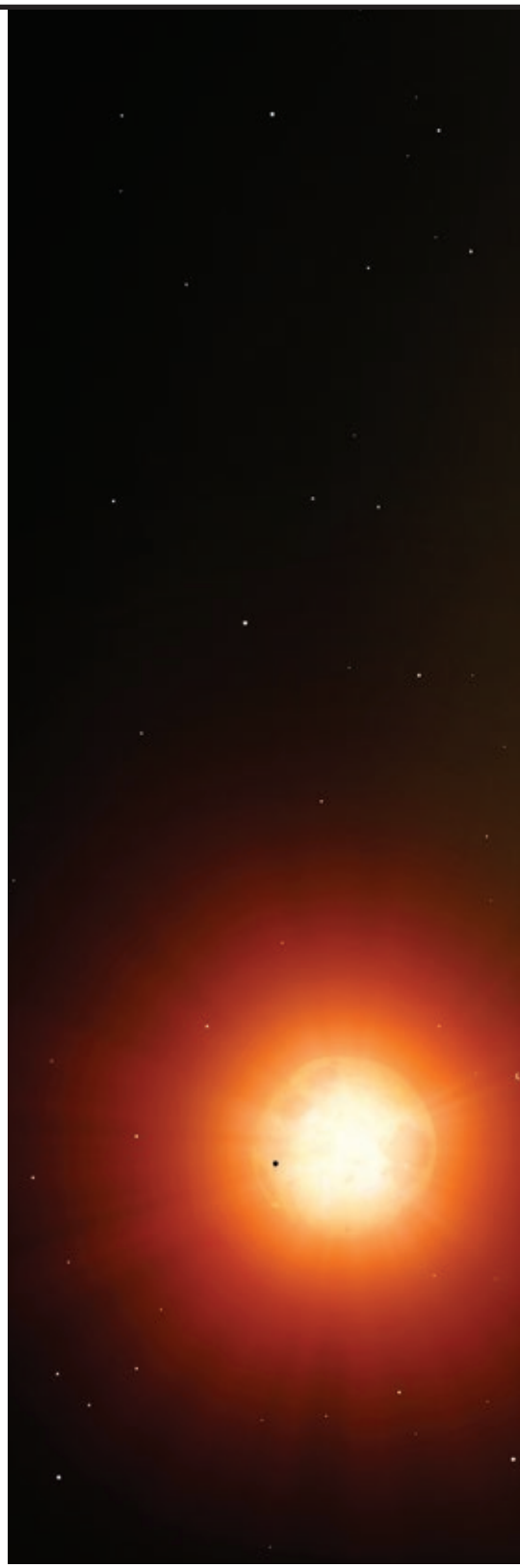
Astronomowie mogą określać rozmiar i masę odległych światów, obserwując, jak światło gwiazdy przygasa i oscyluje, gdy planety przechodzą przed swoimi słońcami. Skład planet bada się poprzez analizę światła przechodzącego przez ich obce atmosfery. Następnie teoretycy ożywiają te odległe światy, tworząc spójne modele ich cech i historii powstania. „Nawet przy idealnych danych same liczby niczego nie mówią – tłumaczy Nicholls. – A w przypadku planety L 98-59 d jesteśmy nieco ograniczeni przez to, czego możemy być pewni."

Naukowcy wiedzą, że planeta ma około 5 mld lat, a temperatura jej rozpalonej powierzchni przekracza 1500°C. Jest około 1,6 razy większa od Ziemi, ale ma niezwykle małą gęstość. Najdziwniejszą cechą jest jednak jej bogata w siarkę atmosfera. Wiele młodych planet, w tym wczesna Ziemia, przechodzi krótki „etap zgniłych jaj" z powodu intensywnej aktywności wulkanicznej. Jednak siarkowodór i dwutlenek siarki powstające w tym okresie zwykle nie utrzymują się przez miliardy lat.

Badacze wykorzystali modele komputerowe, aby cofnąć zegar dla L 98-59 d i ustalić, jak mogła się uformować. Odkryli, że dysk materii wokół gwiazdy zawierający wystarczającą ilość tych lotnych składników może stworzyć typ planety stopionej, począwszy od lepkiej powierzchni aż po samo jądro – i że takie planety mogą być powszechne.

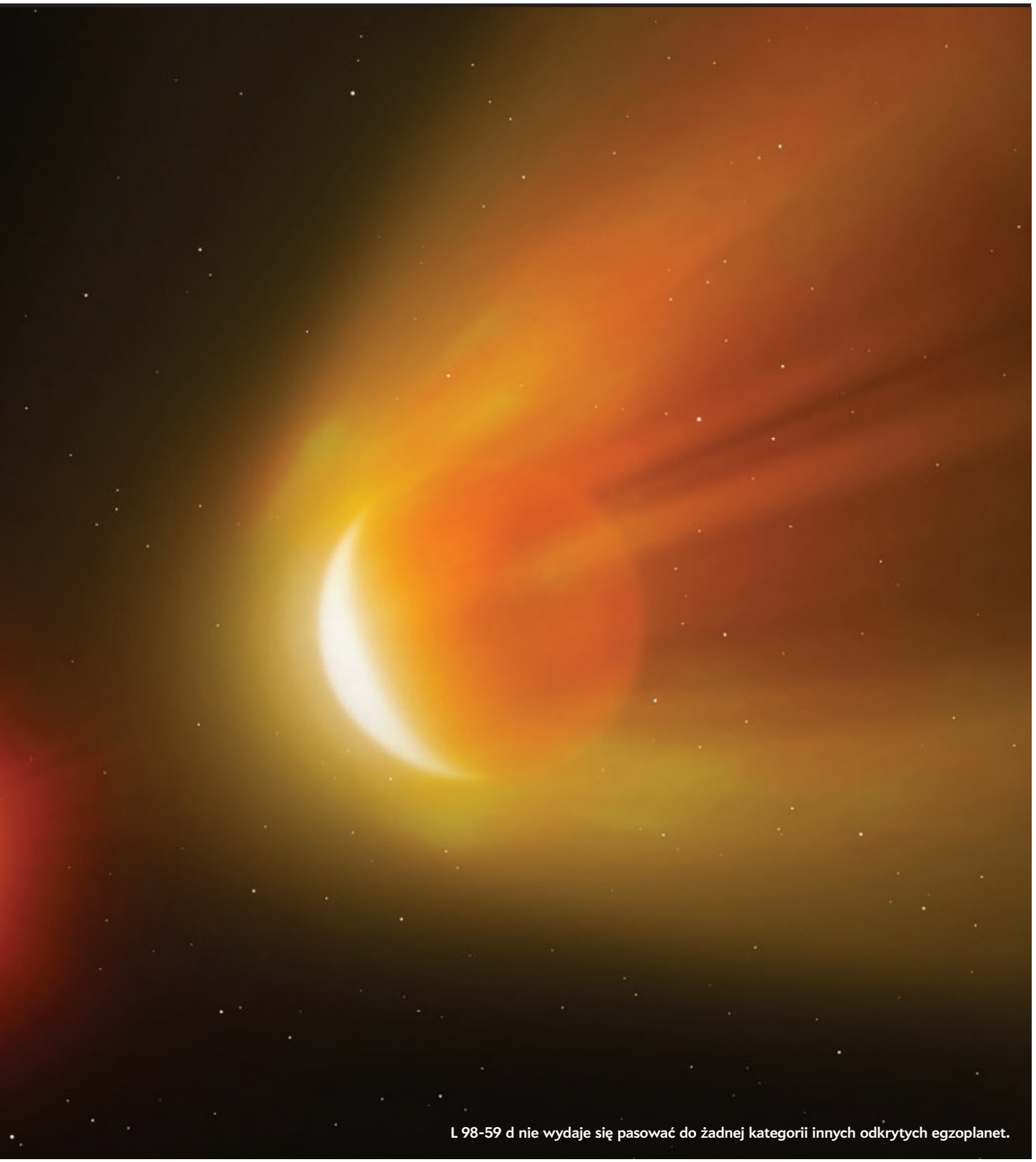
„Generalnie w nauce zaczynamy od opowiadania bardzo prostych historii, a z czasem te historie stają się coraz bardziej złożone, ponieważ musimy wyjaśniać szerszy zakres zjawisk albo wyniki bardziej szczegółowych pomiarów – mówi Heather Knutson, planetolożka z California Institute of Technology, która nie brała udziału w nowych badaniach. – To świetny przykład takiego procesu."

Ponieważ dziedzina badań egzoplanet jest tak młoda, nie istnieje jeszcze wystarczająco dużo kategorii, by właściwie opisać różnorodność tych obiektów. Zdaniem Juliena de Wita, planetologa z MIT, który również nie uczestniczył w badaniu, L 98-59 d stanowi krok w kierunku



eprasa.pl 5b4d5e3312

MIKROSKALA W MAKROSKALI s. 13
AI I PLANSZÓWKI s. 14
BEZ GRY WSTĘPNEJ s. 15



L 98-59 d nie wydaje się pasować do żadnej kategorii innych odkrytych egzoplanet.

Ilustracja Mark Garlick

eprasa.pl 5b4d5e3312

„wyjścia poza szufladki" dyskretnych typów planet – takich jak oceaniczne czy skaliste – i stworzenia kontinuum typów, które może dać wgląd w to, jak światy się zmieniają i ewoluują.

„Tak naprawdę marzeniem obserwatora jest stworzenie systemu klasyfikacji, który nie tylko opisuje Wszechświat, lecz mówi nam o nim coś nowego – zgadza się z de Witem Thomas Beatty, astronom z University of Wisconsin–Madison, który także nie uczestniczył w badaniu.

Zdaniem Beatty'ego najlepszym przykładem takiego systemu klasyfikacji jest diagram Hertzsprunga–Russella. Pozwolił on zrozumieć proces ewolucji gwiazd i ponad 100 lat temu zapoczątkował rozwój ich fizyki. Wszystko zaczęło się od zwykłych obserwacji pojedynczych gwiazd i przyporządkowywania ich do kategorii – dokładnie tak, jak naukowcy mogą dziś robić z egzoplanetami dzięki nowoczesnej technice. Niektórzy mają nadzieję, że system klasyfikacji egzoplanet podobnie pomoże wyjaśnić niewiadome dotyczące ewolucji planet, na przykład to, jak proces ten różni się pomiędzy poszczególnymi typami światów.

Choć badanie dziwnych światów, takich jak L 98-59 d, prawdopodobnie pomoże wyjaśnić ewolucję planet, badacze wciąż próbują zrozumieć właśnie tę konkretną planetę. Świat magmy najlepiej pasuje do dotychczas zebranych danych, ale naukowcy nadal obserwują egzoplanetę, aby wyeliminować niepewności – takie jak ilość siarki w jej atmosferze – co pomogłoby doprecyzować nasze wyobrażenie o warunkach panujących na powierzchni L 98-59 d.

Badacze sugerują, że za rok lub dwa będziemy mieć jeszcze wyraźniejszy obraz tej planety. Do tego czasu L 98-59 d może już nie być jedynym przedstawicielem ustanowionej przez siebie nowej klasy. „Ta dziedzina rozwija się niezwykle szybko i uczymy się, jak wiele jeszcze nie wiemy – mówi Nicholls. Naprawdę sądzę, że mamy dobre powody przypuszczać, iż światy siarkowe staną się całkiem liczną kategorią planet".

K. R. Callaway

FIZYKA

Atomowe śnieżynki

Czy każdy atom we Wszechświecie może być wyjątkowy?

JEDNYM Z PODSTAWOWYCH ZAŁOŻEŃ fizyków jest to, że atomy nie są unikalne – jeśli dwa atomy mają tę samą liczbę protonów, neutronów i elektronów, będą wyglądać i zachowywać się dokładnie tak samo. To przekonanie ma fundamentalne znaczenie dla naszego rozumienia fizyki i materii we Wszechświecie oraz toruje drogę dziedzinom opierającym się na przewidywalności, takim jak informatyka kwantowa. Nierozróżnialność atomów pozostaje jednak jedynie założeniem, a naukowcy mają plan, by poddać je próbie.

W niedawnej pracy opublikowanej w czasopiśmie „Physics Letters B" fizyk Mark Raizen z University of Texas w Austin proponuje serię eksperymentów mających odkryć potencjalne różnice między tymi pozornie identycznymi cząstkami.

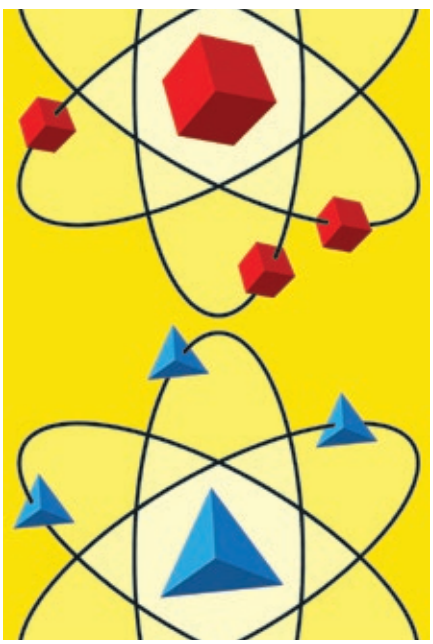
„Lubimy, gdy teoria i eksperyment idą ramię w ramię – mówi Raizen. – To pytanie nigdy wcześniej nie zostało przetestowane eksperymentalnie i właśnie to sprawia, że jest dla mnie interesujące".

Gdyby atomy były rozróżnialne, patrzenie na dwa atomy tego samego typu przypominałoby oglądanie dwóch samochodów tej samej marki i modelu — mówi Christian Sanner, fizyk z Colorado State University, który nie brał udziału w nowych badaniach. Zaraz po opuszczeniu linii produkcyjnej mogłyby wydawać się niemożliwe do odróżnienia. Ale gdy podejdziemy bliżej, aby niezwykle dokładnie zmierzyć dokręcenie śrub i maleńkie szczeliny między drzwiami a ramą, subtelne różnice staną się bardziej widoczne.

Aby uzyskać niezwykle precyzyjne pomiary atomowe, Raizen proponuje eksperyment wykorzystujący laser do chłodzenia i uwięzienia pojedynczych izotopów – odmian atomów – w wyjątkowo dokładnym zegarze atomowym. Taki układ pozwoliłby badaczom wykryć minimalne różnice w poziomach energii izotopów poprzez analizę niuansów pola magnetycznego wytwarzanego przez wirujące jądro każdej cząstki, zwanego momentem magnetycznym jądra.

Eksperyment opiera się na kilku dekadach wcześniejszych prac Raizena. Jeszcze jako doktorant w National Institute of Standards and Technology pomagał on opracować sposób chłodzenia i uwięzienia szeregu naładowanych atomów „niczym pereł na naszyjniku" w zegarach atomowych. Część jego późniejszych badań koncentrowała się na tworzeniu metod kontrolowania tych uwięzionych cząstek. Badania te doprowadziły do powstania wydajniejszych metod rozdzielania izotopów – ważnego etapu wielu terapii przeciwnowotworowych opartych na promieniowaniu oraz diagnostyki obrazowej – a także kluczowego elementu jego planu testowania rozróżnialności atomów.

„W pewnym sensie zamyka to cykl, który rozpoczął się dla mnie 30 lub 35 lat temu, i dlatego możliwość połączenia tych



rzeczy, do których powrotu nigdy się nie spodziewałem, jest niezwykle satysfakcjonująca i ekscytująca" – mówi Raizen. Nawet naukowcy, którzy nie są całkowicie przekonani, że atomy mogłyby być unikalne, zgadzają się, że eksperymenty testujące powszechnie akceptowane założenia stanowią istotną część procesu naukowego oraz długiej historii innowacji napędzających rozwój tej dziedziny. „Taka właśnie jest postawa współczesnej nauki – mówi Sanner. – Spekulacja jest potrzebna, by rodziły się nowe pomysły, ale ostatecznie to wyniki eksperymentów są tym, co naprawdę rozstrzyga sprawę".

K. R. Callaway

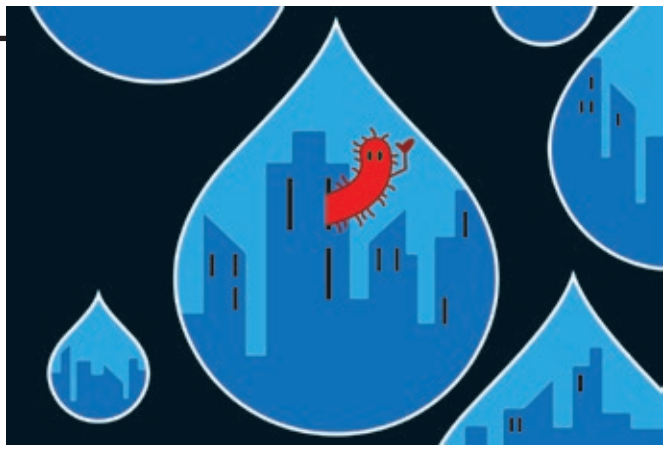
Ilustracja Thomas Fuchs

eprasa.pl 5b4d5e3312

OCEANOGRAFIA

Mikroskopijne metropolie

Tonące miasta drobnoustrojów mogą być kluczem do oceanicznej zagadki



KIEDY „MORSKI ŚNIEG”, złożony m.in. z pancerzyków i muszli martwego planktonu, odchodów ryb, pyłu i różnych organicznych szczątków, opada na dno oceanu, transportuje ze sobą węgiel atmosferyczny, który plankton wykorzystał do budowy swoich kalcytowych pancerzyków. Jest to jeden ze sposobów magazynowania węgla przez oceany, pomagający zapobiegać przekształceniu naszej planety w gigantyczny piekarnik przez gazy cieplarniane. Naukowcy zdali sobie jednak sprawę, że coś rozpuszcza te kalcytowe skorupki i uwalnia dwutlenek węgla, zmniejszając zdolność oceanu do wychwytywania węgla. Badanie opublikowane w „Proceedings of the National Academy of Sciences USA” wskazało winowajcę: gęste „miasta” mikroorganizmów żyjące wewnątrz śniegu morskiego.

Poszczególne miasta są mikroskopijne, ale łącznie wywierają potężny wpływ na klimat Ziemi, ponieważ oceany są domem dla niewyobrażalnej liczby mikroorganizmów. Kieliszek do likieru wypełniony wodą morską może zawierać miliony komórek bakterii. „Gdyby zebrać wszystkie komórki bakteryjne w oceanie i połączyć je w jeden ciąg niczym sznur pereł, wystarczyłby on do okolenia 50 razy Drogi Mlecznej” – mówi współautor badania Andrew Babbin, oceanograf z Massachusetts Institute of Technology.

Aby zbadać te mikrobiologiczne miasta, „przenieśliśmy ocean do laboratorium” – mówi główny autor badania Benedict Borer, biogeochemik z Rutgers University. Naukowcy wprowadzili mikroorganizmy do mikroprzepływowego układu scalonego zaprojektowanego tak, aby naśladował cząstki śniegu morskiego, a następnie dodali fluorescencyjne cząsteczki, których świecenie zmieniało się w zależności od poziomu tlenu i kwasowości. (Układ był tak czuły, że początkowo na pomiary wpływał nawet oddech osób przebywających w laboratorium).

Badacze odkryli, że chemiczne mikrośrodowiska tych miast zwiększają rozpuszczanie kalcytu. Wiele mikroorganizmów oddychających tlenem pobiera węgiel, a następnie uwalnia dwutlenek węgla, który w wodzie morskiej przekształca się w kwas węglowy. Ogromna liczba mikroorganizmów oddychających w tak ciasnym otoczeniu tworzy skoncentrowane obszary kwasu węglowego wewnątrz i wokół cząstek śniegu morskiego, co prowadzi do rozpuszczania zawartego w nim kalcytu.

W miarę jak cząstki śniegu morskiego rozpuszczają się i stają się lżejsze, wolniej również opadają, twierdzą badacze. Daje to węglowi więcej czasu na wydostanie się z powrotem do środowiska, zanim dotrze on do długoterminowych magazynów w głębokim oceanie, i może zwiększać jego ponowne uwalnianie do atmosfery. Potrzebne są dalsze badania, aby obliczyć pełny wpływ mikrobiologicznych miast na kwasowość oceanów, ponieważ rozpuszczony kalcyt może do pewnego stopnia neutralizować kwas węglowy.

„Procesy biogeochemiczne zachodzące na wielką skalę często zależą od interakcji zachodzących w bardzo małej skali” – mówi Hongjie Wang, oceanografka z University of Rhode Island, która nie uczestniczył w badaniu. Babbin zgadza się z tym poglądem: „Ostatecznie wszystko, co dzieje się w mikroskali, kształtuje naszą planetę.”

Damien Pine

Ilustracja Thomas Fuchs

REKLAMA

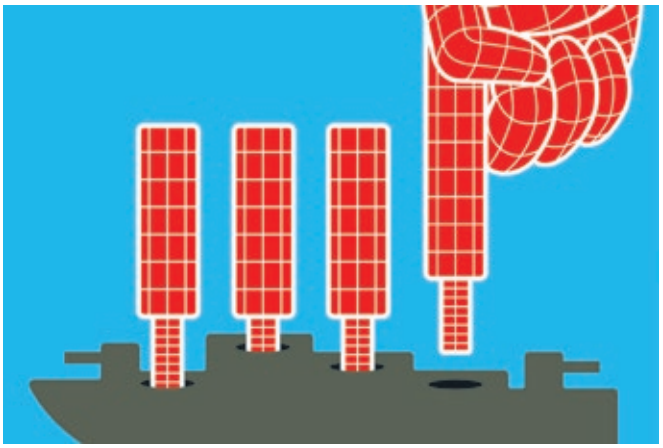


eprasa.pl 5b4d5e3312

TECHNIKA

Nauka a gra w okręty

Grając, AI pokazuje, jak skuteczniej uprawiać naukę



JEŚLI SZTUCZNA INTELIGENCJA ma zrewolucjonizować sposób uprawiania nauki, jak mają nadzieję liczne czołowe laboratoria AI, najpierw musi opanować gry planszowe. Taki wniosek płynie z niedawnego badania umiejętności podejmowania decyzji przez modele AI, które testowano za pomocą gry w okręty. Celem było znalezienie sposobów, aby modele ostrożniej gospodarowały ograniczonymi zasobami poprzez stosowanie „tanich interwencji" służących pozyskiwaniu informacji, jak określa to badacz Valerio Pepe.

Nauka wymaga podejmowania ogromnej liczby decyzji – naukowcy muszą wybierać, które hipotezy warto badać i które symulacje przeprowadzać. Te wybory decydują o tym, jaką ścieżką podążyć, gdy zasoby potrzebne do eksperymentów są ograniczone. „Można uzyskać tylko pewną ilość danych, ponieważ ich pozyskiwanie jest albo kosztowne, albo czasochłonne" – mówi Pepe, który kierował pracami nad projektem, zanim dołączył do OpenAI. W kwietniu Pepe i jego współpracownicy przedstawili swoje wyniki na Międzynarodowej Konferencji o Reprezentacjach Uczenia (International Conference on Learning Representations), corocznym spotkaniu poświęconym głębokiemu uczeniu w sztucznej inteligencji.

Badacze zaprojektowali kooperacyjną wersję gry w statki, w którą mogli grać zarówno ludzie, jak i systemy AI. W grze jeden członek zespołu tworzył pytania dotyczące rozmieszczenia statków na planszy, a drugi na nie odpowiadał. Wspólnie starali się ustalić położenie ukrytych jednostek i je zatopić. Licząc, ile rund było potrzebnych do zatopienia wszystkich statków, naukowcy mogli porównać wyniki dużych modeli językowych (LLM) między sobą oraz z rezultatami 42 ludzkich uczestników, których zrekrutowali do badania. Początkowo ludzie konsekwentnie wygrywali z mniejszą liczbą ruchów niż Llama-4-Scout, nastawiony na efektywność model AI firmy Meta. GPT-5, najbardziej zaawansowany model OpenAI, osiągał wyniki lepsze zarówno od ludzi, jak i od Llama-4-Scout.

Naukowcy inspirowali się bayesowskim projektowaniem eksperymentów (Bayesian experimental design), w którym proces podejmowania decyzji interpretuje się poprzez szacowanie prawdopodobieństw zdarzeń na podstawie wcześniejszych założeń. Zoptymalizowali swoje modele tak, aby zadawały pytania maksymalizujące zarówno szanse trafnego wykrycia celu, jak i ilość informacji uzyskiwanej przy każdym pytaniu. Modele uczono również planowania o jeden ruch naprzód podczas podejmowania decyzji. Badacze odkryli także, że dokładność wzrastała, jeśli gracze komunikowali się za pomocą fragmentów kodu zamiast języka naturalnego. Dzięki temu podejściu zespołowi udało się doprowadzić do sytuacji, w której Llama-4-Scout wygrywał z GPT-5 przy mniejszej liczbie ruchów w dwóch trzecich przypadków, a koszt działania wynosił około jednej setnej kosztu GPT-5. Średnio model ten potrzebował również o siedem ruchów mniej niż ludzcy uczestnicy badania.

Gra w okręty jest oczywiście znacznie prostsza niż wiele problemów naukowych – na przykład próbek chemicznych czy biologicznych nie da się interpretować tak jednoznacznie, jak plansz do gry. Jednak Pepe uważa, że metody wykorzystywane przez AI w tej grze prawdopodobnie znajdą zastosowanie również w naukowym procesie podejmowania decyzji.

„Te ramy badawcze będą bardzo przydatne do sprawdzania, czy modele językowe rzeczywiście robią postępy" w wyborze spośród wszystkich możliwych hipotez tych, które warto dalej badać – mówi Yuanqi Du, naukowiec zajmujący się zastosowaniami sztucznej inteligencji w chemii, który niedawno uzyskał doktorat na Cornell University i nie brał udziału w badaniu. – Zrozumienie całej przestrzeni hipotez, w której prowadzi się poszukiwania, to najtrudniejsza część". *Peter Hall*

ETOLOGIA

Ramię do zadań specjalnych

Amory ośmiornic są dziwniejsze, niż można by przypuszczać

SEKS OŚMIORNIC OPIERA SIĘ na osobliwej sztuczce anatomicznej. Zamiast penisa samiec ma specjalne ramię kopulacyjne zwane hektokotylusem. Wsuwa je do wnętrza płaszcza samicy – workowatej struktury znajdującej się za oczami, w której mieszczą się wszystkie narządy zwierzęcia, w tym rozrodcze – i bada nim wnętrze, aż odnajdzie jajnik. Następnie przesuwa w dół swojego ramienia pakiet plemników i składa go we właściwym miejscu. Samiec nie widzi jednak tego, co robi. Skąd więc wie, że znalazł odpowiednie miejsce do przekazania plemników? Okazuje się, że odpowiedź tkwi w samym ramieniu.

W badaniu opublikowanym w czasopiśmie „Science" naukowcy wykazali, że ramię kopulacyjne samca kalifornijskiej ośmiornicy dwuplamkowej (*Octopus bimaculoides*) potrafi wyczuwać hormony płciowe wydzielane przez jajowód samicy, czyli przewód prowadzący do jajnika. Chemotaktylne (chemiczno-dotykowe) receptory znajdujące się w przyssawkach ramion ośmiornicy pozwalają im „smakować" otoczenie za pomocą dotyku. Jednak ośmiornice zwykle nie używają hektokotylusa do polowania ani eksplorowania dna morskiego; samce trzymają to ramię blisko ciała, gdy nie odbywają godów. Mimo to przydatek ten, podobnie jak pozostałych siedem

Ilustracja Thomas Fuchs

eprasa.pl 5b4d5e3312

ramion, jest wyposażony w dużą liczbę receptorów, mówi biolog molekularny z Harvard University, Pablo Villar, współautor kierujący badaniem.

Aby zrozumieć przeznaczenie tych receptorów, Villar i jego współpracownicy skłonili do kopulacji w laboratorium parę kalifornijskich ośmiornic dwuplamkowych. Ponieważ ośmiornice potrafią być agresywne, badacze umieścili w akwarium przegrodę z kilkoma niewielkimi otworami, aby zwierzęta mogły najpierw oswoić się ze swoją obecnością. Taki układ może wydawać się mało sprzyjający amorom, ale ku zaskoczeniu naukowców samiec po prostu sięgnął ramieniem przez przegrodę i zabrał się do dzieła. Badacze przeprowadzili ten sam eksperyment z czterema kolejnymi parami i za każdym razem uzyskali identyczny rezultat – nawet w całkowitej ciemności. „Sprawiały wrażenie, jakby było to dla nich całkowicie naturalne" – mówi Villar.

Ośmiornice są zwierzętami silnie polegającymi na wzroku – komunikują się za pomocą postawy ciała i zmian ubarwienia. Jednak te wizualne sygnały najwyraźniej nie są niezbędne podczas godów. „Były w stanie to zrobić bez żadnych wskazówek wzrokowych – mówi Villar. – Wyłącznie poprzez dotyk". On i jego zespół wysunęli hipotezę, że samice muszą wydzielać jakiś sygnał chemiczny, który naprowadza samce.

Odkryli, że jajowód ośmiornicy produkuje enzymy wykorzystywane do wytwarzania hormonu płciowego progesteronu. Hormon ten wydaje się przyciągać hektokotylus. Gdy badacze przymocowali do otworów w przegrodzie rurki, z których każda była pokryta inną substancją chemiczną, samce szybko kierowały się ku tej zawierającej progesteron. Nawet amputowane ramiona kopulacyjne reagowały na progesteron, lecz nie na inne cząsteczki.

Wiele zwierząt w pewnym stopniu polega podczas rozrodu na wykrywaniu hormonów płciowych. Zwykle jednak narząd odbierający te sygnały jest oddzielony od narządu przekazującego plemniki. U samców ośmiornic hektokotylus pełni obie funkcje jednocześnie. Dzięki temu – mówi biolog molekularny Nicholas Bellono, współautor badania i opiekun podoktorski Villara na Harvardzie – można mieć pewność, że miejsce uwolnienia plemników jest tym właściwym".

Samice różnych gatunków ośmiornic mogą mieć odmienne chemiczne sygnatury, a receptory samców być dostrojone do reagowania wyłącznie na odpowiednią kombinację hormonów. Jeśli tak jest, to taki sposób kojarzenia się w pary może pomagać utrzymywać odrębność gatunków, a potencjalnie nawet sprzyjać powstawaniu nowych. „Granice między gatunkami są kształtowane nie tylko przez geny, lecz także przez systemy molekularne decydujące o tym, jak organizmy postrzegają siebie nawzajem – pisze zoolożka Anna Di Cosmo z Università degli Studi di Napoli Federico II w komentarzu towarzyszącym nowemu badaniu. – Zmieniając percepcję, ewolucja wpływa na rozmnażanie, a to z kolei przekształca drzewo życia".

Neurofizjolożka Elena Gracheva z Yale School of Medicine, która nie uczestniczyła w badaniu, uważa, że jest jeszcze zbyt wcześnie, aby stwierdzić, czy wszystkie ośmiornice rozmnażają się w ten sposób i jaką rolę takie systemy sensoryczne mogą odgrywać w ewolucji. Jest jednak pod wrażeniem zakresu badań, które rozpoczęły się od obserwacji zachowania zwierząt w naturalnych warunkach, a następnie doprowadziły do bardzo szczegółowych analiz molekularnych. „Obserwujemy niezwykle wyraziste zachowanie zwierzęcia, a potem schodzimy aż do poziomu pojedynczej cząsteczki, co uważam za piękne – mówi. – Ale powiedziałabym, że to dopiero zaczątek odkrycia". *Cody Cottier*



Ośmiornica kalifornijska dwuplamkowa

Windzepher/Getty Images

eprasa.pl 5b4d5e3312

SEJSMOLOGIA

Lodowe ucho

Najgłębiej umieszczone czujniki na świecie będą nasłuchiwać trzęsień ziemi w dowolnym miejscu naszej planety

NA POWIERZCHNI rozległa pokrywa lodowa Antarktydy wydaje się nieruchoma i niezmienna. Jednak głęboko pod spodem przez lądolód rozchodzą się drgania towarzyszące ruchom płyt tektonicznych, a naukowcy zyskali nowy potężny zestaw narzędzi do wsłuchiwania się w te wibracje. U.S. Geological Survey (USGS), współpracując z IceCube Neutrino Observatory znajdującym się na biegunie południowym, zainstalowała na głębokości 2,5 km pod lodem dwa sejsmometry. To rekordowa głębokość. Instrumenty będą rejestrowały z niespotykaną dotychczas dokładnością wszystkie trzęsienia ziemi o magnitudzie 5 lub większej pojawiające się w dowolnym miejscu planety. Mają pomóc naukowcom w zdobyciu nowych informacji na temat budowy głębszych warstw globu.

Biegun południowy jest jednym z najcichszych miejsc na Ziemi, ponieważ znajduje się tam bardzo niewiele infrastruktury stworzonej przez człowieka i nie ma „szumów" związanych z ruchem obrotowym Ziemi, które mogą zniekształcać dane sejsmiczne. Umieszczone tak głęboko sejsmometry będą również wolne od zmian ciśnienia atmosferycznego także mogących zakłócać zapis urządzeń, mówi geofizyk z USGS Robert Anthony, kierownik projektu Deep Ice Seismometer.

Technicy i naukowcy wydrążyli otwory w lodzie, kierując w jego stronę gorącą wodę pod dużym ciśnieniem. „Takie wiertło wytwarza tyle energii, ile najpotężniejsza lokomotywa parowa, jaką kiedykolwiek zbudowano, i kieruje ją przez szczelinę wielkości jednopensowej monety" – mówi Anthony. Przy tempie wynoszącym około jednego metra na minutę wykonanie całego otworu zajmuje około 50 godzin. Zespół ma kolejne 50 godzin na opuszczenie aparatury pomiarowej, zanim ponownie wytworzy się lód. Aby poradzić sobie z ciśnieniem na głębokości 2,5 km, sejsmometry zamknięto w obudowie ze stali nierdzewnej zaprojektowanej tak, by wytrzymała nacisk około 700 kg/cm^2.



Badacze przewiercili 2,5 km lodu na biegunie południowym, aby zainstalować dwa sejsmometry.

Robert Anthony/USGS

Każdy sejsmometr zawiera niewielkie wahadło zawieszone w polu magnetycznym – gdy do czujnika dociera drganie, mierzy on siłę pola magnetycznego potrzebną do utrzymania wahadła w bezruchu. „Pozwala nam to rejestrować ruchy gruntu o niższych częstotliwościach włącznie z pływami pojawiającymi się w skałach w wyniku grawitacyjnego oddziaływania Słońca, Ziemi i Księżyca" – mówi Anthony. Naukowcy mogą wykorzystać te dane do szybkiego określenia, w jaki sposób przesunął się uskok, generując trzęsienie ziemi. Sejsmometry mogą też pomóc w ustaleniu, czy to przesunięcie skał doprowadziło do powstania tsunami. Zdaniem badaczy stacja na biegunie południowym wypełnia istotną lukę w globalnym systemie monitoringu sejsmicznego ze względu na swoje oddalenie od innych stacji pomiarowych oraz brak zakłóceń wynikających z ruchu wirowego planety.

„Fale sejsmiczne nie tylko wstrząsają powierzchnią globu; one rozchodzą się we wszystkich kierunkach, także w dół" – mówi David Wilson, dyrektor Global Seismographic Network. Sejsmometry umieszczone na dużej głębokości mogą być szczególnie skuteczne w rejestrowaniu fal sejsmicznych o dużej długości wywoływanych przez silne trzęsienia ziemi (o magnitudzie co najmniej 7). „Po takim silnym wstrząsie fale mogą się utrzymywać przez wiele miesięcy, ponieważ energia nie ma gdzie się rozproszyć – mówi Wilson. – Wyobraź sobie, że uderzasz w dzwon. Będzie dzwonił tak długo, aż energia tego uderzenia ulegnie dyssypacji". *Vanessa Bates Ramirez*

eprasa.pl 5b4d5e3312

ZOOLOGIA

Nocna nawigacja

Niektóre mrówki wykorzystują „księżycowy kompas”



Niektóre mrówki wykorzystują do nawigacji pozorny ruch Księżyca po nieboskłonie.

GDY ZACHODZI SŁOŃCE, miliony nocnych mrówek budzą się gotowe do żerowania. Niektóre gatunki poszukują pożywienia przez całą noc, przemieszczając się między gniazdem a źródłem pokarmu, często podążając śladami oznaczonymi zapachem. Naukowcy zakładali, że mrówki buldożnice (*Myrmecia* spp.), zwane też byczymi, które nie polegają głównie na nawigacji zapachowej, muszą budzić się jeszcze przed zmrokiem i wykorzystywać ostatnie światło dnia do odnalezienia drogi do pożywienia. Jednak nowe badanie jednego z gatunków tych mrówek pokazuje, że owady kontynuują nawigację także po zachodzie słońca – wykorzystując wrodzony księżycowy kompas.

Podobnie jak dzienne mrówki podążają za stosunkowo regularnym pozornym ruchem Słońca, tak ten gatunek mrówek byczych przystosował się do pozornej wędrówki Księżyca po nieboskłonie, wynika z badań opublikowanych w czasopiśmie „Current Biology”. Mrówki wykorzystują zjawisko, które badacze nazywają kompensacją czasu (time compensation): śledzą, ile czasu upłynęło od opuszczenia gniazda, aby oszacować, gdzie Księżyc powinien znajdować się na nocnym niebie. Działa to podobnie do sposobu, w jaki dawni ludzcy nawigatorzy wykorzystywali Gwiazdę Polarną.

„Był to obszar, w którym tak naprawdę nie wiedzieliśmy, co się dzieje – mówi główny autor badania, Cody Freas, entomolog z Université Toulouse III we Francji. – Te mrówki korzystają jednocześnie z wielu różnych wskazówek orientacyjnych, co pomaga im w sytuacji, gdy jedna z nich staje się niewiarygodna”.

Badacze chwytali owady w drodze do ich zwyczajowych miejsc żerowania, a następnie część z nich umieszczali w zaciemnionych pojemnikach pozbawionych jakichkolwiek sygnałów środowiskowych pozwalających ocenić upływ czasu. (Pozostałe umieszczano w przezroczystych pojemnikach). Po kilku godzinach naukowcy wypuszczali mrówki w nowym miejscu i obserwowali ich próby odnalezienia drogi do pokarmu. Gdy owady przebywały w ciemności wystarczająco długo, aby Księżyc zdążył znacząco zmienić położenie na niebie, zaczynały zbaczać z właściwej trasy. Sugeruje to, że pozycja Księżyca stanowiła dla nich główną wskazówkę orientacyjną.

„To jest po prostu trochę szalone – mówi Rodolfo da Silva Probst, entomolog z University of California w Davis, który nie brał udziału w badaniu. – Muszą kompensować trajektorię ruchu Księżyca. Sam nie wiem, jak miałyby to zrobić”.

Przypuszcza się, że także inne nocne stworzenia, między innymi zmieraczki plażowe (*Talitrus saltator*) oraz ćmy, wykorzystują położenie Księżyca do orientacji w terenie. Jednak mrówki bycze są pierwszymi zwierzętami, u których odkryto tak złożony, powiązany z upływem czasu sposób nawigacji księżycowej.

Dodatkowo badacze ustalili, że mrówki łączą swój imponujący kompas księżycowy ze wskazówkami pochodzącymi z otoczenia naziemnego oraz ze światła słonecznego o świcie i zmierzchu. Dzięki temu potrafią skutecznie orientować się w terenie nawet wtedy, gdy widoczność Księżyca zmienia się w trakcie miesiąca księżycowego.

Na świecie żyje ponad 12 tys. gatunków mrówek i każdy z nich zachowuje się nieco inaczej. Zdaniem da Silvy Probsta zrozumienie, w jaki sposób jeden gatunek przystosował się do swojej wyjątkowej niszy ekologicznej, może pomóc naukowcom lepiej poznać również inne gatunki. „Być może badając inne nocne mrówki, odkryjemy kolejne mechanizmy” – mówi.

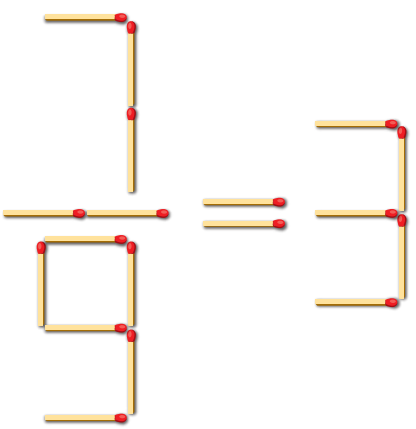
K. R. Callaway

Ajith Gopinath/Getty Images

ZAGADKA MATEMATYCZNA

Popraw równość

Heinrich Hemme



ZMIEŃ POŁOŻENIE tylko dwóch zapałek tak, aby powstała poprawna równość.

Rozwiązanie zagadki na stronie 76.

Spektrum der Wissenschaft

eprasa.pl 5b4d5e3312



1

NAUKA W OBRAZACH

Ewolucyjna pracownia kafelków

Życie nieustannie wykształca te geometryczne wzory



2

PAJĄK LUSTRZANY (*Thwaitesia argentiopunctata*) potrafi błyskawicznie reorganizować mozaikę maleńkich, odbijających światło płytek znajdujących się tuż pod zewnętrzną powierzchnią odwłoka, zmieniając wzór lustrzanych błysków. Podobne układy przypominające kafelki – złożone z płytek połączonych miękkimi spoinami – występują na całym drzewie życia, od pancerzy żółwi po skórki owoców tropikalnych. Naukowcy zgromadzili obecnie 100 przykładów tego wzorca występujących u zwierząt, roślin, mikroorganizmów i wirusów, które opisali na łamach czasopisma „PNAS Nexus".

Współautor badania, biolog Mason Dean z City University of Hong Kong, po raz pierwszy zauważył regularny wzór kafelkowy na skanach mikrotomografii komputerowej szkieletu płaszczki. Zaskoczyło go odkrycie, że to, co wyglądało jak ziarnistość przypominająca piksele, było w rzeczywistości mozaiką maleńkich sześciokątów i pięciokątów stykających się krawędziami na całej powierzchni chrząstki.

Zoolożka Jana Ciecierska-Holmes z Humboldt-Universität zu Berlin, również współautorka pracy, zaczęła poszukiwać kolejnych przykładów takich struktur i ze zdumieniem dostrzegła skomplikowany układ zazębiających się płytek na zewnętrznej powłoce ziaren prosa. Wraz ze współpracownikami postanowiła ustalić, jak rozpowszechnione są tego rodzaju wzory.

Badacze skupili się na prawdziwych teselacjach, czyli układach, w których geometryczne płytki stanowią odrębne elementy konstrukcyjne oddzielone miększymi spoinami. Nie uwzględniali natomiast wzorów wyłącznie wizualnych czy pustych struktur, takich jak umaszczenie zwierząt lub plastry miodu. Aby porównać tego typu systemy u bardzo różnych organizmów, stworzyli schemat opisujący, z czego wykonane są naturalne „kafelki", jaki mają kształt, w jaki sposób są połączone i jaką pełnią funkcję. Wyniki ujawniły uderzające podobieństwa konstrukcyjne między wieloma organizmami, które nie mają wspólnego pochodzenia ewolucyjnego.

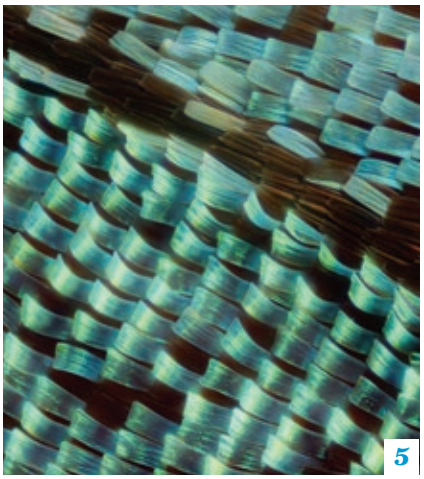
Jak wykazali badacze, chitony wykształciły segmentowe płytki pancerza, podczas gdy rekiny rozwinęły mozaikową chrząstkę – dwa rodzaje struktur kafelkowych, które powstały niezależnie w odległych liniach ewolucyjnych.

Manoj Kumar Tuteja/Getty Images (1); Cavan Images/Alamy (2)

eprasa.pl 5b4d5e3312











Te same struktury kafelkowe połączone miękkimi spoinami występują w całym drzewie życia, między innymi na odwłokach pająków lustrzanych (*1*), płytkach pancerza i obrzeżach pancerza chitonów (*2*), zewnętrznej okrywie owoców salaka *Salacca zalacca* (*3, 4*), łuskach skrzydeł motyli (*5*) oraz kostnych płytkach jaszczurek pancernikowatych (*6, 7*).

Picture Partners/Alamy (3, 4); nevodka/Alamy (5); Nature Picture Library/Alamy (6); Life on white/Alamy (7)

Z kolei mikroskopijne ameby budują architektonicznie podobne osłony ochronne z pozyskiwanych z otoczenia mineralnych płytek. Inne odmiany takich struktur tworzą soczewki oczu owadów lub korkowate wzory płytek u rośliny zwanej stopą słonia (bokarnea odgięta, *Beaucarnea recurvata*). W różnych królestwach organizmów ten sam podstawowy układ pomaga zwierzętom widzieć, poruszać się i chronić swoje ciała.

Powtarzalność tego rozwiązania odzwierciedla sposób, w jaki geometria i proces wzrostu organizmów skłaniają je do przyjmowania podobnej strategii. Na przykład wzory złożone głównie z sześciokątów, takie jak te występujące u rekinów i płaszczek, są klasycznym sposobem efektywnego pokrywania zakrzywionych powierzchni. Dean zwraca również uwagę, że granice między płytkami często pokrywają się z obszarami, w których podczas wzrostu dodawane są nowe komórki, co pozwala tkankom zachować funkcjonalność w miarę powiększania się organizmu. Ponadto połączenie twardych płytek i miększych spoin zapewnia równowagę między sztywnością a elastycznością – dodaje zoolog Stanislav Gorb z Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, który nie brał udziału w badaniu. „Zbyt sztywna struktura dobrze opiera się działającym siłom, ale słabo nadaje się do generowania ruchu” – mówi.

Autorzy mają nadzieję, że ich internetowy katalog stanie się żywym zasobem wiedzy, pomagającym badaczom rozpoznawać takie wzory w organizmach i strukturach, które analizują. „Kiedy zaczyna się zwracać na to uwagę, widzi się je wszędzie” – mówi Dean. Ciecierska-Holmes się z nim zgadza: „Człowiek niejako wkracza do świata teselacji”.

Anirban Mukhopadhyay

eprasa.pl 5b4d5e3312

Skanowanie skały

Złoża rud stają się coraz trudniejsze do znalezienia, więc szuka się nowych metod detekcji, sięgając m.in. po czujniki cząstek subatomowych ADAM BLUESTEIN

DZIAŁAJĄCA OD 1903 ROKU KOPALNIA Kennecott należąca do Rio Tinto, położona niedaleko Salt Lake City, pozostaje jedną z najbardziej wydajnych kopalń na świecie – w ubiegłym roku wydobyto tam 134 tys. ton miedzi, a także znaczne ilości złota, srebra i molibdenu.

Mimo to nie wystarcza to do zaspokojenia popytu. Ceny miedzi i innych kluczowych minerałów osiągnęły w ubiegłym roku rekordowe poziomy z powodu ograniczeń w podaży, dodatkowo zwiększonych przez wojny handlowe. Nic nie wskazuje na to, by sytuacja miała się poprawić. Według J.P. Morgan światowy deficyt rafinowanej miedzi osiągnie w tym roku poziom 330 tys. ton i może wzrosnąć nawet do 8 mln ton do 2035 roku. Organizacja Narodów Zjednoczonych przewiduje, że zapotrzebowanie na minerały krytyczne może do 2030 roku się potroić. Międzynarodowa Agencja Energetyczna szacuje, że aby osiągnąć cele Net Zero 2050, roczna produkcja tych minerałów będzie musiała wzrosnąć sześciokrotnie.

Kopalnia miedzi najwyższej klasy może pozostawać produktywna przez wiele dekad, lecz taka długowieczność ma swoją cenę. Kennecott to najgłębsza kopalnia odkrywkowa na świecie. Jest największym wykopem wykonanym przez człowieka – ma ponad 4 km szerokości i ponad kilometr głębokości. Jej wpływ na środowisko i krajobraz jest ogromny. Ponadto ruda wydobywana dziś w kopalni ma niższą jakość niż dawniej, co oznacza, że górnicy muszą usuwać znacznie więcej skały płonnej, by wydobyć tę samą ilość cennego surowca. Tymczasem poszukiwania nowych złóż utknęły w martwym punkcie; szacuje się, że spośród każdych 1000 perspektywicznych złóż metali szlachetnych mniej niż pięć zmieni się kiedyś w produktywne kopalnie.

Zaspokojenie obecnych i przyszłych niedoborów wymaga jednoczesnego postępu na dwóch frontach: odnajdywania nowych złóż oraz wydajniejszej eksploatacji już istniejących. U podstaw obu tych działań leży potrzeba opracowania narzędzi pozwalających przewidzieć, co znajdziemy, gdy zaczniemy kopać – tzw. inteligencji podpowierzchniowej (subsurface intelligence). Mogłaby ona pozwolić na ograniczenie liczby odwiertów wykonywanych metodą prób i błędów. Istnieje jednak ryzyko, że takie lepsze rozpoznanie może przyspieszyć wydobycie i zwiększyć jego presję na środowisko, która już teraz jest ogromna.

Poszukiwanie minerałów zawsze bazowało na sztuce wnioskowania. Do formułowania prognoz na temat tego, co znajduje się pod ziemią, geolodzy wykorzystują powierzchniowe tropy – wychodnie skalne, próbki gleby, anomalie magnetyczne. Aby zwiększyć skuteczność wykrywania złóż w miejscach wcześniej nierozpoznanych – tam, gdzie nie istnieje jeszcze infrastruktura górnicza – firmy takie, jak Earth AI i KoBold Metals, sięgają po nowatorskie modele sztucznej inteligencji, które analizują dane geologiczne i pomiarowe z wielu dekad. Firmy twierdzą, że wstępne wyniki takich analiz prowadzonych przez AI są obiecujące i doprowadziły już do odkrycia nowych złóż miedzi oraz palladu. Upłynie jednak wiele lat, a często dekad, nim odkryte dziś duże złoże stanie się czynną kopalnią. Według oceny S&P Global obejmującej lata 2002–2023, od odkrycia złoża do rozpoczęcia jego eksploatacji przemysłowej upływało na świecie średnio 15,7 roku, przy czym w USA średni czas to 29 lat.

Ponieważ uruchamianie nowych inwestycji jest takie czasochłonne, firmy wydobywcze testują nowe sposoby powiększania istniejących kopalń odkrywkowych, polegające na schodzeniu pod ziemię i wykorzystaniu metody zawału blokowego (block caving). Jest to brutalna technika, której pojawienie się sprawiło, że potrzeba inteligencji podpowierzchniowej stała się jeszcze pilniejsza. Metoda zawału, coraz częściej stosowana przy wydobyciu miedzi i złota, nadaje się do eksploatacji złóż rud o niższej jakości, które są zorientowane pionowo. Przypomina to trochę odwróconą kopalnię odkrywkową. Inżynierowie drążą tunele, a następnie za pomocą ładunków wybuchowych tworzą pod złożem rudy podkop, formując sztuczną kawernę. Pod tym podkopem wykopywane są wielkie leje skalne zwane lejami wybierowymi (drawbell), których zadaniem jest skierowanie rumoszu skalnego do ładowarek. Po zakończeniu przygotowań z podkopu usuwa się podpory, a wtedy skała powyżej zaczyna pękać i zapadać się pod własnym ciężarem, krusząc samą siebie i opadając do skalnych lejów.

Teoretycznie gdy zawał blokowy zostanie prawidłowo wykonany, nie są już potrzebne żadne dodatkowe detonacje, czy też prace budowlane. W miarę opróżniania lejów rozkruszona ruda osuwa się z „dachu" nad podkopem. Wyobraźmy sobie ziarna kawy wysypujące się z dozownika po otwarciu wąskiego otworu na dole. Usuwanie opadającego materiału skalnego sprawia, że kolejne, coraz wyższe partie złoża zapadają się i wędrują w dół aż do wyczerpania się całości.

Technika zawału jest znacznie tańsza niż inne metody górnictwa podziemnego, częściowo dlatego, że grawitacja pomaga w kruszeniu i przemieszczaniu

Adam Bluestein jest dziennikarzem piszącym o biznesie, nauce i innowacjach m.in. dla „Fast Company" i „Fortune". Mieszka w Nowym Jorku.

Alan Madsen/© Ideon Technologies

eprasa.pl 5b4d5e3312



Detektor mionów firmy Ideon umieszczony w kopalni w Nevadzie tropi ukryte w skałach złoża rud metali.

rudy. Dzięki temu wydobycie rud niższej jakości staje się opłacalne. Ponadto dzięki tej technice znacznie mniej skały płonnej trafia na powierzchnię niż w przypadku kopalni odkrywkowej. Jednakże istnieje też istotne ryzyko, które trzeba brać pod uwagę. Wykonanie dużego systemu zawału blokowego wymaga stworzenia ogromnej podziemnej infrastruktury tuneli, dróg, torów kolejowych, szybów i taśmociągów, co może kosztować ponad 10 mld dolarów. Kopalnie „block cave" są także narażone na katastrofalne w skutkach awarie – zawalenia, gwałtowne podmuchy powietrza oraz nagłe wtargnięcia wody, błota i skał. Aby zapobiec przedwczesnemu zawaleniu się kopalni lub uwięzieniu pracowników, inżynierowie muszą wiedzieć, jakie naprężenia i pęknięcia powstają głęboko w skale. Wymaga to ciągłego i dokładnego monitorowania zmian zachodzących w środowisku, które cały czas samo się niszczy.

W ŚLEDZENIU TEGO PODZIEMNEGO CHAOSU może pomóc promieniowanie kosmiczne. Start-up Ideon Technologies z Kolumbii Brytyjskiej powstał w TRIUMF-ie – kanadyjskim narodowym laboratorium cząstek elementarnych wyposażonym w potężny cyklotron. Firma postawiła na rozwijanie biznesu opartego na tomografii mionowej. Gary Agnew, współzałożyciel i dyrektor generalny spółki, określa tę metodę jako „pierwszą od dekad naprawdę nową technikę geofizyczną".

Miony to cząstki subatomowe powstające wtedy, gdy promieniowanie kosmiczne pochodzące z eksplozji supernowych oddziałuje z materią w górnych warstwach ziemskiej atmosfery. Nieustannie docierają do powierzchni naszej planety, pędząc z prędkością bliską prędkości światła i przenikając w głąb Ziemi na głębokość sięgającą 1,5 km. Co istotne, każdy mion niesie informacje o kierunku, z którego przybywa, i o gęstości materiału, przez który przeniknął. Umieszczając pod ziemią detektory, które rejestrują docierające do nich miony, można uzyskać trójwymiarowy stożkowy obraz skał w doskonałej rozdzielczości.

Agnew posługuje się analogią medyczną. „Idziesz do dentysty na prześwietlenie zęba. Obok twojej głowy znajduje się aparat rentgenowski. W twoich ustach dentysta umieszcza płytkę detekcyjną, dziąsła i zęby blokują promienie rentgenowskie przed dotarciem do tej płytki. Dokładnie tak samo działa tomografia mionowa" — mówi. Z dwiema kluczowymi różnicami: nie wykorzystuje ona promieniowania, a zamiast tworzyć obrazy ludzkiego ciała czujniki Ideon analizują jednocześnie setki milionów metrów sześciennych skał.

Kiedyś takie detektory miały rozmiary pokoju i znajdowały się wyłącznie w rządowych laboratoriach. Ideon zminiaturyzował swoje sensory do średnicy mniej więcej kubka kawy i przystosował do warunków terenowych. „W pewnym sensie uprzemysłowiliśmy fizykę cząstek – mówi Agnew. – Technika używana do znajdowania ukrytych komór w piramidach działa teraz w kopalniach półtora kilometra pod ziemią, w warunkach wysokiego ciśnienia i temperatury."

Takie innowacje sprzętowe są niezbędne do tworzenia lepszych modeli podpowierzchniowych, mówi badaczka Mengli Zhang, dyrektor Center for Geophysics, Energy and Minerals w Colorado School of Mines. „W tym przypadku nawet bardziej niż koszt i wysoka rozdzielczość liczy się to, że czujniki są małe i szybkie i potrafią zebrać wystarczającą ilość informacji, zanim odwiert się zawali."

Tomografia mionowa oferuje rozdzielczość – od około 20 m aż do mniej niż metra – nieosiągalną dla konkurencyjnych technik. Pasywne techniki sejsmiczne mogą sięgać głębiej, ale zazwyczaj oferują rozdzielczość od 50 do 100 m. Wiele innych technik obrazowania podpowierzchniowego ogranicza się do dwóch wymiarów, wskazując jedynie duży obszar pod powierzchnią, w którym mogą znajdować się minerały. Co istotne, podczas gdy inne techniki obrazowania podpowierzchniowego są zakłócane przez hałas działającej kopalni, „mionom to nie przeszkadza", zauważa Agnew.

Ideon integruje pomiary gęstości z detektorów mionowych z danymi grawitacyjnymi, sejsmicznymi, magnetycznymi i pozyskanymi z rdzeni wiertniczych w dynamiczny model Ziemi nazwany platformą Reveal. „Pomiary gęstości tworzą szkielet, a uzupełniające zbiory danych nadają temu obrazowi kolory" – mówi Agnew. Tradycyjnie firma wydobywcza musiała czekać od sześciu do 12 miesięcy na aktualizację jej modelu zasobów, a Reveal na bieżąco uwzględnia nowe informacje.

Aby gromadzić dane, Ideon dostosowuje swój sprzęt do konkretnej sytuacji. W przypadku badań nowych złóż, które nie są jeszcze eksploatowane, opuszcza czujniki do istniejących otworów wiertniczych, gdzie prowadzą one obserwacje w polu widzenia o kącie 120°. W działających kopalniach wykorzystuje płaskie detektory montowane na ścianach tuneli, które dzięki większej powierzchni mogą rejestrować miony od czterech do pięciu razy szybciej niż czujniki umieszczane w odwiertach.

W KOPALNI TYPU „BLOCK CAVE" obrazowanie wykonywane w czasie niemal rzeczywistym eliminuje jeden z najgroźniejszych „martwych punktów". Kopalnia „block cave" nie jest strukturą statyczną – to setki milionów metrów sześciennych ziemi pozostającej w ciągłym ruchu. Ruda zapada się, przemieszcza się i osiada w ciągu wielu miesięcy i lat. Wiedza na temat tego, gdzie zlokalizowany jest „strop" kawerny – górna powierzchnia takiej aktywnej pustki, w jaki sposób przesuwa się materia skalna i czy tworzą się w niej niebezpieczne szczeliny powietrzne, ma kluczowe znaczenie zarówno dla wydajności, jak i bezpieczeństwa wydobycia. Nieregularne kształty stropu mogą powodować nierównomierne zapadanie się skał, co zakłóca produkcję; ukryte za stropem puste przestrzenie mogą generować nagłe, zabójcze podmuchy powietrza.

Możliwość obserwowania zapadania się kawerny pozwala operatorowi kopalni stwierdzić, kiedy złoże rudy jest już niemal wyczerpane i należy rozpocząć

eprasa.pl 5b4d5e3312



Australijska firma Earth AI wykonuje odwierty poszukiwawcze w miejscach wskazanych przez model sztucznej inteligencji.

przygotowania do eksploatacji nowego obszaru. „Obecnie kopalnia tego nie wie – mówi Jef Caers, profesor nauk o Ziemi na Stanford University oraz dyrektor programu Mineral-X. – Zakład wykonuje odwierty od góry, próbując ustalić lokalizacje wolnych przestrzeni powietrznych w skałach". Dokładniejsza technika obrazowania pozwala również namierzać podpowierzchniowe uskoki i tym samym identyfikować niebezpieczne strefy naprężeń, nim wywołają one niewielkie trzęsienia ziemi, które potrafią wstrzymać działalność kopalni na wiele miesięcy. „Gdy zaczynasz modyfikować naprężenia w skale, pośrednio wpływasz również na naprężenia panujące na powierzchni uskoku – tłumaczy Caers. – Ale w kopalniach minerałów nikt nie ma pojęcia, gdzie znajdują się uskoki. Ludzie po prostu czekają, co się zdarzy".

Konsekwencje niewiedzy mogą być poważne. We wrześniu ubiegłego roku osuwisko błotne w kopalni Grasberg Block Cave w indonezyjskiej prowincji Papua – największej podziemnej kopalni typu block cave i drugiej co do wielkości kopalni miedzi na świecie – zabiło siedmiu pracowników. Firma Freeport-McMoRan z Phoenix, która eksploatuje kopalnię, oceniła, że przyczyną katastrofy było nierównomierne zapadnięcie się skał, które uruchomiło falę błota i kamieni. Choć technika mionowa Ideonu znajdowała się dopiero w fazie pilotażu w tej kopalni, tragedia dokładnie pokazała, przed jakiego rodzaju niewidocznymi zagrożeniami mogą ostrzegać czujniki. Właściciel kopalni poinformował, że zamierza zainstalować rozszerzoną sieć detektorów mionowych, by poznać rzeczywisty kształt kawerny i mieć pewność, że skała ustabilizowała się, zanim do kopalni powrócą pracownicy.

Zeszłej jesieni Ideon podpisał pięcioletnią umowę partnerską z Rio Tinto dotyczącą wdrożenia tomografii mionowej w sześciu największych zakładach firmy, po udanej demonstracji w kopalni Kennecott, gdzie Rio Tinto uruchamia obecnie nowe operacje podziemne. Agnew twierdzi, że w Kennecott detektory mionowe pomogły w rozwiązaniu dwóch różnych problemów. Po pierwsze, zredukowały błędy w szacowaniu bieżącego poziomu wydobycia powodujące nieoczekiwane zatory – wstrzymujące pracę ciężarówek i taśmociągów transportujących rudę na powierzchnię. Po drugie, dzięki mionom namierzono w skałach puste przestrzenie pozostałe po trwającej od ponad 100 lat »rzemieślniczej« działalności wydobywczej. Taka wiedza pozwala operatorom planować działania z uwzględnieniem pustych przestrzeni. To o wiele lepsze niż natknięcie się na nie w połowie pracy" – mówi Agnew.

Agnew twierdzi, że taki postęp w kwestii możliwości obserwacji był od dawna potrzebny. „Kiedy przyjrzymy wydobyciu ropy i gazu z końca lat 90., zobaczymy, że wyglądało ono trochę jak obecnie górnictwo metali – mówi. – Działało się w warunkach sporej niepewności. W ciągu kolejnych trzech dekad pojawiły się firmy oferujące modele i techniki probabilistyczne – i to całkowicie odmieniło sposób, w jaki sektor ropy i gazu poszukuje zasobów i je wydobywa".

W przeszłości górnictwo minerałów nie doświadczało tak gwałtownego wzrostu popytu, jaki był udziałem górnictwa ropy i gazy, co zmusiło ten sektor do wdrażania innowacji. Teraz jednak – jak zauważa Agnew – wyścig po minerały krytyczne będzie miał taki sam efekt. „Ceny większości głównych surowców osiągają rekordowe poziomy i będą rosły."

Dokładniejsze mapy podpowierzchniowe mogą zmienić sposób wydobycia minerałów – usprawnić odkrywanie nowych zasobów, pomóc w unikaniu nieprzyjemnych niespodzianek pod ziemią i ograniczyć skalę destrukcji na powierzchni, w porównaniu z tym, co robią odkrywkowe giganty. Jednak te narzędzia nie zahamują tempa wydobycia, bo popyt rośnie. „Wierzę, że Ziemia może znieść kilka chirurgicznych ingerencji związanych z górnictwem ze względu na to, co dzięki temu zyskujemy" – mówi Agnew. ■

Earth AI, MLD

eprasa.pl 5b4d5e3312



Widoczne uszkodzenia po uderzeniu na irańską bazę morską w Konaraku, zarejestrowane 1 marca przez komercyjnego satelitę.

Planet Labs PBC

Wojna na widoku

Niemal natychmiastowy dostęp do zdjęć satelitarnych oznacza, że armie nie mogą się już ukrywać. Dlatego uczą się lepiej kłamać

SARAH SCOLES

DZIEŃ PO TYM, JAK STANY ZJEDNOCZONE I IZRAEL rozpoczęły obecną wojnę z Iranem, firma satelitarna Planet Labs rozesłała komunikat prasowy. „Udostępniamy pierwszą partię obszarów dotkniętych nalotami" – głosił. Planet obsługuje konstelację około 200 satelitów, które razem mogą codziennie wykonywać zdjęcia dużej części Ziemi – w tym jej pogrążonych w chaosie regionów. Komunikat zawierał link do wykonanych tego dnia zdjęć zawalonych tuneli w bazie rakietowej oraz dymu unoszącego się nad obiektem marynarki wojennej.

Jak pokazuje wiadomość firmy Planet, rządy, dziennikarze i zwykli obserwatorzy mogą dziś zobaczyć, co dzieje się na świecie, niemal natychmiast po wydarzeniach – dzięki infrastrukturze znajdującej się w kosmosie. Ta stosunkowo nowa możliwość jest rezultatem gwałtownego rozwoju satelitów „teledetekcyjnych", takich jak te należące do Planet, które nieustannie obserwują Ziemię z góry.

Setki satelitów teledetekcyjnych firmy Planet Labs dzielą niebo z setkami innych, a razem popychają nas ku temu, co nazwano osobliwością GEOINT (Geospatial Intelligence, wywiad geoprzestrzenny): dostępności w czasie rzeczywistym geoprzestrzennych danych wywiadowczych dla przeciętnego człowieka, który będzie mógł zobaczyć nie tylko to, jak wygląda świat, lecz także jak się zmienia. Nie osiągnięto jeszcze punktu zwrotnego, ale samo zbliżanie się do niego na zawsze zmieniło sposób prowadzenia wojen.

Rząd USA prowadził program satelitów szpiegowskich już od końca lat 50., lecz dopiero w 1992 roku prywatne firmy otrzymały zgodę na eksploatację własnych satelitów. Dziś komercyjne satelity teledetekcyjne są wszechobecne. Igor

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

eprasa.pl 5b4d5e3312

Morić z Princeton University, którego badania obejmują wykorzystanie satelitów do kontroli zbrojeń, oblicza, że dzięki połączonym możliwościom tworzą one „superkonstelację", zdolną fotografować każdy punkt na planecie co kilka godzin.

Jednymi z najostrzej widzących „oczu" na niebie dysponuje firma Vantor, której satelity potrafią rozróżniać z orbity obiekty wielkości kuchennej deski do krojenia. Dziesięć satelitów tej firmy nie może pokryć całego globu, tak jak setki satelitów Planet, ale mogą one wracać nad priorytetowe miejsca 15 razy dziennie i dostarczać zdjęcia nawet w ciągu 15 minut. Vantor wykorzystuje również swoje dane do tworzenia dwu- i trójwymiarowych map większości świata, aktualizowanych tego samego dnia, w którym napływają nowe dane wywiadowcze.

Rządy USA i państw sojuszniczych, z którymi współpracuje Vantor, dążą do tego, co dyrektor generalny Dan Smoot nazywa „żyjącym globem". „Chcieliby widzieć obraz świata aktualizowany w czasie rzeczywistym i obserwować wszystko, co się w nim zmienia" – mówi. Ale prywatne satelity nie tylko wykonują zdjęcia: potrafią wykrywać fale różnej długości i przenosić instrumenty takie, jak radar czy urządzenia przechwytujące transmisje radiowe, oferując szybko odświeżany obraz planety wykraczający poza możliwości ludzkiego wzroku.

Jedną z firm pracujących z tymi niewizualnymi sygnałami jest HawkEye 360, która wykorzystuje 30 satelitów do wykrywania i lokalizowania transmisji radiowych. Może ona ponownie odwiedzać większość miejsc mniej więcej co godzinę. „To jeden z tych sposobów detekcji, przed którymi nie da się całkowicie ukryć" – mówi Todd Probert, dyrektor operacyjny HawkEye. Jest to szczególnie użyteczne przy śledzeniu statków, czym wiele osób interesowało się w przypadku Cieśniny Ormuz, gdzie konflikt z Iranem utrudnił transport ropy.

Statki chcące stać się niewidzialne mogą wyłączać swoje automatyczne systemy identyfikacyjne albo fałszować pozycję GPS tak, że – magia! – wydają się znajdować gdzie indziej. Ale nie są w stanie ukryć wszystkich transmisji radiowych, takich jak sygnały emitowane przez systemy radarowe.

Satelity HawkEye mogą wychwycić te sygnały i metodą triangulacji określić pozycję nadawcy – a następnie, być może z pomocą satelitów wykonujących zdjęcia, potwierdzić, kto naprawdę nim jest. Satelity HawkEye potrafią również wykrywać zakłócanie sygnału GPS, pokazując wojskowym, gdzie ktoś zagłusza lub fałszuje sygnał, by uczynić tradycyjne systemy lokalizacji i nawigacji niewiarygodnymi.

Przy tak wielu rodzajach satelitów znacznie trudniejsze stało się ukrywanie działań wojskowych prowadzonych na powierzchni. Schowanie się pod ziemię pozwala ukryć część aktywności, ale trudno prowadzić całą wojnę z bunkra.

Jak pokazuje komunikat prasowy firmy Planet, dane satelitarne dostępne niemal w czasie rzeczywistym pozwalają rządom chwalić się swoimi niszczycielskimi sukcesami; jednocześnie informacje te utrudniają zaprzeczanie faktom. W napiętych, lecz nominalnie pokojowych czasach satelity mogą zapobiegać eskalacji konfliktów, łagodząc obawy przed nadchodzącym atakiem. Morić opowiada się na przykład za wykorzystywaniem danych satelitarnych do weryfikowania przestrzegania traktatów nuklearnych – jeśli nadal będą obowiązywać – poprzez liczenie rakiet na zdjęciach wykonywanych z orbity.

Ale paradoksalnie zbyt duża przejrzystość może być niebezpieczna – ostrzega Morić. Odstraszanie nuklearne opiera się bowiem na przekonaniu obu stron, że są zdolne wzajemnie się zniszczyć. Jeśli jednak USA miałyby aktualne informacje na temat na przykład lokalizacji mobilnych chińskich wyrzutni rakietowych, taka widoczność mogłaby podważyć zdolność Chin do odwetu. A ta podatność osłabia logikę wzajemnego gwarantowanego zniszczenia i mogłaby zwiększyć prawdopodobieństwo użycia broni jądrowej.

Satelity pozwalają również państwom komunikować się bez słów. Wiedząc, że satelity obserwują sytuację, Rosja niedawno zaprezentowała nowy bombowiec, pozostawiając go tak długo w otwartej przestrzeni, by amerykańskie satelity mogły mu się dokładnie przyjrzeć, twierdzi Morić. Ale pewne rzeczy w życiu są nieuniknione: śmierć, podatki i pragnienie armii, by oszukiwać swoich przeciwników. Tak więc nawet gdy Ziemia zbliża się do osobliwości GEOINT, prawda i przejrzystość nie zawsze zwyciężają.

Przede wszystkim prawdziwe obrazy cyfrowe można modyfikować za pomocą sztucznej inteligencji albo całkowicie je fałszować. Oszustwo może mieć również charakter analogowy: Rosja i Ukraina wykorzystywały fałszywy sprzęt wojskowy – na przykład dmuchane i drewniane czołgi – by zmylić czujniki. Rosja malowała też dokładne sylwetki swoich bombowców na pasach startowych.

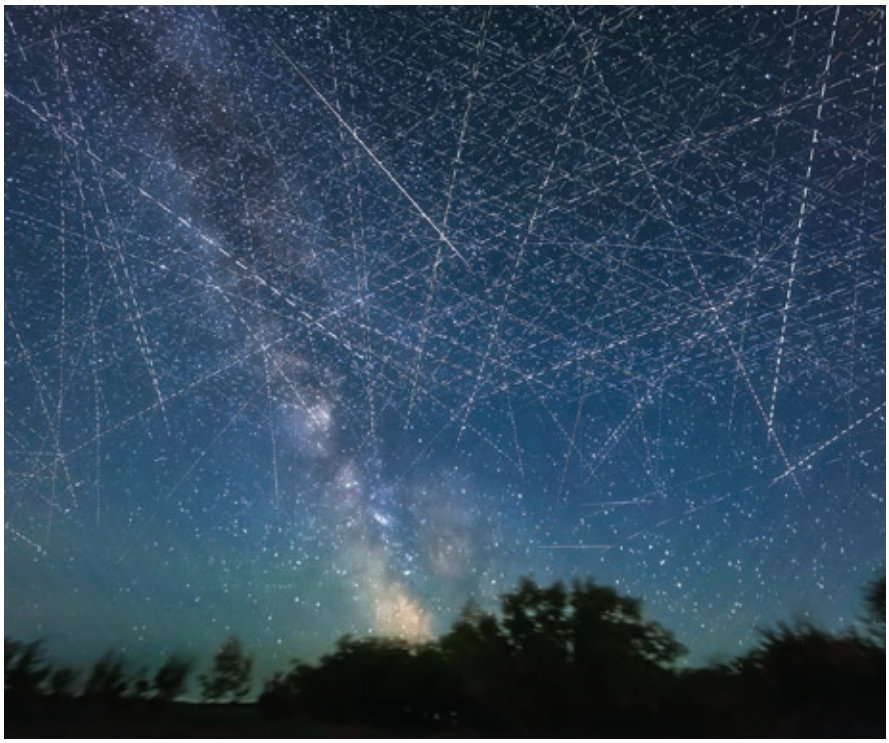
Prawda więc nie jest tak oczywista. I podobnie jest z dostępem do niej: prywatne firmy satelitarne nie mają obowiązku szybkiego udostępniania swoich danych; ich decyzje dotyczące tego, kiedy, jak i komu je przekazywać, czynią z nich graczy geopolitycznych. Planet – firma, która rozsyłała komunikaty prasowe po nalotach na początku wojny z Iranem – ogłosiła na przykład, że opóźni publikację zdjęć z niektórych obszarów Bliskiego Wschodu o 14 dni.

Planet nie ma monopolu na zdjęcia satelitarne, podobnie jak nie mają go Stany Zjednoczone, więc takie opóźnienie nie oznacza, że nikt nie może zobaczyć, co się dzieje. Ale możliwość selektywnego ograniczania dostępu do rzeczywistego obrazu sytuacji może mieć bardzo realne konsekwencje. Na przykład „New York Times" potwierdził omyłkowy amerykański atak na irańską szkołę podstawową właśnie dzięki zdjęciom satelitarnym. Bez dostępu do tych obrazów świat mógłby żyć w niepewności albo być zmuszony ważyć sprzeczne relacje rządów mających wszelkie powody, by przedstawiać wydarzenia w korzystnym dla siebie świetle.

Okazuje się więc, że jeśli chodzi o przemysł satelitarny i spełnienie ostatecznej obietnicy osobliwości GEOINT, główną przeszkodą nie jest technika. Są nią ludzie – i ich nieustanne pragnienie tajemnic – wzajemnego się oszukiwania. ■

Nawet gdy Ziemia zbliża się do osobliwości GEOINT, prawda i przejrzystość nie zawsze zwyciężają.

eprasa.pl 5b4d5e3312



Ślady świetlne pozostawione przez krążące na niskiej orbicie okołoziemskiej satelity przecinają niebo na kompozytowej fotografii wykonanej przy czasie naświetlania 30 minut.

Alan Dyer/VWPics/Alamy

Inwazja fałszywych gwiazd

Chmary satelitów mogą zniszczyć nasz widok sfery niebieskiej i poważnie zaszkodzić naszej planecie

PHIL PLAIT

PAMIĘTAM, KIEDY PO RAZ PIERWSZY zobaczyłem satelitę. Byłem wówczas nastolatkiem, stałem na swoim podwórku na przedmieściach, gdzie zanieczyszczenie światłem było znikome, i jak zwykle obserwowałem gwiazdy. Ów satelita był słabo widoczną „gwiazdą" przesuwającą się powoli i płynnie po niebie, a gdy na niego patrzyłem, czułem mieszankę podziwu i zdumienia, że coś takiego da się zobaczyć gołym okiem – oraz że ludzie w ogóle potrafią umieścić jakiś obiekt na orbicie.

Było to dawno temu i teraz wspominam ten wieczór bardziej z niepokojem niż z nostalgią – moja młodzieńcza naiwność wydaje mi się wręcz żenująca.

To dlatego, że dzisiaj widok któregokolwiek z tych niebiańskich podróżników napawa mnie raczej strachem. Żyjemy w erze konstelacji satelitarnych – zbiorowisk liczących dziesiątki podobnych satelitów – i wkraczamy w erę megakonstelacji, w której na niebie roją się skupiska tysięcy satelitów. Grupy te miały początkowo niewielką liczebność, lecz gdy niczym epidemia wirusa niemal niezauważalnie się rozrosły – mamy teraz do czynienia wręcz z pandemią.

Poruszyłem ten temat w maju 2023 roku [„Świat Nauki", 06/23]. W tamtym czasie wokół Ziemi krążyło 7500 czynnych satelitów, z czego około 4000 stanowiły satelity Starlink firmy SpaceX zapewniające dostęp do Internetu. W ciągu trzech kolejnych lat liczba wystrzelonych satelitów Starlink przekroczyła 10 tys. Obecnie na orbicie znajduje się więcej satelitów Starlink niż wszystkich pozostałych eksploatowanych satelitów łącznie. Proporcja ta prawie na pewno zmieni się jeszcze na korzyść Starlink; w 2019 roku, kiedy wystrzelono pierwsze satelity Starlink, firma złożyła do Federalnej Komisji Łączności wniosek o zezwolenie na umieszczenie na orbicie nawet 30 tys. kolejnych satelitów.

Czy coś w tym złego? Cóż, może nadejść dzień, i to rychło, kiedy będziemy tęsknić za czasami, gdy tak niewiele satelitów zaśmiecało niebo. 30 stycznia 2026 roku firma SpaceX złożyła wniosek o pozwolenie wystrzelenia aż miliona kolejnych satelitów.

Tak – miliona.

Plan SpaceX zakłada, że ta rozległa megakonstelacja utworzy rozproszoną sieć działającą jako orbitalne centrum danych, analogiczne do naziemnych centrów danych, które służą do przetwarzania informacji w Internecie. Sprzęt o wielkiej mocy obliczeniowej umieszczany w ogromnych halach, zastąpiłyby satelity na orbicie – każdy wykonywałby niewielką część obliczeń, a następnie przesyłałby wyniki na Ziemię.

W teorii pozwoliłoby to częściowo zaspokoić olbrzymie zapotrzebowanie na energię i zmniejszyć wpływ na środowisko centrów naziemnych. W 2023 roku centra danych w samych Stanach Zjednoczonych wykorzystały zawrotne 176 mln megawatogodzin energii – nieco ponad 4% rocznego zużycia energii elektrycznej w całym kraju i wystarczająco dużo, by zaspokoić roczne zapotrzebowanie 16 mln gospodarstw domowych.

Wiele z tych centrów jest zasilanych paliwami kopalnymi, które powodują emisję gazów cieplarnianych do atmosfery, pogłębiając globalne ocieplenie. Wymagają one również chłodzenia, do którego zazwyczaj potrzeba ogromnych ilości wody. A wraz z gwałtownym wzrostem wykorzystania wymagającej dużej mocy obliczeniowej sztucznej inteligencji

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

eprasa.pl 5b4d5e3312

wzrośnie również zapotrzebowanie na energię – a tym samym zwiększą się i potencjalne szkody dla środowiska.

Według SpaceX przeniesienie większości obliczeń na orbitę stanowi sposób na wyjście z tego błędnego koła. I jest w tym odrobina racji – satelity będą zasilane energią słoneczną, co zmniejszy zapotrzebowanie na energię elektryczną na Ziemi. Nie będą potrzebowały wody do chłodzenia rozgrzanych chipów, wykorzystując do odprowadzania ciepła duże radiatory – jest to metoda wolniejsza i mniej wydajna, lecz najlepsza z dostępnych w warunkach niemal doskonałej próżni kosmicznej. Obecnie używane satelity Starlink są chłodzone właśnie w ten sposób, a obciążenie cieplne satelity używanego do przetwarzania danych byłoby mniej więcej takie samo, jak w przypadku satelity zapewniającego dostęp do Internetu, więc problem ten nie jest tak poważny, jak się wielu ludziom wydaje.

Jeśli zatem nie zagłębiamy się zbytnio w tę kwestię, olbrzymie orbitalne centra danych mogą wydawać się sensownym rozwiązaniem. Jednak po bliższym przyjrzeniu się widać, jak fatalne jest ono faktycznie.

Po pierwsze, satelity te muszą znaleźć się w kosmosie. Jak wskazuje astrofizyk Jonathan McDowell, mój przyjaciel i współpracownik, firma SpaceX utrzymuje, że rakieta Starship (po przejściu testów) będzie w stanie wynieść 150 t na niską orbitę okołoziemską, istnieją jednak uzasadnione powody, by sądzić, że jej rzeczywista zdolność operacyjna kształtować się będzie gdzieś w okolicy 100 t. Przy założeniu, że wszystkie satelity trafią faktycznie na niską orbitę okołoziemską (chociaż wiele z nich bez wątpienia będzie musiało wznieść się wyżej) i że każdy satelita waży dwie tony, Starship może wystrzelić około 50 z nich naraz – zatem na utworzenie takiej megakonstelacji nawet w optymalnych warunkach będzie potrzebne jakieś 20 tys. startów.

Co gorsza, satelity te ulegną awarii po kilku latach i trzeba będzie je wymienić. Ostatecznie utrzymanie tej hipotetycznej megakonstelacji składającej się z miliona satelitów może wymagać około 10 startów rakiety Starship dziennie – i to bez końca.

Konsekwencje dla środowiska nie byłyby drobnostką. Na przykład pojedynczy start Starship powoduje emisję równoważną 76 tys. ton dwutlenku węgla – jeśli pominąć kwestie zanieczyszczenia hałasem i potencjalnych szkód dla przyrody. Wpływ 20 tys. startów byłby ogromny, w tym i na kluczową dla życia na Ziemi warstwę ozonową. Ogniste powroty satelitów do atmosfery również byłyby źródłem zanieczyszczenia, wprowadzając znaczne ilości odparowanego metalu i plastiku do wrażliwej górnej warstwy atmosfery naszej planety. Codziennie co najmniej jeden satelita Starlink spala się już w ten sposób – sądząc po tym, kiedy satelity te zaczęły wchodzić na orbitę oraz planowanych cyklach ich wymiany – a orbitalne centra danych radykalnie zwiększyłyby liczbę tych satelitarnych powrotów.

Jak gdyby tego było mało, rozmnożenie się megakonstelacji niesie ze sobą również ryzyko dla samego środowiska orbitalnego. Liczba satelitów znajdujących się już na orbicie jest znaczna, lecz liczba planowanych jest tak ogromna, że zarządzanie ruchem kosmicznym w celu uniknięcia kolizji stałoby się jeszcze trudniejszym zadaniem. Pojedyncza kolizja na orbicie może mieć katastrofalne skutki – satelity te poruszają się z prędkością wielokrotnie większą niż kula karabinowa, a bezpośrednie uderzenie choćby jednego z nich tworzy chmurę odłamków, które rozlatują się na wszystkie strony, uderzając w inne satelity i tworząc jeszcze więcej odłamków, co inicjuje gwałtowną kaskadę zwaną syndromem Kesslera. Uruchomienie tej sekwencji wydarzeń jest już teraz realnym zagrożeniem, pomimo iż naturalne zejścia z orbity z czasem „oczyszczają" niską orbitę okołoziemską. Zwiększenie liczby satelitów kilka tysięcy razy może sprawić, że zagrożenie to przybierze apokaliptyczne rozmiary.

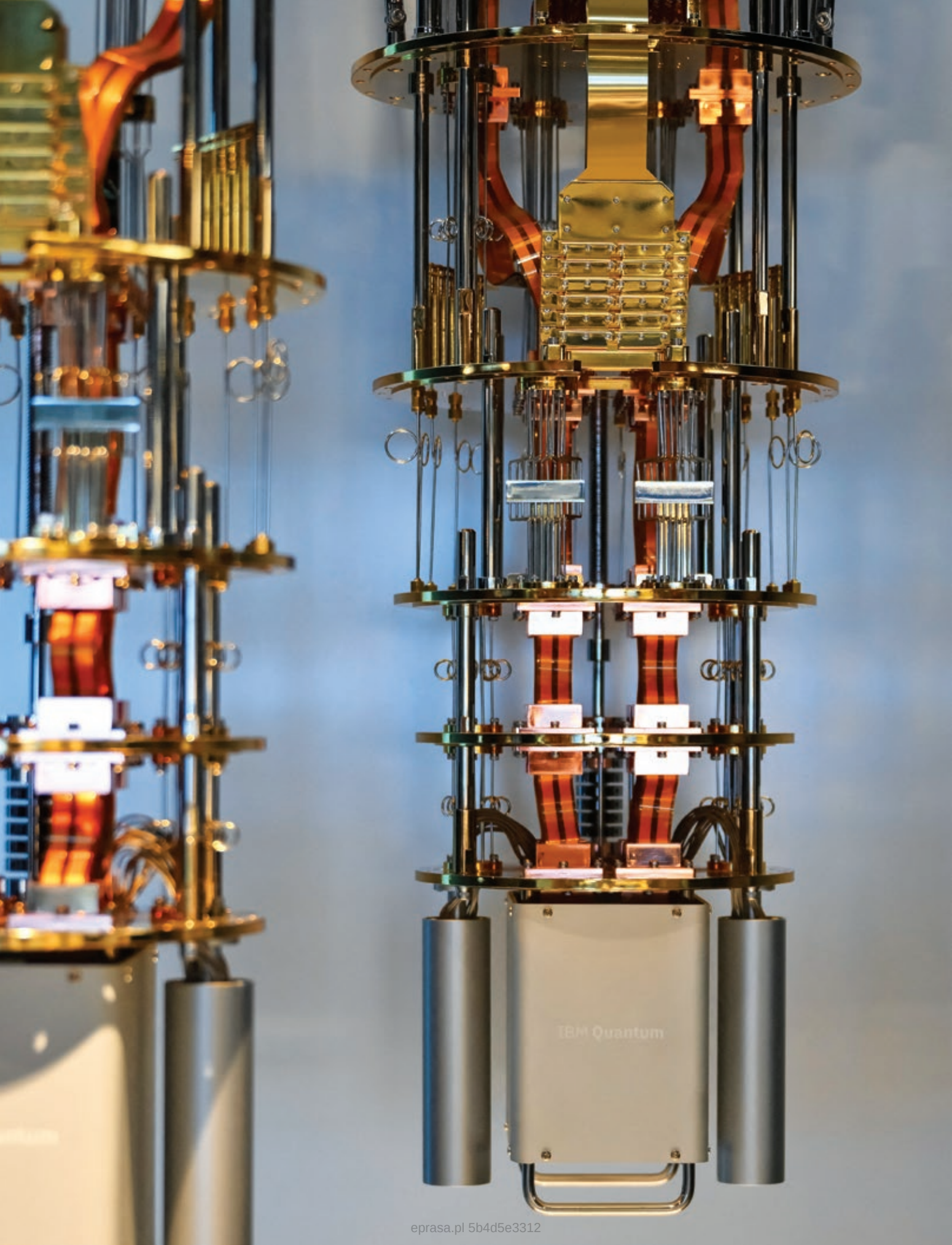
Jako astronom nie mogę się nie martwić, jaki to będzie miało wpływ na moją ukochaną dziedzinę. Badania opublikowane w grudniu ubiegłego roku w „Nature" wykazały, że gdyby na orbicie znajdowało się mniej więcej pół miliona satelitów, co najmniej jeden z nich zakłócałby praktycznie każdą obserwację dokonywaną przez teleskop Hubble'a. Teleskopy naziemne już teraz odczuwają poważne skutki tego zjawiska. Odparowane szczątki powstałe w wyniku ponownego wejścia satelitów w atmosferę również przyczyniają się do rozjaśnienia poświaty nieba, upośledzając obserwacje słabo świecących ciał kosmicznych. Utrudnione jest nawet zwykłe obserwowanie gwiazd z własnego podwórka. Bardzo realnie, wystrzeliwując tak wiele satelitów, ryzykujemy utratę nieba jako takiego dla nas, dla ludzi.

A musimy mieć na uwadze, że SpaceX nie jest jedynym producentem satelitów tłoczących się na niebie. Chiny złożyły wniosek o pozwolenie na wystrzelenie 200 tys. satelitów na potrzeby własnej sieci. Inne kraje i firmy bez wątpienia pójdą w ich ślady; Amazon i Blue Origin już planują wystrzelenie po kilka tysięcy satelitów. Jeszcze bardziej niepokoją zamiary nowej firmy o nazwie Reflect Orbital, która chce umieścić na orbicie tysiące gigantycznych zwierciadeł kosmicznych, aby zapewnić „światło słoneczne na żądanie" w dowolnym miejscu na Ziemi. Ich blask byłby znacznie silniejszy niż Księżyca w pełni i nawet gdyby były precyzyjnie wycelowane, odbite światło rozpraszałoby się w atmosferze poza obręb wiązki, zakłócając życie dzikich zwierząt i doszczętnie niszcząc to, co pozostało z naturalnego piękna nieba, poprzez pozbawienie nas widoku gwiazd. Te zwierciadła to wyjątkowo fatalny pomysł.

W ciągu około trzech lat liczba wystrzelonych satelitów Starlink wzrosła od około 4000 do ponad 10 tys.

W gruncie rzeczy można dostrzec tu jeden wspólny motyw. Nawet jeśli zignorujemy głęboko niepokojące skutki dla środowiska i zanieczyszczenie światłem wynikające z tych wszystkich startów i powrotów na Ziemię, będziemy mieli do czynienia z jeszcze jedną konsekwencją. Nasze nocne niebo – a jest ono nasze w pełnym tego słowa znaczeniu – to istny cud przyrody, kosmiczny rezerwat, który musimy chronić dla przyszłych pokoleń, a nie traktować jak towar, z którym można robić, co się komu podoba. Bezrefleksyjna eksploatacja nieba nad naszymi głowami stanowi realne zagrożenie dla nas wszystkich. ■

eprasa.pl 5b4d5e3312



eprasa.pl 5b4d5e3312



Angela Weiss/AFP/Getty Images

KWANTOWA REWOLUCJA

Czy komputery oparte na fizyce kwantowej zmienią świat?

ADAM BECKER

WEWNĄTRZ NISKIEGO BUDYNKU w kompleksie biurowym niedaleko południowo-wschodniego krańca Zatoki San Francisco stoi grupa skąpanych w niebieskim świetle białych zbiorników. Wewnątrz znajdują się zestawy nadprzewodzących obwodów wytrawionych na chipach, wszystkie zawieszone na złotych konstrukcjach przypominających żyrandole i chłodzone ciekłym helem oraz ciekłym azotem. Nadprzewodzące chipy są wytwarzane w sąsiednim pomieszczeniu czystym, gdzie osoby ubrane w białe kombinezony pracują przy maszynach wielkości pokoju, dygestoriach i kąpielach kwasowych. Cały ten obiekt – chipy, zbiorniki, clean room oraz ogromne zapasy ciekłego azotu za budynkiem – służy realizacji jednego marzenia: komputerów kwantowych.

IBM Quantum System Two, modułowy komputer kwantowy, zaprezentowany w 2025 roku w IBM Thomas J. Watson Research Center w Yorktown Heights w stanie Nowy Jork.

sprasa.pl 6b4d5a3312

Opisane miejsce jest głównym zakładem produkcyjnym kalifornijskiej firmy Rigetti Computing zajmującej się komputerami kwantowymi; każdy zbiornik chłodniczy zawiera jeden z najnowocześniejszych kwantowych procesorów tej firmy. Eksperci mają nadzieję, że pewnego dnia komputery kwantowe będą wykonywać pewne rodzaje obliczeń rzędy wielkości szybciej niż wszechobecne dziś komputery klasyczne. „Mówimy o milionie, a nawet miliardzie razy większej szybkości przy bardzo, bardzo małym ułamku zużycia energii – mówi mi dyrektor generalny Rigetti, Subodh Kulkarni. – Na tym polega piękno komputerów kwantowych. Niewykluczone, że za ich pomocą da się rozwiązywać problemy, które dziś są nierozwiązywalne".

Rigetti jest tylko jedną z dziesiątek firm liczących na wykorzystanie tych możliwości. W ciągu ostatnich 20 lat zarówno start-upy, takie jak Rigetti, jak i giganci pokroju IBM czy Google, zainwestowali ogromne środki w komputery kwantowe – tylko w 2023 roku fundusze venture capital przeznaczyły na ten cel 1,2 mld dolarów. Jest to także jeden z głównych obszarów badań na uniwersytetach i w laboratoriach rządowych na całym świecie. Wszyscy gonią za tym samym marzeniem, choć szczegóły tego marzenia zależą od tego, kogo zapytamy. Inwestorzy venture capital i lobbyści z Doliny Krzemowej obiecują, że komputery kwantowe „doładują" sztuczną inteligencję albo vice versa, lecz eksperci podchodzą do tych twierdzeń sceptycznie. Niektórzy, w tym Kulkarni, mówią o rewolucji w odkrywaniu leków, prognozowaniu pogody i sektorze finansowym. Rządy z kolei liczą na obiecywaną zdolność komputerów kwantowych do łamania szyfrów, które dotąd uznawano za niemożliwe do złamania.

Żadna z tych prognoz nie jest jednak pewna. Komputery kwantowe znajdują się obecnie w decydującym momencie swojej historii. Naukowcy mają nadzieję, że w ciągu najbliższych kilku dekad nauczą się skalować współczesne systemy kwantowe do rozmiarów niezbędnych do osiągnięcia rzeczywistych przełomów i ostatecznego pokonania klasycznych maszyn w użytecznych zadaniach. Jeśli to się uda, komputery kwantowe mogą zmienić świat na wiele sposobów. Na drodze stoi jednak mnóstwo przeszkód, a dopóki nie zostaną one pokonane, nie będziemy wiedzieli, do czego te maszyny są naprawdę zdolne.

Adam Becker jest dziennikarzem naukowym i doktorem astrofizyki (doktorat na Uniwersity of Michigan). Ostatnio napisał książkę *More Everything Forever: AI Overlords, Space Empires, and Silicon Valley's Crusade to Control the Fate of Humanity* (Basic Books, 2025). Prowadzi podcast „Dreaming against the Machine".

Wykorzystujący kubity nadprzewodzące komputer kwantowy firmy Rigetti pokazany na Nvidia GPU Technology Conference w Waszyngtonie w 2025 roku.

Kent Nishimura/Bloomberg/Getty Images

Czym właściwie jest komputer kwantowy? Kusi, by powiedzieć, że jest to komputer działający zgodnie z zasadami fizyki kwantowej. Ale taka definicja nie wystarcza – fizyka kwantowa rządzi zachowaniem całej materii, więc według tego kryterium wszystkie komputery byłyby komputerami kwantowymi. Podobnie nie wystarczy stwierdzenie, że komputer kwantowy to komputer wykorzystujący zjawiska kwantowe podczas działania. Niemal wszystkie współczesne komputery pracują dzięki krzemowym tranzystorom, których funkcjonowanie możemy zrozumieć wyłącznie poprzez fizykę kwantową.

Aby naprawdę odpowiedzieć na pytanie, co sprawia, że komputery kwantowe są kwantowe – i dlaczego tak trudno je zbudować – musimy porozmawiać o kocie Schrödingera. W oryginalnym eksperymencie myślowym opracowanym w latach 30. XX wieku przez Erwina Schrödingera, jednego z twórców mechaniki kwantowej, słynny kot zostaje zamknięty w pudełku wraz z bryłką promieniotwórczego metalu, fiolką trucizny oraz urządzeniem, które rozbije fiolkę, jeśli wykryje promieniowanie emitowane przez metal, zabijając kota. Fizyka kwantowa mówi, że jeśli pozostawimy pudełko zamknięte przez określony czas, istnieje 50-procentowe prawdopodobieństwo, że bryłka metalu wyemituje promieniowanie. Kluczowe jest jednak to, że dopóki nikt nie dokona pomiaru promieniowania, bryłka znajduje się w stanie superpozycji – stanie, w którym promieniowanie zostało jednocześnie wyemitowane i niewyemitowane. Oznacza to, że fiolka z trucizną również znajduje się w superpozycji stanu rozbitego i nierozbitego.

Kot będzie więc pozostawał w równorzędnej superpozycji życia i śmierci, dopóki nie otworzymy pudełka i nie sprawdzimy, jaki jest wynik. (To, co dokładnie stanowi „pomiar" w fizyce kwantowej, jest osobnym i bardzo złożonym zagadnieniem, o którym ludzie – w tym ja – napisali całe książki).

Wyobraźmy sobie teraz, że otwieramy pudełko nieco wcześniej, być może z troski o biedne zwierzę. W takim przypadku tuż przed otwarciem kot nadal znajdowałby się w superpozycji życia i śmierci, ale z większym udziałem „życia" niż „śmierci". Czekając odpowiednio długo, można wprowadzić kota w dowolną superpozycję, zawierającą dowolne proporcje życia i śmierci.

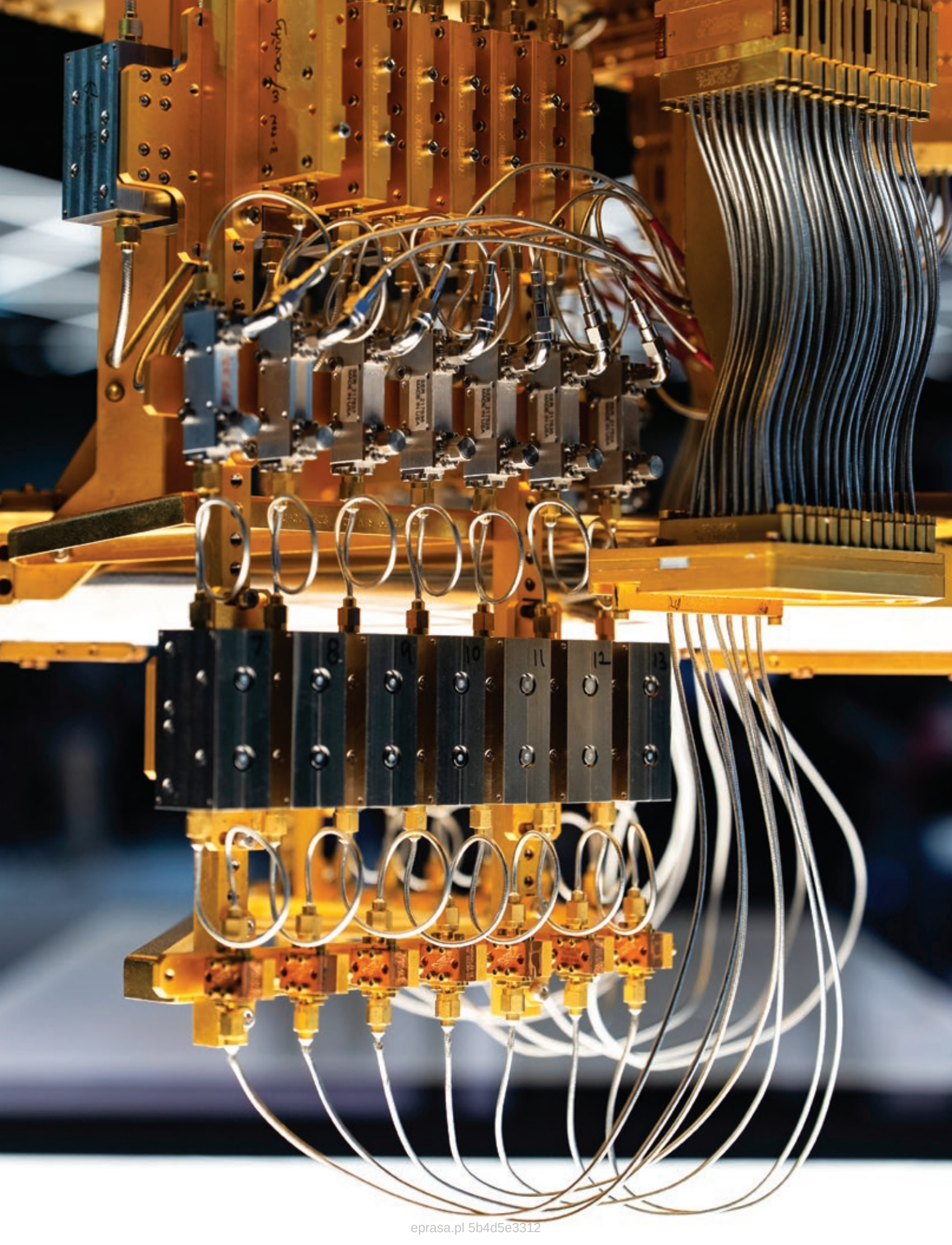
To właśnie takie regulowane superpozycje sprawiają, że komputer kwantowy jest komputerem kwantowym. Konwencjonalne komputery wykorzystują swoje tranzystory do wykonywania obliczeń za pomocą bitów, które mogą znajdować się w jednym z dwóch stanów: zero albo jeden. Komputery kwantowe używają bitów kwantowych, czyli kubitów, które mają do dyspozycji znacznie więcej możliwości. Podobnie jak kot Schrödingera, kubity mogą znajdować się w dowolnej superpozycji zera i jedynki.

Kubity mają jeszcze jedną wspólną cechę z mającym pecha kotem. Gdy kot jest zamknięty w pudełku, staje się splątany z resztą jego zawartości, co oznacza, że jego stan kwantowy zostaje powiązany ze stanami kwantowymi bryłki metalu, urządzenia pomiarowego i trucizny. Podobnie komputery kwantowe muszą splątywać swoje kubity, aby wykonywać na nich obliczenia. Jednak podczas gdy splątanie między kotem a pozostałymi elementami pudełka zachodzi w sposób niekontrolowany, komputer kwantowy musi ściśle kontrolować splątanie pomiędzy kubitami: które z nich są splątane, jak silnie oraz w jaki sposób.

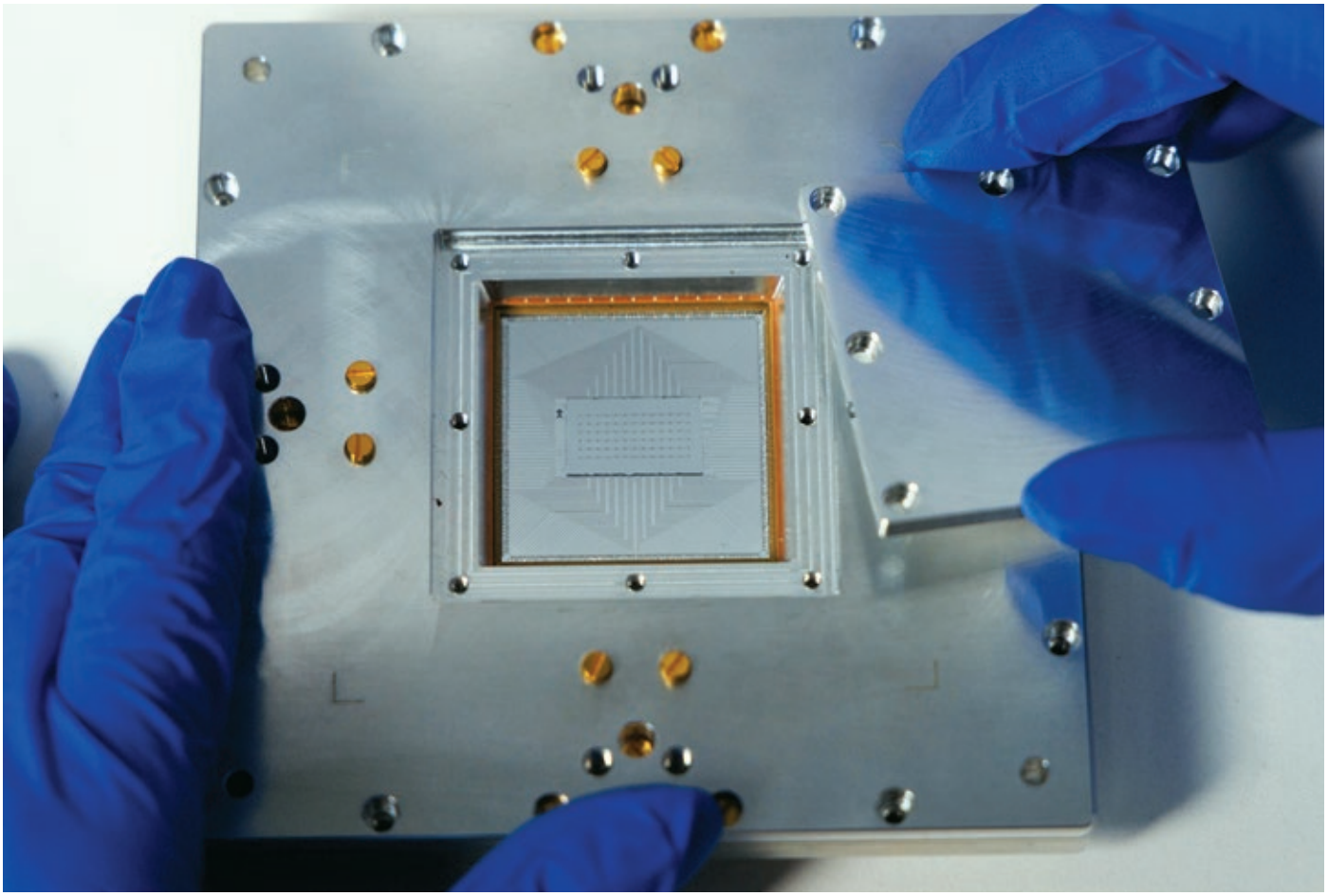
To właśnie połączenie kubitów w kontrolowany sposób splątanych ze sobą pozwala komputerom kwantowym wykonywać sztuczki, których zwykłe komputery nie potrafią, przynajmniej teoretycznie. Jedną z najczęściej przywoływanych możliwości odpowiednio dużego komputera kwantowego jest zdolność do znacznie szybszego obliczania rozkładu bardzo dużych liczb na czynniki pierwsze, niż potrafi to komputer klasyczny. Umożliwia to technika zwana algorytmem Shora, od nazwiska Petera Shora, informatyka teoretyka i matematyka z Massachusetts Institute of Technology, który opracował ją w 1994 roku (zatrudniony wówczas w Bell Labs).

„Szybciej" to właściwie niedopowiedzenie: teoretycznie, wykorzystując algorytm Shora, komputer kwantowy mógłby rozłożyć w ciągu kilku dni na czynniki liczbę, na której faktoryzację niekwantowy superkomputer potrzebowałby milionów lat. Ten imponująco szybki algorytm może wydawać się zastosowaniem niszowym,

eprasa.pl 5b4d5e3312



eprasa.pl 5b4d5e3312



Zbudowany w Instytucie Fizyki Chińskiej Akademii Nauk, Chuang-tzu 2.0, dwuwymiarowy nadprzewodzący komputer kwantowy, wykorzystuje w swoich obliczeniach 78 kubitów.

ale fakt, że rozkładanie dużych liczb na czynniki jest niezwykle czasochłonne dla konwencjonalnych komputerów, stanowi podstawę większości współczesnych metod szyfrowania, zwłaszcza tych używanych w Internecie. Komputer kwantowy nie byłby więc po prostu dobrym łamaczem kodów – mógłby złamać kryptografię stanowiącą fundament całego Internetu. Nic dziwnego więc, że rozwój komputerów kwantowych stał się priorytetem dla struktur bezpieczeństwa państw na całym świecie.

Komputery kwantowe mogą również wykorzystywać swoją imponującą zdolność kontrolowania własnych kubitów do naśladowania natury na poziomie dotąd nieosiągalnym, modelując oddziaływania atomów i cząsteczek z taką szczegółowością, której zwykłe komputery – pozbawione „kwantowości" właściwej naturze – nie są w stanie dorównać. Takie możliwości mogłyby doprowadzić do przełomów m.in. zarówno w fizyce i chemii, jak i w badaniach stosowanych dotyczących materiałoznawstwa czy leków. Niektórzy, w tym Kulkarni, uważają również, że komputery kwantowe mogą lepiej niż klasyczne maszyny rozwiązywać znane problemy, takie jak symulowanie rynków finansowych czy klimatu Ziemi.

JEST JEDNAK pewien haczyk. Kot Schrödingera splątał się z resztą zawartości pudełka bez żadnego szczególnego wysiłku – splątanie powstaje naturalnie między obiektami, które w jakikolwiek sposób ze sobą oddziałują. W tej chwili również ty stajesz się w pewnym stopniu splątany z otaczającym cię powietrzem, powierzchnią, na której siedzisz lub stoisz, oraz ekranem albo czasopismem, w którym czytasz te słowa. Ten rodzaj naturalnego splątania pojawiającego się między układem kwantowym a jego otoczeniem nazywa się dekoherencją.

Dekoherencja jest zabójcza dla zdolności komputera kwantowego do wykonywania obliczeń. Aby procesor kwantowy zachował niezbędną kontrolę nad swoimi kubitami i ich splątaniem, musi być odizolowany od reszty świata podczas pracy. Musi również utrzymywać wysoki poziom kontroli nad fizycznymi oddziaływaniami między wszystkimi atomowymi składnikami swoich kubitów. Nie jest to łatwe do osiągnięcia nawet przez ułamek sekundy. Zapobieganie niepożądanym oddziaływaniom między elementami komputera kwantowego jest jedną z głównych przeszkód oddzielających dzisiejsze stosunkowo skromne komputery kwantowe od większych i potężniejszych maszyn, które naukowcy i inżynierowie mają nadzieję zbudować. Jedną z głównych strategii stosowanych przez badaczy jest utrzymywanie komputerów kwantowych w bardzo, bardzo niskiej temperaturze, ponieważ ciepło – czyli przypadkowy ruch atomów – powoduje niezamierzone splątania.

To wyzwanie wiąże się z największym nierozstrzygniętym pytaniem w dziedzinie komputerów kwantowych: jaki jest najlepszy sposób stworzenia kubitu? Bity w standardowych komputerach powstają dzięki zmianom napięcia na małych bramkach elektronicznych w układzie scalonym lub dzięki domenom magnetycznym na dysku twardym; kontrolowanie takich bitów już jest imponująco trudnym zadaniem. Jednak kubit musi być kontrolowany jeszcze precyzyjniej. Aby przeprowadzić obliczenia, komputer kwantowy

Xinhua/Alamy

eprasa.pl 5b4d5e3312

musi być w stanie wprowadzić swoje kubity w określony początkowy stan kwantowy, następnie kontrolować ich splątanie, przepuszczając je przez sekwencję kwantowych bramek logicznych, a jednocześnie utrzymywać ich doskonałą izolację od otoczenia i zapobiegać niepożądanym oddziaływaniom między nimi samymi lub innymi elementami komputera kwantowego. Przez wiele lat po tym, jak komputery kwantowe zostały po raz pierwszy zapostulowane w latach 80., część ekspertów sceptycznie podchodziła do możliwości ich zbudowania. (Niewielka grupa badaczy nadal uważa, że stworzenie użytecznie dużych komputerów kwantowych jest niemożliwe). Jednak w ciągu ostatnich 20 lat naukowcy zbudowali działające komputery kwantowe, choć są one stosunkowo niewielkie i dysponują najwyżej kilkuset kubitami. Maszyny te są zbyt proste, aby wykonywać interesujące obliczenia, takie jak zaawansowane sztuczki związane z algorytmem Shora czy symulacje kwantowe; mogą rozwiązywać najwyżej niewielkie problemy demonstracyjne. Przeskalowanie ich do bardziej użytecznych rozmiarów oznacza konieczność postawienia na najlepsze podejście.

Kubity można tworzyć z wielu różnych materiałów. Naukowcy zaprojektowali kilka możliwych architektur i nie ma zgody, co do tego, która z nich jest najlepsza. „Istnieje wiele sposobów, aby to zrobić, i każdy uważa, że to właśnie jego sposób jest najlepszy” – mówi fizyczka Alaina Green z Joint Quantum Institute przy University of Maryland.

Dwa z głównych podejść do budowy kubitów opierają się na nadprzewodzących obwodach oraz na uwięzionych atomach lub jonach. Pierwsze z nich to mikroskopijne obwody elektroniczne wykonane z materiałów nadprzewodzących, takich jak glin lub tantal, które w ekstremalnie niskich temperaturach nie wykazują oporu elektrycznego. Ich zaletą jest to, że można je produkować z wykorzystanem odmian istniejących technologii wytwarzania układów scalonych, a także to, że działają bardzo szybko. Wadą nadprzewodzących kubitów jest fakt, że każdy taki chip składa się z miliardów bilionów atomów. Nawet przy temperaturze wynoszącej zaledwie jedną setną stopnia powyżej zera absolutnego obecność tak ogromnej liczby atomów sprawia, że układy tracą koherencję już po kilkudziesięciu mikrosekundach.

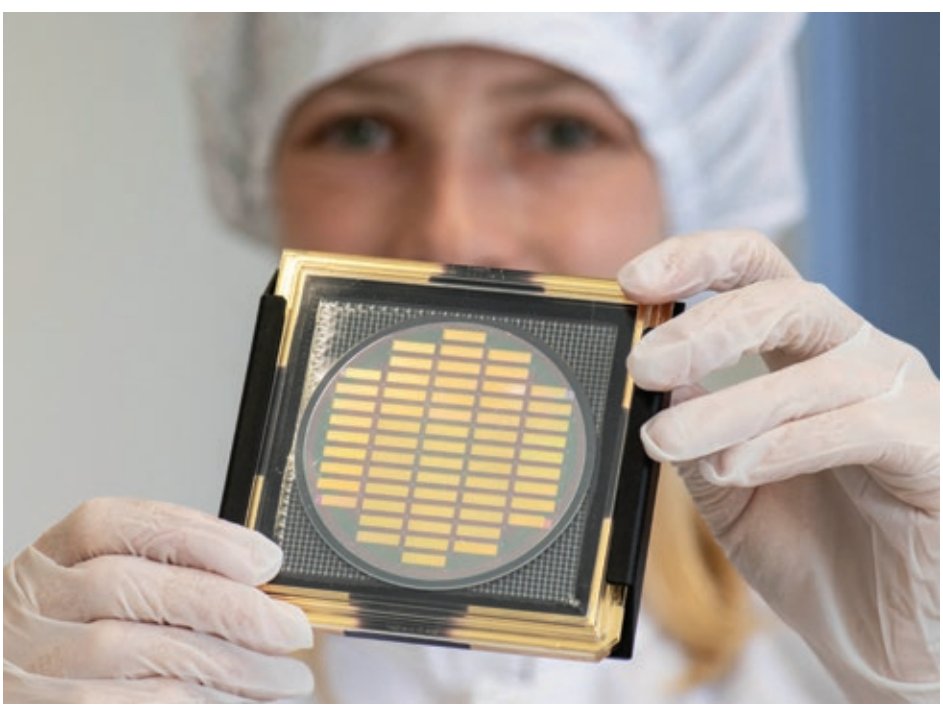
Drugą preferowaną strategią jest budowanie kubitów z pojedynczych atomów. To podejście sprawdza się tam, gdzie zawodzą kubity nadprzewodzące: gdy w grę wchodzi tylko jeden atom, łatwiej jest zapobiec dekoherencji. Kubity oparte na uwięzionych atomach lub jonach mogą zachowywać koherencję przez całe milisekundy. Jednak pojedyncze atomy są wolniejsze w użyciu, a inżynierowie nie mogą w tym przypadku wykorzystać istniejących technologii produkcji klasycznych układów scalonych. W rezultacie oba rodzaje kubitów są obecnie zdolne do wykonania mniej więcej podobnej liczby operacji przed utratą koherencji. Choć najpotężniejsze współczesne komputery kwantowe wykorzystują kubity nadprzewodzące, rozwiązania oparte na atomach i jonach plasują się za nimi.

Ostatecznie jednak, aby spełnić pokładane w nich nadzieje, komputery kwantowe będą musiały znaleźć sposoby na przynajmniej częściowe zwiększenie odporności na utratę kontroli. Błędy nieuchronnie pojawiają się podczas obliczeń kwantowych wskutek dekoherencji i innych niepożądanych efektów kwantowych. Choć nie istnieje sposób całkowitego zatrzymania dekoherencji, istnieje metoda kompensowania części błędów w komputerach kwantowych dzięki innemu słynnemu osiągnięciu teoretycznej informatyki kwantowej: kwantowej korekcji błędów. Proces ten, co niezwykłe, umożliwia w pewnych okolicznościach wykrywanie i korygowanie niepożądanego błędu w stanie kubitu bez całkowitego niszczenia jego superpozycji lub splątania z innymi kubitami – jest to trochę tak, jakby zmieniać proporcje życia i śmierci kota Schrödingera bez pełnego otwierania pudełka.

Istnienie takich kodów kwantowej korekcji błędów znacznie zwiększa szanse na osiągnięcie poziomu niezawodności potrzebnego kubitom do realizacji algorytmu Shora i wykonywania innych złożonych zadań obliczeniowych. Pomoc ta ma jednak swoją cenę. Kwantowa korekcja błędów działa poprzez grupowanie kubitów w tzw. kubity logiczne. W każdym kubicie logicznym tworzy się rodzaj kwantowej redundancji, reprezentując go za pomocą wielu rzeczywistych kubitów fizycznych, dzięki czemu błąd pojedynczego kubitu fizycznego ma mniejsze znaczenie. Aby korekcja błędów działała skutecznie, każdy kubit logiczny musi składać się z dużej liczby kubitów fizycznych – od około 100 do 1000. Aby uruchomić algorytm Shora dla jakiegokolwiek interesującego problemu lub niemal dowolnego innego użytecznego zastosowania, komputer kwantowy musi dysponować tysiącami kubitów logicznych. Oznacza to, że aby komputery kwantowe mogły osiągnąć swój oczekiwany potencjał, dzisiejsze systemy liczące kilkaset kubitów fizycznych muszą zostać przeskalowane do milionów kubitów fizycznych, których wzajemne splątanie będzie można niezwykle precyzyjnie kontrolować.

„Niedawne osiągnięcia dały jednak niektórym badaczom nadzieję, że korekcja błędów kwantowych może być możliwa z użyciem znacznie mniejszej liczby fizycznych kubitów. W jednym z ostatnich

Inżynier z firmy Q.ANT w Stuttgarcie prezentuje procesor kwantowy wyposażony w fotoniczne układy scalone.



Thomas Kienzle/AFP/Getty Images

eprasa.pl 5b4d5e3312

badań naukowcy z California Institute of Technology oraz start-upu zajmującego się komputerami kwantowymi Oratomic zaproponowali metodę korekcji błędów kwantowych wymagającą zaledwie około pięciu fizycznych kubitów na każdy kubit logiczny, co obniża próg potrzebny do realizacji algorytmu Shora do około 10 tys. kubitów. Badanie to nie przeszło jeszcze procesu recenzji naukowej, ale jeśli wyniki się potwierdzą, zbudowanie komputera kwantowego zdolnego do uruchomienia algorytmu Shora może stać się możliwe wcześniej, niż oczekiwano.

Nawet w takim przypadku jednak główne pytanie stojące przed tą dziedziną pozostanie bez odpowiedzi: jak długo potrwa skalowanie komputerów kwantowych do punktu, w którym staną się naprawdę użyteczne? Chociaż moc klasycznych komputerów rosła szybko przez ostatnich 60 lat zgodnie z prawem Moore'a – przewidywaniem nazwanym na cześć współzałożyciela Intela, Gordona Moore'a, według którego liczba tranzystorów w układzie scalonym podwaja się mniej więcej co dwa lata – nie ma żadnej gwarancji, że komputery kwantowe podążą za tym samym wykładniczym trendem. Prawo Moore'a nie jest prawdziwym prawem natury – natomiast nieuchronność dekoherencji już nim jest.

CAŁE TO SKUPIENIE na algorytmie Shora nie wynika wyłącznie z kwestii kryptografii i bezpieczeństwa narodowego. Ten słynny algorytm jest jedynym, co do którego naukowcy mają pewność, że pozwoli komputerowi kwantowemu wykonywać pewne zadania znacznie szybciej niż komputer klasyczny.

„Ludzie od dawna szukają innych algorytmów podobnych do algorytmu Shora i nie znaleźli żadnego – mówi Green. – Dosłownie żadnego." Tworzenie algorytmów kwantowych jest trudne. Udowodnienie, że są one znacząco lepsze od istniejących algorytmów klasycznych, jest również trudne, a wykazanie, że przewyższają każdy możliwy do wymyślenia algorytm niekwantowy, jest zazwyczaj niezwykle trudne, jeśli w ogóle możliwe.

Naukowcy największe nadzieje wiążą z wykorzystaniem komputerów kwantowych do symulowania kwantowych aspektów natury.

„Powodem, dla którego komputery kwantowe zostały pierwotnie zaproponowane, była idea wykorzystania ich do symulacji układów kwantowych – mówi Ewin Tang, specjalistka od komputerów kwantowych z University of California w Berkeley. Jednak nawet w przypadku takich symulacji może się okazać, że komputery kwantowe nie będą lepsze od klasycznych. „Nie istnieje zbyt wiele bardzo konkretnych planów wykorzystania komputera kwantowego, które dawałyby możliwą do udowodnienia przewagę kwantową" – mówi Tang. Green zgadza się z tym poglądem. Niestety trudno jest sformułować ścisłe dowody, że symulacje kwantowe na pewno będą lepsze od obliczeń klasycznych – mówi. – Ale sądzimy, że powinno tak być."

Nawet jeśli komputery kwantowe rzeczywiście okażą się lepsze w symulowaniu pewnych układów kwantowych, co wydaje się całkiem prawdopodobne, i nawet jeśli naukowcy opracują więcej algorytmów, które – podobnie jak algorytm Shora – będą wykazywać wyraźną i znaczną przewagę nad znanymi algorytmami klasycznymi, komputery kwantowe nadal nie będą lepsze od komputerów konwencjonalnych w większości zastosowań. „Twierdzenie, że komputery kwantowe mogą wykonywać wszystko szybciej niż komputery klasyczne, jest po prostu nieprawdziwe – mówi William Oliver, profesor elektrotechniki, informatyki i fizyki w MIT oraz współzałożyciel start-upu zajmującego się komputerami kwantowymi, który został niedawno przejęty przez Google. – Według obecnego stanu wiedzy istnieją tylko pewne problemy o określonej wewnętrznej strukturze, które pozwalają komputerowi kwantowemu wykorzystać jego »kwantowość«".

W najlepszym możliwym scenariuszu komputery kwantowe będą wyspecjalizowanymi urządzeniami przeznaczonymi do rozwiązywania określonych rodzajów problemów. Najprawdopodobniej będą wykorzystywane razem z komputerami klasycznymi w centrach danych lub klastrach superkomputerowych – ale nie zostaną zminiaturyzowane do rozmiarów pozwalających umieścić je w telefonach komórkowych. „Rzeczy, w których komputery kwantowe są dobre, po prostu nie należą do tych, które ludzie muszą robić każdego dnia" – mówi Green. Za 30 lat możesz mieć w swojej apteczce lek opracowany z użyciem modeli uruchamianych na komputerach kwantowych – ale niemal na pewno nie będziesz posiadać własnego komputera kwantowego.

Mimo to niepewność wciąż obecna w tej dziedzinie nie powstrzymała świata biznesu przed formułowaniem prognoz ekonomicznych dotyczących komputerów kwantowych. W 2024 roku firma konsultingowa Boston Consulting Group przewidziała, że do 2040 roku komputery kwantowe wygenerują od 450 do 850 mld dolarów. „Przeszkody stojące przed rozwojem komputerów kwantowych w najbliższym okresie […] nie zagrażają długoterminowemu rozwojowi tej techniki ani rynku" – napisali autorzy raportu. Jednak ta sama grupa przyznała, że jej prognoza z 2021 roku dotycząca budowania wartości dzięki postępom w sprzęcie i oprogramowaniu kwantowym była zbyt „optymistyczna".

Tego rodzaju buńczuczne prognozy dotyczące przyszłości komputerów kwantowych trudno traktować całkiem poważnie właśnie dlatego, że mimo wszystkich dotychczasowych osiągnięć dziedzina ta jest nadal młoda i pełna niewiadomych. „Komputery kwantowe są rzeczywistością, powstają na naszych oczach i będą wymagały czasu – mówi Oliver. – Potrzebna będzie praca inżynieryjna, a także dalsze badania naukowe. Nie wszystko zostało już rozwiązane." Szacuje on, że większe komputery kwantowe mogą pojawić się za około 20 lat. „Niezależnie od tego, jaki okaże się ten horyzont czasowy, będziemy ich używać do lepszego zrozumienia, na gruncie nauki, otaczającego nas świata."

Kiedy zapytałem Green, kiedy spodziewa się pojawienia naprawdę dobrych komputerów kwantowych, odpowiedziała bez ogródek: „Nie wiem i nie zamierzam niczego przewidywać. Byłabym bardzo zaskoczona, gdyby udało się znaleźć jakiegokolwiek fizyka, który by zaryzykował taką prognozę." Mimo to z niecierpliwością na nie czeka. „Istnieje klasa problemów […], których nie mamy najmniejszych szans rozwiązać z użyciem komputerów klasycznych – mówi. – Dla mnie najbardziej obiecującym zastosowaniem komputerów kwantowych jest właśnie możliwość ich rozwiązania."

W rzeczywistości nie wiemy, jak przyszłość czeka komputery kwantowe. Wiemy natomiast, że jest to fascynująca dziedzina, a stojące przed nią wyzwania naukowe są niezwykle interesujące – i że każdy, kto twierdzi, iż na pewno zna jej przyszłość, prawdopodobnie próbuje nam coś sprzedać. ■

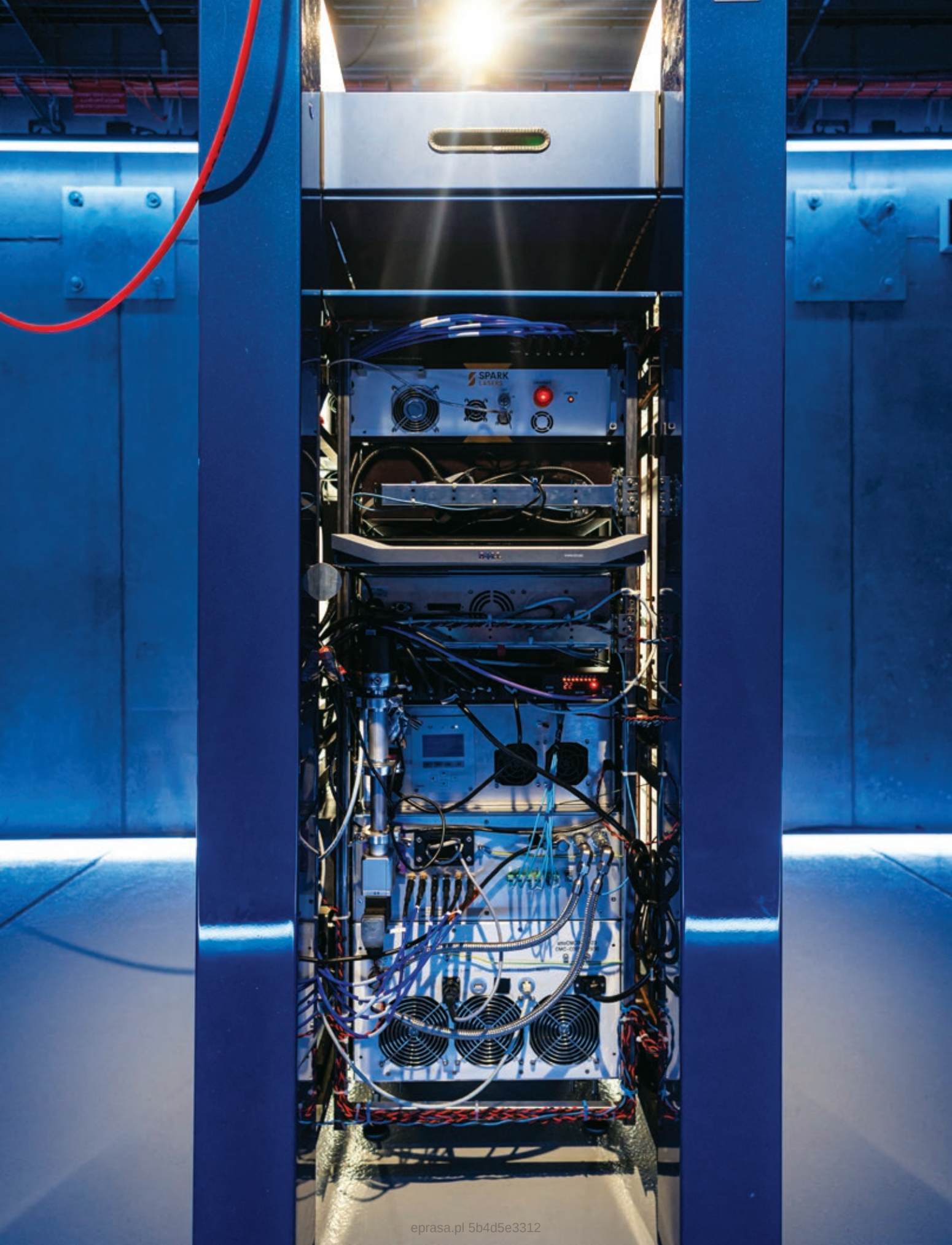
MosaiQ – fotoniczny komputer kwantowy opracowany przez francuską firmę Quandela.

Sameer Al-Doumy/AFP/Getty Images

Z NASZEGO ARCHIWUM

Cena mocy, Zaira Nazario; czerwiec 2022.

eprasa.pl 5b4d5e3312

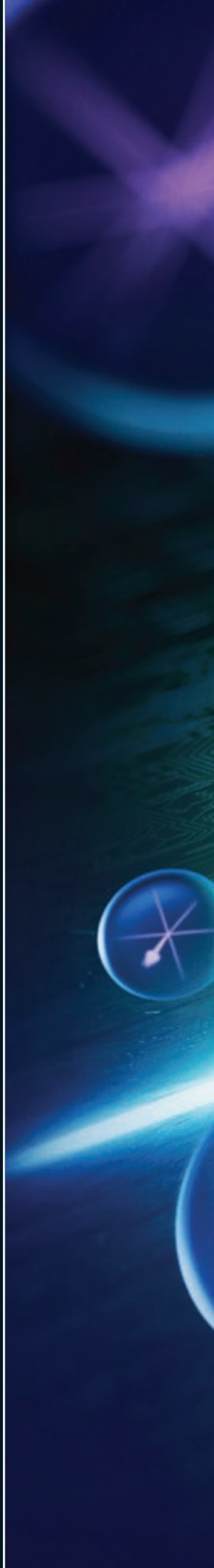


eprasa.pl 5b4d5e3312

DO CZEGO WŁAŚCIWIE MOŻE SIĘ PRZYDAĆ KOMPUTER KWANTOWY?

Komputery kwantowe zapowiadają rewolucję m.in. w kryptografii, projektowaniu nowych materiałów, telekomunikacji. Ale te obietnice nie staną się faktem z dnia na dzień – jeśli w ogóle kiedykolwiek

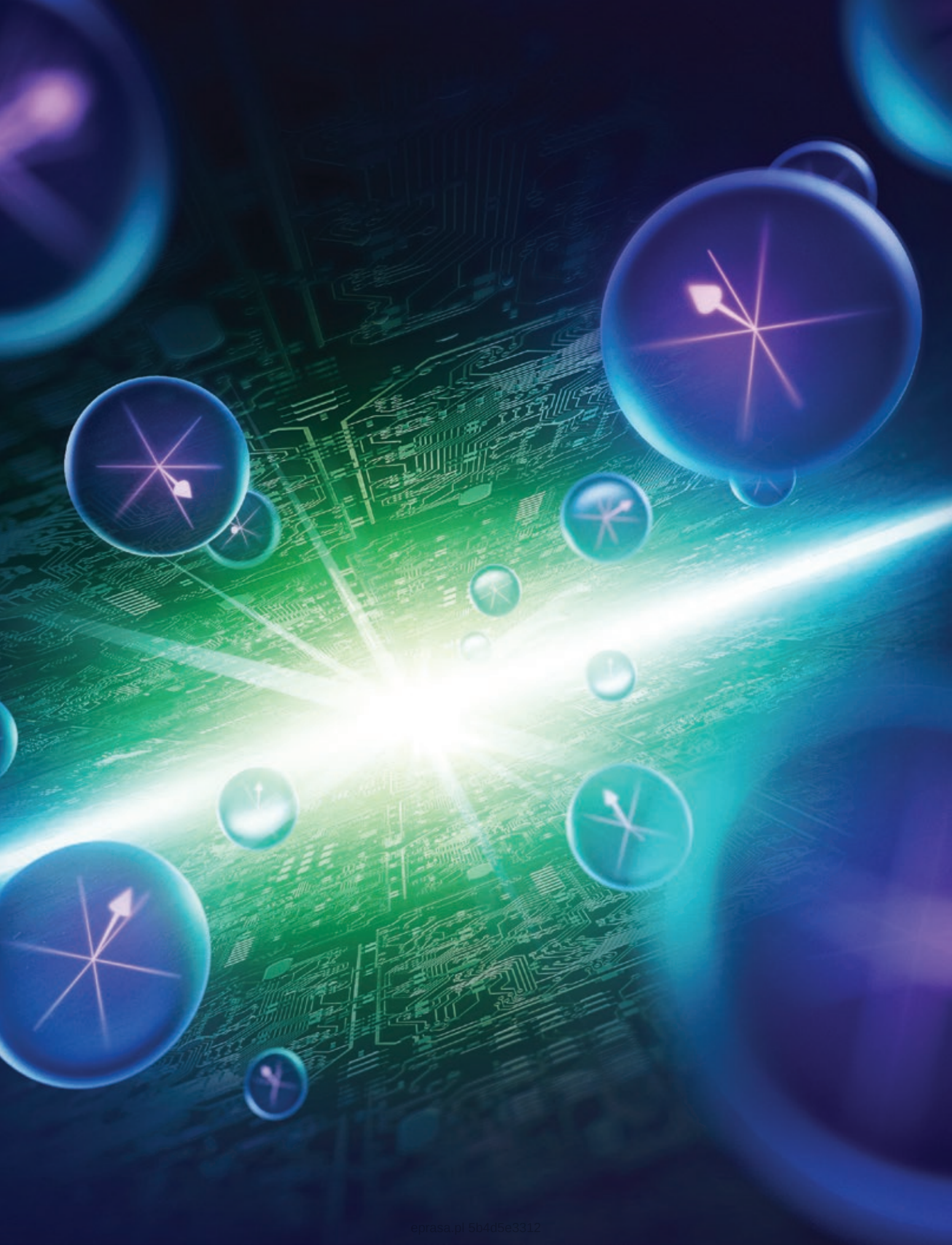
ZEEYA MERALI
Ilustracja OLENA SHMAHALO



GORĄCZKA XXI WIEKU **związana z budową pierwszego przemysłowego komputera kwantowego jest, jak mówi pionier fizyki teoretycznej Peter Zoller, podobna do XX-wiecznej obsesji na punkcie pionierskiego zdobycia Mount Everestu. „Kiedy się wspinasz, rozglądasz się wokół i martwisz, kto jest numerem jeden – mówi. – Kiedy docierasz na szczyt, pytasz sam siebie, po co, u diabła, właściwie to zrobiłeś."**

W 1995 roku Zoller i Ignacio Cirac, wówczas stażysta podoktorski w grupie Zollera na University of Colorado Boulder, zaproponowali

sprasa.pl 6b4d5a3312



eprasa.pl 6b4d5e3312

pierwsze realistyczne projekty komputera kwantowego. Ich pomysł polegał na wykorzystaniu uwięzionych jonów jako „kubitów" – kwantowego odpowiednika bitów cyfrowych, zdolnych do istnienia w superpozycji reprezentującej jednocześnie 0, 1 i wszystkie stany pomiędzy nimi. Ponad dekadę wcześniej fizycy Paul Benioff i Richard Feynman niezależnie zasugerowali, że maszyny wykorzystujące dziwaczne właściwości świata kwantowego mogłyby teoretycznie przewyższać klasyczne komputery w wykonywaniu niektórych zadań. Dziś zespoły na całym świecie opracowują coraz większe procesory kwantowe wykorzystujące kubity zbudowane m.in. z jonów, obojętnych atomów czy nadprzewodzących pętli. IBM i firma Atom Computing z Berkeley w Kalifornii prowadzą obecnie wyścig dzięki komputerom kwantowym wyposażonym w ponad 1000 kubitów, a w ubiegłym roku grupa badawcza z California Institute of Technology poinformowała, że zbudowała rekordową macierz liczącą ponad 6000 kubitów.

„To ekscytujący czas, ponieważ ludzie uruchamiają komputery kwantowe mające setki i tysiące kubitów" – mówi laureat Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki John Martinis, emerytowany profesor University of California w Santa Barbara oraz współzałożyciel firmy Qolab zajmującej się sprzętem kwantowym.

W 2019 roku badacze Google, kierowani przez Martinisa, poinformowali, że ich 53-kubitowy procesor Sycamore jako pierwszy osiągnął „przewagę kwantową", wykonując obliczenie w 200 s – zadanie, które według ich szacunków najlepsze klasyczne superkomputery rozwiązywałyby przez około 10 tys. lat. Liczba dotycząca superkomputerów została później zakwestionowana – IBM argumentował, że jego najlepszy klasyczny komputer mógłby w rzeczywistości wykonać to zadanie w zaledwie dwa i pół dnia – lecz nawet gdyby wynik Google się utrzymał, samo obliczenie miało jedynie akademickie znaczenie jako dowód słuszności koncepcji „Demonstracja przewagi kwantowej dokonana przez Google w 2019 roku była ważnym kamieniem milowym, ale wiele osób powiedziałoby, że wciąż nie stanowiła przełomu w rozwiązaniu problemu o szerokim praktycznym znaczeniu" – zauważa fizyk kwantowy Kihwan Kim, obecnie pracujący w Institute for Basic Science w Korei Południowej.

Eksperci zgadzają się, że aby rozwiązywać użyteczne problemy będące poza zasięgiem nawet najlepszych możliwych klasycznych superkomputerów, liczba kubitów musi znacząco wzrosnąć – potencjalnie do miliona lub więcej. Ponadto fizycy kwantowi będą musieli opracować odporne kubity, które dłużej zachowują swoje właściwości kwantowe, a także znaleźć sposoby korygowania błędów pojawiających się podczas obliczeń.

W marcu grupa badaczy (z różnych ośrodków) poinformowała, że nadprzewodzące procesory Heron firmy IBM na niespotykaną wcześniej skalę potrafiły trafnie przewidzieć wyniki eksperymentów wyznaczania struktury konkretnego kryształu antyferromagnetycznego metodą rozpraszania neutronów, wykorzystując najwyżej 50 kubitów; fizycy zaznaczyli jednak, że klasyczne komputery mogłyby wykonać to samo zadanie szybciej i dokładniej.

W czym więc naprawdę będą dobre komputery kwantowe – i kiedy to nastąpi? Eksperci twierdzą, że wciąż dzielą nas lata od komputerów kwantowych zdolnych do realizacji praktycznych zastosowań niedostępnych dla komputerów klasycznych. Mogłyby one obejmować łamanie powszechnie stosowanych systemów szyfrowania danych, symulowanie procesów kwantowych na potrzeby fizyki fundamentalnej oraz projektowanie leków i materiałów. Mimo to Martinis – ekspert od skalowania sprzętu kwantowego – zauważa, że w zasadzie nie ma żadnej gwarancji, iż kiedykolwiek uda się stworzyć komputery liczące milion kubitów. „Prawdziwym dowodem – mówi – będzie ich zbudowanie i przekonanie się, że działają."

Zeeya Merali jest niezależną pisarką popularnonaukową mieszkającą w Londynie, autorką książki *A Big Bang in a Little Room* (Basic Books, 2017). Z wykształcenia jest fizykiem teoretykiem; ma doktorat z kosmologii teoretycznej.

KRYPTOGRAFIA

Najbardziej niesławną obietnicą komputerów kwantowych było to, że pewnego dnia złamią szyfrowanie RSA – od dawna stosowany na całym świecie protokół służący do zabezpieczania przelewów bankowych, kryptowalut i komunikacji cyfrowej. Ten dzień może nadejść zaskakująco szybko. Przez długi czas sądzono, że złamanie szyfrowania wymagałoby procesora dysponującego co najmniej milionem kubitów. Jednak w lutym zespół z firmy Iceberg Quantum w Sydney w Australii radykalnie obniżył ten szacunek, wyliczając, że przy starannej optymalizacji i korekcji błędów hakerzy mogliby potrzebować mniej niż 100 tys. kubitów do wykonania tego zadania. W marcu Google ogłosił nowe zobowiązanie do migracji swoich systemów do 2029 roku na rozwiązania chroniące je przed hakowaniem kwantowym.

Chociaż twierdzenia firmy Iceberg nie zostały jeszcze poddane recenzji naukowej, są wiarygodne i wywołały poruszenie, mówi Artur Ekert, ekspert kryptografii z University of Oxford. „Wiele osób uważa, że zagrożenie dla szyfrowania ze strony komputerów kwantowych to tylko pseudonaukowy bełkot – i ja sam również byłem sceptyczny – ale może wystarczyć jeszcze kilka takich publikacji, jak ta, aby perspektywa złamania RSA stała się czymś realnym" – mówi. Pogląd Martinisa także zmienił się w ostatnich latach. „Jeśli martwi cię szyfrowanie RSA – a powinno – powiedziałbym, że może zostać złamane za pięć do 10 lat" – twierdzi.

Szyfrowanie RSA wykorzystuje fakt, że łatwo jest stworzyć tajny klucz poprzez pomnożenie dwóch dużych liczb pierwszych, ale praktycznie niemożliwe dla jakiegokolwiek klasycznego komputera jest odtworzenie klucza poprzez efektywne rozłożenie liczby z powrotem na te składowe liczby pierwsze. Klasyczny komputer mógłby kolejno testować liczby, zapamiętując każdą wartość i szukając wzorca, lecz takie podejście staje się niewykonalne przy dużych liczbach – wyjaśnia Ekert. Współczesne klasyczne algorytmy

eprasa.pl 5b4d5e3312

stosują inne metody, ale pozostają nieefektywne, ponieważ czas wykonania rośnie wykładniczo wraz z wielkością liczby poddawanej faktoryzacji.

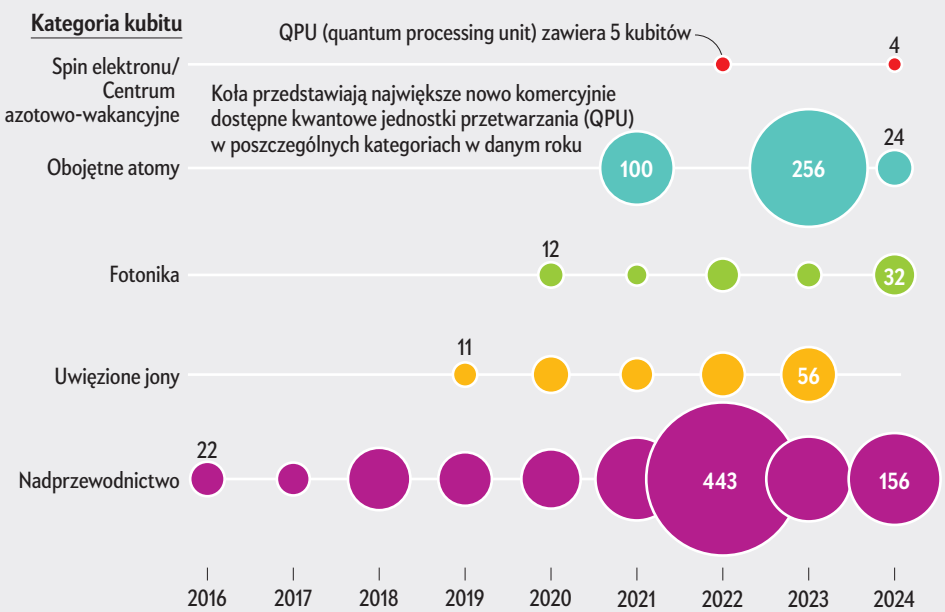
Świat kwantowy nie podlega jednak takim ograniczeniom. Kubity mogą jednocześnie przyjmować wiele wartości i splątywać się ze sobą, wzmacniając swoją moc obliczeniową. „W istocie może on jednocześnie objąć wszystkie możliwe ścieżki obliczeniowe" – mówi Ekert. W 1994 roku informatyk teoretyczny Peter Shor, obecnie pracujący w Massachusetts Institute of Technology, zapostulował, że hipotetyczny komputer kwantowy mógłby wykorzystać tę właściwość do złamania szyfrowania RSA. Jeśli i kiedy jakiś komputer tego dokona, prawdopodobnie użyje algorytmu opracowanego przez Shora.

Istnieją propozycje algorytmów kryptograficznych odpornych na ataki kwantowe; amerykański National Institute of Standards and Technology (NIST) opublikował trzy takie schematy w 2024 roku. Zoller uważa, że tego rodzaju prace w dużej mierze neutralizują zagrożenie, ponieważ sugerują, że świat może odejść od szyfrowania RSA, zanim pojawią się kwantowi hakerzy. „Algorytm Shora może ostatecznie zapisać się w historii jako przełomowe osiągnięcie naukowe o ogromnym znaczeniu – w równym stopniu ze względu na to, jak zainspirował rozwój komputerów kwantowych, jaki i przez swoje konsekwencje dla łamania szyfrów". – mówi.

Ekert jest mniej spokojny. Jak zauważa, w ubiegłym roku informatyk z Chin zaproponował – jak się później okazało błędnie – algorytm kwantowy zdolny do złamania głównego kandydata NIST, czyli szyfrowania opartego na sieciach kratowych (lattice-based encryption). „Całej społeczności kryptografii kwantowej zajęło ponad tydzień wykorzystanie całej swojej wiedzy, by znaleźć błąd, co pokazuje, jak blisko takich możliwości jesteśmy – mówi Ekert. – Niewykluczone, że następnym razem algorytm okaże się poprawny."

Rosnąca liczba kubitów

Kubity – kwantowa wersja bitów cyfrowych – stanowią podstawę komputerów kwantowych, więc można by oczekiwać, że im więcej kubitów ma komputer kwantowy, tym powinien być lepszy. Ale nie wszystkie kubity są sobie równe i mogą występować w różnych formach fizycznych. Ponadto większa liczba kubitów może oznaczać więcej błędów obliczeniowych. Poniżej przedstawiono rok po roku rekordowe liczby pięciu głównych kategorii kubitów w nowo komercyjnie dostępnych komputerach kwantowych.



ŹRÓDŁO: The Quantum Index Report 2025, Jonathan Ruane i in.; MIT Initiative on the Digital Economy, Massachusetts Institute of Technology, May 2025 (dane)

FIZYKA FUNDAMENTALNA

Jedną z dziedzin, w których procesory kwantowe już dziś odnoszą sukcesy, jest modelowanie oddziaływań cząstek w celu rozwiązywania zagadek leżących u podstaw fizyki fundamentalnej. „To sięga jeszcze Feynmana, który wyraził pogląd, że nie da się naprawdę zrozumieć, jak działa natura, jeśli nie odtworzy się jej na tej samej skali długości" – mówi fizyczka kwantowa i specjalistka od materiałów Michelle Simmons, założycielka i dyrektor generalna firmy Silicon Quantum Computing (SQC) w Sydney.

Symulowanie oddziaływań wielu cząstek bardzo szybko staje się niemożliwe dla klasycznego komputera, wyjaśnia Daniel González-Cuadra, fizyk kwantowy z Institute for Theoretical Physics w Austrii. „Ilość informacji potrzebnych do opisania stanu takich układów rośnie wykładniczo wraz z rozmiarem systemu i w pewnym momencie po prostu nie ma się już wystarczającej pamięci" – mówi.

Uchwycenie całej tej złożoności wymaga równie złożonej maszyny kwantowej. Zespoły na całym świecie robią postępy na tym polu. Jednym z głównych obszarów badań jest zwiększanie „koherencji" kubitów, tak aby pozostawały w stanie superpozycji wystarczająco długo i zdążyły przeprowadzić swoje obliczenia. W 2021 roku zespół Kima z Chin wykazał, że kubity oparte na uwięzionych jonach mogą utrzymywać koherencję przez ponad godzinę, co – jak mówi – było „bardzo ważnym punktem odniesienia dla skalowania znaczących symulacji kwantowych".

W ubiegłym roku dwa zespoły niezależnie opublikowały symulacje kwantowe

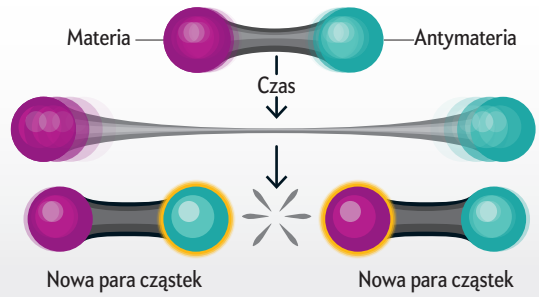
Grafiki Jen Christiansen

eprasa.pl 5b4d5e3312

Błyskawiczne symulacje

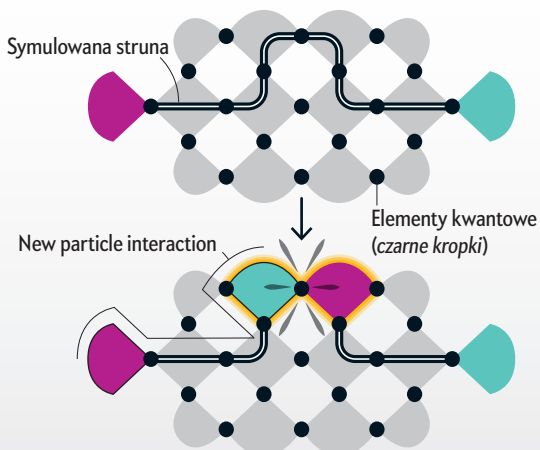
Komputery kwantowe, co raczej nie powinno dziwić, mogą być wykorzystywane do symulowania fizyki kwantowej. W jednym z niedawnych przykładów z 2025 roku dwa niezależne zespoły użyły dwóch bardzo różnych podejść (*poniżej*), aby przeprowadzić symulacje kwantowe powstawania par cząstek materia–antymateria podczas zrywania struny. Jest to proces teoretyczny (*po prawej*) nazwany od sposobu, w jaki mogą się zachowywać odciągane od siebie oddziałujące cząstki – jakby były połączone rozciągliwą struną, która pęka z tworząc parę cząstek.

Zrywanie struny



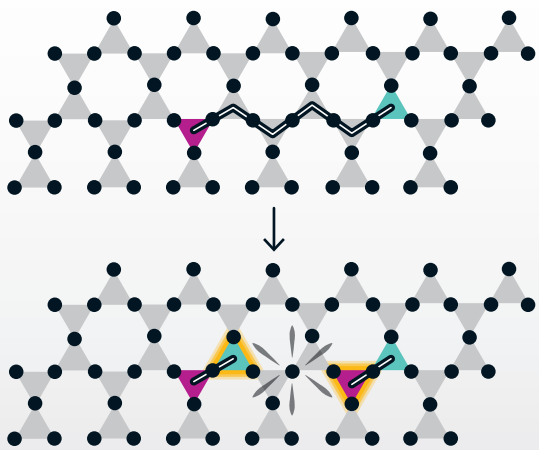
Kwantowa symulacja nr 1

Google Quantum AI symulowało zrywanie struny na chipie Sycamore firmy, wykorzystującym nadprzewodzące pętle jako kubity, poprzez zbudowanie dwuwymiarowej kwadratowej sieci kubitów.



Kwantowa symulacja nr 2

Zamiast używać uniwersalnego chipu, takiego jak Sycamore, badacze z Institute for Theoretical Physics w Austrii oraz firmy QuEra Computing w USA stworzyli specjalny symulator kwantowy zrywania struny, wykorzystujący sieć zbudowaną z atomów rubidu."



w czasie rzeczywistym dotyczące powstawania materii i antymaterii podczas procesu zwanego zrywaniem struny (string breaking). Zgodnie z Modelem Standardowym fizyki cząstek pary silnie oddziałujących cząstek subatomowych, takich jak kwarki, zachowują się tak, jakby były połączone struną – idealnie sprężystą gumką recepturką, wyjaśnia fizyk kwantowy Pedram Roushan z Google Quantum AI w Santa Barbara. Zespół Roushana przeprowadził symulację na chipie Sycamore firmy Google, który wykorzystuje nadprzewodzące pętle jako kubity. Symulacja pokazała, jak oddalanie od siebie dwóch cząstek zwiększa napięcie struny, aż w końcu ona pęka, uwalniając zgromadzoną energię poprzez wygenerowanie nowej pary cząstek materii i antymaterii. „Te koncepcje teoretyczne były znane od lat 70., ale udało nam się je zwizualizować i uzyskać obraz strun oraz ich zrywania" – mówi Roushan.

Eksperyment z Sycamore był przykładem symulacji cyfrowej, co oznacza, że przeprowadzono go na uniwersalnym chipie z obwodami kubitów zaprojektowanymi do wykonywania wielu różnych zadań. Z kolei González-Cuadra, Zoller i ich współpracownicy pracowali z zespołem z firmy QuEra Computing w Bostonie nad stworzeniem analogowego symulatora – sieci kubitów z elektrycznie obojętnych atomów specjalnie zbudowanej do symulowania zrywania struny. Te dwie symulacje zrywania struny należą do pierwszych, które modelują oddziaływania cząstek w dwóch wymiarach przestrzennych – mówi González-Cuadra. „Symulacja uwzględnia znacznie bardziej złożoną fizykę, co pozwoliło nam obserwować, w jaki sposób te struny fluktuują" – wyjaśnia.

Tego rodzaju symulacje nie zastąpią eksperymentów fizyki cząstek, lecz pomogą fizykom dopracowywać ich teorie i formułować przewidywania możliwe do sprawdzenia w akceleratorach. Dotychczas symulowano jednak jedynie proste modele, które można również sprawdzać za pomocą komputerów klasycznych. González-Cuadra uważa jednak, że symulatory kwantowe zaczną przewyższać swoje klasyczne odpowiedniki w ciągu kilku lat, rozpoczynając erę prawdziwej przewagi kwantowej. Ta możliwość rodzi pytanie, skąd fizycy będą mieli pewność, że ich symulacje kwantowe dostarczają wiarygodnych wyników. Aby na nie odpowiedzieć, w ubiegłym roku Zoller i jego współpracownicy opublikowali na arXiv.org preprint opisujący strategię opracowania analogowej maszyny kwantowej, która nie tylko dokonuje przewidywań, ale także określa niepewność tych przewidywań.

„Jeśli by mnie zapytano, jakie jest największe wyzwanie dla symulacji kwantowych, odpowiedziałbym, że jest nim granica weryfikacji" – mówi Zoller.

ŹRÓDŁO: "Simulation of Matter-Antimatter Creation on Quantum Platforms", Michele Burrello, „Nature", tom 642, 12 czerwca 2025 *(odniesienie)*

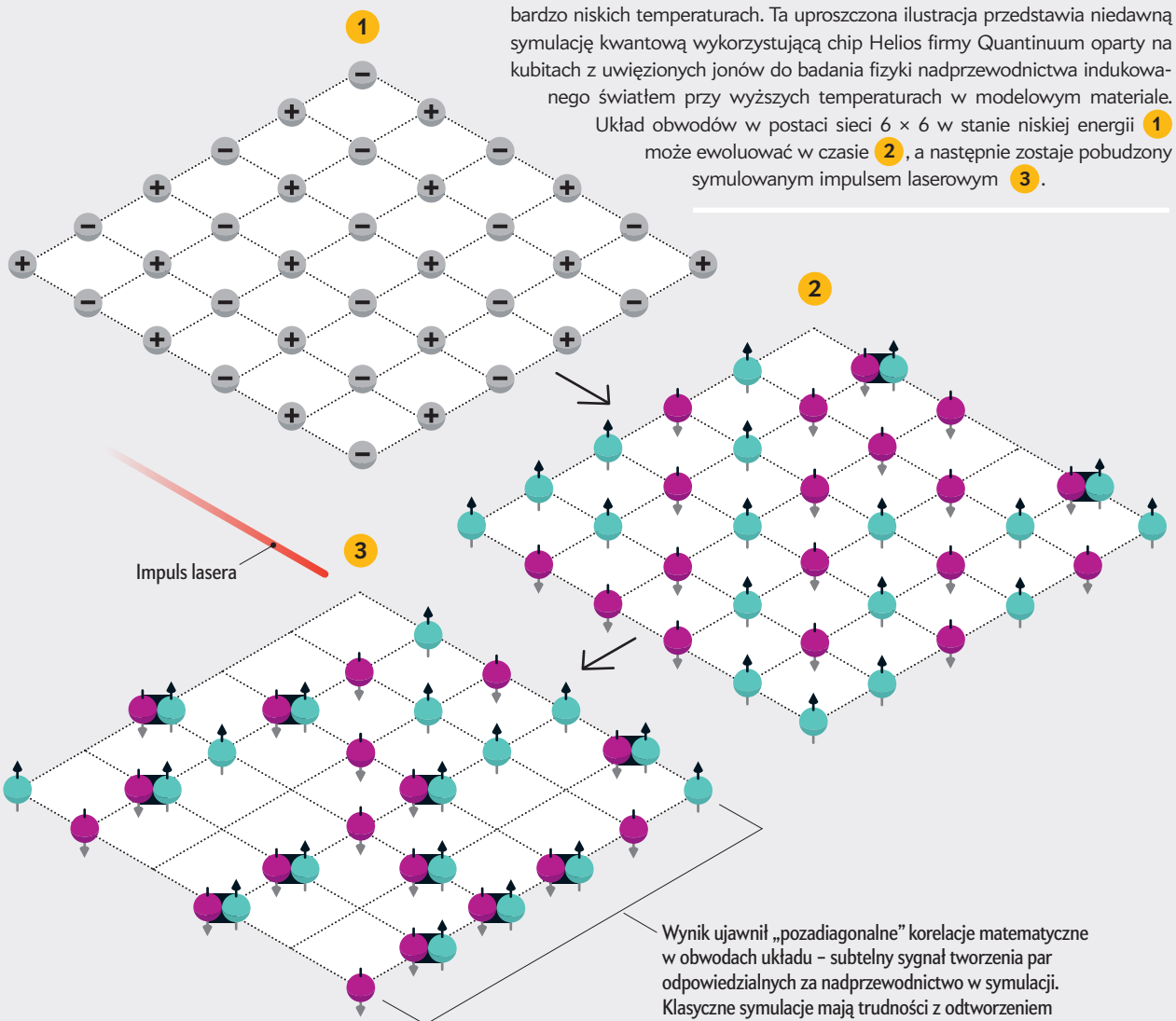
eprasa.pl 5b4d5e3312

Marzeniem, mówi Zoller, jest to, aby symulatory kwantowe przeszły z pasywnego „trybu odkrywania”, w którym służą do modelowania natury, do „trybu aktywnego projektowania”, w którym komputery kwantowe generowałyby receptury syntezy nowych struktur molekularnych o konkretnych pożądanych właściwościach. Kwantowa inżynieria nowych cząsteczek mogłaby prowadzić do powstania lepszych leków oraz akumulatorów niewymagających kosztownych i szkodliwych dla środowiska surowców, takich jak pierwiastki ziem rzadkich. „Takie rzeczy kosztują miliardy dolarów, więc jeśli uda się coś uczynić choćby o kilka procent tańszym albo o kilka procent lepszym, to naprawdę wielka rzecz – mówi Martinis. – To mogłoby być czymś niezwykle istotnym nie tylko pod względem finansowym, mogłoby też odmienić sposób projektowania mnóstwa rzeczy, aby były bardziej ekologiczne.”

Jednym z priorytetowych celów jest nadprzewodnictwo w temperaturze pokojowej. Nadprzewodnictwo – swobodny przepływ prądu elektrycznego bez oporu – zwykle wymaga schłodzenia materiału do ekstremalnie niskich temperatur, co czyni je niepraktycznym w wielu zastosowaniach. Niektóre materiały wykazują

Symulowanie nadprzewodników

Nadprzewodnictwo – przepływ prądu elektrycznego bez oporu – występuje, gdy elektrony w materiale łączą się w pary (pary Coopera), zazwyczaj przy bardzo niskich temperaturach. Ta uproszczona ilustracja przedstawia niedawną symulację kwantową wykorzystującą chip Helios firmy Quantinuum oparty na kubitach z uwięzionych jonów do badania fizyki nadprzewodnictwa indukowanego światłem przy wyższych temperaturach w modelowym materiale. Układ obwodów w postaci sieci 6 × 6 w stanie niskiej energii 1 może ewoluować w czasie 2, a następnie zostaje pobudzony symulowanym impulsem laserowym 3.



Wynik ujawnił „pozadiagonalne” korelacje matematyczne w obwodach układu – subtelny sygnał tworzenia par odpowiedzialnych za nadprzewodnictwo w symulacji. Klasyczne symulacje mają trudności z odtworzeniem i pomiarem takich efektów.

Źródło: "Superconducting Pairing Correlations on a Trapped-ion Quantum Computer" Etienne Granet i in., 17 lutego 2026 (arXiv:2510.02125v3) *(odnośnienie)*

eprasa.pl 5b4d5e3312

jednak to zjawisko w wyższych temperaturach i część badaczy ma nadzieję, że inżynieria kwantowa pomoże im znaleźć nowe materiały nadprzewodzące, które w ogóle nie wymagałyby chłodzenia. „Takie układy składają się z 10^{23} cząstek, podczas gdy klasycznie możemy modelować tylko około 100 cząstek" – mówi Henrik Dreyer, fizyk kwantowy z firmy Quantinuum w Monachium. Aby było to możliwe, fizycy musieliby zredukować poziom błędów w procesorach kwantowych do zaledwie jednego na milion; obecnie najlepsze chipy osiągają nieco mniej niż jeden błąd na tysiąc, wyjaśnia Dreyer.

„Możemy teraz zacząć symulować takie rzeczy, jak nadprzewodnictwo, sztuczna fotosynteza i małe projekty leków".

MICHELLE SIMMONS
SILICON QUANTUM COMPUTING

Dreyer i jego współpracownicy przeprowadzają cyfrowe symulacje nadprzewodników kupratowych z użyciem chipu Helios firmy Quantinuum, wykorzystującego 98 kubitów opartych na uwięzionych jonach. W starannie kontrolowanych warunkach laboratoryjnych skierowanie lasera na te materiały może na bardzo krótki czas – i w zaskakujący sposób – wywołać stan nadprzewodzący przy stosunkowo wysokiej temperaturze. „Pierwsze pytanie brzmi: dlaczego?" – mówi Dreyer. W ubiegłym roku Quantinuum opublikowało na arXiv preprint informujący, że ich dwuwymiarowa symulacja modelująca materiał pokazuje, iż pod wpływem działania lasera elektrony tworzą pary – warunek konieczny dla przepływu prądu bez oporu. „Ostateczne pytanie – jak ujmuje to Dreyer – brzmi: czy możemy zaprojektować taki układ tak, aby działał w temperaturze pokojowej przez minutę, godzinę, 10 dni albo dłużej?"

Tymczasem Simmons i jej współpracownicy z SQC w Australii opracowali system symulacyjny nazwany Quantum Twins – dwuwymiarową macierz 15 tys. klastrów atomów fosforu osadzonych w krzemie – służący do tworzenia analogów różnych materiałów. W lutym zespół poinformował, że platforma potrafi symulować przejście między zachowaniem izolatora a przewodnictwem metalicznym. „Możemy teraz zacząć symulować takie rzeczy, jak nadprzewodnictwo, różne materiały do akumulatorów, sztuczną fotosyntezę i małe projekty leków" – mówi Simmons.

Sergio Boixo z Google Quantum AI zauważa, że firma współpracowała z BASF przy projektowaniu akumulatorów, z Sandia National Laboratories w Albuquerque przy energii termojądrowej oraz z niemiecką firmą chemiczną Covestro przy rozwoju farmaceutyków.

W ubiegłym roku Google wdrożył na Willow – swoim 105-kubitowym nadprzewodzącym procesorze – algorytm modelowania struktury molekularnej, który może być używany w połączeniu ze spektroskopią magnetycznego rezonansu jądrowego. Technika ta, działająca poprzez wysyłanie sygnałów do kubitów i swoiste „nasłuchiwanie" ich ech, działa 13 tys. razy szybciej na Willow niż równoważny algorytm na najlepszym klasycznym superkomputerze. Jednym z ważnych aspektów konstrukcji tego algorytmu jest to, że pozwala on potwierdzać wyniki za pomocą innej maszyny kwantowej.

„Quantum Echoes to pierwszy na świecie algorytm z przewagą kwantową, którego wyniki mogą być zweryfikowane kwantowo – mówi Boixo. – Jesteśmy optymistami i uważamy, że pierwsze praktyczne zastosowania zobaczymy w ciągu pięciu lat."

KWANTOWA AI

„Jeśli naprawdę chce się wywołać medialny szum, wystarczy połączyć słowo »kwantowy« z »AI«" – żartuje Jacob Biamonte, ekspert od kwantowego uczenia maszynowego z ÉTS Montreal. Rzeczywiście, wraz z rozwojem procesorów kwantowych część fizyków koncentruje się na wykorzystywaniu ich do zwiększania wydajności i efektywności energetycznej klasycznej sztucznej inteligencji.

W ubiegłym roku SQC uruchomiło Watermelon – procesor AI wspomagany kwantowo – mający przyspieszyć uczenie maszynowe. Klasyczne systemy AI już dziś bardzo dobrze radzą sobie z wyszukiwaniem wzorców w ogromnych zbiorach danych, co czyni je szczególnie użytecznymi na przykład przy optymalizacji sieci komunikacyjnych i energetycznych. Kwantowa technika SQC rozwija ideę klasycznego reservoir computingu – metody polegającej na odwzorowywaniu danych wejściowych na sieci neuronowej o wyższym wymiarze, co ułatwia odnajdywanie wzorców. W 2017 roku naukowcy w Japonii przewidzieli, że klasyczne węzły takiej sieci neuronowej można zastąpić mniejszą liczbą kubitów podlegających interferencji kwantowej. „Zaletą posiadania kwantowego rezerwuaru jest to, że uzyskuje się wykładniczy wzrost wymiarowości" – mówi Simmons. Dzięki temu kwantowy rezerwuar może osiągać takie same wyniki uczenia, jak klasyczny, lecz potencjalnie szybciej i z użyciem mniejszych zasobów.

Pierwszy komercyjny test Watermelona – przeprowadzony we współpracy z australijską firmą telekomunikacyjną Telstra – przyniósł obiecujące wyniki. Telstra już wcześniej wykorzystywała AI do monitorowania opóźnień i wzorców przepustowości w swoich sieciach. Trenowanie modeli firmy standardowymi metodami klasycznymi zajmowało około trzech tygodni. Dzięki Watermelonowi Telstra uzyskała te same wyniki treningu

eprasa.pl 5b4d5e3312

w zaledwie dwa dni. „W szerszej perspektywie to naprawdę bardzo istotne, ponieważ obecnie centra danych są niezwykle energochłonne” – mówi Simmons, dodając, że podobne optymalizacje można byłoby szybko zastosować także do innych energochłonnych zadań, takich jak trenowanie AI do rozpoznawania obrazów, wykrywania oszustw czy prognozowania rynku. „Czuję się, jakbym jechała w pędzącym z ogromną prędkością pociągu towarowym” – mówi.

Ekert pozostaje jednak ostrożny wobec długoterminowych korzyści płynących z używania kwantowych procesorów AI do analizowania klasycznych zbiorów danych. „Przekształcanie klasycznych danych do postaci kwantowej jest straszliwie nieefektywne” — mówi. Zdaniem Ekerta najbardziej użyteczne połączenie komputerów kwantowych i uczenia maszynowego już dziś polega na wykorzystywaniu klasycznej AI przez fizyków do projektowania kodów korekcji błędów kwantowych oraz lepszego sprzętu kwantowego. Na przykład w ubiegłym roku fińska firma QMill uruchomiła usługę klasycznej AI do kompresji obwodów kwantowych, zmniejszając liczbę bramek potrzebnych do działania o 20–50%. Biamonte uważa również, że obecna wizja jest zbyt ograniczona.

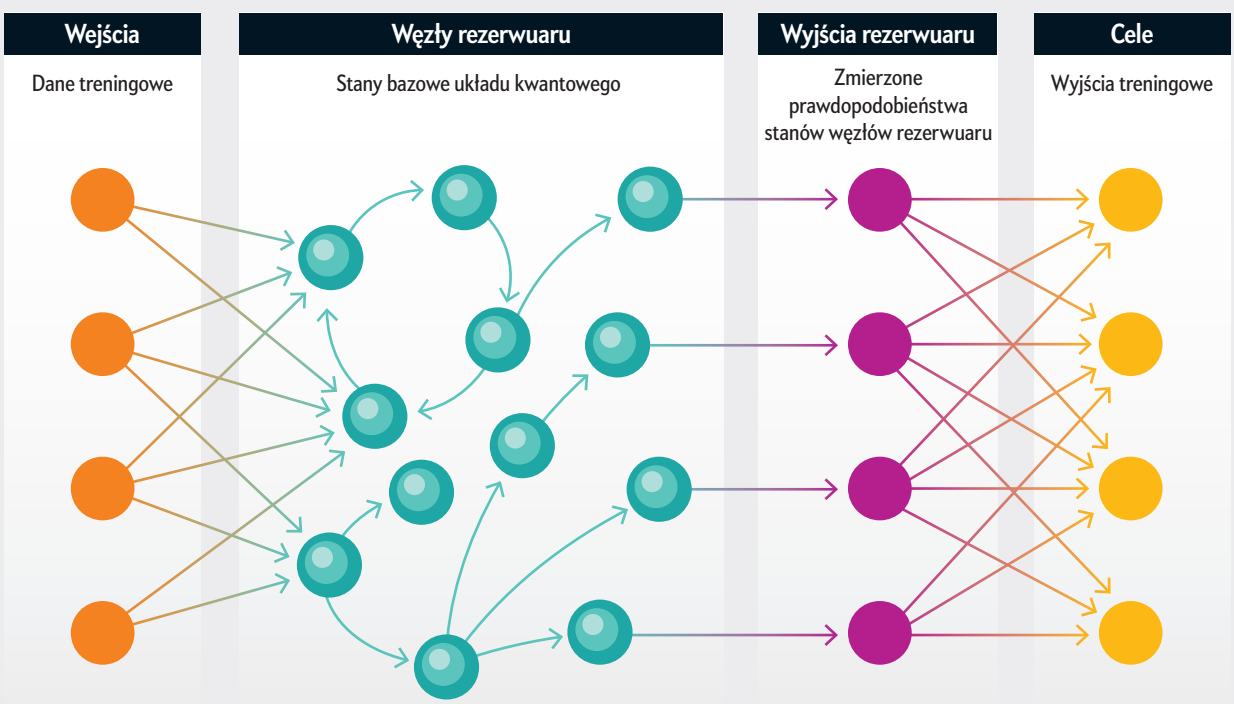
„Jeśli celem miałoby być używanie komputerów kwantowych do uczenia maszynowego na klasycznych danych, to nie ma to sensu, ponieważ klasyczne uczenie maszynowe już teraz jest wystarczająco dobre” – mówi.

Gdyby jednak procesory kwantowe mogły pewnego dnia służyć do bezpośredniej analizy danych kwantowych, byłaby to prawdziwa rewolucja. „Powinny istnieć jakieś cudowne wzorce, których klasyczne komputery nie są w stanie wykryć, ponieważ danych jest po prostu zbyt dużo dla ich pamięci” – mówi Biamonte. Kwantowa AI mogłaby na przykład improwizować na temat struktury molekularnej istniejącego opatentowanego leku, generując wiele różnych konfiguracji dających identyczne korzyści. Następnie mogłaby oceniać te cząsteczki, sprawdzając, czy da się je zsyntetyzować i opatentować, zanim firma farmaceutyczna przeznaczyłaby środki na próby ich wytworzenia. „To ekscytująca niezwykle przyszłość” – mówi Biamonte.

> „Jesteśmy optymistami i uważamy, że pierwsze praktyczne zastosowania zobaczymy w ciągu pięciu lat”.
>
> SERGIO BOIXO
> *GOOGLE QUANTUM AI*

Kwantowy rezerwuar AI

Reservoir computing to klasyczna technika uczenia maszynowego polegająca na odwzorowywaniu danych treningowych na węzły sieci neuronowej o wyższej wymiarowości w celu ułatwienia rozpoznawania wzorców. Informatycy pokazali, jak kwantowy rezerwuar, w którym węzły sieci neuronowej zastąpiono oddziałującymi ze sobą kubitami, może uzyskiwać dostęp do znacznie większej liczby stanów. Mogłoby to umożliwić szybsze trenowanie systemów AI i z wykorzystaniem mniejszych zasobów niż w podejściach klasycznych. Ten uproszczony diagram ilustruje tę koncepcję.”



ŹRÓDŁO: "Quantum Reservoir Computing Implementation on Coherently Coupled Quantum Oscillators", Julien Dudas i in., „npj Quantum Information", tom 9:7 lipca 2023 (*odniesienie*)

eprasa.pl 5b4d5e3312


NASA

Nowy księżycowy wyścig

Triumfalna misja Artemis II wyznacza nową erę eksploracji Srebrnego Globu. Oto jak przebiegała i jaki będzie ciąg dalszy

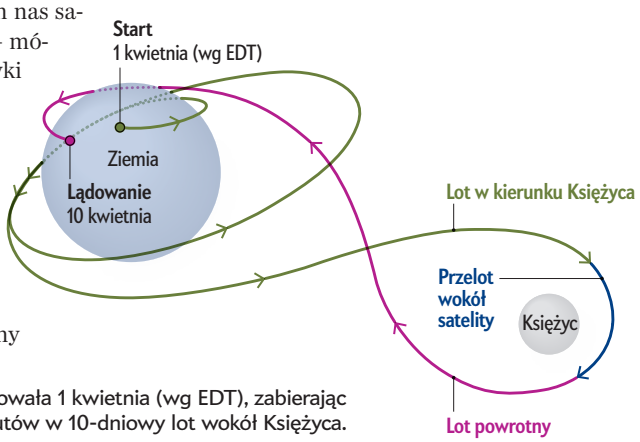
NADIA DRAKE

„PRZEZ KILKA DNI KWIETNIA czworo ludzi znajdowało się bliżej obcego świata niż naszego własnego. Zanim wodowali na Oceanie Spokojnym, członkowie załogi misji Artemis II agencji NASA oddalili się od Ziemi bardziej niż ktokolwiek wcześniej w historii. Stali się pierwszymi ludźmi, którzy spotkali się z Księżycem od niemal 54 lat. I po raz pierwszy kobiece warkocze unosiły się w głębokiej przestrzeni kosmicznej, astronauta o innym niż biały kolorze skóry pilotował statek księżycowy, a Kanadyjczyk nadawał wiadomości do domu z obszaru znajdującego się za pokrytą kraterami niewidoczną stroną Księżyca.

Ale ta czwórka astronautów – dowódca Reid Wiseman, pilot Victor Glover, specjalistka misji Christina Koch oraz specjalista misji (i debiutujący kanadyjski astronauta) Jeremy Hansen – reprezentuje coś więcej niż imponującą serię historycznych „pierwszych razów". Astronauci Artemis II dokonali postępu nie tylko w kosmosie, lecz być może również na Ziemi.

„Ta misja dotyczyła powrotu na Księżyc, ale myślę, że była też drogą powrotu do jedności – albo do lepszych nas samych, jakkolwiek chce się to nazwać" – mówi Jordan Bimm, historyk astronautyki z University of Chicago.

O 18:35 CZASU EDT [Eastern Daylight Time, Czasu Wschodnioamerykańskiego Letniego, 0:35 czasu polskiego kolejnego dnia – przyp. red.] 1 kwietnia misja Artemis II wystartowała z Kennedy Space Center należącego do NASA. Gdy potężny



Misja Artemis II wystartowała 1 kwietnia (wg EDT), zabierając czteroosobową załogę astronautów w 10-dniowy lot wokół Księżyca.

Nadia Drake jest niezależną dziennikarką naukową specjalizującą się w tematyce nauk kosmicznych i eksploracji kosmosu. Jej teksty ukazywały się m.in. w „New York Timesie" i „The Atlantic".

NASA/Bill Ingalls (zdjęcie); Źródło: NASA (odniesienie)

Grafika Amanda Montañez

eprasa.pl 5b4d5e3312



Załoga Artemis II żegna rodzinę i przyjaciół przed wejściem do statku Orion znajdującym się na szczycie rakiety SLS. Od prawej: astronauci z NASA Reid Wiseman, komandor, Christina Koch, specjalista misji, Victor Glover, pilot, i astronauta z Canadian Space Agency Jeremy Hansen, specjalista misji.

Space Launch System (SLS) – rakieta o wysokości niemal 100 m, otoczona boosterami ozdobionymi patriotycznym logo upamiętniającym 250. rocznicę powstania Stanów Zjednoczonych – wznosiła się z platformy startowej, ziemia drżała w promieniu wielu kilometrów. Około 400 tys. widzów przybyło na Space Coast na Florydzie, aby osobiście zobaczyć ten pirotechniczny spektakl. Miliony kolejnych oglądały transmisję online, gdy Artemis II przechodziła do historii.

Ukryci w statku Orion znajdującym się na szczycie rakiety członkowie załogi rozpoczęli pierwszą załogową misję księżycową od czasu Apollo 17 z 1972 roku. Zgodnie z planem Artemis II nie miała wylądować na powierzchni Księżyca, lecz podążyć po zakrzywionej trajektorii przypominającej tę z misji Apollo 8 z 1968 roku, okrążyć Księżyc i wrócić na Ziemię.

Najpierw wykonano dwa okrążenia wokół Ziemi, które załoga wykorzystała do testowania możliwości lotnych statku oraz systemów pokładowych. Następnie kapsuła Orion – nazwana przez astronautów Integrity – uruchomiła główne silniki podczas manewru „translunar injection burn" i obrała kurs na Księżyc. Dotarcie do strefy wpływu grawitacyjnego Księżyca zajęło około czterech dni. Tam Integrity weszła na trajektorię prowadzącą daleko poza niewidoczną stronę Księżyca, osiągając ostatecznie wysokość niemal 406 km i czyniąc załogę Artemis II najbardziej oddalonymi od Ziemi ludźmi w historii. „Gdy przekraczamy największą odległość, na jaką ludzie kiedykolwiek oddalili się od Ziemi – powiedział Hansen – oddajemy hołd niezwykłym wysiłkom i osiągnięciom naszych poprzedników w eksploracji kosmosu przez człowieka."

Artemis II była pierwszą z planowanej wieloletniej serii załogowych misji w głęboką przestrzeń kosmiczną, które – jeśli zakończą się sukcesem – doprowadzą do budowy mającej kosztować wiele miliardów dolarów bazy księżycowej w pobliżu południowego bieguna Księżyca w latach 30. XXI wieku. „Mamy wiele ambitnych planów związanych z Księżycem – mówi Lori Glaze, pełniąca obowiązki zastępcy administratora ds. rozwoju systemów eksploracyjnych NASA. – Naszym zamiarem jest ustanowienie trwałej obecności na Księżycu, a szczególnie na biegunie południowym, gdzie nikt wcześniej nie był. A pierwszym krokiem do osiągnięcia tego celu jest Artemis II."

NASA/Aubrey Gemignani

eprasa.pl 5b4d5e3312

Misja wystartowała ponad trzy lata po bezzałogowym locie Artemis I i podobnie jak on miała wyboistą drogę do startu. Wycieki paliwa i inne problemy związane z systemami naziemnymi oraz rakietą SLS opóźniły start Artemis II o wiele miesięcy. W trakcie tych opóźnień kierownictwo NASA przebudowało znaczną część architektury programu Artemis, który obejmuje teraz dodatkowy załogowy lot przed lądowaniem Artemis IV na Księżycu, zwiększoną częstość misji oraz – w przyszłości – mniejszą zależność od kosztownego i kapryśnego systemu SLS.

Plany te byłyby trudne do zrealizowania, gdyby Artemis II nie zakończyła się sukcesem. Teraz jednak ponownie jesteśmy gatunkiem podróżującym na Księżyc. „Przez prawie ostatnie 60 lat więcej niż jedno pokolenie nie było świadkiem eksploracji prowadzonej przez ludzi poza niską orbitą okołoziemską. To ogromna sprawa – mówi Lori Garver, była zastępczyni administratora NASA. – Powrót do takich misji, w dodatku w sposób, który, mamy nadzieję, doprowadzi do odkryć możliwych tylko wtedy, gdy docieramy dalej, niż wcześniej byliśmy – chyba większość z nas zgodzi się, że to ważne.”

PODOBIEŃSTWA między Apollo 8 a Artemis II wykraczają poza profile misji; obie wystartowały również w okresach niezwykłych globalnych napięć.

Pod koniec lat 60. Stany Zjednoczone były prawdopodobnie tak podzielone, jak nigdy od czasów wojny secesyjnej. Niemal sześć dekad temu kraj rozdzierały protesty przeciw wojnie w Wietnamie, skutki szeroko zakrojonego ruchu praw obywatelskich oraz zabójstwa Martina Luthera Kinga Jr. i Roberta F. Kennedy’ego. W czasie tych zawirowań Apollo 8 wzniosła się w przestrzeń kosmiczną. W Wigilię Bożego Narodzenia 1968 roku załoga uczestniczyła w transmitowanej na żywo audycji telewizyjnej z orbity księżycowej. A zanim statek wodował na Oceanie Spokojnym, astronauci wykonali jedno z najbardziej epokowych zdjęć ery kosmicznej: Earthrise (wschód Ziemi), na którym nasza samotna akwamarynowa kula lśni ponad jałowym księżycowym krajobrazem.

Apollo 8 i Artemis II wystartowały w okresie niezwykłych globalnych napięć.

Po powrocie członkowie załogi otrzymali miliony telegramów, ale jeden szczególnie się wyróżniał. Napisano w nim: „Uratowaliście rok 1968”. Wydawało się, że – przynajmniej dla niektórych – napędzany zimną wojną wyścig kosmiczny ze Związkiem Radzieckim dostarczył Ameryce, jeśli nie całemu światu, potężnego poczucia jedności i inspiracji. „Jeśli kiedykolwiek loty kosmiczne miały moc leczenia społecznych podziałów, to było to w roku 1968 – mówi Bimm. – Technika kosmiczna



Widzowie obserwują start misji Artemis II z punktu widokowego Banana Creek w Kennedy Space Center na Florydzie.

NASA/Keegan Barber

eprasa.pl 5b4d5e3312

i eksploracja kosmosu były podczas zimnej wojny symbolem narodowego prestiżu i potęgi – pilnym celem i istotnym elementem geopolitycznej strategii. Dziś tę rolę odgrywa sztuczna inteligencja."

Prawie 60 lat później Stany Zjednoczone znów znajdują się na rozdrożu, uwikłane w niepopularną wojnę, z podzielonym społeczeństwem stojącym wobec możliwego kryzysu gospodarczego. A drugi wyścig kosmiczny prawdopodobnie już trwa – tym razem między USA a Chinami, które również mają ambitne plany księżycowe. Nawiązując do Apollo 8, załoga Artemis II wybrała „wskaźnik nieważkości" inspirowany kultowym zdjęciem Earthrise: Rise – uśmiechniętą pluszową maskotkę przedstawiającą Księżyc ubrany w czapkę baseballową z motywem Ziemi.

Nawet kalendarz zdawał się sprzyjać porównaniom: nie były to wprawdzie święta Bożego Narodzenia, ale astronauci Artemis II weszli w strefę wpływu grawitacyjnego Księżyca w Wielkanoc – kolejny ważny dzień

„Za każdym razem gdy wysyłamy ludzi w kosmos, czuję ucisk w żołądku."

CLAY MOWRY, *AMERICAN INSTITUTE OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS*

dla chrześcijan. „Niezależnie od tego, czy obchodzicie Wielkanoc, czy nie, czy wierzycie w Boga, czy nie wierzycie, jest to okazja, by przypomnieć sobie, gdzie jesteśmy, kim jesteśmy i że jesteśmy tym samym – i że musimy przez to przejść razem – powiedział Glover podczas spontanicznej rozmowy o święcie. – Myślę, że może odległość, jaka nas od was dzieli, sprawia, że wydaje wam się, iż robimy coś wyjątkowego, ale wy jesteście dokładnie tak samo daleko od nas. Zaufajcie mi – to wy jesteście wyjątkowi."

Pomimo tych podobieństw loty kosmiczne zajmują dziś zupełnie inne miejsce w zbiorowej świadomości niż w epoce Apollo. „Żyjemy w rozkwitającej erze kosmicznej, co niekoniecznie przebija się do świadomości publicznej za każdym razem, gdy wystrzeliwane są kolejne satelity Starlink" – mówi Margaret Weitekamp, historyczka i kuratorka w National Air and Space Museum Smithsonian Institution. Ale załogowe loty kosmiczne są czymś innym – zwłaszcza lot testowy taki, jak Artemis II. „Trzeba mieć odwagę, żeby to robić – być pilotami testowymi systemu takiego, jak ten – mówi Clay Mowry, dyrektor generalny American Institute of Aeronautics and Astronautics. – Za każdym razem, gdy wysyłamy ludzi w kosmos, czuję ucisk w żołądku."

CHOĆ ARTEMIS II OKAZAŁA SIĘ ogromnym sukcesem, którego NASA potrzebowała, nie wszystko działało idealnie. Szczególnie zawiodła wydrukowana w technologii 3D tytanowa toaleta misji – pierwsza w historii, która poleciała na Księżyc. Członkowie załogi poradzili sobie jednak z problemem hydraulicznym, nie tracąc z oczu priorytetów, do których należało badanie pokrytej kraterami niewidocznej strony Księżyca, ukrytej przed ludzkimi oczami na Ziemi.

Podczas siedmiogodzinnego przelotu wokół Księżyca oglądany przez iluminatory Integrity wydawał się wielkości piłki do koszykówki trzymanej na wyciągnięcie ręki. Załoga badała jego powierzchnię, dostrzegając subtelne zielone i brązowe odcienie, których wcześniej nie odwzorowały zdjęcia satelitarne. Astronauci zauważyli nawet błyski światła powstające wtedy, gdy mikrometeoryty uderzają w księżycową skorupę – ich obserwowanie wywołało okrzyki radości zespołu naukowego w centrum kontroli misji. Członkowie załogi byli też świadkami nieziemskiego widowiska: całkowitego zaćmienia Słońca, podczas którego sylwetka Księżyca wydawała się tak ogromna, że niemal przez godzinę zasłaniała Słońce, odsłaniając kilka planet i nieskończony kosmos pełen gwiazd.

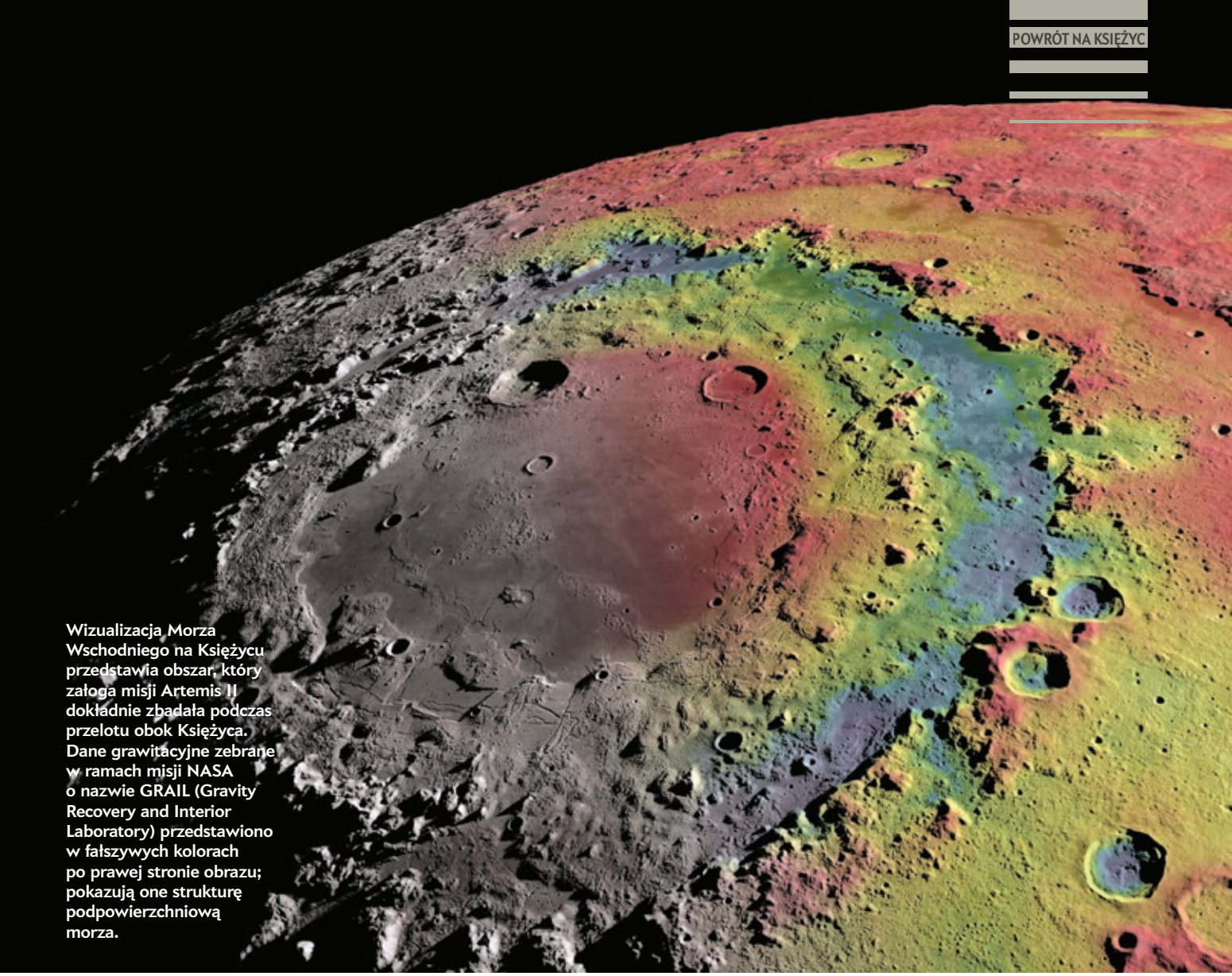
„To nie do opisania. Nieważne, jak długo na to patrzymy, nasze mózgi nie ogarniają obrazu, który mamy przed oczami – powiedział Wiseman. – To absolutnie spektakularne, surrealistyczne. Nie ma odpowiednich przymiotników. Będę musiał wymyślić nowe, żeby opisać to, na co patrzymy."

Na Ziemi zespół w Houston ukuł już nowe określenie opisujące szczęście i ekscytację załogi Artemis II: moon joy — „księżycowa radość". I przez kilka dni, gdy ludzie na całym świecie śledzili transmisję NASA na żywo, ta radość promieniała z Księżyca na cały ziemski glob. „Nie przypominam sobie, aby kiedykolwiek ludzie byli tak zauroczeni załogą – mówi Bimm. – Wielu spodobało się to, co w niej dostrzegli, wartości, które konsekwentnie podkreślali – współpraca, szacunek dla innych, miłość, troska o Ziemię."

Najbardziej poruszający moment misji nastąpił, gdy astronauci rozmawiali z centrum kontroli krótko przed przelotem wokół Księżyca. Wśród wielu obiektów na powierzchni, które zauważyli, były dwa małe, nienazwane kratery. Załoga chciała nazwać jeden z nich Integrity – od nazwy ich statku kosmicznego. A jeśli chodzi o drugi, świetlisty punkt na Księżycu, to „chcielibyśmy nazwać go Carroll", łamiącym się głosem powiedział Hansen do Houston. „Straciliśmy ukochaną osobę. Miała na imię Carroll, była żoną Reida i matką Katey i Ellie." Żona Wisemana zmarła na raka w 2020 roku.

Krater Carroll znajduje się na granicy między widoczną a tajemniczą niewidoczną stroną Księżyca. I czasami można go dostrzec z Ziemi – jako jasny punkt, który na zawsze będzie oznaczał człowieczeństwo wniesione przez załogę Artemis II do tej misji. Niezależnie od tego, co ostatecznie NASA zbuduje na Księżycu, Krater Carroll zawsze tam będzie, przypominając nam, co znaczy udział człowieka w misji eksploracji kosmosu i być może kierując ludzkość ku coraz dalszym od domu podróżom z sercem i pokorą. Jak powiedziała Koch po powrocie na naszą planetę, my, ludzie, jesteśmy załogą statku kosmicznego Ziemia – niemal niemożliwie doskonałej oazy pośród pustki kosmosu. I jesteśmy w tym razem, równie ze sobą nierozerwalnie związani, jak Ziemia i Księżyc, złączone w niekończącym się niebiańskim tańcu." ■

eprasa.pl 5b4d5e3312



Wizualizacja Morza Wschodniego na Księżycu przedstawia obszar, który załoga misji Artemis II dokładnie zbadała podczas przelotu obok Księżyca. Dane grawitacyjne zebrane w ramach misji NASA o nazwie GRAIL (Gravity Recovery and Interior Laboratory) przedstawiono w fałszywych kolorach po prawej stronie obrazu; pokazują one strukturę podpowierzchniową morza.

NASA's Scientific Visualization Studio

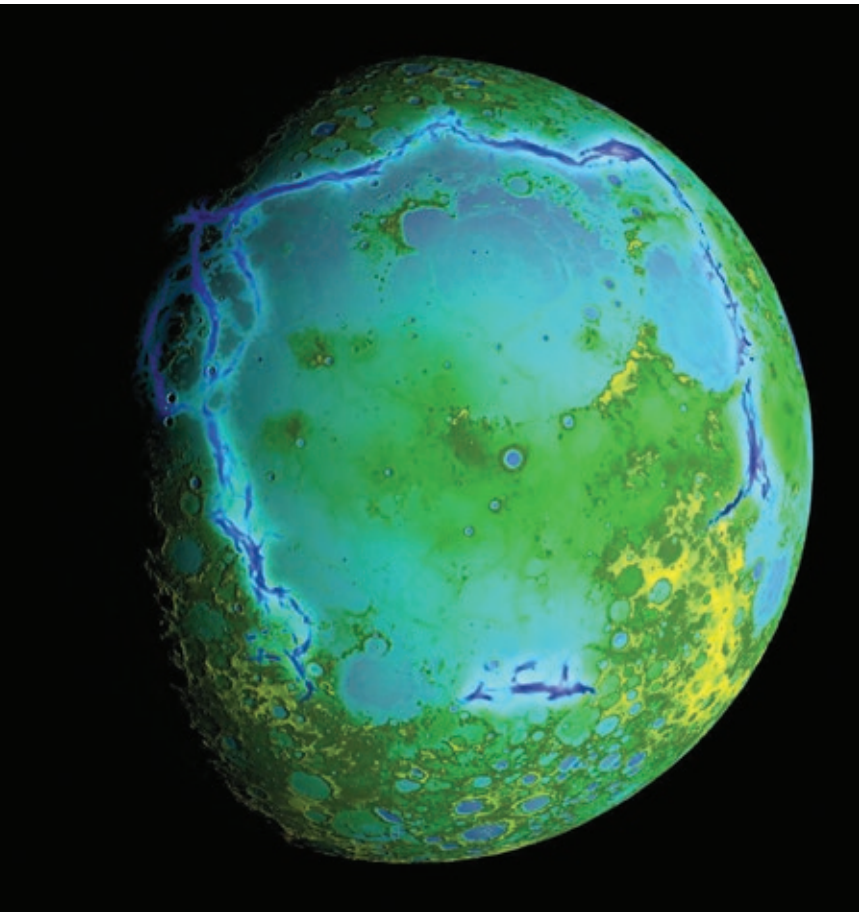
Geologia Srebrnego Globu

Jeśli ambitne plany NASA eksploracji Księżyca się powiodą, naukowcy pokryją jego powierzchnię czujnikami i znajdą odpowiedzi na kilka nurtujących pytań dotyczących wewnętrznego Układu Słonecznego

ROBIN GEORGE ANDREWS

Robin George Andrews jest wulkanologiem, autorem książek popularnonaukowych; mieszka w Londynie. Jego najnowsza książka to *How to Kill an Asteroid* (W. W. Norton, 2024). Na X @SquigglyVolcano

eprasa.pl 5b4d5e3312



Zdjęcie topograficzne pokazuje w fałszywych barwach okolice Oceanu Burz – największego obszaru zastygłej lawy na Księżycu. Na podstawie danych z wysłanych przez NASA misji Lunar Reconnaissance Orbiter oraz GRAIL stwierdzono, że niebieskie struktury na obrzeżach to zakopane pod równinami wulkanicznymi starodawne szczeliny zalane lawą.

NASA/Colorado School of Mines/MIT/GSFC/Scientific Visualization Studio

PODCZAS ZORGANIZOWANEJ PRZEZ NASA w marcu w Waszyngtonie konferencji „Ignition" administrator agencji, Jared Isaacman, jasno dał do zrozumienia, że misja Artemis II to dopiero początek szeroko zakrojonego amerykańskiego programu mającego na celu stałą obecność na Księżycu zarówno ludzi, jak i robotów badawczych. Jeśli te działania będą postępować w tak zawrotnym tempie, jakiego pragnąłby Isaacman, to ten niebiański towarzysz Ziemi stanie się również źródłem przełomowych odkryć naukowych.

Pomimo bliskości Księżyca wiemy o nim zaskakująco niewiele. Astronauci z programu Apollo przywieźli na Ziemię skały księżycowe i przeprowadzili kilka krótkotrwałych eksperymentów geologicznych, ale większość naszej wiedzy o Księżycu pochodzi z krążących wokół niego satelitów, obserwacji teleskopowych z Ziemi oraz kilku misji pobierania próbek, które niedawno przeprowadziły Chiny.

Wielu naukowców nie może się doczekać, żeby móc wykorzystać Księżyc niczym kamień z Rosetty do badania pochodzenia i ewolucji naszego globu oraz całego Układu Słonecznego. Tektonika, wulkanizm, oceany, atmosfera i życie zniszczyły geologiczne zapisy z najwcześniejszych epok naszej planety, ale Księżyc, na którym nie zachodziły tak burzliwe procesy, przechował dowody z przeszłości. Dzięki temu ta srebrzysta kula jest „idealnym laboratorium geologicznym" – mówi Sara Russell, planetolożka z Natural History Museum w Londynie. Mając teraz lepszy dostęp do Księżyca, możemy przedstawić najważniejsze pytania, na które selenolodzy chcieliby znaleźć odpowiedź.

W jaki sposób Księżyc wciąż pozostaje geologicznie aktywny?

Geologiczne „życie" planet i księżyców – czyli erupcje wulkaniczne, trzęsienia ziemi, wypiętrzanie się gór i powstawanie basenów oceanicznych – rozwija się dzięki ciepłu we wnętrzu obiektów. Jednakże gdy to ciepło słabnie, glob umiera – w sensie geologicznym.

Naukowcy znają trzy główne sposoby, dzięki którym te metaforyczne ognie mogą nadal płonąć. Wewnątrz planet i księżyców pozostała pewna ilość pierwotnego ciepła, powstałego w wyniku zderzeń ciał, które je uformowały. Ciepło emitują również rozpadające się pierwiastki promieniotwórcze. Ciepło tarcia wytwarzają natomiast siły pływowe, które ugniatają wnętrze globu jak ciasto.

Księżyc jest znacznie mniejszy od Ziemi, więc jego pierwotne ciepło powinno już dawno ulotnić się w przestrzeń. Z badań próbek księżycowych i modeli teoretycznych wynika, że nie ma on ukrytych zasobów pierwiastków promieniotwórczych. Dokładne obliczenia pokazują też, że przyciąganie grawitacyjne Ziemi nie powinno powodować znaczącego ogrzewania pływowego Księżyca. Jednakże na Księżycu wciąż występują płytkie trzęsienia ziemi, a szacunki wieku oparte na liczbie kraterów na jego pokrytej bliznami powierzchni świadczą, że był on aktywny wulkanicznie jeszcze 100 mln lat temu – co w skali geologicznej jest niczym wczoraj.

Naukowcy oczywiście mają pytania. „Czy Księżyc nadal wykazuje aktywność wulkaniczną?" – pyta Thomas Watters, starszy naukowiec w Center for Earth and Planetary Studies przy Smithsonian National Air and Space Museum w Waszyngtonie. Aby dowiedzieć się, jak silna obecnie jest aktywność geologiczna i skąd się ona bierze, „musimy dokładniej przyjrzeć się wewnętrznej strukturze Księżyca" – mówi Watters.

Aby dotrzeć do (geologicznego) sedna sprawy, naukowcy pragną poznać największą tajemnicę Księżyca: co dzieje się w jego najgłębszych warstwach. „Czy Księżyc ma jądro stałe, czy płynne?" – pyta Yuqi Qian, selenolog z University of Hong Kong. I odpowiada: „Wciąż tego nie wiemy".

Dzięki sejsmometrom naukowcy mogą wykorzystać trzęsienia ziemi na Księżycu (wywołane albo przez wewnętrzne wstrząsy, albo przez uderzenia meteorytów) do wykonania tomografii komputerowej głębokich warstw pod powierzchnią. Niestety sejsmometry, które astronauci z misji Apollo umieścili na Księżycu, przestały działać w 1977 roku, ale nawet gdyby nadal działały, niewiele by to dało, gdyż wszystkie znajdują się w jednym miejscu na widocznej stronie Księżyca. „Nie mamy żadnych sejsmometrów rozmieszczonych na jego dalszej stronie" – mówi Qian.

Ale to się wkrótce zmieni. Jeśli wierzyć obecnym planom, misja Artemis IV umieści astronautów na Księżycu w 2028 roku. Członkowie załogi, którzy dotrą na miejsce lądowania w pobliżu południowego bieguna Księżyca, będą mieli ze sobą najnowocześniejszy

eprasa.pl 5b4d5e3312

zestaw sejsmometrów Lunar Environment Monitoring Station. W ramach inicjatywy NASA o nazwie Commercial Lunar Payload Services (Komercyjne usługi transportu ładunków księżycowych) na dalszej stronie Księżyca roboty rozstawią sieć czujników Farside Seismic Suite (Zestaw sejsmiczny dalszej strony). „Astronauci misji Artemis zainstalują jedne z pierwszych węzłów globalnej sieci sejsmicznej" – mówi Nicholas Schmerr, sejsmolog i planetolog z University of Maryland w College Park. (Chiny mogą dokonać swojego pierwszego załogowego lądowania w jakimś miejscu na bliskiej stronie Księżyca i również umieścić sejsmometry).

Sejsmometry świetnie nadają się nie tylko do badania tajemnic wnętrza Księżyca; można je również wykorzystać do ustalenia, jak aktywny sejsmicznie jest on obecnie. Trzęsienia ziemi na Księżycu, które w największym nasileniu mogą trwać godzinami, mogłyby zagrozić przyszłej bazie księżycowej. „Nie należy traktować Księżyca jako całkowicie bezpiecznego miejsca – mówi Watters. – Trzeba najpierw sprawdzić, czy aktywność sejsmiczna nie stanowi zagrożenia dla długoterminowej infrastruktury."

Dla zrozumienia geologicznego tętna Księżyca, kluczowe znaczenie będą miały również próbki. Z badania skał, dostarczonych na Ziemię przez chińskie misje bezzałogowe Chang'e 5 i Chang'e 6, wynika, że na Księżycu występowała aktywna działalność wulkaniczna co najmniej do dwóch miliardów lat temu. Aby poszerzyć naszą wiedzę o nowszej historii Księżyca, konieczne jest pozyskanie z jego powierzchni materiałów młodszych. Jak twierdzi Qian, „na razie takimi próbkami nie dysponujemy".

Naukowcy mają również nadzieję, że podczas przyszłych lądowań uda się zlokalizować i pobrać próbki z odsłoniętych fragmentów płaszcza księżycowego, który jest pierwotnym podłożem skorupy księżycowej. Gdyby skały płaszcza okazały się obfite w produkty rozpadu promieniotwórczego, oznaczałoby to prawdopodobnie, że wnętrze Księżyca jest bogatsze w radioizotopy wytwarzające ciepło, niż dotąd sądzili naukowcy – co wyjaśniałoby, dlaczego Księżyc wciąż jest aktywny, mimo że jego okres ważności geologicznej już dawno minął.

Jak powstał Księżyc?

Najpopularniejsza hipoteza dotycząca powstania Księżyca zakłada, że Thea – protoplaneta wielkości Marsa – zderzyła się z proto-Ziemią, a szczątki obu ciał szybko połączyły się, tworząc Księżyc. Ta opowieść nie jest bajką: potwierdzają ją rzetelne symulacje komputerowe oparte na licznych dowodach geochemicznych. Próbki płaszcza Księżyca mogłyby wzmocnić tę hipotezę, a obserwacje geofizyczne mogłyby wyjaśnić najdziwniejszą cechę Księżyca.

Strona widoczna z Ziemi pokryta jest rozległymi, ciemnymi plamami ostygłej lawy wulkanicznej zwanymi morzami. Strona niewidoczna z Ziemi przypomina bardziej Merkurego: jest to pokryty kraterami teren poprzecinany poszarpanymi grzbietami górskimi. Dlaczego Księżyc ma dwie tak różne twarze?

Jednym z możliwych wyjaśnień jest tak zwany blask Ziemi. Miliardy lat temu, kiedy powstawał Księżyc, jego orbita znajdowała się 15 razy bliżej Ziemi niż obecnie. W pewnym momencie doszło do synchronizacji pływowej Księżyca, co oznacza, że jedna półkula (strona widoczna) na zawsze stała się zwrócona w stronę Ziemi. A ponieważ w tamtych czasach nasza planeta była wrzącą kulą magmy, bliższa strona Księżyca została upieczona niczym crème brûlée, przekształcając się w stopioną i pęcherzykowatą masę. Strumienie odparowanej skały wirowały wokół Księżyca, ochładzając się i opadając na drugą stronę, tworząc jej grubą, nierówną skorupę. Sieć sejsmometrów, zwłaszcza na stronie dalszej, mogłaby ujawnić ukryte ślady przeszłości Księżyca. „Jaka jest struktura Księżyca? – pyta Russell. – Trzeba to ustalić, ponieważ pomoże nam to zrozumieć, w jaki sposób Księżyc powstał z resztek gigantycznego zderzenia, a następnie jak ewoluował".

Skąd wzięła się woda na Księżycu?

NASA zamierza wysłać astronautów w okolice południowego bieguna Księżyca, ponieważ właśnie tam, w kraterach pozostających w wiecznym cieniu, znajduje się pewna ilość lodu wodnego – potencjalnego źródła wody dla ludzi, uprawy roślin oraz produkcji paliwa rakietowego w stałej bazie księżycowej. Nie jest więc przypadkiem, że poszukiwania zasobów na Księżycu były gorącym tematem podczas konferencji „Ignition". Astronauci mogliby w zasadzie sami zejść do zdradliwie ciemnych i zimnych kraterów, ale większość poszukiwań wody będzie prowadzona przez roboty.

NASA wyśle łazik Volatiles Investigating Polar Exploration Rover (Łazik badający substancje lotne na biegunie), którego instrumenty pozwolą wywęszyć wodę pod powierzchnią, a następnie wykona wiercenia mające potwierdzić jej obecność. Podobne zadania będzie wykonywał łazik NASA nowej generacji – Lunar Terrain Vehicle (Księżycowy pojazd terenowy) – sterowany przez astronautów lub poruszający się autonomicznie po powierzchni. Podczas nadchodzącej misji załogowej astronauci mają zabrać ze sobą Lunar Dielectric Analyzer (Księżycowy analizator dielektryczny) – przyrząd, który może wykrywać prądy elektryczne w podłożu, co może ujawnić obecność lodu. „Dzięki temu naprawdę dowiemy się, gdzie na Księżycu znajduje się woda i w jakiej jest postaci" – mówi Russell.

Poszukiwanie wody nie ma wyłącznie praktycznego celu. Naukowcy wciąż nie są pewni, skąd wzięła się woda na Ziemi. Dwie główne podejrzane to bogate w lód komety i suchsze planetoidy. Badania geochemiczne meteorytów i oceanów na Ziemi sugerują, że bardziej prawdopodobnym nośnikiem były planetoidy, ale sprawa jest nadal otwarta. Analiza stosunkowo dziewiczej powierzchni Księżyca – której znaczna część była zamrożona przez miliardy lat – może pomóc w rozwiązaniu tej zagadki. „Jeśli na Księżycu znajduje się lód wodny, jego sygnatura może być bardziej prymitywna" – mówi Qian. A ponieważ Ziemia i Księżyc mają bardzo podobną historię, „woda na Księżycu ma prawdopodobnie takie samo pochodzenie, jak woda na Ziemi" – twierdzi Russell. Teraz naukowcy muszą tylko ją znaleźć. ■

eprasa.pl 5b4d5e3312

Księżycowe oczy

Misje księżycowe Artemis zapowiadają przełom w astronomii

JOSEPH HOWLETT

PODCZAS GDY RZĄD Stanów Zjednoczonych drastycznie ogranicza wydatki na badania naukowe, jedno wydaje się pewne: wciąż jest mnóstwo pieniędzy na loty na Księżyc.

Artemis II to tylko jeden z wielu projektów NASA związanych z eksploracją Księżyca; prace nad kolejnymi misjami – załogowymi i bezzałogowymi – idą pełną parą. A wszystkie również umożliwiają prowadzenie badań podstawowych.

Na Księżycu jest do odkrycia wiele nowych rzeczy. Większość z nich związana jest z samym Księżycem – jego tajemniczymi początkami, bogatą historią, a nawet zasobami, które może on skrywać. Jednakże niektórzy astronomowie, w obliczu coraz bardziej ograniczonego finansowania przez rząd ich specjalistycznych projektów, zaczynają postrzegać Księżyc jako bardziej stabilną platformę dla niektórych swoich najambitniejszych badań.

ANŽE SLOSAR, FIZYK z Brookhaven National Laboratory w stanie Nowy Jork, miał kiedyś nadzieję na umieszczenie radioteleskopu na dalszej stronie Księżyca, ale porzucił to marzenie wiele lat temu. Projekt wydawał się po prostu zbyt kosztowny, a zainteresowanie nim było zbyt małe. „Po lądowaniach misji Apollo wszyscy myśleli: »Udało się«, i tyle" – mówi. Nastroje zmieniły się za czasów pierwszej kadencji prezydenta Trumpa. Pewnego dnia Slosar otrzymał e-mail od dyrektora programu Departamentu Energii z pytaniem, czy nadal uważa budowę radioteleskopu na drugiej stronie Księżyca za możliwą i czy byłby zainteresowany kierowaniem pracami departamentu nad takim projektem. Była to najłatwiejsza decyzja w jego karierze zawodowej. „Odpowiedziałem: »Oczywiście!« – wspomina. – To zmieniło moje życie na zawsze".

Entuzjazm Slosara wynika z faktu, że radioteleskop na Księżycu może robić rzeczy, których nie potrafi żaden instrument na Ziemi. Radioteleskopy naziemne mogą odbierać sygnały tylko w ograniczonym zakresie długości fal. Dzieje się tak, ponieważ cząsteczki powietrza w górnych warstwach atmosfery pochłaniają promienie ultrafioletowe Słońca, co wyrywa ich elektrony, a tym samym dochodzi do jonizacji. Dla większości fal radiowych powstała w ten sposób warstwa wypełniona jonami – jonosfera – działa jak gigantyczne lustro blokujące wiele nadchodzących sygnałów kosmicznych.

Rozwiązanie nie polega na zwykłym wysłaniu radioteleskopu w kosmos. Aby obserwatorium kosmiczne mogło być naprawdę użyteczne dla radioastronomów, musiałoby mieć niezwykle dużą czułość – tak dużą, że zostałoby zagłuszone przez sygnały telekomunikacyjne dochodzące z Ziemi. Aby uchwycić sygnały z dalekich obiektów, w tym odległych galaktyk, astronomowie potrzebują anteny umieszczonej w miejscu pozbawionym atmosfery, które jednocześnie byłoby w jakiś sposób chronione przed całym ziemskim szumem.

Takie miejsce oczywiście istnieje: znajduje się zaledwie o rzut kamieniem od trzeciej planety od Słońca. Ziemia jest związana z Księżycem w synchronicznym tańcu, więc jedna półkula księżycowa zawsze jest od nas odwrócona. Na tej odległej powierzchni to sam Księżyc działa jak tarcza chroniąca przed kakofonią sygnałów radiowych z Ziemi. I to właśnie ta bariera sprawiła, że 6 kwietnia, kiedy statek kosmiczny Orion został zasłonięty przez Księżyc, centrum kontroli lotów w Houston straciło kontakt z załogą Artemis II na około 40 min. „Znajdując się w odpowiednim momencie za Księżycem, można uniknąć zakłóceń zarówno ze strony Słońca, jak i Ziemi – mówi Slosar. – Jest to jedno z najlepszych miejsc w naszym Układzie Słonecznym do obserwacji fal promieniowania radiowego o niektórych długościach."

Ten zakres długości fal stanowi swego rodzaju okno na najbardziej tajemniczą epokę w historii Wszechświata.

Nasza najstarsza fotografia Wszechświata pochodzi z momentu około 380 tys. lat po Wielkim Wybuchu. Znana jest jako kosmiczne mikrofalowe promieniowanie tła (cosmic microwave background; CMB); jest to światło, które zostało wyemitowane wtedy, gdy gorąca, gęsta plazma wypełniająca młody Wszechświat ostygła tak, żeby utworzyć atomy wodoru. Podobnie jak roje elektronów w jonosferze Ziemi, które blokują fale radiowe, swobodne elektrony w pradawnej, zjonizowanej

NASA

Joseph Howlett jest redaktorem „Scientific American".

eprasa.pl 5b4d5e3312



Odległa strona Księżyca widziana przez załogę misji Artemis II. Księżyc blokuje fale radiowe dochodzące z Ziemi, dlatego jest to idealne miejsce do odbierania sygnałów z kosmosu.

plazmie również blokowały promieniowanie. Dopiero kiedy wszystkie elektrony znalazły się w wodorze atomowym, światło, przez tysiąclecia skrywane przez pierwotną mgłę, zostało uwolnione i mogło swobodnie rozprzestrzeniać się we Wszechświecie. Dzisiaj postrzegamy tę „powierzchnię ostatniego rozproszenia" jako poświatę radiową na całym obszarze nieba.

Nie dysponujemy jednak praktycznie żadnymi danymi z kolejnych setek milionów lat po tym wyjątkowym momencie. Wynika to z faktu, że Wszechświat był wypełniony stosunkowo chłodnym wodorem, który sam prawie nie emitował promieniowania, za to je pochłaniał. Dopiero gdy zaczęły z niego powstawać gwiazdy i galaktyki, pojawiło się wystarczająco dużo światła i ciepła, aby ponownie zjonizować część atomów, dzięki czemu rozrastające się struktury kosmiczne stały się widoczne dla naszych teleskopów.

W tych tzw. kosmicznych wiekach ciemnych pojawiła się jednak odrobina promieniowania: słaby strumień fal radiowych o długości 21 cm, emitowanych przez atomy wodoru. Dzięki heroicznym wysiłkom astronomów używających instrumentów naziemnych udało się wykryć słabe sygnały kosmiczne o tej długości fali, ale hałaśliwy, fragmentaryczny obraz, który uzyskano, jest niestety niekompletny. Aby stworzyć mapę ciemnych wieków w całej ich ukrytej okazałości – aby odkryć, w jaki dokładnie sposób chłodna materia połączyła się w świecące struktury kosmiczne – zdecydowanie najlepszym rozwiązaniem jest prowadzenie badań na odległej stronie Księżyca.

I tu właśnie do akcji wkracza Slosar. Obecnie, w ramach partnerstwa z NASA, kieruje on projektem Lunar Surface Electromagnetics Experiment–Night (Eksperyment elektromagnetyczny na powierzchni Księżyca-Noc; LuSEE-Night), który ma polecieć na odległą stronę Księżyca w grudniu 2026 roku. Do tego celu użyty zostanie lądownik Blue Ghost firmy Firefly Aerospace, stworzony w ramach inicjatywy NASA Commercial Lunar Payload Services (Komercyjne usługi transportu ładunków księżycowych; CLPS), która wykorzystuje lądowniki zbudowane i obsługiwane przez sektor prywatny do wysyłania na powierzchnię Księżyca m.in. statków kosmicznych i aparatury do przeprowadzania eksperymentów naukowych.

Gdy LuSEE-Night dotrze do celu, jego największym wyzwaniem będzie przetrwanie kriogenicznie zimnej księżycowej nocy, która trwa około 14 dni ziemskich. Zespół Pink Floyd mógł wprowadzić cię w błąd: odległa strona Księżyca nie zawsze jest ciemna. Kiedy jednak jest, staje się miejscem niegościnnym – niewiele eksperymentów tę noc przetrwało. Misja ma charakter pionierski i ma udowodnić, że na odległej stronie Księżyca da się zbudować i użytkować jeszcze większe i bardziej zaawansowane radioteleskopy.

Księżyc mógłby stać się dla astronomów bardziej stabilną platformą do ambitniejszych kosmicznych badań.

BEZPŁATNA PODRÓŻ na Księżyc byłaby spełnieniem marzeń najnowszej generacji astronomów: tych, którzy badają Wszechświat poprzez analizę fal grawitacyjnych.

Zaledwie 11 lat temu ludzie zyskali możliwość skanowania nieba w poszukiwaniu tych nieuchwytnych fal za pomocą Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (Laserowe Interferometryczne Obserwatorium Fal Grawitacyjnych). Urządzenie to, lepiej znane jako LIGO, wykorzystuje lasery do wykrywania subtelnego rozciągania przestrzeni i czasu, wywołanego na przykład przez takie kataklizmy, jak zderzenia dwóch gigantycznych czarnych dziur.

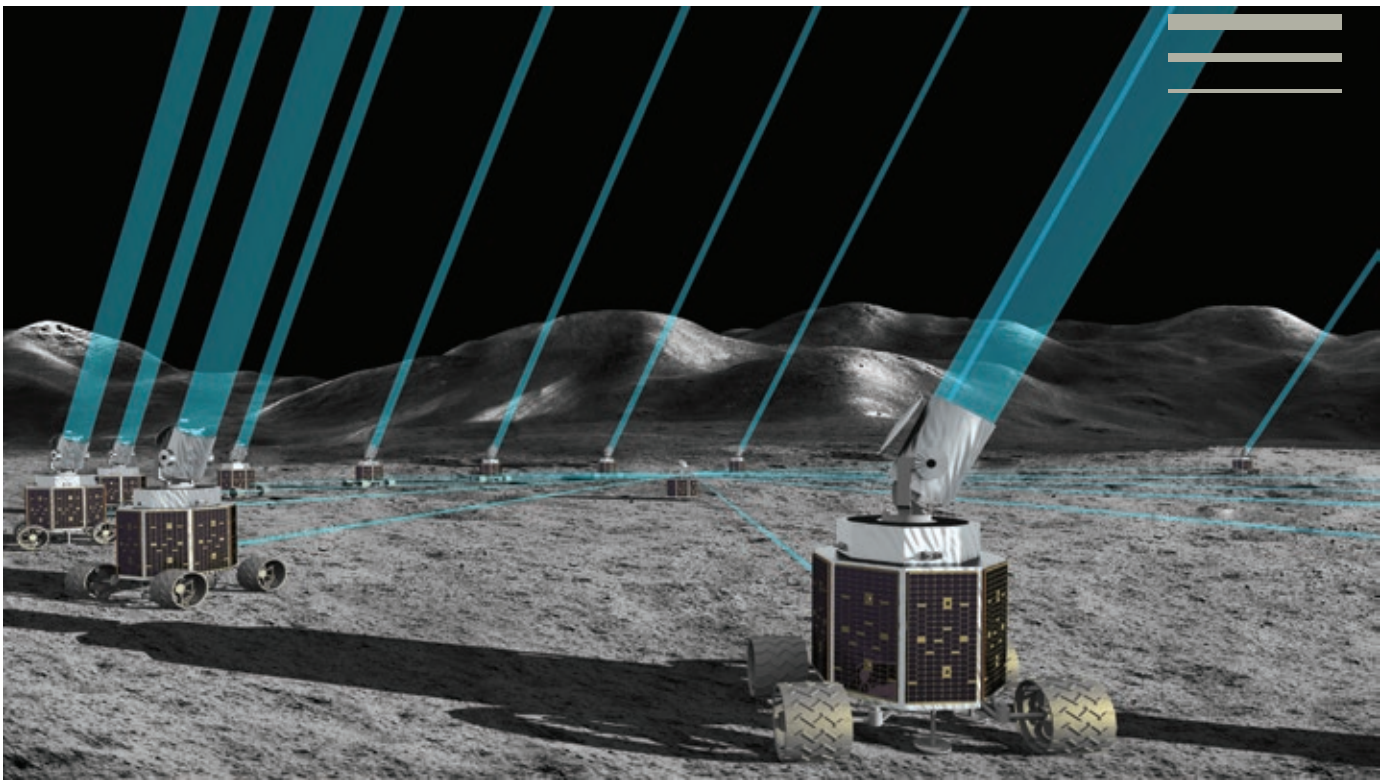
Przygotowywana przez Europejską Agencję Kosmiczną misja Laser Interferometer Space Antenna (Laserowa Interferometryczna Antena Kosmiczna; LISA) – będąca w istocie wersją LIGO umieszczoną w przestrzeni kosmicznej – będzie kontynuacją rewolucji zapoczątkowanej przez LIGO. Misja LISA, której start planowany jest już na rok 2035, będzie w stanie wychwycić fale powstające w wyniku zderzeń czarnych dziur o masach znacznie większych niż te, których kolizje rejestruje LIGO. Będzie ona również wykrywać spokojniejsze fale pochodzące od wirujących układów podwójnych, emitowane na długo przed ich wejściem w śmiertelną spiralę. Oba te rodzaje źródeł wytwarzają fale o długości milionów kilometrów i instrumenty naziemne nie mogą ich zarejestrować.

Aby móc badać kompletne spektrum fal grawitacyjnych, astronomowie kierują uwagę na Księżyc. Laser Interferometer Lunar Antenna (Laserowa Interferometryczna Antena Księżycowa; LILA) wypełniłaby lukę między LIGO a LISA, rejestrując fale o pośredniej długości. Fale te obejmowałyby sygnały pochodzące ze zderzeń białych karłów – obiektów astronomicznych, z których powstaje wiele supernowych. LILA rejestrowałaby również fale grawitacyjne wysyłane przez układy podwójne gwiazd neutronowych i czarnych dziur w momencie, gdy rozpoczynają one swój ostateczny ruch ku zderzeniu, stanowiąc system wczesnego ostrzegania, który mógłby powiadomić LIGO o zderzeniach na dwa tygodnie przed ich wystąpieniem. „Nie ma innego miejsca w Wszechświecie, gdzie można by wykrywać fale grawitacyjne w tym paśmie pośrednim – mówi Karan Jani, astrofizyk z Vanderbilt University, który jest głównym badaczem projektu LILA. – Mamy tylko Księżyc".

Wynika to z faktu, że Księżyc jest geologicznie znacznie mniej aktywny niż nasza burzliwa planeta. „Nie ma on tak aktywnego jądra" – mówi Jani, co oznacza, że powierzchnia Księżyca może stanowić stabilną platformę dla systemów laserowych przeznaczonych do wykrywania fal grawitacyjnych, zaprojektowanych specjalnie do pracy w paśmie pośrednim.

LILA będzie zbudowana z luster zamontowanych na łazikach. Zespół projektu ma nadzieję, że uda mu się przyłączyć do nadchodzącej misji CLPS. Kiedy lądownik dotrze na powierzchnię Księżyca, dwa łaziki ze zwierciadłami ruszą w różnych kierunkach, tworząc trójkąt o bokach długości pięciu kilometrów; trzecim

eprasa.pl 5b4d5e3312



Urządzenie AeSI będzie układem zamontowanych na łazikach zwierciadeł, wykonującym zdjęcia wysokiej rozdzielczości dalekich gwiazd na każdym etapie ich życia.

Britt Griswold/GSFC

wierzchołkiem trójkąta ma być lądownik. Następnie instrument na lądowniku wyśle wiązki laserowe w kierunku łazików, aby zmierzyć ich odległości z subatomową precyzją. „Szczerze mówiąc, nie myślelibyśmy o LILA, gdyby Stany Zjednoczone nie wybierały się na Księżyc” – mówi Jani. Zespół LILA ma nadzieję znaleźć się w późniejszej fazie projektu, która byłaby realizowana we współpracy z programem Artemis, a obsługę i konserwację prowadziliby astronauci.

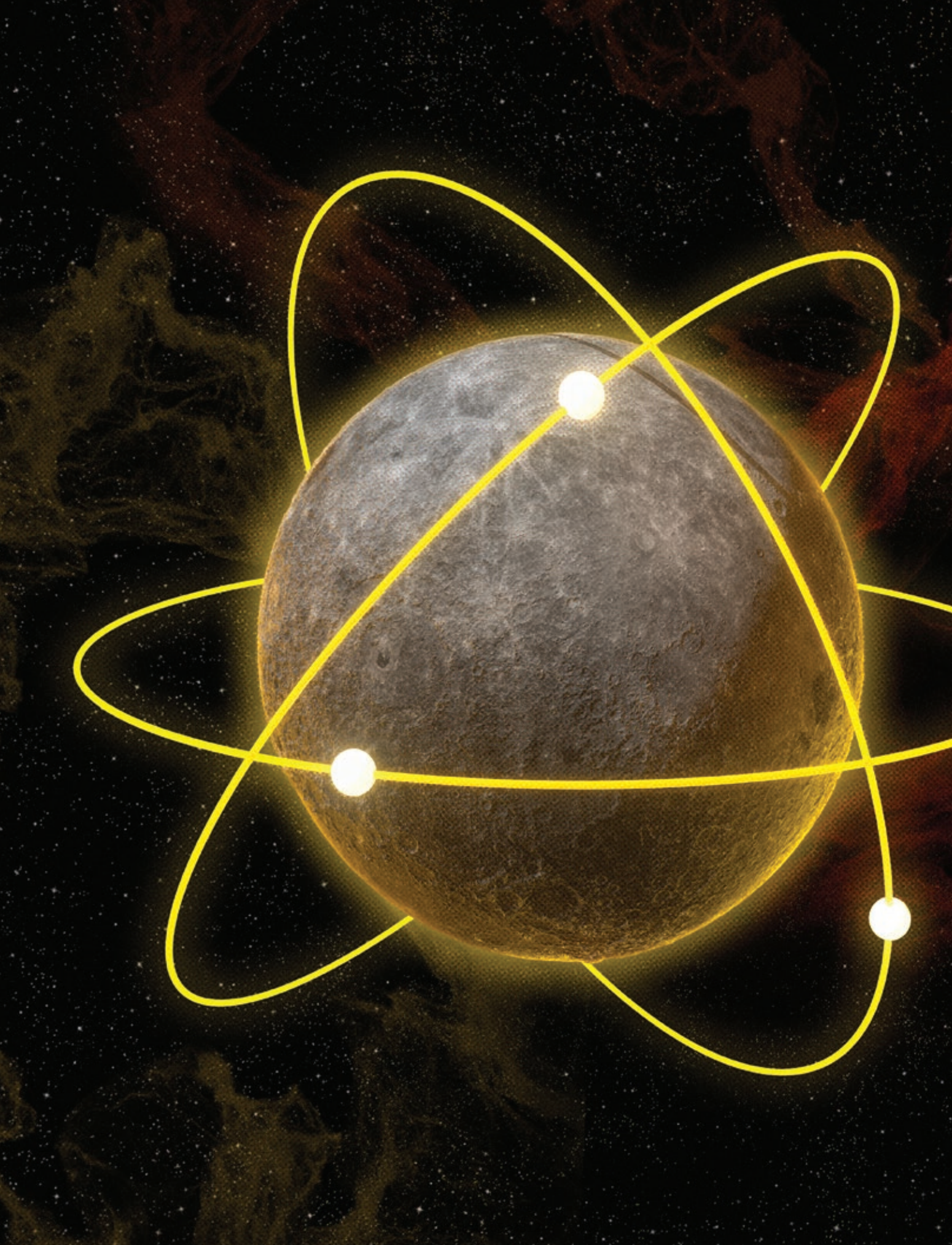
OBSERWATORIA TAKIE, JAK Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba (James Webb Space Telescope; JWST) i Kosmiczny Teleskop Hubble'a – ale także typowe teleskopy amatorskie – wykorzystują zwierciadło wyprofilowane w taki sposób, żeby skupiało światło docierające z wielu kierunków w jednej płaszczyźnie ogniskowej. Aby zebrać więcej światła z odległych obiektów i uzyskać ostrzejszy obraz, duże teleskopy mają zwierciadła segmentowe. Główne lustro JWST składa się z 18 segmentów.

Interferometria optyczna to sposób na znaczne powiększenie powierzchni zbierającej światło teleskopu poprzez rozmieszczenie takich segmentów na jeszcze większym obszarze. W takim podejściu poszczególne zwierciadła tworzą układ, a każdy węzeł kieruje zebrane przez siebie światło do centralnego odbiornika, który koryguje i łączy ze sobą te sygnały. W efekcie powstaje znacznie potężniejszy teleskop.

W ramach programu Artemis naukowiec z NASA Kenneth Carpenter zamierza zbudować na Księżycu urządzenie do interferometrii optycznej. Proponowany układ Artemis-enabled Stellar Imager (Dostosowany do Artemis instrument obrazujący gwiazdy; AeSI) składałby się z 15 do 30 zwierciadeł zamontowanych na łazikach. Umożliwiłoby to precyzyjne regulacje w trakcie pracy, w tym zmianę konfiguracji, dzięki czemu urządzenie mogłoby celować w dowolny obiekt na księżycowym niebie. AeSI jest zaawansowanym technicznie pionierskim rozwiązaniem i mógłby monitorować wiele gwiazd na znacznym obszarze Drogi Mlecznej. Obserwując je w promieniowaniu ultrafioletowym, do którego obserwatoria naziemne nie mają dostępu z powodu blokującej to promieniowanie warstwy ozonowej w ziemskiej atmosferze, projekt ten mógłby, nomen omen, rzucić więcej światła na wciąż nieznane szczegóły aktywności gwiazd w całej Galaktyce. „Mamy dane o Słońcu we wspaniałej wysokiej rozdzielczości – mówi Carpenter – ale wciąż nie udało nam się stworzyć dobrego modelu prognostycznego jego aktywności”. Nawet najlepsze modele słoneczne mają trudności z precyzyjnym przewidywaniem rozbłysków na naszej własnej, najlepiej przecież poznanej gwieździe. Obszerne zbiory danych gwiazdowych, które dostarczyłby AeSI, mogłyby to zmienić.

Carpenter twierdzi, że w projekcie można by również wykorzystać działania astronautów, co oznacza, że konserwacja AeSI byłaby kolejnym potencjalnym zadaniem dla załóg misji Artemis, które NASA planuje wysłać na Księżyc w 2028 roku i w latach 30. Dziesięciolecia pracy Carpentera przy Kosmicznym Teleskopie Hubble'a nauczyły go, że rozwiązywanie problemów jest nieporównanie łatwiejsze, gdy na miejscu znajduje się człowiek. „Prom kosmiczny i Hubble zostały w pewnym sensie zaprojektowane z myślą o sobie nawzajem” – mówi, nawiązując do misji STS-61 z 1993 roku, w której ramach odbył się „spacer” kosmiczny w celu naprawy krytycznej usterki zwierciadła Hubble'a. Carpenter uważa, że ten historyczny projekt „prawdopodobnie zakończyłby się niepowodzeniem bez współpracy z załogowym programem lotów kosmicznych”. ■

eprasa.pl 5b4d5e3312





Nuklearny Księżyc

NASA chce, aby księżycową bazę zasilał reaktor jądrowy. To nie jest tak szalone, jak się wydaje

ROBIN GEORGE ANDREWS
Ilustracja TAVIS COBURN

W UBIEGŁYM ROKU, niecały miesiąc po objęciu stanowiska pełniącego obowiązki administratora NASA, sekretarz transportu USA Sean Duffy ogłosił światu wiadomość, która wywołała niemałe zdziwienie: NASA zamierza umieścić na Księżycu reaktor jądrowy. Jak powiedział, w ramach wzmacniania bezpieczeństwa narodowego Stanów Zjednoczonych w przestrzeni kosmicznej reaktor ten miałby zostać zaprojektowany, zbudowany, wysłany i dostarczony na powierzchnię Księżyca do 2030 roku. Dla wielu obserwatorów deklaracja ta brzmiała szaleńczo. Po co właściwie umieszczać reaktor jądrowy na Srebrnym Globie?

Rzecz w tym, że jeśli Ameryka – lub jakikolwiek kraj zdolny do lotów kosmicznych – chce założyć na Księżycu stałą, zamieszkaną bazę zdolną do funkcjonowania podczas lodowatej i długiej księżycowej nocy, energia słoneczna nie wystarczy. Kontynuując program Artemis, w którego ramach właśnie wysłano

eprasa.pl 5b4d5e3312

czworo astronautów w podróż wokół Księżyca, NASA chce przekształcić srebrzystego towarzysza naszej planety w placówkę naukową, teren wydobywczy i kosmodrom skierowany ku Marsowi. Aby dało się to osiągnąć, energia jądrowa jest niezbędna. „To jedyny sposób, aby długoterminowo utrzymać bazę księżycową" – mówi Simon Middleburgh, współdyrektor Nuclear Futures Institute na Bangor University w Walii. Nic więc dziwnego, że Chiny i Rosja współpracują nad umieszczeniem własnego reaktora jądrowego na Księżycu do 2035 roku, aby zasilać energią to, co nazywają International Lunar Research Station – planowaną bazę przy południowym biegunie Księżyca. Prędzej czy później za sprawą któregoś państwa „energia jądrowa na Księżycu się pojawi – mówi Middleburgh. – To nieuniknione."

Elektrownie jądrowe są bezpieczniejsze, niż sądzi wielu ludzi. Ale umieszczanie reaktorów w kosmosie to koncepcja o burzliwej historii. Jeden szczególnie niesławny reaktor doprowadził do międzynarodowego incydentu w 1978 roku po rozpadzie w atmosferze Ziemi. A nikt nigdy wcześniej nie projektował reaktora przeznaczonego dla Księżyca – niegościnnej wulkanicznej pustyni narażonej na ekstremalne wahania temperatur, częste uderzenia planetoid i wstrząsy sejsmiczne.

Eksperci zakwestionowali zarówno termin budowy, jak i skalę elektrowni jądrowej proponowanej przez Duffy'ego. Umieszczenie do 2030 roku na południowym biegunie Księżyca reaktora o mocy wystarczającej dla 80 amerykańskich gospodarstw domowych – w środowisku, którego żaden człowiek jeszcze nie odwiedził – wydaje się trudno wykonalne, jeśli nie wręcz niemożliwe. A ostatnią rzeczą, jakiej ktokolwiek by sobie życzył, jest pośpiech na etapie koncepcji, budowy, startu i lądowania księżycowego reaktora jądrowego. „Myślę, że najgorszym scenariuszem byłoby, gdybyśmy w dążeniu do bycia pierwszymi pominęli ważne aspekty projektowania i bezpieczeństwa – mówi Bhavya Lal, profesor polityki kosmicznej w RAND School of Public Policy oraz była pełniąca obowiązki głównego inżyniera i zastępcy administratora ds. techniki, polityki i strategii w NASA. – Dobrze byłoby wszystkich wyprzedzić – nie ma nic złego w konkurencji – ale musimy zrobić to mądrze."

Jeśli Stanom Zjednoczonym się powiedzie, ich zasilana energią jądrową baza księżycowa może stać się przyczółkiem służącym eksploracji Układu Słonecznego. Ale błędy mogą się zdarzyć. I niezależnie od tego, czy przypadkowo pokryje się radioaktywnymi odpadami pradawny rezerwuar lodu wodnego, czy też pozostawi astronautów uwięzionych w księżycowej ciemności bez zasilania, skazując ich de facto na śmierć, katastrofa nuklearna na Księżycu byłaby – używając słów Middleburgha – „żenującą kompromitacją ludzkości".

KATY HUFF, INŻYNIER JĄDROWA z University of Illinois at Urbana-Champaign, była zastępczyni sekretarza ds. energii jądrowej w administracji Bidena, chce jednak jedną rzecz wyjaśnić: uran, niesławny radioaktywny pierwiastek wykorzystywany do zasilania elektrowni jądrowych i – po pewnych modyfikacjach – do nadawania większości bomb jądrowych ich niszczycielskiej mocy, nie jest groźny… przynajmniej w pewnym sensie.

Huff, która pasjonuje się energią jądrową, podkreśla, że niewykorzystane paliwo jądrowe „pod względem radiologicznym nie jest żadnym demonem – powiedziała podczas niedawnej rozmowy wideo. – Nie jest szczególnie radioaktywne." Wskazała na przedmiot leżący na biurku. „Mam trochę uranu w tym kartonowym pudełku." Fakt, że można trzymać uran w dłoni bez konsekwencji, może być dla wielu zaskoczeniem. „Można go wziąć do ręki. Jest jednak bardzo toksyczny, mniej więcej tak toksyczny, jak ołów – mówi Middleburgh. – Więc go nie jedzcie."

Uran staje się niebezpieczny – i użyteczny – kiedy trafi do reaktora jądrowego i zostanie zbombardowany neutronami. Uderzenia powodują rozszczepienie niestabilnych jąder atomowych uranu i emisję kolejnych neutronów, które rozrywają następne jądra – i voilà, otrzymujemy emitującą ciepło reakcję rozszczepienia jądrowego. Dopóki reakcja nie wymknie się spod kontroli, można wykorzystywać ciepło do zamiany płynu (często wody) w parę. Para obraca turbinę, która wytwarza energię elektryczną.

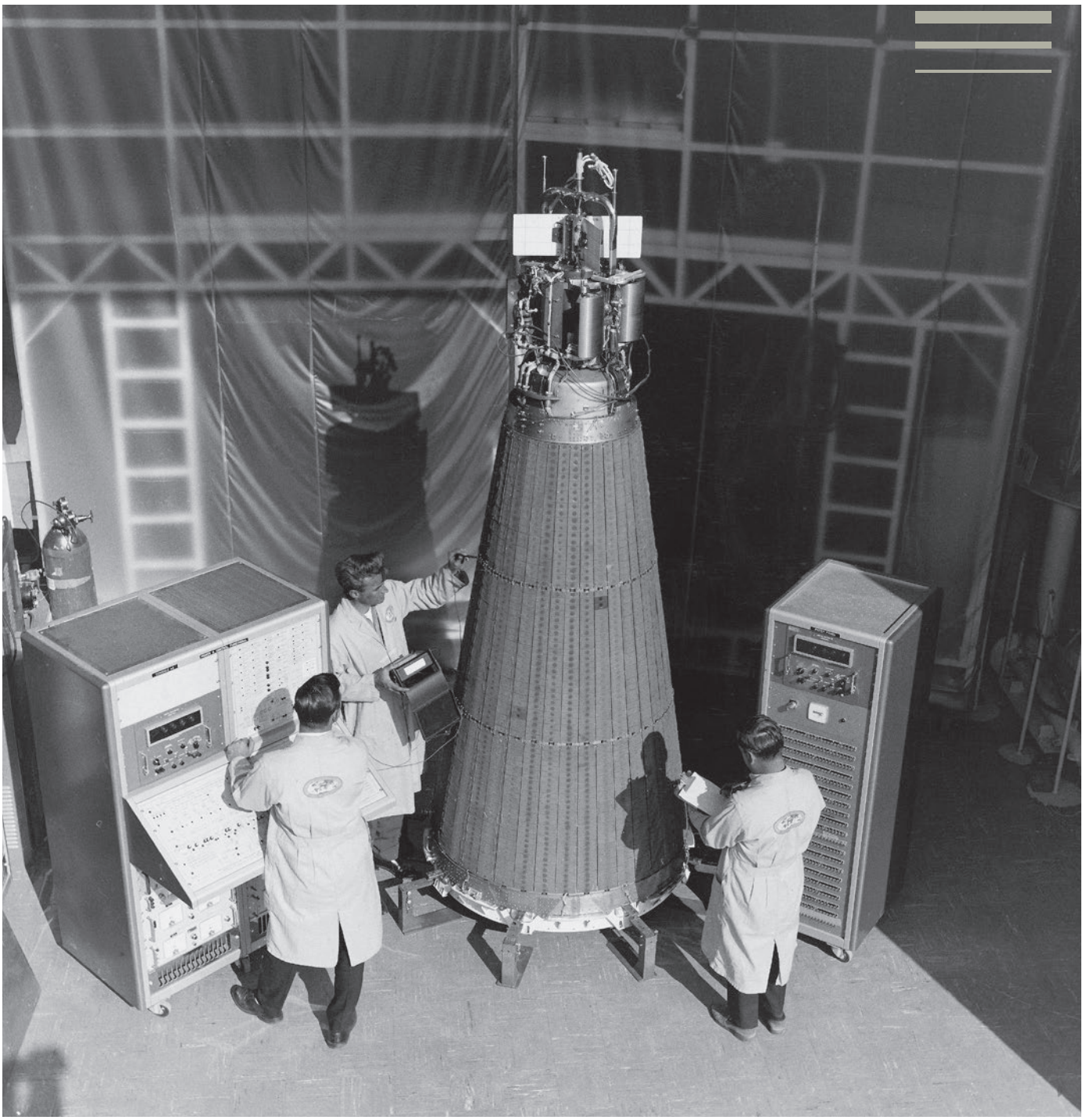
Nie chcemy jednak trzymać paliwa uranowego po tym, jak zostanie zbombardowane neutronami. „Wtedy rozpada się i zamienia w produkty rozszczepienia o wysokiej radioaktywności, dlatego odpady jądrowe są niebezpieczne" – mówi Huff. Ale ponieważ ta jądrowa kaskada może trwać bardzo długo, stanowi fantastyczne źródło energii – szczególnie w kosmosie, bo oparta na nim elektrownia nie będzie wymagała wymiany paliwa przez lata, a może nawet dekady.

Koncepcja energii jądrowej w kosmosie nie jest nowa. Począwszy od lat 60. zarówno USA, jak i Związek Radziecki wysyłały w przestrzeń kosmiczną liczne radioizotopowe generatory termoelektryczne, czyli RTG (Radioisotope Thermoelectric Generator), aby zasilać rozmaite urządzenia – od satelitów krążących wokół Ziemi i eksperymentów naukowych z epoki Apollo na Księżycu po łaziki marsjańskie i sondy głębokiego kosmosu. W urządzeniach tych często wykorzystywano pluton – groźnego chemicznego kuzyna uranu. RTG nie są jednak reaktorami jądrowymi. Bardziej przypominają baterie jądrowe: piekielnie gorące zasobniki radioaktywnych materiałów zapewniające niewielkie, lecz długotrwałe źródło ciepła, które może produkować energię elektryczną.

RTG nie wystarczyłyby jednak do zasilania bazy księżycowej. Astronauci potrzebują energii nie tylko do oświetlania. Potrzebują stałego źródła ciepła podczas nocy oraz sposobu odprowadzania tego ciepła, gdy temperatura gwałtownie rośnie podczas księżycowego dnia. Jeśli mają dysponować urządzeniami zdolnymi wydobywać cenną wodę z księżycowego gruntu – wodę pitną, wodę do nawadniania upraw, a przede wszystkim wodę, którą można rozłożyć elektrycznie na wodór i tlen w celu produkcji paliwa rakietowego – będą potrzebować ogromnych ilości energii elektrycznej do ich zasilania.

Robin George Andrews jest wulkanologiem, autorem książek popularnonaukowych; mieszka w Londynie. Jego najnowsza książka to *How to Kill an Asteroid* (W. W. Norton, 2024). Na X @SquigglyVolcano

eprasa.pl 5b4d5e3312



George Rinhart/Corbis Historical/Getty Images

Reaktor jądrowy System for Nuclear Auxiliary Power (SNAP) 10A (*powyżej*), wystrzelony w 1965 roku, był pierwszym reaktorem jądrowym wysłanym w kosmos i jedynym wystrzelonym przez USA. Ciepło z rektora było zmieniane na elektryczność w konwerterze termoelektrycznym.

Nic więc dziwnego, że przez ostatnich kilka lat – zarówno za pierwszej administracji Trumpa, jak i administracji Bidena – NASA oraz jej partnerzy przemysłowi pracowali nad projektami 40-kilowatowego reaktora księżycowego. Eksperci twierdzą, że taka moc wystarczyłaby do zasilenia budynku biurowego, co odpowiada potrzebom prototypowej bazy księżycowej.

Podczas krótkiej kadencji Duffy'ego jako szefa NASA liczba ta wzrosła do 100 kW. Dlaczego? „Nie mam pojęcia – mówi Huff. – Nie znalazłam żadnych dowodów na to, że przemyślano tę wartość." W porównaniu ze standardowym amerykańskim reaktorem jądrowym na Ziemi 100 kW to niewiele – około 10 tys. razy mniej mocy – a sam reaktor miałby rozmiary dużego samochodu. W kosmosie taka moc jest „ogromna", mówi Huff, zauważając, że 100 kW to rząd wielkości więcej niż moc jakiegokolwiek innego reaktora jądrowego wysłanego poza Ziemię.

Pod względem technicznym umieszczenie specjalnie zaprojektowanego 100-kilowatowego reaktora na Księżycu w ciągu zaledwie czterech lat jest możliwe. „To ambitny, ale osiągalny cel" – mówi Sebastian Corbisiero, krajowy dyrektor techniczny programu reaktorów kosmicznych Departamentu Energii USA.

W styczniu obecny administrator NASA Jared Isaacman ponownie potwierdził plan umieszczenia

eprasa.pl 5b4d5e3312

na Księżycu źródła energii opartego na rozszczepieniu jądrowym. A w marcu ogłosił, że do końca 2028 roku NASA wyśle na Marsa pierwszy międzyplanetarny statek kosmiczny napędzany jądrowym napędem elektrycznym – Space Reactor-1 Freedom. Misja ta pomoże przetestować technikę rozszczepienia jądrowego w głębokim kosmosie, zanim USA zbudują elektrownię jądrową na powierzchni Księżyca.

„Jestem całkiem pewna, że żaden reaktor wysłany przez USA nie będzie stwarzał zagrożenia bezpieczeństwa" – mówi Lal. Jednak „oczywiście zawsze coś może pójść nie tak i nie ma czegoś takiego, jak stuprocentowe bezpieczeństwo – a każdy, kto twierdzi inaczej, kłamie".

ABY UMIEŚCIĆ REAKTOR JĄDROWY NA KSIĘŻYCU, trzeba najpierw wynieść go na rakiecie. „Zapewnienie bezpieczeństwa podczas startu jest jednym z najważniejszych warunków" – mówi Lindsey Holmes, ekspertka od kosmicznych technik jądrowych i wiceprezes ds. zaawansowanych projektów w firmie lotniczej Analytical Mechanics Associates z Wirginii. Stany Zjednoczone

Technicznie umieszczenie 100-kilowatowego reaktora na Księżycu w ciągu czterech lat jest możliwe.

wysłały pierwszy reaktor jądrowy w kosmos już w 1965 roku – eksperymentalny Systems for Nuclear Auxiliary Power 10A. Urządzenie wielkości kosza na śmieci, generujące 600 W mocy, działało jedynie przez 43 dni, zanim zepsuł się regulator napięcia. Do dziś krąży wokół Ziemi i pozostaje jedyną amerykańską próbą eksploatacji reaktora jądrowego poza naszą planetą.

Związek Radziecki natomiast wysłał poza atmosferę Ziemi ponad dwa tuziny reaktorów jądrowych. Większość z nich – często używanych do zasilania radarowych satelitów szpiegowskich – została wystrzelona bez problemów. Jeden z nich jednak „rozsiał radioaktywne świństwo po całej Kanadzie", mówi Holmes, i dał brutalnie pouczającą lekcję, czego nie należy robić.

Statek kosmiczny niosący ten reaktor, Kosmos 954, zaczął schodzić z kursu około trzech miesięcy po starcie we wrześniu 1977 roku. Zarówno operatorzy radzieccy, jak i amerykańscy obserwatorzy zauważyli, że satelita zaczyna chwiać się na orbicie, lecz początkowo Rosjanie milczeli. Ich inżynierowie próbowali wyrzucić aktywny reaktor jądrowy w przestrzeń kosmiczną, zanim pojazd runie z powrotem na Ziemię, ale bezskutecznie. W końcu przyznali się swoim amerykańskim odpowiednikom do problemu – twierdzili jednak, że Kosmos 954 spłonie bez konsekwencji podczas nieuchronnego wejścia w atmosferę.

Amerykańskie władze otwarcie zastanawiały się, co zrobić z rozgrzanym reaktorem jądrowym spadającym na Ziemię. Gus Weiss, wówczas specjalny doradca sekretarza obrony, powiedział wtedy, że „szybki przegląd literatury wykazał brak podręcznikowej odpowiedzi – a nawet podręcznikowego pytania". Ostatecznie w styczniu 1978 roku Kosmos 954 rozsiał swoje śmiercionośne szczątki nad obszarem niemal 40 tys. km^2 stosunkowo słabo zaludnionych Terytoriów Północno-Zachodnich Kanady. Podczas wspólnej operacji kanadyjsko-amerykańskiej o kryptonimie Morning Light funkcjonariusze w kombinezonach ochronnych przemierzali skute lodem tereny w poszukiwaniu roztrzaskanego wraku Kosmosu 954. Niektóre części satelity nie były silnie radioaktywne, zdarzały się jednak takie fragmenty, że osobiste dozymetry promieniowania agentów zaczynały trzeszczeć niczym „pole świerszczy" – jak wspominał jeden z uczestników operacji. Cud, że ten chrzest radioaktywnym ogniem nikogo nie zabił. Związek Radziecki wypłacił Kanadzie 3 mln dolarów kanadyjskich odszkodowania. Z zamieszania wokół Kosmosu 954 wypłynęła jedna jasna lekcja: żeby nie uruchamiać księżycowego reaktora jądrowego, dopóki nie wyląduje on na Księżycu. „Dopóki go nie włączysz, nie ma w nim odpadów jądrowych" – mówi Huff.

Idealnie byłoby wystrzeliwać księżycowy reaktor nad oceanem, ponieważ wodowanie byłoby znacznie lepszym scenariuszem niż rozsianie roztrzaskanego reaktora jądrowego nad obszarem gęsto zaludnionym. To wydarzenie pokazało również, jak ważny jest wybór paliwa reaktora – należałoby zastosować takie, które nie ma tendencji do rozpraszania się na dużym obszarze. Paliwo typu tristructural isotropic particle, lepiej znane jako TRISO, mogłoby tutaj znakomicie się sprawdzić. Składa się z granulek będących „jakby Gobstopperami z paliwa" – mówi Middleburgh, nawiązując do twardych cukierków. Każda granulka jest zasadniczo grudką uranu, węgla i tlenu uwięzioną w ultrawytrzymałej powłoce z węgla i ceramiki. Nie tylko są one w stanie przetrwać uderzenia z ogromną prędkością bez uszkodzeń, ale można by nawet wylać na nie lawę bez większego efektu. „Gdyby start zakończył się niepowodzeniem, byłby to wielki ekonomiczny bałagan – mówi Middleburgh – ale można by to wszystko po prostu zmieść."

MIDDLEBURGH, PODOBNIE jak wielu jego kolegów, jest zafascynowany energią jądrową. Bez żadnej zachęty zaczyna poetycko opowiadać o pierwszym razie, gdy zobaczył promieniowanie Czerenkowa – niesamowitą niebieską poświatę – w basenie reaktora: „Telewizja i zdjęcia w Internecie tego dobrze nie oddają. To opalizujące, magiczne; jak zorza polarna." Nie ma jednak złudzeń, że umieszczenie działającego reaktora jądrowego na Księżycu – choć możliwe – będzie proste.

Zacznijmy od złych wiadomości: znacznie łatwiej obsługiwać elektrownię jądrową na Ziemi. Księżyc, mówiąc wprost, jest okropnym miejscem. To świat o niskiej grawitacji i praktycznie pozbawiony atmosfery, co oznacza, że temperatury na jego powierzchni regularnie wahają się od 120°C w ciągu dnia do – 133°C w nocy. Występują tam również księżycotrzęsienia, przypominające ziemskie wstrząsy tektoniczne, ale

eprasa.pl 5b4d5e3312

dziwniejsze, a częste uderzenia małych planetoid tworzą na powierzchni pokaźne kratery w losowych miejscach i momentach.

Dobra wiadomość jest taka, że reaktory jądrowe nie są tak podatne na katastrofalne eksplozje, jak mogłoby się wydawać. Jeśli urządzenie zbytnio się rozgrzeje i nie będzie mogło się schłodzić, to się stopi. Ale stopienie rdzenia nie jest eksplozją. Nowoczesne reaktory projektuje się tak, aby w przypadku upłynnienia paliwa jądrowego zatrzymać je wewnątrz elektrowni.

Elektrownie jądrowe nie są też szczególnie kruche. „Kiedy myślimy o energii jądrowej, myślimy o Fukushimie, o Czarnobylu" – mówi Middleburgh. Ale oprócz praktycznie niezliczonych elektrowni jądrowych istniejących na świecie, które od dekad działają normalnie, „są jeszcze te, które pływają po naszych oceanach". Okrętów podwodnych o napędzie jądrowym również jest dużo; funkcjonują w dość ekstremalnym środowisku, są nieustannie narażone na wstrząsy i projektowane tak, by wytrzymać warunki bojowe. „Te urzdzenia potrafią być naprawdę niezwykle wytrzymałe" – mówi. Nie ma powodu, dla którego nie mogłyby przetrwać również na Księżycu.

Katastrofa jądrowa na Księżycu jest jednak możliwa. Załóżmy, że reaktor jądrowy rzeczywiście się przegrzewa i dochodzi do pierwszego w historii stopienia rdzenia na Księżycu. Byłoby to prawdziwie haniebne wydarzenie, ale przynajmniej większość stopionego paliwa pozostałaby na miejscu. Oznaczałoby to jednak, że „na powierzchni Księżyca znajdowałby się wielki radioaktywny kawał metalu" – mówi Huff. Nikt nie mógłby się do niego zbliżyć – być może przez pokolenia. A jeśli radioaktywna masa dostałaby się do znajdującego się w pobliżu cennego rezerwuaru lodu wodnego, ten przełomowo ważny zasób – główny powód, dla którego astronauci przebywaliby właśnie w tym miejscu – zostałby trwale skażony. „To naprawdę byłoby straszne – mówi Huff. – Bardzo trudno byłoby wybaczyć państwu gotowemu zrobić coś takiego Księżycowi." Ale przynajmniej astronauci byliby bezpieczni, prawda?

Cóż, nie do końca. Promieniowanie pochodzące z reaktora – nawet to, które mogłoby zostać uwolnione podczas stopienia rdzenia – nie byłoby największym problemem (w rzeczywistości dużo poważniejszym zagrożeniem dla zdrowia astronautów jest promieniowanie słoneczne i kosmiczne na Księżycu). Znacznie większym kłopotem byłaby awaria elektrowni. Załóżmy, że baza księżycowa zależna od reaktora traci zasilanie podczas dwutygodniowego okresu ciemności, która regularnie spowija każdy punkt na Księżycu. W takich warunkach chłodu systemy akumulatorowe mogą zachować jedynie niewielką ilość energii, zanim całkowicie się wyczerpią. Wtedy astronauci znajdą się w ogromnych tarapatach, „ponieważ cały ich system podtrzymywania życia przestaje działać – mówi Nicholas Schmerr, planetarny sejsmolog i geofizyk z University of Maryland w College Park. – Nie będą w stanie przeżyć."

Eksperci nie spodziewają się jednak, że za naszego życia zobaczymy księżycowy Czarnobyl. A rzecznik NASA zapewnia, że „system energetyczny oparty na rozszczepieniu jądrowym dla powierzchni Księżyca będzie projektowany z myślą o bezpieczeństwie". To uspokajające. Bardziej realistycznym najgorszym scenariuszem dla 100-kilowatowego reaktora jądrowego jest po prostu to, że Księżyc go uszkodzi i urządzenie przestanie działać dokładnie wtedy, gdy astronauci będą go najbardziej potrzebować. „Tak więc właściwe pytanie brzmi, jak trwałe układy elektroniczne potrafimy zaprojektować i ile czasu wytrzymają one w dość wrogim środowisku" – mówi Corbisiero.

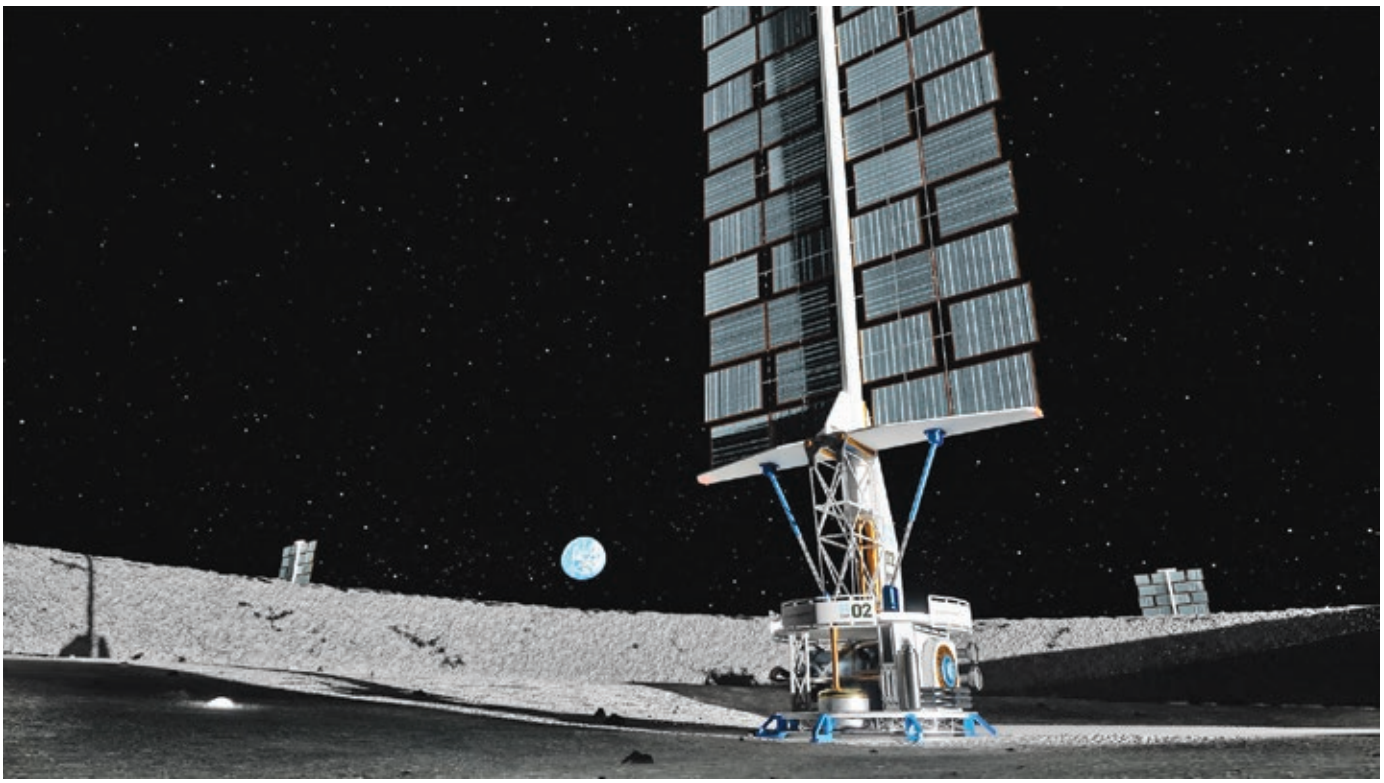
Reaktor księżycowy będzie musiał działać inaczej niż reaktory na Ziemi. Prawdopodobnie nie będzie mógł używać wody ani jako chłodziwa, ani jako substancji pochłaniającej ciepło i zamienianej w parę, która obraca turbinę wytwarzającą energię elektryczną. „Woda sprawia wiele problemów w kosmosie" – mówi Huff. Nie przepływa prawidłowo przy niskiej grawitacji, a szalone wahania temperatur na Księżycu mogłyby powodować gwałtowne rozszerzanie się pary lub zamarzanie wody, co prowadziłoby do pękania rur. Zamiast tego do odbierania ciepła i przenoszenia go do turbiny reaktor prawdopodobnie wykorzystywałby powietrze przywiezione z Ziemi. Zaprojektowanie takiego systemu jest trudniejsze, ale możliwe.

Znacznie większym problemem jest zastąpienie wody jako chłodziwa reaktora jądrowego. Gros ciepła wytwarzanego przez rozszczepiający się uran zostałaby wykorzystana do produkcji energii elektrycznej, ale część stanowiłaby nadmiar. To „ciepło odpadowe" musiałoby zostać odprowadzone do otoczenia, lecz przy braku atmosfery nie byłoby żadnego „powietrznego zlewu", który mógłby je łatwo pochłonąć. Zapobieżenie przegrzaniu reaktora będzie „w próżni trudne" – mówi Huff. Ona i Middleburgh proponują to samo rozwiązanie: żagle – ogromne konstrukcje przypominające płetwy, które dzięki swojej dużej powierzchni mogłyby odprowadzać ciepło w przestrzeń kosmiczną.

Brzmi dobrze. Ale nie zapominajmy o tych irytujących mikrometeoroidach – kamieniach wielkości otoczaków poruszających się niczym hipersoniczne pociski. „Księżyc jest nieustannie bombardowany materią pozaziemską", mówi Schmerr, i nie ma żadnej atmosferycznej osłony, która mogłaby ją zatrzymać. Jeśli kilka takich kamieni przebije żebra radiatorów, elektrownia nie będzie się prawidłowo się chłodzić.

Można też mieć wyjątkowego pecha i doświadczyć uderzenia planetoidy o średnicy kilku metrów, która rozbije się o grunt w pobliżu. „Widzieliśmy nowe kratery powstałe w czasie programu Apollo, mające 70–80 m szerokości – mówi Schmerr. – Jeśli akurat znajdziesz się w punkcie zerowym jednego z takich uderzeń, będziesz mieć naprawdę fatalny dzień." Astronauci nie są w stanie obronić swojej bazy przed rzadszymi, większymi uderzeniami planetoid. Mogą jednak ograniczyć zagrożenie ze strony częstszych, lecz mniejszych kosmicznych pocisków poprzez zakopanie elektrowni pod powierzchnią. Nie musieliby nawet niczego kopać – mogliby po prostu wykorzystać jedną z licznych pustych rur lawowych na Księżycu.

eprasa.pl 5b4d5e3312



Kolejnym wyzwaniem są księżycowe trzęsienia. Nie są one nawet w przybliżeniu tak silne, jak tektoniczne konwulsje Ziemi: największe zarejestrowane przez sejsmometry rozmieszczone podczas programu Apollo miały magnitudę między 3 a 4. Mimo to elektrownia jądrowa nie powinna znajdować się tuż obok potencjalnie aktywnego uskoku, ponieważ nawet umiarkowany wstrząs mógłby przewrócić wyższe konstrukcje i coś uszkodzić.

„Nie chcemy, żeby ktoś przed nami zainstalował reaktor jądrowy na Księżycu”

BHAVYA LAL, *RAND SCHOOL OF PUBLIC POLICY*

Jednak budowa geologiczna Księżyca sprawia, że jego wstrząsy sejsmiczne są zaskakująco długotrwałe w porównaniu z trzęsieniami ziemskimi – mogą trwać przez wiele godzin. „Nie chodzi tylko o to, że cała konstrukcja się trzęsie – ona trzęsie się mocno i przez bardzo długi czas – mówi Schmerr. – To nie jest coś, o czym zwykle myślimy, projektując systemy tutaj, na Ziemi.”

Jeśli reaktor nie zostanie odpowiednio zabezpieczony przed sejsmicznymi zagrożeniami Księżyca, mogą wydarzyć się trzy rzeczy: reaktor ulegnie uszkodzeniu i przestać działać; paliwo się przemiesza i ułoży w dziwnej konfiguracji spowalniającej reakcję rozszczepienia; albo przesunie się w sposób przyspieszający reakcję i doprowadzi elektrownię do przegrzania; konieczne stanie się więc jej wyłączenie, zanim wszystko się zmieni w śmiercionośną, żarzącą się zupę.

Doświadczeni partnerzy przemysłowi NASA, własna ogromna wiedza agencji oraz nowoczesne obiekty testowe z pewnością pomogą uczynić każdy reaktor odpornym na katastrofy. Ale niemożliwe jest idealne odtworzenie środowiska księżycowego na Ziemi. Odtworzenie księżycowej grawitacji w laboratorium wymagałoby niemal czarnej magii, a choć komory próżniowe mogą symulować ekstremalne temperatury i brak atmosfery na Księżycu, „Stany Zjednoczone nie mają obiektu, w którym można byłoby uruchomić reaktor wewnątrz komory próżniowej” – mówi Corbisiero.

Mimo przeszkód, które trzeba pokonać, wielu ekspertów jest naprawdę podekscytowanych możliwością stworzenia księżycowego reaktora jądrowego „Jestem tym zachwycony – mówi Middleburgh. – Ale jedynym sposobem, by naprawdę przekonać się, że taki reaktor będzie działał – i to bezpiecznie – jest polecieć na Księżyc i go uruchomić.”

Lal również jest zafascynowana perspektywą uruchomienia przez USA pierwszego reaktora jądrowego na Księżycu. Ale dużo też zastanawia się nad tym, co NASA mogłaby zrobić źle w trakcie tego procesu. Do takich zagrożeń należą mi.n. relacje z Chinami – państwem kosmicznym, które również chce ustanowić zasilany energią jądrową przyczółek na południowym biegunie Księżyca.

W jednym z możliwych scenariuszy Chiny i Stany Zjednoczone mają w przyszłości własne rozległe obszary na południowym biegunie Księżyca. Koordynują niektóre operacje i dzielą się licznymi odkryciami naukowymi, zachowując jednocześnie pełen szacunku

eprasa.pl 5b4d5e3312



Wizja, według Lockheed Martin, potencjalnej przyszłej księżycowej elektrowni jądrowej (*po lewej*) i zasilanej przez nią księżycowej bazy Artemis (*po prawej*).

Lockheed Martin

dystans wobec siebie nawzajem. „To najlepszy możliwy scenariusz" – mówi Lal. Ale nie najbardziej realistyczny. Chiny i USA są geopolitycznymi rywalami i konkurentami w nowym wyścigu o zdobycie Księżyca. „Pojawił się nowy ląd i do nikogo nie należy – mówi Lal. – Kto pierwszy tam dotrze, ten ustali zasady."

Podpisany w 1967 roku Traktat o przestrzeni kosmicznej Organizacji Narodów Zjednoczonych (United Nations Outer Space Treaty), mówi, że „przestrzeń kosmiczna nie podlega zawłaszczeniu narodowemu poprzez roszczenia suwerenności, użytkowanie, okupację ani w żaden inny sposób". Nikt nie może legalnie posiadać terytorium na Księżycu – przynajmniej na razie. Jednak w swojej deklaracji z sierpnia 2025 roku Duffy zauważył, że elektrownie jądrowe mogłyby służyć do wyznaczania „stref zakazu wstępu" dla innych stron: Uwaga, to wrażliwa i niebezpieczna infrastruktura – trzymać się z daleka!

Utworzenie bazy dawałoby również państwu faktyczną kontrolę nad określonym fragmentem Księżyca. Ale elektrownie jądrowe można umieszczać wszędzie i w dowolnym celu, daleko od astronautów, więc zarówno Chiny, jak i USA mogłyby rozmieszczać je niczym radioaktywne flagi. Państwa mogłyby szybko zgłaszać nie do końca legalne roszczenia do każdego obszaru, który uznałyby za wartościowy – w tym terenów bogatych w wodę.

„Z tego powodu nie chcemy, by ktoś przed nami zainstalował reaktor jądrowy na Księżycu – mówi Lal. – To USA powinny wylądować tam pierwsze i ustalić normy." Najlepiej, gdyby normy te obejmowały pokojowe rozmieszczanie bezpiecznie zaprojektowanych reaktorów jądrowych. Rozmieszczenie każdego reaktora powinno być również z wyprzedzeniem jasno komunikowane naszym sąsiadom na powierzchni Księżyca. „Musimy rozmawiać zarówno z naszymi przyjaciółmi, jak i przeciwnikami" – mówi.

Ale w obecnym klimacie politycznym górę mogą wziąć działania prowadzone w tajemnicy. Podejrzliwość jest idealnym gruntem dla błędów, których można było uniknąć. A jeśli sytuacja stanie się konfrontacyjna, elektrownie jądrowe mogą nie być jedynymi znakami terytorialnymi pozostawianymi przez państwa kosmiczne. „Jeśli będą chcieli umieścić broń jądrową na Księżycu, po prostu to zrobią" – mówi Lal. Umieszczanie broni nuklearnej w przestrzeni kosmicznej jest nielegalne zgodnie z Traktatem o przestrzeni kosmicznej. Mimo to uważa się, że Rosja opracowuje taki system właśnie w tym celu. A sam traktat nie jest prawnie egzekwowalny; bardziej przypomina zbiór wytycznych. „Jeśli ktoś chce działać w złej wierze, nie ma sposobu, by mu to uniemożliwić" – dodaje.

Na chwilę wyobraźmy sobie jednak przyszłość, w której ktoś zakłada bazę księżycową bezpiecznie zasilaną przez pierwszy w historii reaktor jądrowy na Księżycu. Zapomnijmy o ciasnym pudełku po butach; teraz można stworzyć i utrzymać małą wioskę dla księżycowych mieszkańców. Z czasem baza ta staje się centrum inżynieryjnym i składem paliwa – trampoliną dla astronautów zmierzających ku oddalonej, rdzawoczerwonej planecie.

Ameryka chce zrealizować to marzenie pierwsza. Chiny również. Miejmy nadzieję, że w wyścigu o zwycięstwo będą rozwijać swoje nuklearne ambicje ostrożnie. „Na samym początku księżycowego przedsięwzięcia nuklearnego niezbędna jest pewna doza nadmiernej ostrożności" – mówi Middleburgh. Bez względu na to, jak ekscytująca jest ta perspektywa i co może umożliwić, jedno pytanie powinno stale pozostawać w centrum uwagi: „Co się stanie, jeśli coś pójdzie nie tak?" ■

Z NASZEGO ARCHIWUM

Z powrotem na Księżyc. Sarah Scoles; listopad 2024.

eprasa.pl 5b4d5e3312

MEDYCYNA

Zabójcze trio

Choroby serca, nerek i cukrzyca typu 2 mogą być w rzeczywistości jednym i tym samym problemem zdrowotnym – zespołem sercowo-nerkowo-metabolicznym

JYOTI MADHUSOODANAN
Ilustracje JENNIFER N. R. SMITH





eprasa.pl 5b4d5e3312

AMY BIES DOCHODZIŁA DO SIEBIE W SZPITALU po obrażeniach odniesionych w wypadku samochodowym w maju 2007 roku, kiedy rutynowe badania laboratoryjne wykazały, że zarówno poziom glukozy we krwi, jak i cholesterolu są u niej niebezpiecznie wysokie. Lekarze ostatecznie wypisali ją do domu z receptami na dwa standardowe leki: metforminę na to, co okazało się cukrzycą typu 2, oraz statynę mającą kontrolować poziom cholesterolu i związane z nim ryzyko chorób serca.

Ten zestaw nie zapobiegł jednak zawałowi serca w 2013 roku. Do 2019 roku przyjmowała już 12 różnych leków na receptę, aby radzić sobie z utrzymującym się wysokim poziomem cholesterolu i cukrzycą oraz zmniejszyć ryzyko chorób serca. Powstała w ten sposób „mieszanka" sprawiała, że czuła się bardzo źle, rozważała nawet przejście na zwolnienie lekarskie. „Nie byłam w stanie przetrwać dnia. Czułam ciągłe mdłości – mówiła. – Wychodziłam w przerwie obiadowej do samochodu i modliłam się, żebym nie musiała już tego więcej znosić."

Dziś badacze medyczni sądzą, że schorzenia Bies nie były niefortunnym zbiegiem okoliczności. Przeciwnie – wynikały z tych samych mechanizmów biologicznych. Problem zdrowotny często zaczyna się w komórkach tłuszczowych i kończy w niebezpiecznym cyklu, który uszkadza pozornie niezwiązane ze sobą narządy i układy organizmu: serce i naczynia krwionośne, nerki i system regulacji insuliny oraz trzustkę. Uszkodzenie jednego narządu wywołuje dolegliwości atakujące dwa pozostałe, co z kolei prowadzi do kolejnych chorób, które wracają, by ponownie uszkodzić pierwotnie dotkniętą część ciała.

Choroby tych trzech narządów i układów są „w ogromnym stopniu ze sobą powiązane" – mówi Chiadi Ndumele, kardiolog prewencyjny z Johns Hopkins University. Zależności są tak silne, że w 2023 roku American Heart Association połączyło te schorzenia jedną nazwą: zespół sercowo-nerkowo-metaboliczny (cardio-kidney-metabolic syndrome, CKM), przy czym „zespół metaboliczny" odnosi się do cukrzycy i otyłości.

Dobra wiadomość – podkreśla Ndumele, który kierował zespołem opracowującym koncepcję CKM – jest taka, że schorzenie to można leczyć nowymi lekami. Niezwykle popularne agonisty receptora GLP-1, takie jak Wegovy, Ozempic czy Mounjaro, oddziałują na wspólne mechanizmy leżące u podstaw CKM. „To właśnie postęp w leczeniu najbardziej zmienił sytuację" – mówi Sadiya Khan, kardiolog prewencyjna z Northwestern University. Choć większość tych leków występuje obecnie w formie zastrzyków, które mogą kosztować kilkaset dolarów tygodniowo, wersje doustne niektórych z nich czekają na zatwierdzenie, a osoby korzystające z Medicare mogłyby płacić za nie jedynie 50 dolarów miesięcznie w ramach nowej propozycji cenowej Białego Domu. Pojawienie się tych leków jest szczególnie istotne, ponieważ badacze szacują, że aż 90% Amerykanów ma przynajmniej jeden czynnik ryzyka tego zespołu.

PONAD 100 LAT PRZED TYM, jak Bies trafiła do szpitala, lekarze zauważyli, że wiele schorzeń wchodzących w skład zespołu CKM często występuje razem. Określano je mianem „zespołu X". Osoby chore na cukrzycę są na przykład od dwóch do czterech razy bardziej narażone na rozwój chorób serca niż osoby niemające cukrzycy. Choroby serca odpowiadają za 40–50% wszystkich zgonów u osób z zaawansowaną przewlekłą chorobą nerek. Z kolei cukrzyca jest jednym z najsilniejszych czynników ryzyka rozwoju chorób nerek.

Pierwsze przesłanki wskazujące na związek między tymi pozornie odmiennymi schorzeniami pojawiły się już w 1923 roku, gdy badania w różnych obszarach zaczęły wskazywać na powiązania między wysokim poziomem cukru we krwi, nadciśnieniem oraz podwyższonym poziomem kwasu moczowego – wskaźnikiem chorób nerek i dny moczanowej.

Następnie, kilka dekad temu, badacze zidentyfikowali pierwszy etap tych splątanych szlaków chorobowych: zaburzenia funkcjonowania komórek tłuszczowych. Do lat 40. naukowcy uważali, że komórki tłuszczowe są jedynie magazynem nadmiaru energii. Odkrycie w 1994 roku leptyny – hormonu wydzielanego przez komórki tłuszczowe – pokazało jednak, jak głęboko tkanka tłuszczowa może komunikować się z różnymi częściami organizmu i na nie oddziaływać.

Od tego czasu badacze ustalili, że niektóre rodzaje komórek tłuszczowych uwalniają całą gamę związków zapalnych i oksydacyjnych, które mogą uszkadzać różne narządy – m.in. serce, nerki i mięśnie. Wywoływany przez nie stan zapalny upośledza zdolność komórek do reagowania na insulinę – hormon trzustki, który umożliwia komórkom wchłanianie cukrów potrzebnych do ich funkcjonowania. Oprócz pozbawiania komórek podstawowego źródła energii, insulinooporność prowadzi do gromadzenia się glukozy we krwi – charakterystycznego objawu cukrzycy – co dodatkowo uszkadza naczynia krwionośne i zaopatrywane przez nie narządy. Związki te ograniczają także zdolność nerek do odfiltrowywania toksyn z krwi.

Insulinooporność oraz utrzymujący się wysoki poziom glukozy uruchamiają

Jyoti Madhusoodanan jest niezależną dziennikarką z Portland w stanie Oregeon. Pisze o postępach w badaniach biomedycznych.

eprasa.pl 5b4d5e3312

kolejną kaskadę zdarzeń. Nadmiar glukozy uszkadza mitochondria – maleńkie „elektrownie" komórkowe – i skłania je do wytwarzania niestabilnych cząsteczek zwanych reaktywnymi formami tlenu, które zaburzają działanie różnych enzymów i białek. Proces ten niszczy tkanki nerek i serca, powodując powiększenie serca oraz usztywnienie naczyń krwionośnych, co utrudnia krążenie i sprzyja powstawaniu zakrzepów. Cukrzyca obniża także poziom komórek macierzystych, które pomagają naprawiać te uszkodzenia. Wysokie stężenie glukozy pobudza również nerki do wydzielania większej ilości hormonu reniny, co uruchamia kaskadę hormonalną kluczową dla regulacji ciśnienia krwi i utrzymania prawidłowej równowagi elektrolitowej.

Jednocześnie komórki oporne na insulinę przechodzą na spalanie zgromadzonych tłuszczów. Ta zmiana metaboliczna prowadzi do uwalniania innych związków chemicznych, które sprawiają, że cząsteczki lipidów, takie jak cholesterol, zaczynają zatykać naczynia krwionośne. Zwężenie naczyń powoduje skoki ciśnienia krwi i zwiększa ryzyko chorób serca u osób z cukrzycą.

Te wzajemne powiązania stają się jeszcze bardziej złożone. Tak jak cukrzyca może prowadzić do chorób serca i nerek, tak schorzenia tych narządów mogą zwiększać ryzyko rozwoju cukrzycy. Zaburzenia układu renina–angiotensyna w nerkach – nazwanego od hormonów regulujących ciśnienie krwi – zakłócają również sygnalizację insulinową. Adrenomedulina, hormon którego poziom rośnie w otyłości, także może blokować sygnalizację insulinową w komórkach wyścielających naczynia krwionośne i serce, zarówno u ludzi, jak i u myszy. Wczesne oznaki chorób serca, takie jak zwężenie naczyń, mogą z kolei przeciążać komórki nerek, które potrzebują sprawnego układu krążenia, by skutecznie filtrować produkty przemiany materii.



ROK PRZED WYPADKIEM samochodowym Bies, lekarz rodzinny zdiagnozował u niej, wówczas trzydziestoparolatki, stan przedcukrzycowy – element zespołu metabolicznego – i zalecił zmiany, takie jak zdrowsza dieta i większa aktywność fizyczna. W tamtym czasie lekarz nie wspomniał jednak, że choroba ta zwiększa również ryzyko chorób serca.

Niedostrzeganie tych powiązań stwarza zagrożenie dla pacjentów takich jak Bies. „Do tej pory analizowaliśmy głównie pojedyncze narządy lub najwyżej dwa, szukając nieprawidłowości" – mówi nefrolog Nisha Bansal z University of Washington. Takie zawężone podejście sprawiło, że lekarze traktowali poszczególne elementy zespołu CKM jako oddzielne, niezależne problemy.

Na przykład lekarze często korzystali z algorytmów klinicznych, aby oszacować ryzyko niewydolności serca u pacjenta. Jednak w badaniu z 2022 roku Bansal i jej współpracownicy wykazali, że jedna z powszechnie stosowanych wersji takiego narzędzia działa gorzej u osób z chorobami nerek. W efekcie osoby z chorobami nerek – które są dwukrotnie bardziej narażone na rozwój chorób serca niż osoby z prawidłową funkcją nerek – rzadziej były diagnozowane i leczone na czas.

W innym badaniu stwierdzono, że wśród osób z cukrzycą typu 2 – z których jedna na trzy prawdopodobnie rozwinie przewlekłą chorobę nerek – mniej niż jedna czwarta poddawana była badaniom przesiewowym w kierunku chorób nerek, zalecanym przez American Diabetes Association oraz KDIGO, organizację non profit opracowującą wytyczne dotyczące poprawy zdrowia nerek na świecie.

Obecnie około 59 mln dorosłych na świecie choruje na cukrzycę, blisko 64 mln ma zdiagnozowaną niewydolność serca, a około 700 mln żyje z przewlekłą chorobą nerek. Łącznie schorzenia te stanowią główną przyczynę zgonów w dziesiątkach krajów; dowody dotyczące CKM sugerują, że te pozornie odrębne epidemie mogą w rzeczywistości być tą samą.

Jedna z pierwszych prób wspólnego traktowania tych chorób pojawiła się pod koniec pierwszej dekady XXI wieku. Wówczas kardiolog Steven Nissen z Cleveland Clinic analizował bazę danych firmy farmaceutycznej zawierającą wyniki badań leków, poszukując badań klinicznych dotyczących leku przeciwcukrzycowego o nazwie rosiglitazon. W 42 badaniach Nissen odkrył wyraźny wzrost liczby

eprasa.pl 5b4d5e3312

zawałów serca związany ze stosowaniem tego leku. Uznał, że jeśli lek zmniejsza objawy cukrzycy, to liczba problemów z sercem powinna spadać, a nie rosnąć.

W ślad za tym tropem amerykański Senat przeprowadził dochodzenie, które doprowadziło do zwołania przez amerykańską Agencję Żywności i Leków (FDA) w 2007 roku panelu doradczego. Dyskusje przyniosły przełomową zmianę w sposobie zatwierdzania leków przeciwcukrzycowych: nie wystarczało już wykazanie poprawy poziomu glukozy we krwi. Firmy farmaceutyczne musiały także udowodnić, że ich leki nie zwiększają ryzyka problemów kardiologicznych. Badania kliniczne testujące takie leki musiały obejmować osoby z wysokim ryzykiem chorób serca i naczyń krwionośnych, w tym osoby starsze.

Nissen wspomina ogromny sprzeciw wobec tej koncepcji oraz obawy, że poprzeczka została ustawiona zbyt wysoko. Te lęki nie były bezpodstawne – wiele dużych firm farmaceutycznych „porzuciło poszukiwania leków na cukrzycę", ponieważ badania trwałyby dłużej i byłyby droższe, jak zauważa endokrynolog Daniel Drucker z Lunenfeld-Tanenbaum Research Institute w Toronto. „Przemysł farmaceutyczny był tym bardzo zaniepokojony" – mówi Drucker.

Drucker, który w tamtym czasie badał obiecującą nową grupę leków przeciwcukrzycowych, również martwił się dodatkowymi kosztami i wydłużonym czasem badań. Jednak wstępne eksperymenty zaczęły pokazywać korzyści wynikające z dokładniejszego badania dodatkowych schorzeń. W 2008 roku, mniej więcej w tym samym czasie, gdy FDA zaktualizowała swoje wytyczne dotyczące leków na cukrzycę, Drucker i inni badacze odkryli, że nowe cząsteczki, które analizowali, zdają się chronić myszy i szczury przed chorobami serca.

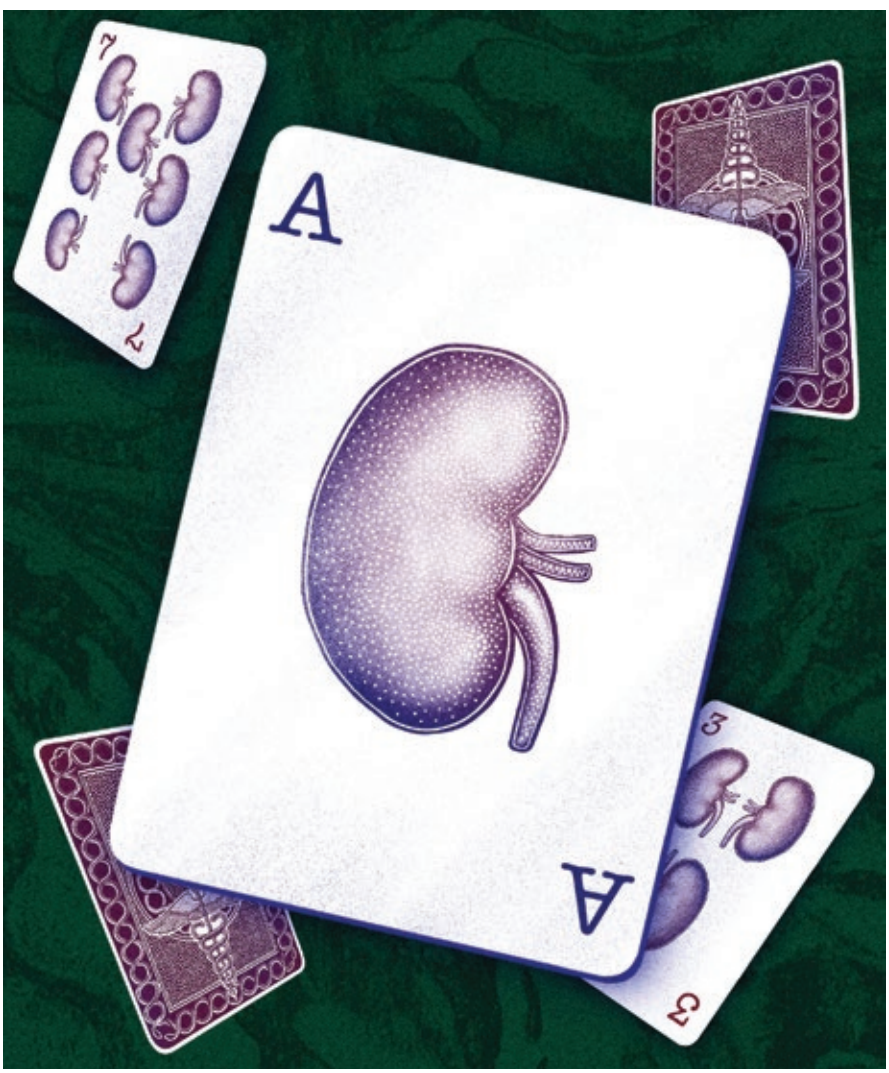
Nowe leki naśladowały działanie niewielkiego białka o nazwie GLP-1, które normalnie reguluje poziom cukru we krwi i procesy trawienne. Niewielkie badania wskazywały, że ma ono szersze korzyści i może chronić funkcję serca u osób hospitalizowanych po zawale serca i angioplastyce. W tamtym czasie te mimetyki GLP-1 stosowano wyłącznie w leczeniu cukrzycy. Jednak wyniki badań na zwierzętach świadczyły, że leki te mogą działać szerzej, a kolejne próby z udziałem ludzi wykazały, że chronią także funkcjonowanie serca i nerek. „Możliwe, że przez długi czas nie odkrylibyśmy tych właściwości GLP-1, gdyby FDA nie wymagała od nas tak dokładnych badań – mówi Drucker. – Z perspektywy czasu okazało się to bardzo korzystne."

W efekcie regulacje doprowadziły do powstania niezwykle skutecznych, wielokierunkowych leków. W 2013 roku, kiedy Bies przeszła zawał serca, FDA zatwierdziła pierwszy z grupy leków działających poprzez blokowanie receptora znanego jako SGLT2 w nerkach. Te tzw. inhibitory SGLT2 są „niemal cudownym lekiem" – mówi nefrolog Dominic Raj z George Washington University.

W serii imponujących, szeroko zakrojonych badań wykazano, że leki te obniżają poziom glukozy we krwi, spowalniają postęp choroby nerek i są silnie powiązane ze zmniejszonym ryzykiem wielu schorzeń sercowych. Badania te potwierdziły również, że choroby serca, nerek i zaburzenia metaboliczne są „ściślej powiązane, niż przypuszczaliśmy", mówi Bansal. „Badania nad SGLT2 okazały się pod tym względem przełomowe."

Podobną rolę odegrały leki naśladujące GLP-1, takie jak Wegovy. Jedno z badań klinicznych nad tymi lekami zakończono przed czasem, ponieważ ich korzyści były tak wyraźne, że dalsze podawanie placebo uczestnikom grupy kontrolnej uznano za nieetyczne. W 2024 roku badacze porównali jeden z tych leków z placebo u ponad 3500 uczestników z cukrzycą typu 2 i przewlekłą chorobą nerek. Zamiast skupiać się wyłącznie na poprawie w zakresie cukrzycy, analizowali również stan nerek i serca. Stwierdzili o 18–20% niższe ryzyko zgonu u osób leczonych lekiem z grupy GLP-1.

Choć leki GLP-1 mają działania niepożądane (m.in. nudności i wymioty), w ciągu zaledwie kilku lat lekarze zyskali terapie zaprojektowane z myślą o ochronie jednego narządu, które jednocześnie leczą inne. „Dziś mamy solidne dowody na to, że nie tylko poprawia się kontrola cukrzycy i że leki te pomagają schudnąć, ale także że zapobiegają lub łagodzą ryzyko rozwoju poważnych chorób serca i nerek" – mówi Drucker.



eprasa.pl 5b4d5e3312

Lekarz Bies przepisał jej w 2024 roku agonistę receptora GLP-1 – lek Ozempic. Już dwa miesiące po rozpoczęciu terapii poziom glukozy we krwi pacjentki spadł poniżej zakresu charakterystycznego dla cukrzycy. Jej serce również jest w lepszym stanie. „Lekarze są bardzo zadowoleni z moich wyników” – mówi. A dzięki mniejszej liczbie przyjmowanych leków ogólnie czuje się znacznie lepiej.

NIE WSZYSCY SĄ PRZEKONANI, że koncepcja zespołu CKM jest potrzebna. Nissen na przykład twierdzi, że to „rebranding bardzo starej idei”. Objawy i zagrożenia zdrowotne związane z CKM w dużej mierze pokrywają się z tymi, które przypisuje się zespołowi metabolicznemu – starszemu terminowi opisującemu podobny zestaw czynników ryzyka, zauważa.

Ndumele nie zgadza się jednak z taką oceną. „Choć są one wyraźnie powiązane, zespół CKM i zespół metaboliczny odróżnia kilka bardzo istotnych cech” – mówi. Po pierwsze, koncepcja CKM obejmuje więcej stanów chorobowych. Ponadto lekarze mogą wykorzystywać ją do identyfikowania różnych etapów ryzyka: od bardzo wczesnych sygnałów ostrzegawczych, przez stany kliniczne – w tym m.in, zespół metaboliczny – aż po późne stadia CKM, obejmujące w pełni rozwinięte choroby serca i nerek. „Ma to lepiej wspierać profilaktykę na przestrzeni całego życia” – dodaje Ndumele. Trwające badania testują nowe sposoby wczesnego wykrywania osób zagrożonych CKM oraz wspierania działań zapobiegawczych.

Pacjenci tacy jak Bies zgadzają się, że połączenie opieki nad chorobami składającymi się na CKM może ratować życie. Przez dziesięciolecia ona i niezliczeni inni pacjenci zmagali się z zarządzaniem różnymi aspektami swojego zdrowia. Bies wspomina, że choć wszyscy jej lekarze byli związani z tym samym szpitalem, nie komunikowali się ze sobą ani nie mieli wglądu w nawzajem sporządzane notatki dotyczące jej leczenia.

Kilka lat temu Bies dołączyła do komitetu doradczego American Heart Association zajmującego się CKM, aby informować lekarzy i działać na rzecz innych osób zmagających się z tą złożoną chorobą. Ma nadzieję, że mówiąc otwarcie o swojej trudnej drodze, pomoże innym i „nikt nie będzie musiał czekać 10–12 lat, by zacząć o siebie walczyć”.

Na University of Washington Bansal i jej współpracownicy testują zintegrowany model opieki, w którym pacjenci spotykają się jednocześnie z wieloma specjalistami, aby wspólnie zaplanować leczenie. Jak podkreśla, to wciąż proces w trakcie rozwoju. „Jak rzeczywiście poprawić wskaźniki badań przesiewowych i rozpoznawania chorób oraz objąć terapią więcej osób, które kwalifikują się do leczenia CKM? – pyta Bansal. – Choć dokonano wielu ekscytujących postępów, jesteśmy dopiero na początku. Integracja opieki zawsze stanowi wyzwanie.”



Tego rodzaju integracja ma kluczowe znaczenie dla wczesnej diagnostyki – kroku niezbędnego do zahamowania narastającego problemu CKM na świecie, jak podkreśla Ndumele. W przyszłości może zajść potrzeba współpracy jeszcze wielu innych specjalności medycznych. Nowe badania już teraz wskazują udział w chorobie kolejnych narządów i układów. Kardiolog Faiez Zannad z Université de Lorraine we Francji przypuszcza, że wraz z lepszym poznaniem mechanizmów choroby koncepcja CKM rozszerzy się o choroby wątroby. Zannad bada uszkodzenia wątroby u pacjentów kardiologicznych, ponieważ stanowią one kolejny częsty skutek tych samych mechanizmów chorobowych.

Badacze i pacjenci podkreślają jednak, że łączenie różnych chorób w ramach CKM nie powinno hamować wysiłków na rzecz zrozumienia każdej z nich z osobna. Przebieg choroby u poszczególnych osób – początkowa diagnoza, powikłania, na które są najbardziej narażone, oraz najlepsze metody leczenia – może się znacznie różnić. „To bardzo szeroki zespół, w którym pojawi się wiele niuansów dotyczących podgrup pacjentów, mechanizmów choroby oraz sposobów diagnozowania i leczenia – mówi Bansal. – Nie będzie jednego uniwersalnego podejścia, które pasuje do wszystkich.” ■

Z ARCHIWUM

What's the Secret behind Ozempic's Sweeping Health Benefits? Allison Parshall; ScientificAmerican.com, 19 lipca 2024. ScientificAmerican.com/archive

eprasa.pl 5b4d5e3312



Co jest nie tak z mechaniką kwantową?

100-letnia teoria może to wyjaśnić

TIM FOLGER

MECHANIKA KWANTOWA jest najpotężniejszą teorią, jaką kiedykolwiek stworzyli fizycy, ale też najbardziej zagadkową. Z jednej strony, niezliczone eksperymenty potwierdziły jej przewidywania; teoria ta stanowi fundament współczesnej techniki i umożliwia funkcjonowanie urządzeń elektronicznych, z których korzystamy na co dzień. Z drugiej strony, mechanika kwantowa opisuje leżącą u jej podstaw rzeczywistość, która jest całkowicie sprzeczna ze światem, jaki postrzegamy. W świecie kwantowym pojedyncza cząstka istnieje w wielu miejscach jednocześnie – przynajmniej dopóki nikt na nią nie patrzy. Teoria ta pozwala również na niesamowite powiązania: para atomów może być „splątana" w taki sposób, że bez względu na to, jak daleko od siebie się znajdują, cokolwiek dzieje się z jednym atomem, natychmiast wpływa to na drugi. Albert Einstein nazwał to zjawisko „upiornym działaniem na odległość".

Paradoksy te definiowały – lub nękały – tę teorię już od momentu jej powstania ponad 100 lat temu. Do dziś fizycy nie są zgodni w kwesti, co mechanika kwantowa mówi nam o naturze rzeczywistości. Czy istnieje wiele wszechświatów? Czy rzeczy pojawiają się dopiero w momencie ich obserwacji? Czy świadomość odgrywa w jakiś sposób kluczową rolę w prawach fizyki? A gdyby wszystkie te tajemnice można było rozwiązać już w momencie narodzin mechaniki kwantowej?

To właśnie rozważa Antony Valentini, fizyk z Imperial College London, w swojej najnowszej książce *Beyond the Quantum: A Quest for the Origin and Hidden Meaning of Quantum Mechanics* (Dalej niż kwanty: w poszukiwaniu pochodzenia i ukrytego znaczenia mechaniki kwantowej; Oxford University Press, 2026).

Valentini twierdzi, że Louis de Broglie, francuski fizyk i laureat Nagrody Nobla, około 100 lat temu opracował model mechaniki kwantowej, który wyeliminował jej paradoksy. W teorii fali pilotującej, jak nazywa się koncepcja de Broglie'a, cząstki są prowadzone przez towarzyszące im fale. Same cząstki znajdują się zawsze w jednym i tylko jednym położeniu; to rozciągnięta w przestrzeni fala pilotująca stwarza wrażenie, że cząstka znajduje się jednocześnie w wielu miejscach. Nie ma potrzeby, aby obserwator materializował tę cząstkę. Mimo że hipoteza de Broglie'a z 1924 roku dotycząca falowej natury materii została szybko potwierdzona eksperymentalnie i stała się integralną częścią teorii kwantowej, środowisko fizyków zlekceważyło lub źle zrozumiało szersze koncepcje, na których oparł on swoje kluczowe wnioski.

Valentini poświęcił całą swoją karierę na promowanie poglądów de Broglie'a. Niedawno „Scientific American" przeprowadził rozmowę z badaczem na temat samotnej drogi de Broglie'a i argumentów przemawiających za tym, że mógł on dostrzec coś istotnego. Poniżej zredagowany zapis wywiadu.

Czy w historii nauki zdarzyła się kiedykolwiek sytuacja, w której poglądy na temat jakiejś teorii byłyby tak diametralnie rozbieżne?

Nie jestem pewien, czy tak było. Jeśli cofniemy się do czasów Izaaka Newtona, to on uważał, że przestrzeń jest pusta, i że istnieje bezpośrednie oddziaływanie grawitacyjne na odległość. Natomiast na kontynencie europejskim działali kartezjanie [zwolennicy matematyka i filozofa René Descartes'a], którzy twierdzili: „O nie, przestrzeń jest wypełniona materialnym medium i to wyjaśnia przyciąganie grawitacyjne". Ale debata nie trwała zbyt długo. [Jeszcze w 60 lat po ukazaniu się dzieła Newtona jego teorię grawitacji krytykowali tacy wybitni uczeni, jak Leonhard Euler czy Jean le Rond d'Alembert – przyp. tłum. dr. Michała Czernego]. Faktycznie, w przypadku mechaniki kwantowej mamy ogromną różnorodność interpretacji, które przedstawiają zupełnie odmienne obrazy świata – myślę więc, że można śmiało założyć, że nie ma to analogii w historii nauki.

Jedną z najbardziej uderzających cech współczesnej fizyki jest wyraźny podział między światem makroskopowym a kwantowym, które wydają się podlegać zupełnie odmiennym prawom fizyki.

Tim Folger jest niezależnym dziennikarzem. Pisuje m.in. do „National Geographic" i „Discover".

Ilustracja Shideh Ghandeharizadeh

eprasa.pl 5b4d5e3312

Porównujesz tę sytuację do sposobu, w jaki średniowieczni astronomowie dzielili kosmos na część ziemską i niebiańską.
Myślę, że to przydatne i trafne porównanie – idea, że istniała kraina niebiańska, której nie potrafiliśmy zrozumieć. Księżyc i wszystko, co leżało dalej, było wieczne i niezmienne, zupełnie inne od świata podksiężycowego, który składał się ze zwykłej, niedoskonałej materii, podlegającej ciągłym zmianom. To rozróżnienie sięga czasów Arystotelesa. Podobieństwo do mechaniki kwantowej jest niezwykłe – system kwantowy jest czymś, czego nasz umysł nie potrafi pojąć.

Austriacki fizyk Erwin Schrödinger sformułował równanie falowe teorii kwantowej, które opisuje układy kwantowe jako fale zmieniające się w czasie. Jaką rolę odegrało to równanie w tak zwanym problemie pomiaru: jeśli cząstka istnieje jednocześnie w wielu miejscach, dlaczego pomiary wykazują, że jest tylko w jednym?
Schrödinger stworzył problem pomiaru poprzez wyeliminowanie cząstek z teorii de Broglie'a. Matematycznie fala kwantowa jest superpozycją wielu różnych stanów: cząstka może znajdować się tutaj, tam i jeszcze gdzie indziej; może być gdziekolwiek. Można mieć superpozycję żywego kota i martwego kota albo superpozycję różnych energii. Wszystkie one są po prostu różnymi wariacjami na ten sam temat. Kompletną informację o stanie kwantowym układu zawiera funkcja falowa. Jak zatem wyjaśnić, dlaczego widzimy mały, przypominający punkt obiekt, skoro jedyną rzeczywistością jest fala?

Problem ten dostrzeżono już na wczesnym etapie rozwoju teorii kwantowej.
Oto fragment listu Wolfganga Pauliego do Nielsa Bohra z 1927 roku: „W ostatnim numerze »Journal de Physique« ukazał się artykuł de Broglie'a […] Jest on bardzo bogaty w pomysły i bardzo wnikliwy, a także plasuje się na znacznie wyższym poziomie niż dziecinne prace Schrödingera, który nawet dzisiaj wciąż uważa, że może […] wyeliminować punkty materialne". A ponieważ Schrödinger usunął cząstki ze swojego równania, przez dziesięciolecia panowało zamieszanie.

„To tak, jakby ludzie utknęli w pętli – te same błędne argumenty, te same krążące w kółko historyczne nieporozumienia"

ANTONY VALENTINI, *IMPERIAL COLLEGE LONDON*

Jak myślisz, dlaczego teorię de Broglie'a odłożono na bok i zignorowano?
Nie jestem pewien, czy istnieje jedna prosta odpowiedź. Być może wynika to z wielu różnych powodów. W 1923 roku de Broglie opracował nową teorię ruchu. Było to całkowite zerwanie z dotychczasowymi koncepcjami, bardzo odmienne od fizyki newtonowskiej, a nawet einsteinowskiej. A jednak ludzie tego nie zauważyli. Jedyne, co zapadło w zbiorowej świadomości fizyków, to fakt, że de Broglie wykazał, iż cząstka może zachowywać się jak fala.

Wieść o pracy de Broglie'a się rozeszła, choć właściwie prawie nikt tej pracy nie przeczytał. Einstein to zrobił. To właśnie Einstein naprawdę zwrócił uwagę ludzi na to, że de Broglie dokonał czegoś bardzo ważnego. Zachęcił Schrödingera do przeczytania tej pracy – i on się go posłuchał. Wydaje się, że większość innych osób nigdy nie przeczytała pracy de Broglie'a.

Do tego dochodzi czynnik socjologiczny – de Broglie był w Paryżu osobą nieco wyobcowaną. Był trochę samotnikiem; pracował głównie samodzielnie. W tamtych czasach, w latach 20. XX wieku, Francja nie odgrywała znaczącej roli w fizyce teoretycznej. Była silna w fizyce eksperymentalnej i matematyce, ale nie w fizyce teoretycznej.

Jakie były twoje zmagania z teorią fali pilotującej: byłeś odosobniony w swoich badaniach? Były satysfakcjonujące? Frustrujące?
Krótka odpowiedź brzmi: wszystko to i jeszcze więcej. Odosobniony? To była dość szczególna sytuacja. Naprawdę starałem się przekazać fizykom kluczowe założenia tej teorii. Wydaje mi się jednak, że je po prostu ignorowali. To tak, jakby ludzie utknęli w pętli – te same błędne argumenty, te same krążące w kółko historyczne nieporozumienia.

Kiedy po raz pierwszy zetknąłem się z teorią fali pilotującej, wydawała mi się tak oczywista. Mój Boże, teoria fali pilotującej to szersza fizyka; teoria kwantowa jest szczególnym przypadkiem czegoś większego. Teoria fali pilotującej oferuje ekscytującą nową fizykę i być może uda nam się znaleźć na to dowody.

W swojej książce opisujesz, w jaki sposób przewidywania teorii fali pilotującej dotyczące fizyki materii różnią się w niektórych przypadkach od przewidywań uznanej mechaniki kwantowej. W szczególności wspominasz, że kosmiczne mikrofalowe promieniowanie tła (cosmic microwave background; CMB) – promieniowanie powstałe podczas Wielkiego Wybuchu, które obecnie wypełnia Wszechświat – może potwierdzać niektóre z przewidywań teorii fali pilotującej.
CMB to świetny i obiecujący kierunek badań, a ja sporo nad tym pracowałem z różnymi naukowcami. Doniesiono o anomaliach w CMB, które jakościowo pasują do tego, co przewiduje teoria fali pilotującej. Są pewne intrygujące wskazówki, ale dane są zbyt zaszumione, żeby wyciągać z nich jakieś konkretne wnioski. Ta sprawa pewnie nie zostanie rozstrzygnięta przez kolejne 10 lat.

Czy teoria fali pilotującej jest prawdziwa? Czy stanowi trafny opis świata? Gdybym był pewien, że jest prawdziwa, nie zajmowałbym się jej badaniem. W głębi duszy zawsze mam niepokój, że to wszystko może być kompletną bzdurą! A może jest częściowo słuszne. Pod koniec XIX wieku Ludwig Boltzmann modelował cząsteczki gazu jako małe kule bilardowe – maleńkie twarde kulki, które odbijają się od siebie. Okazuje się, że cząsteczki są znacznie bardziej skomplikowane. Jednak jego model zawierał wiele prawdy. Być może teoria fali pilotującej jest podobna – w tym sensie, że jest przybliżonym modelem. ■

eprasa.pl 5b4d5e3312



Historyczny widok Królewca, obecnie Kaliningradu w Rosji

Zagadka spaceru po mostach zapoczątkowała nowy dział matematyki

Czy jesteś mądrzejszy niż XVIII-wieczni poddani pruscy?

JACK MURTAGH

W XVIII WIEKU MIESZKAŃCY PRUSKIEGO MIASTA Królewiec głowili się nad następującą zagadką: jak wytyczyć trasę spaceru przez miasto, która przechodziłaby dokładnie raz przez każdy z jego siedmiu zabytkowych mostów? Mosty sięgały brzegów znajdujących się na rzece dwu dużych wysp. Niezależnie od sposobu wyznaczania trasy nie udawało się uniknąć dwukrotnego przejścia przez jakiś most.

Nie mogąc uporać się z problemem, miejscowi „mędrcy" napisali list z prośbą o pomoc do znanego szwajcarskiego matematyka Leonharda Eulera. Euler zlekceważył sprawę, twierdząc, że ma ona „niewiele wspólnego z matematyką". Miał poniekąd rację, bo odpowiedni dział matematyki wówczas jeszcze nie istniał. Jednak mimo tych wątpliwości w końcu Euler zagadkę siedmiu królewieckich mostów rozwiązał, nie zdając sobie sprawy, że w ten sposób zapoczątkował dwa nowe działy królowej nauk.

Czy gdybyś był mieszkańcem Królewca, to, patrząc na plan miasta (u góry na sąsiedniej stronie), zaprojektowałbyś ścieżkę przechodzącą raz przez każdy most? Powinieneś myśleć jak matematyk. Pierwszym krokiem w rozwiązaniu każdego problemu matematycznego jest usunięcie zbędnych informacji i pozostawienie tylko istotnych – to proces zwany abstrakcją. Cechami mapy nieistotnymi dla problemu są na przykład długości i kierunki mostów lub powierzchnie lądów – wszystko to można pominąć. Liczy się tylko to, które lądy łączą się z innymi i ile razy. Możemy więc stworzyć znacznie prostszy diagram, składający się jedynie z kółek i linii, reprezentujących lądy i mosty (u dołu sąsiedniej strony).

We współczesnym języku matematycznym nazywa się taki schemat grafem. Kółka są „wierzchołkami", a linie „krawędziami". Teoria grafów jest dziś ważną, szeroko stosowaną dziedziną matematyki i informatyki. Grafy nie muszą dotyczyć lądów i mostów. Mogą reprezentować sieci społeczne, reakcje chemiczne, sieci neuronowe, sieć WWW lub dowolne inne dane obejmujące relacje między parami elementów.

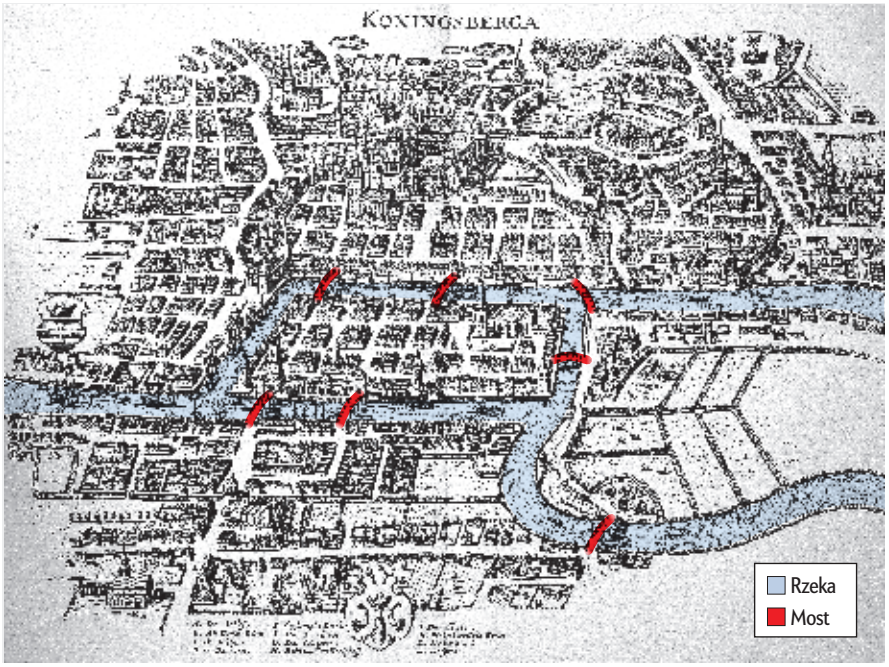
Abstrakcja pozwala przełożyć konkretny problem układu mostów w mieście na problem ogólny, dotyczący wszystkich grafów: czy dla grafu z dowolną liczbą wierzchołków i krawędzi istnieje ścieżka, która przechodzi przez każdą krawędź dokładnie raz. Okazuje się, że zaskakująco prosty test umożliwia odpowiedź na to pytanie dla dowolnego grafu: policz, ile krawędzi (mostów) wychodzi z każdego wierzchołka (lądu). Jeśli wszystkie te liczby są parzyste lub nieparzyste są tylko dwie, to taka ścieżka istnieje; w przeciwnym razie ścieżki nie da się wytyczyć.

Aby to wyjaśnić, wyobraźmy sobie ścieżkę w grafie, która przechodzi każdą krawędzią tylko raz, i rozważmy wierzchołek przechodni na tej ścieżce (nie początkowy i nie końcowy). Jeśli z takiego wierzchołka wychodzi wiele krawędzi, to ścieżka będzie go „odwiedzać" wielokrotnie, ale po każdym wejściu będzie musiała z niego wyjść inną krawędzią. Zatem przy każdym „zaliczeniu" przechodniego wierzchołka, zostaną „zaliczone" dwie krawędzie, a tak będzie tylko wtedy, gdy każdy przechodni wierzchołek będzie połączony z innymi parzystą liczbą krawędzi. Wyjątkami mogą być tylko początek i koniec ścieżki, ponieważ nie trzeba wchodzić do wierzchołka początkowego, ani wychodzić z końcowego. Jeśli zatem mamy dokładnie dwa wierzchołki

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

Interfoto/Alamy Stock Photo

eprasa.pl 5b4d5e3312



Cyfrowo zmodyfikowana reprodukcja XVIII-wiecznej mapy Królewca z oznaczeniami rzeki i mostów.

z nieparzystą liczbą krawędzi, to nasza ścieżka jest możliwa wtedy, gdy w jednym z tych wierzchołków zaczniemy, a w drugim skończymy. Jeżeli zaś każdy wierzchołek obsługuje parzystą liczbę krawędzi, to ścieżka zaczyna się i kończy w tym samym wierzchołku, tworząc pętlę.

W teorii grafów są to elementarne wnioski, a ścieżki, przechodzące raz przez każdą krawędź, zwane są ścieżkami Eulera. Ściśle rzecz biorąc, powyższe warunki dotyczą tylko niemożliwości wyznaczenia ścieżki Eulera. Dowód, że przy tych warunkach ścieżka zawsze istnieje, pojawił się później. Wracając do mostów w Królewcu: jak widać, każdy z czterech wierzchołków obsługuje nieparzystą liczbę krawędzi, co oznacza, niestety, że pruscy spacerowicze szukali na próżno.

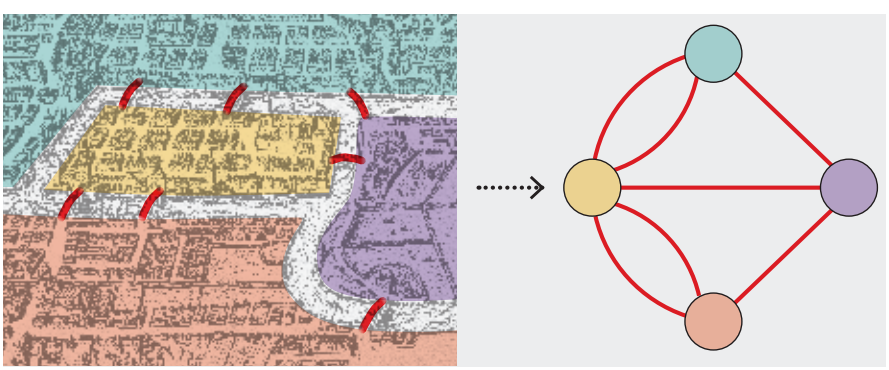
Przy okazji warto zauważyć, że znalezienie ścieżki w grafie, która przechodziłaby dokładnie raz przez każdy wierzchołek (w Królewcu przez lądy, a nie mosty), co wydaje się pokrewnym problemem, to w istocie całkiem inne zagadnienie. Prostym testem można wykluczyć ścieżkę Eulera, ale nie znamy żadnej ogólnej, wydajnej procedury dla analogicznego wariantu dotyczącego wierzchołków. Stanowi to zagadkę zwaną problemem hamiltonowskim, należącym do klasy problemów powszechnie uważanych za obliczeniowo nierozwiązywalne.

Chociaż Euler początkowo lekceważył problem mostów, jednak w końcu wciągnęła go niemożność uporania się z nim za pomocą znanych wówczas narzędzi. Napisał do przyjaciela: „To banalne pytanie, ale wydało mi się warte uwagi, ponieważ ani geometria, ani algebra, ani obliczenia nie wystarczają do jego rozwiązania”. W czasach Eulera geometria dotyczyła pojęć ilościowych, jak odległość, kąt i pole. Problem mostów wydawał się geometryczny, ale nie operował żadnymi wymiarami. Chodziło o nową abstrakcję, która ignoruje tradycyjną geometrię, a respektuje jako najistotniejsze połączenia parami.

Pomysł zredukowania mapy Królewca do prostego grafu może wydawać się oczywisty z perspektywy czasu, ale do tego sprowadza się większość abstrakcji. Historia matematyki stanowi właściwie historię potęgi abstrakcji. Gdyby starożytni matematycy stawali przed problemami ilościowymi dotyczącymi na przykład pomarańczy, pereł lub Ziemi, mogliby opracować własny język i techniki radzenia sobie z każdym nowym wyzwaniem. Przedsięwzięcie staje się jednak o wiele łatwiejsze i bardziej zrozumiałe wtedy, gdy uświadomimy sobie, że wszystkie te pozornie różne obiekty reprezentują ten sam obiekt wyższego rzędu: sferę. Po nazwaniu i zdefiniowaniu abstrakcji ludzie, którzy nigdy nie mieli ze sobą kontaktu, mogą ze sobą współpracować i nie wyważać otwartych drzwi.

Praca Eulera nie tylko zapoczątkowała teorię grafów, ale także stanowiła zalążek innej gałęzi matematyki – topologii. To nauka badająca własności geometryczne obiektów niezmieniające się przy ich odkształcaniu – jakby obiekty te były wykonane z gumy. Mamy zatem jeden poziom abstrakcji, który przenosi nas od obiektów świata rzeczywistego – takich jak pomarańcze, góry lub kostki do gry – do brył (kule, piramidy, sześciany). Natomiast topologia wprowadza inny poziom abstrakcji, na którym postrzegamy kule, piramidy i sześciany jako obiekty wyższego rzędu. Topolodzy uznają te bryły za równoważne, ponieważ każdą z nich można przekształcić w inną w elastycznym świecie – w przeciwieństwie na przykład do nierównoważnego im obwarzanka, bo zachowuje on otwór bez względu na to, jak go zdeformujemy.

Pomijając dane ilościowe na mapie Królewca, Euler zapoczątkował nowy rodzaj myślenia geometrycznego, oderwanego od liczb określających odległości i kąty, które dominowały w tej dziedzinie przez tysiąclecia. Teoria grafów i topologia wciąż się rozwijają i znajdują praktyczne zastosowanie, a zawdzięczamy to w pewnym stopniu także spacerowiczom sprzed trzech wieków. ■



Alamy Stock Photo (*mapy*); Amanda Montañez (*modyfikacja map i diagram*)

eprasa.pl 5b4d5e3312

Śladami tatami

czyli maty na kwadraty

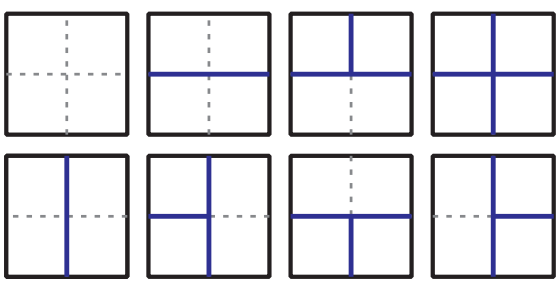
MAREK PENSZKO

ILE JEST RÓŻNYCH SPOSOBÓW PODZIAŁU pokratkowanego kwadratu $n \times n$ wzdłuż boków kratek na prostokąty? To geometryczny odpowiednik pytania o liczbę partycji liczby n^2, czyli liczbę sposobów przedstawienia n^2 w postaci sumy składników całkowitych dodatnich. Łatwo wywnioskować, że odpowiedzi na oba pytania – o liczbę prostokątnych partycji kwadratu z n^2 kratek i o liczbę partycji liczby n^2 – są różne, więc zasadne jest także pytanie: która liczba będzie większa dla konkretnego n?

Analizując zależność między liczbą partycji liczby i liczbą podziałów figury, nietrudno zauważyć, że tych drugich powinno być więcej, bo kolejność składników w sumie tworzącej partycję nie ma znaczenia (z definicji), natomiast w figurze umiejscowienie odpowiadających składnikom prostokątów może być różne, więc jest istotne.

Samodzielne szukanie wszystkich odpowiedzi jest łatwe właściwie tylko dla n=2, bo nie znamy prostych wzorów na partycje, a tzw. wzór rekurencyjny Eulera dotyczy liczb (nie figury) i wymaga dla większych n długich obliczeń.

Partycji liczby 4 jest pięć: 4, (3+1), (2+2), (2+1+1) i (1+1+1+1), a podziałów kwadratu 2×2 osiem (*rys. 1*). Ponieważ jednak w przypadku liczb kolejność składników nie jest istotna, więc na podobnej zasadzie przy podziale kwadratu można by pominąć obroty i odbicia, a to zmniejsza liczbę podziałów do czterech (*górny rząd na rys. 1*).

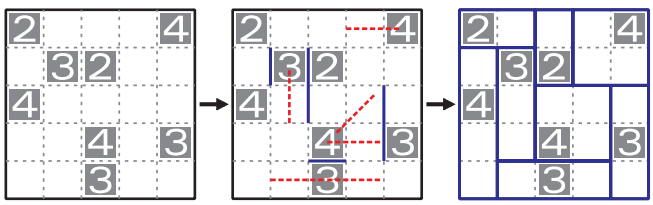


Rys. 1

Dla n=3 poradzenie sobie z partycjami liczby 9 trochę trwa, ale nie jest trudne, natomiast dzielenie na różne sposoby kwadratu 3×3 to już zajęcie iście benedyktyńskie. Partycji – od 9 do sumy dziewięciu jedynek – jest 30; cięcia kwadratu – z uznawaniem obrotów i odbić za różne – są aż 322 (bez uznawania – 54). Dla większych n liczba wszystkich podziałów kwadratu na prostokąty (z obrotami i odbiciami) gwałtownie rośnie. Dla kwadratu 4×4 wynosi blisko 71 tys., a dla 5×5 ponad 84 mln. Trudno w to uwierzyć, patrząc na tak małe pokratkowane kwadraty.

* * *

W roku 1988 Yoshinao Anpuku, student wydziału matematyki Uniwersytetu w Kioto, analizując zagadnienia związane z parkietażami, zauważył, że można zaliczyć do nich także układy mat tatami, pokrywających szczelnie podłogi w japońskich domach. Wymiary mat bywają wprawdzie różne, ale są z reguły współmierne (długość i szerokość stanowią wielokrotność pewnej jednostki), zatem każda pokrywa jakby prostokąt złożony z jednostkowych kwadratów. To zainspirowało Yoshinao, miłośnika matematyki rekreacyjnej, do wymyślenia łamigłówki polegającej na odtwarzaniu układu mat, a praktycznie na dzieleniu pokratkowanego kwadratu na jakiś ściśle określony układ prostokątów. Dodatkową zachętę stanowiły wspomniane wyżej gigantyczne liczby możliwych układów. Chodziło tylko o podanie takiej optymalnej informacji, która stanowiłaby klucz do unikalnego rozwiązania.



Rys. 2

Wybór padł na liczby. Yoshinao przyjął, że w jednej, odpowiedniej kratce należącej do każdego prostokąta umieszczana będzie liczba równa jego powierzchni, czyli liczbie tworzących dany prostokąt kratek. Tak powstała seria pierwszych małych (5×5) prostych zadań (przykład z dwuetapowym rozwiązywaniem na rys. 2), które początkowo uprzyjemniały lekcje matematyki uczniom jednej ze szkół podstawowych w Kioto. Zadania bardzo się podobały i jesienią 1989 roku trafiły w większych formatach na łamy japońskiego łamigłówkowego kwartalnika „Nikoli". Nadano im nazwę shikaku, co stanowi skrótową formę określenia „cięcie na czworokąty", a niebawem nowe dziełko zadomowiło się w kanonie japońskich zadań diagramowych. Na krótko zostało przyćmione falą sudoku, ale po jej przeminięciu się odrodziło. Dostąpiło nawet zaszczytu goszczenia na łamach prestiżowych gazet i czasopism poza Japonią. Do dziś pojawia się m.in. w brytyjskich dziennikach „Times" i „Guardian" oraz w amerykańskim „The Wall Street Journal".

* * *

Shikaku jest łamigłówką względnie łatwą „z natury". To określenie dotyczy zadań, które można rozwiązywać, korzystając najczęściej tylko z 2–3 prostych sposobów logicznych. W tym przypadku ogólna metoda polega na szukaniu pól, których liczba **musi** sięgnąć, czyli powinien je objąć prostokąt z tą liczbą. To sięgnięcie może być konieczne z dwóch powodów:

a) bez załapania danego pola prostokąt nie zmieściłby się w diagramie;

b) żadna inna liczba nie sięga określonego pola.

Na środkowym diagramie rys. 2 efekty skorzystania z tej metody są oznaczone czerwonymi odcinkami. Przypadku (a) dotyczą odcinki przy górnej czwórce i górnej trójce; pozostałe odcinki wiążą się z przypadkiem (b).

Dodatkowym prostym sposobem jest oznaczanie granicy między liczbami zajmującymi sąsiednie pola oraz między liczbą a polem, którego ta liczba z oczywistych powodów na pewno nie sięgnie (jej zajęcie albo nie prowadzi do utworzenia prostokąta, albo blokuje utworzenie prostokąta innej liczbie).

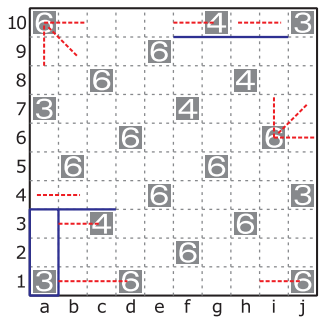
Korzystanie ze wskazanych metod umożliwia rozwiązywanie jak po sznurku większości poprawnych shikaku (z jednym

Ilustracje Marek Penszko

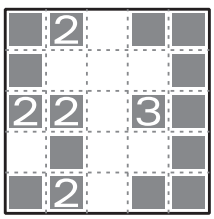
eprasa.pl 5b4d5e3312

rozwiązaniem). Nie znaczy to jednak, że nie ma trudnych zadań, w których przydają się nieco bardziej wyszukane strategie. Efekty ich stosowania są „fragmentaryczne", czyli prowadzą zwykle do oznaczania fragmentów granic albo do ich wykluczania, czyli łączenia par pól, jako należących do tego samego prostokąta. Strategie te są jednak względnie proste, bo rzadko stanowią więcej niż dwuetapową dedukcję zwaną też wnioskowaniem pośrednim („jeśli A, to B", potem „jeśli B, to C" i ewentualnie dalej „jeśli C, to D"). Przykładowe efekty korzystania z takich strategii na początku rozwiązywania trudnego shikaku oznaczone są na rys. 3.

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".



Rys. 3



Rys. 4

Dlaczego prostokąt w lewym dolnym rogu musi leżeć pionowo (1×3)? Bo gdyby leżał poziomo (3×1), szóstka z f2 musiałaby sięgnąć pola a2, a wtedy nie starczyłoby prostokąta 1×6 dla szóstki z d1.

Dlaczego szóstka z d1 musi sięgnąć b1? Bo w przeciwnym wypadku pola b1 musiałaby sięgnąć szóstka z b5, a wówczas żaden prostokąt nie objąłby pola a4. Ten wniosek wymusza też połączenie w ramach jednego prostokąta pól a4 i b4, a potem umieszczenie granicy między parami pól b3 i c3, a b4 i c4.

Na podobnej zasadzie jak w lewym dolnym rogu (choć z innym efektem końcowym), oznaczane są granice i zasięgi w prawym górnym rogu – tu odpowiednikiem a2 jest j9, którego może sięgnąć tylko trójka z j10 lub szóstka z e9. Jakkolwiek by jednak było, pod czwórką g10 powstanie 4-polowa granica.

Szukanie dalszych „pewniaków" nie jest łatwe, ale warto spróbować, zaczynając od analizowania możliwych układów przy brzegach. Wygodnie jest też korzystać z faktu, że rozwiązanie jest jedno, więc jeśli jakiś wydzielony fragment diagramu da się wypełnić prostokątami na dwa sposoby, to podział z takim fragmentem nie jest częścią rozwiązania i należy go odrzucić – a to może prowadzić do kolejnych ustaleń. Takim błędnym fragmentem byłby np. prostokąt 6×2, obejmujący dwie szóstki f2 i j1, bo można go złożyć z dwóch prostokątów 3×2 lub dwóch 6×1. Stąd z kolei wniosek, że czwórka c3 nie może być objęta poziomym prostokątem 4×1, bo to generowałoby wskazany błędny prostokąt. Zatem ta czwórka musi znaleźć się w położonym jednoznacznie kwadracie 2×2, co z kolei pozwala zakreślić prostokąt 6×1 z szóstką d1. Dalsza droga wydaje się dość wyboista, ale możliwa do pokonania. Warto spróbować.

* * *

Miarą atrakcyjności i popularności zadania jest m.in. liczba jego wariantów. Łamigłówki polegające na podziale diagramu na prostokąty nie są rzadkością, ale za warianty shikaku uznaje się tylko te, w których klucz do rozwiązania stanowią umieszczone w diagramie liczby, a każda z nich w jakiś sposób określa jeden z prostokątów.

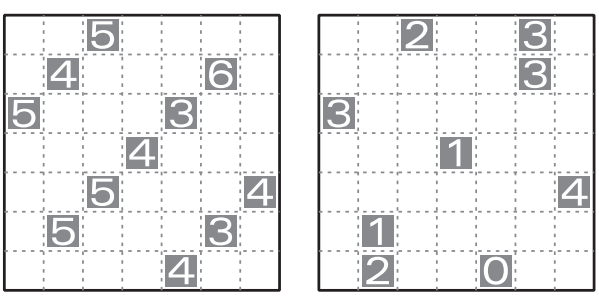
Najprostszy wariant, który debiutował niemal równocześnie z wzorcem, wynika z zauważenia, że choć ujawnianie wszystkich miejsc, które powinny zająć liczby, oznaczające wielkości prostokątów (szarych kwadratów na diagramach), wydaje się konieczne, to podawać wszystkich liczb nie trzeba. To, że jedną liczbę można pominąć, jest oczywiste, skoro suma wszystkich musi być równa n^2. Ale czy nieujawnionych liczb w ujawnionych miejscach – wyznaczających pozycje prostokątów – może być więcej? A ile najwięcej?

Zmiennych jest zbyt wiele (wielkość diagramu; liczba, wielkości i kształty prostokątów), aby pokusić się o podanie jakichś ogólnych zależności. Co jednak istotniejsze, powyższe pytania właściwie nie mają sensu, bo wraz ze zwiększaniem liczby miejsc zajmowanych przez cyfry (*szare kwadraty*) coraz mniej z nich wymaga uzupełniania liczbami (*przykład na rys. 4*). Teoretycznie w skrajnym przypadku miejscami bez cyfr można by wypełnić szczelnie wszystkie pola diagramu, tworząc zadanie absurdalne, choć formalnie poprawne – diagram złożony z n^2 jednostkowych kwadratów. Ciekawe może być natomiast analizowanie konkretnych typowych zadań w celu ustalenia, ile maksymalnie liczb uda się z nich usunąć bez utraty jednoznaczności rozwiązania – pozostawiając oczywiście szare kwadraty, oznaczające miejsca zajmowane przez kasowane liczby. Takiego problemu dotyczy jedno z zadań konkursowych.

Czy liczby będące kluczem do rozwiązania mogą oznaczać inne cechy prostokątów niż ich wielkość? Odpowiedź twierdzącą stanowi między innymi wariant shikaku z liczbami równymi obwodom prostokątów. Podanie obwodu jest nieco szerszą, a więc słabszą informacją, bo może wskazywać na więcej możliwości niż w przypadku podania wielkości. Na przykład wielkość prostokąta 3×5 to 15, a obwód 16. Wielkość wskazuje na dwie możliwe figury (1×15 lub 3×5), przy podaniu obwodu możliwości są cztery (1×7, 2×6, 3×5, 4×4). W praktyce podawane w zadaniach liczby równe są połowie obwodu, czyli sumie długości i szerokości, a łamigłówki noszą japońską nazwą *rekuto* (skrótowe określenie formatu prostokątnego).

Od sumy blisko do różnicy, czyli do *rekuto* różnicowego, w którym każda liczba oznacza różnicę długości i szerokości prostokąta. To jedyny wariant shikaku, w którego diagramie pojawiają się zera, oznaczające oczywiście kwadraty.

Zadania na rys. 5 są dwoma wspomnianymi wariantami shikaku. Liczby oznaczają: w lewym diagramie – połowę obwodu prostokąta; w prawym – różnicę długości i szerokości prostokąta.



Rys. 5

eprasa.pl 5b4d5e3312

Obie łamigłówki nie są trudne, więc warto potraktować je jako trening przed zadaniami konkursowymi.

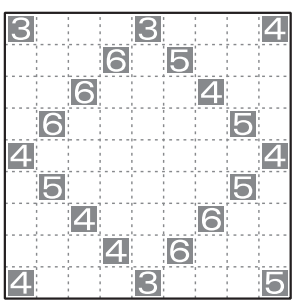
* * *

Skoro shikaku uchodzi za proste „z natury”, to który rodzaj zadania może być przykładem łamigłówki „z natury” nieprostej? Odpowiedź wydaje się zaskakująca: takim orzechem jest popularne sudoku. Nietrudno bowiem o przykłady tego zadania, których nie sposób rozwiązać bez stosowania ekstremalnych strategii, a praktycznie bez wsparcia komputerowego. Wszystko, z czym mierzą się amatorzy tej rozrywki, jest układane tak, by nieprostej natury sudoku unikać, czyli aby konsument miał satysfakcję z osiągania celu, czyli był z siebie zadowolony.

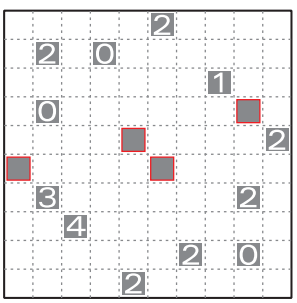
ZADANIA

1. Diagram na rys. 2 (*pierwszy z lewej*) dzielony jest na osiem prostokątów, co wynika z oznaczonych w nim ośmiu szarych pól. Osiem liczb w tych polach stanowi jednak nadinformację. Ile najwięcej i które z tych liczb można usunąć (pozostawiając szare kwadraty pod nimi jako wyznaczające prostokąty) tak, aby zadanie nadal miało tylko jedno rozwiązanie.

2. Diagram *rekuto* (*rys. 6*) należy podzielić na 20 prostokątów. Każdy powinien obejmować jedną liczbę – równą połowie obwodu zawierającego ją prostokąta, czyli sumie jego długości i szerokości. Jako rozwiązanie końcowe wystarczy podać, ile prostokątów nie dotyka brzegu diagramu.

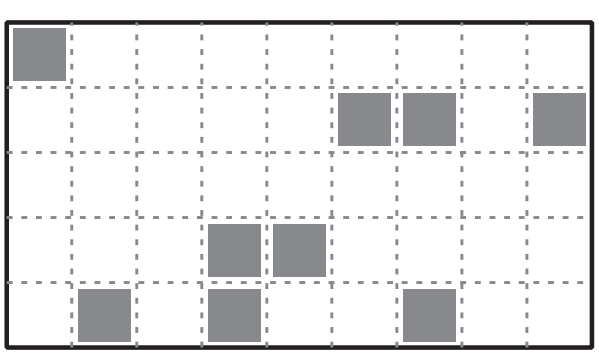


Rys. 6



Rys. 7

3. W *rekuto* różnicowym (*rys. 7*) prostokąty, na które należy podzielić diagram, powinny obejmować po jednej liczbie równej różnicy długości i szerokości prostokąta. Cztery liczby zostały jednak usunięte z szarych kwadratów, na których się znajdowały. Przywrócenie tych liczb na ich miejsca jest częścią zadania, a w rozwiązaniu wystarczy podać ich wartości.


Rys. 8

4. Zadanie na rys. 8 to wariant shikaku bez liczb. W dziewięciu szarych polach liczby powinny się pojawić, ale jakie i gdzie konkretnie – to należy ustalić i podzielić diagram na 9 prostokątów. Kluczem do rozwiązania jest informacja, że wielkość każdego prostokąta musi być inna – od 1 do 9 kratek. Jako rozwiązanie wystarczy podać wstawione w szare pola liczby – wierszami od góry.

*Rozwiązania prosimy nadsyłać do 31 lipca 2026 roku pocztą elektroniczną (*redakcja@swiatnauki.pl*), wpisując w temacie e-maila hasło* ***UG 7/26****. Spośród autorów poprawnych rozwiązań przynajmniej dwóch zadań wyłonimy pięciu zwycięzców i nagrodzimy ich książką popularnonaukową. 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 MAJOWEGO

1. 56 jest najmniejszą liczbą N złożoną z różnych, ale kolejnych cyfr, od której zaczyna się droga o maksymalnej wysokości $w=N\neq 2n$ (56-28-14-7-22-11-34-17-52-26-13-40-20-10-5-16-8-4-2-1).

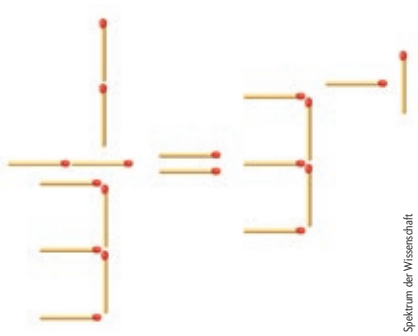
2. W opisanej modyfikacji ciągu Collatza nie będzie (zaczynając od drugiego wyrazu) wielokrotności trzech.

3. Jeżeli w uogólnionym ciągu Collatza każdy kolejny wyraz powstaje z poprzedniego po podzieleniu go przez najmniejszą możliwą liczbę b (jeśli to możliwe) albo zwiększeniu o d (gdy b nie jest dzielnikiem), to dla $b=3$, $c=1$ i $d=16$ taki ciąg wpada w cykl z najmniejszym $C=4$, gdzie C jest zarówno liczbą wyrazów tworzących cykl, jak i najmniejszym z tych wyrazów: {4, 20, 36, 12}.

Za poprawne rozwiązanie przynajmniej dwóch zadań książkę Piotra Parzymiesa *Historia pandy wielkiej, czyli z bambusowego lasu na dyplomatyczne salony*, ufundowaną przez Wydawnictwo Dialog, otrzymują: Robert Bąkowski z Siedlec, Zbigniew Kapusta z Banina, Waldemar Karpiński z Nowego Miasta Lubawskiego, Piotr Mesyjasz z Warszawy i Krzysztof Szeruga z Wrocławia.

Rozwiązanie zagadki matematycznej ze strony 17.

Niewykluczone, że poniższe rozwiązanie nie jest jedynym, ale dotychczas inne nie są znane.



eprasa.pl 5b4d5e3312

POSZERZAMY HORYZONTY



Już w sprzedaży w punktach z prasą

Numer 7/2026
KUP TERAZ

Bieżące wydanie możecie kupić także we wszystkich sklepach sieci Lidl.

Prenumerata cyfrowa:
projektpulsar.pl

Prenumerata papierowa:
sklep.polityka.pl/wiz

eprasa.pl 5b4d5e3312

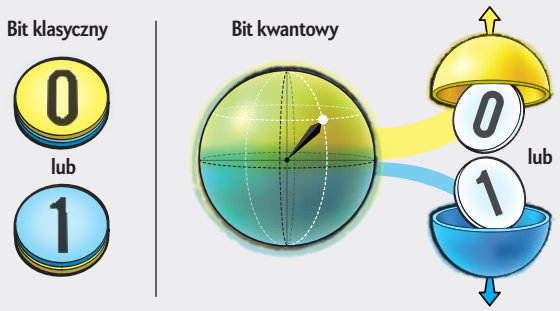
Przewodnik po kubitach

Naukowcy badają wiele różnych platform dla komputerów kwantowych

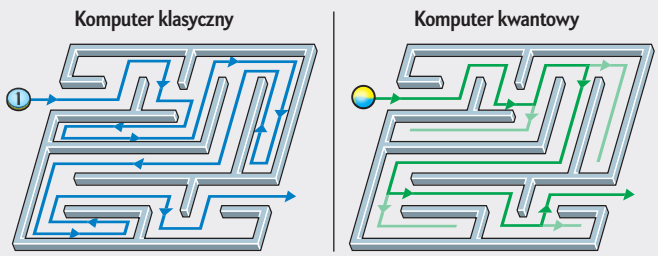
Tekst CLARA MOSKOWITZ
Infografiki BEN GILLILAND i AMANDA HOBBS

NA CAŁYM ŚWIECIE NAUKOWCY ŚCIGAJĄ SIĘ w tworzeniu komputerów wykorzystujących niezwykłe zasady mechaniki kwantowej. Takie maszyny mogłyby wykonywać obliczenia niemożliwe do zrealizowania przez komputery konwencjonalne i znacznie szybciej rozwiązywać niektóre problemy.

Magia komputerów kwantowych wynika z ich bitów kwantowych, czyli kubitów. Klasyczne bity komputerowe mogą przyjmować jeden z dwóch stanów: 0 lub 1. Bity kwantowe mogą jednak znajdować się w dziwnym stanie zwanym superpozycją, w którym jednocześnie występują w pewnej kombinacji 0 i 1. Kubity mogą zatem przybierać nieskończoną liczbę możliwych stanów, podobnie jak istnieje nieskończona liczba punktów na powierzchni kuli. Kubity mogą również ulegać splątaniu – specjalnemu związkowi kwantowemu, który sprawia, że operacje wykonywane na jednym kubicie wpływają na inny kubit.



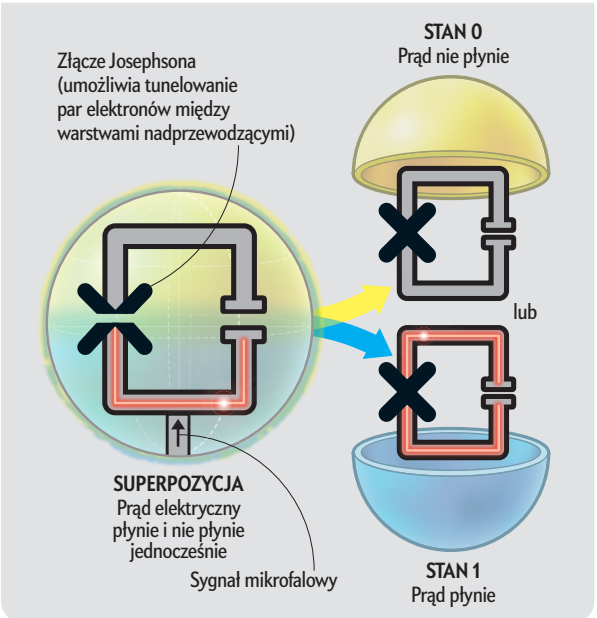
Te właściwości umożliwiają im osiąganie zadziwiających wyników obliczeniowych. Komputer klasyczny rozwiązuje układ labiryntu, próbując po kolei wszystkich ścieżek, natomiast komputery kwantowe mogą w zasadzie zbadać wszystkie możliwe trasy jednocześnie. Kiedy jednak naukowcy dokonują pomiaru kubitu, jego nieograniczone możliwości kolapsują do jednej opcji.



Ale czym właściwie jest kubit? Kubity mogą być zakodowane w wielu układach fizycznych, a naukowcy wciąż poszukują rozwiązań. „Obecnie to otwarte pole badań – mówi Nathalie de Leon, badaczka zajmująca się informatyką kwantową z Princeton University, która jest członkiem kadry naukowej w Google Quantum AI. – Wszystkie te platformy stawiają przed nami pytania, a do tego dochodzą wyzwania związane z inżynierią i skalowaniem". Oto niektóre z opcji.

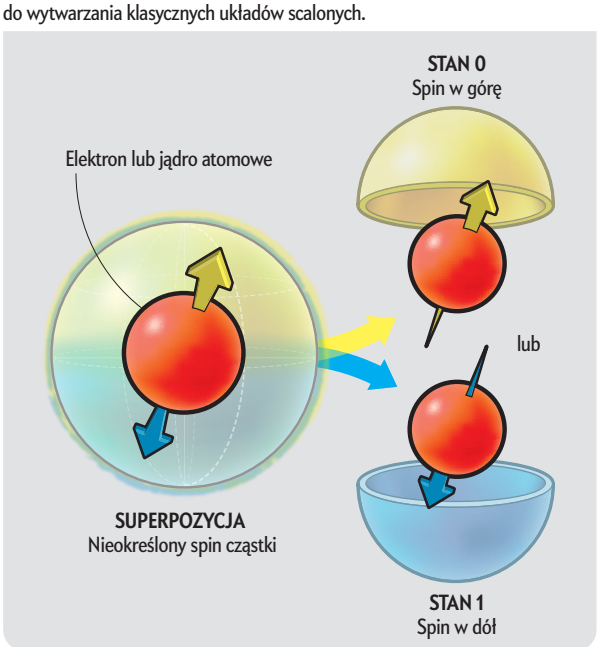
KUBITY NADPRZEWODZĄCE

Kubity nadprzewodzące są z maleńkimi obwodami z materiałów, które w ultraniskich temperaturach przewodzą prąd bez żadnego oporu. Poziom energetyczny obwodu określa stan kubitu: gdy obwód pochłania foton mikrofalowy, kubit przechodzi ze stanu podstawowego (0) do pierwszego stanu wzbudzonego (1). Niektórzy naukowcy preferują te kubity, bo mogą one bardzo szybko wykonywać operacje.



KUBITY SPINOWE W CIELE STAŁYM

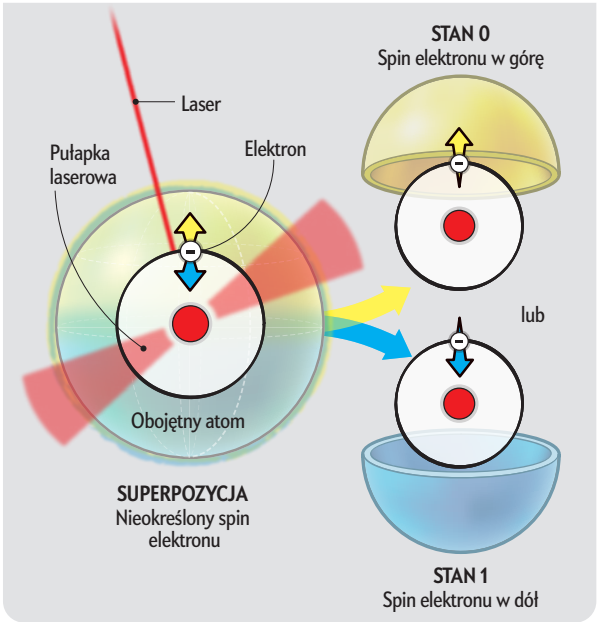
Te kubity wykorzystują stany spinowe pojedynczych cząstek. Mogą to być elektrony w półprzewodnikach uwięzione w pułapkach elektrostatycznych, elektrony i spiny jądrowe związane z defektami atomowymi w półprzewodnikach, elektrony unoszące się w ciekłym helu oraz centra defektów w ciałach stałych o szerokiej przerwie energetycznej. Chipy z ich wykorzystaniem można produkować w tej samej technologii, którą stosuje się do wytwarzania klasycznych układów scalonych.



eprasa.pl 5b4d5e3312

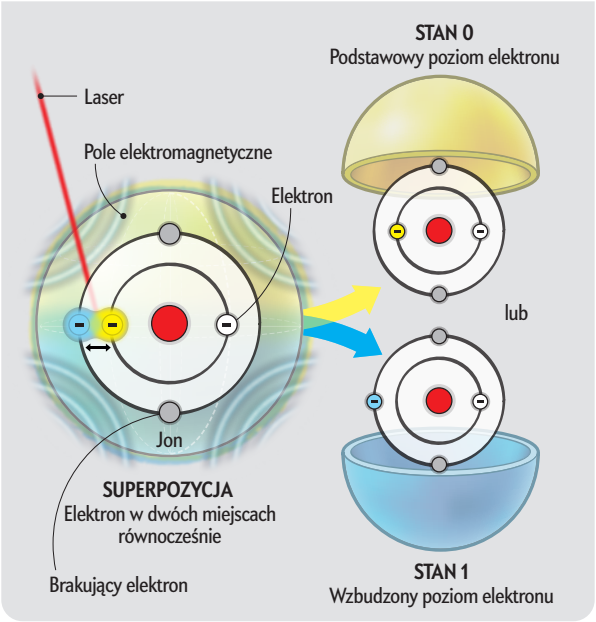
ATOMY OBOJĘTNE

Te atomy jako całość nie mają ładunku elektrycznego. Naukowcy mogą przekształcić je w kubity, wykorzystując lasery do ich wychwytywania, manipulowania nimi i odczytywania. Ich stan jest określany przez spin elektronu lub spin jądra atomowego. Są one cenione przez niektórych naukowców ze względu na łatwość, z jaką można je łączyć i otrzymywać w ten sposób dużą liczbę kubitów.



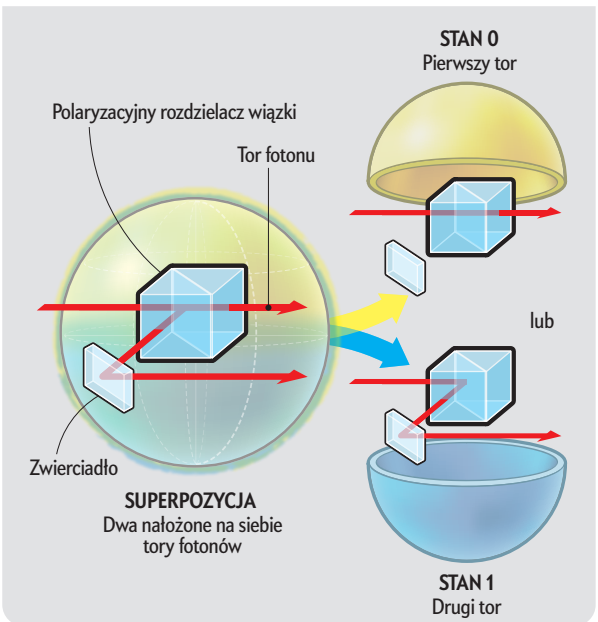
UWIĘZIONE JONY

Kubity te wykorzystują stany spinowe pojedynczych jonów (atomów z ładunkiem elektrycznym), które naukowcy utrzymują w miejscu za pomocą pól elektromagnetycznych i manipulują nimi, używając laserów. Atomami tymi mogą być na przykład wapń, magnez lub beryl. W niektórych pierwszych eksperymentach jako stany kubitów wykorzystywano stany orbitalne elektronów, co pokazano poniżej. Wykazały one najniższy wskaźnik błędów dla bramek między kubitami.



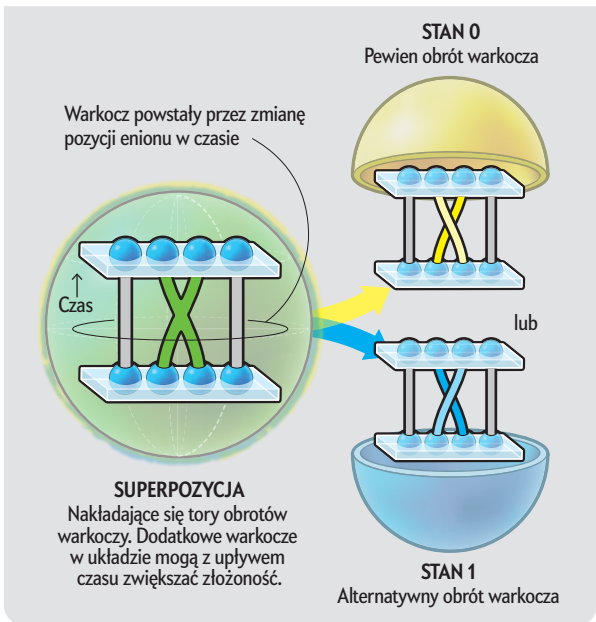
KUBITY FOTONOWE

Kubity te są zbudowane z cząstek światła, czyli fotonów, a ich stan jest zakodowany w kierunku ruchu fotonu wzdłuż toru zwanego szyną. Jedną z ich zalet jest to, że te same techniki, które pomogły w skalowaniu klasycznych chipów optycznych i elektronicznych, pozwalają na tworzenie z nich coraz większych komputerów.



KUBITY TOPOLOGICZNE

Kubity topologiczne nie są zbudowane z obwodów lub pojedynczych atomów, ale z kwazicząstek zwanych enionami. Teoretycznie są one mniej podatne na błędy niż inne rodzaje kubitów, ale trzeba to jeszcze zweryfikować eksperymentalnie.



ŹRÓDŁO: "The Qubit", Massine Kelai/Center for Quantum Nanoscience (https://qns.science/thequbit) (*odniesienie do koncepcji labiryntu*)

eprasa.pl 5b4d5e3312

50, 100 i 150 lat temu



1976 REAKTOR ROZSZCZEPIENIOWY

„W odkrywkowej kopalni uranu w południowo-wschodniej części Republiki Gabonu, w pobliżu równika na zachodnim wybrzeżu Afryki, znajdują się uśpione pozostałości naturalnego reaktora rozszczepieniowego. W bogatej żyle rudy uranowej naturalny reaktor osiągnął kiedyś stan krytyczny, zużył część swojego paliwa, a następnie samoczynnie się wyłączył – wszystko to jeszcze w czasach prekambryjskich.

Historia tego naturalnego reaktora jest niezwykłą sekwencją pozornie mało prawdopodobnych wydarzeń. Najpierw uran z całego obszaru zlewiska zgromadził się w lokalnych, silnie skoncentrowanych złożach, w tym w jednym miejscu znanym dziś jako Oklo. Następnie powstały warunki niezbędne do podtrzymania łańcuchowej reakcji rozszczepienia. Po wyłączeniu się reaktora ślady jego działalności zostały zachowane niemal nienaruszone przez kolejne epoki aktywności geologicznej. Wreszcie samo odkrycie reaktora wymagało śledztwa godnego najlepszych detektywów z powieści kryminalnych."

GEOMETRIA BANIEK MYDLANYCH

„Bańki mydlane i błony mydlane wywołują szczególną fascynację. Iryzacja, reakcja na najmniejszy podmuch powietrza, delikatność – wszystko to składa się na ich urok. Jeszcze bardziej urzeka jednak niezwykła doskonałość ich geometrii, absolutna gładkość form. Jakie zasady sprawiają, że bańki i błony mydlane mogą istnieć w jednych konfiguracjach geometrycznych, a nie mogą w innych? Jakie kształty mogą przyjmować?

Niedawno udało nam się wykazać, że trzy podstawowe reguły rządzące geometrią baniek i błon mydlanych są matematyczną konsekwencją prostej zasady minimalizacji powierzchni."

1926 JAK DOGADYWAĆ SIĘ Z LUDŹMI

„To epoka dyplomacji. Wypolerowany miecz został zastąpiony przez gładką mowę. Przerażające pomruki gniewu ustąpiły miejsca łagodzącym taktownym słowom. Uważne badanie cech tzw. człowieka sukcesu ujawni, że w dziewięciu przypadkach na dziesięć jego powodzenie zależy nie od jakiejś głębokiej i doniosłej umiejętności, która wprawia przeciętnego człowieka w zakłopotanie, lecz od czegoś prostszego i bardziej powierzchownego, co trafia do zwykłych ludzi. To właśnie tę ujmującą cechę określiłem mianem »inteligencji społecznej«, czyli zdolności do porozumiewania się z ludźmi; natomiast tę głęboką właściwość definiuję jako »inteligencję abstrakcyjną«, czyli zdolność operowania ideami."

NASZ PUNKT WIDZENIA

„»Garabed« to nowe słowo, które ma wszelkie szanse wejść do języka. Można by je zdefiniować jako »pseudonaukowy humbug wspierany naciskami politycznymi«. Garabed to nazwisko Garabeda T. K. Giragossiana, które nadał on swojemu rzekomemu »generatorowi darmowej energii«, czyli niewyczerpanemu źródłu mocy. Osiem lat temu udało mu się doprowadzić do uchwalenia przez Kongres ustawy przyznającej mu nadzwyczajne przywileje pod warunkiem, że zdoła udowodnić swoje twierdzenia. Sam fakt, że Kongres poświęcił uwagę fantastycznemu projektowi Giragossiana, tworzy niebezpieczny precedens. Otwiera drogę każdemu szarlatanowi, który chciałby ominąć procedury działania państwa."

1876 OSTROŻNIE Z LIŚĆMI KOKI

„Sir Robert Christison wykazał niedawno przed Edynburskim Towarzystwem Botanicznym, że istnieją rozbieżności opinii dotyczących działania koki na osoby żujące jej liście. Podczas gdy większość uważała, że ma ona niezwykłą zdolność podtrzymywania sił podczas długotrwałego wysiłku bez pożywienia, niektórzy sądzili, że jej używanie jest szkodliwe i niebezpieczne, inni zaś uznawali je nie tylko za nieszkodliwe, ale wręcz korzystne dla zdrowia.

Sir Robert przedstawił wyniki doświadczeń przeprowadzonych na kilku swoich studentach oraz na sobie samym. Stwierdził, że koka zarówno zapobiega zmęczeniu, jak i przywraca siły po ciężkim wysiłku fizycznym, nie wywołując przy tym żadnych niekorzystnych skutków następczych dla organizmu. Jeśli chodzi o stosowanie koki jako środka leczniczego, radził nikomu jej nie używać, dopóki nie będzie wiadomo o niej więcej – a przynajmniej nie stosować jej bez konsultacji z lekarzem."



1876 Uchwyt do parasolki: „Przedstawiamy nowy uchwyt do parasolki i parasola wynaleziony przez Elizę M. Arnold z Houston w Teksasie. Urządzenie mocowane jest do ciała użytkownika za pomocą prętów i elastycznych pasków." „Scientific American", tom 35, nr 3, 15 lipca 1876

eprasa.pl 5b4d5e3312







ŚWIAT NAUKI

POLSKA EDYCJA

SCIENTIFIC AMERICAN

W NUMERZE SIERPNIOWYM

Nauka w USA znalazła się w punkcie zwrotnym. Trwające od dziesięcioleci porozumienie między środowiskiem naukowym a społeczeństwem zaczyna się kruszyć, a badacze zmagają się z problemami wizerunkowymi i niepewnością, co do przyszłości. To szczególnie trudny czas dla młodych naukowców, którzy rozpoczynają karierę w okresie cięć finansowania i rosnącej niestabilności. Jakie to będzie mieć znaczenie dla świata? O tym w kolejnym numerze,

a ponadto:

Bezobsługowe laboratoria a wiarygodność wyników

Złudzenie młodości wyostrza wspomnienia

Robot w każdym domu

Misja do największego księżyca Saturna

Jak narodził się rachunek prawdopodobieństwa

Prócz tego m.in.:

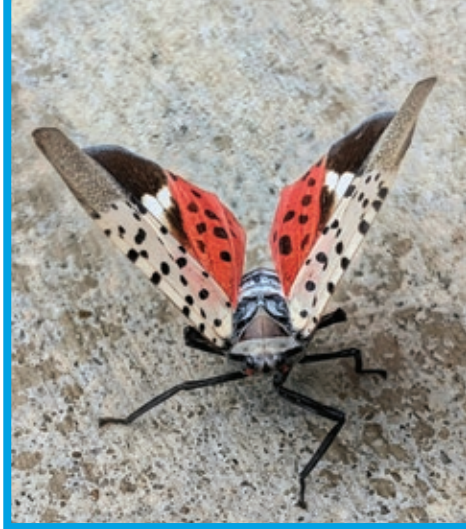
Rośliny mogą „słyszeć" deszcz

Dodatkowe korzyści z badań przesiewowych

Koty to nie altruiści

Wojny szympansów

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 sierpniowy dostępny od 29 lipca

eprasa.pl 5b4d5e3312

Politechnika
Wrocławska

Studiuj z nami!



Isaac Newton



rekrutacja.pwr.edu.pl

eprasa.pl 5b4d5e3312