ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
swiatnauki.pl • projektpulsar.pl

SCIENTIFIC AMERICAN

Czerwiec 2026 nr 6 (418)
Cena 18 zł 99 gr (w tym 8% VAT)

Altermagnetyzm – rewolucja w elektronice?

Dlaczego ptaki przetrwały zagładę dinozaurów

Interocepcja – nasz ósmy zmysł

Serce w płomieniach

Radykalny zwrot w leczeniu chorób układu krążenia



RAPORT
Nauka a luksus

ISSN 0867-6380
INDEKS 378194
9 770867 638609 06>

ŚWIAT NAUKI 06/2026

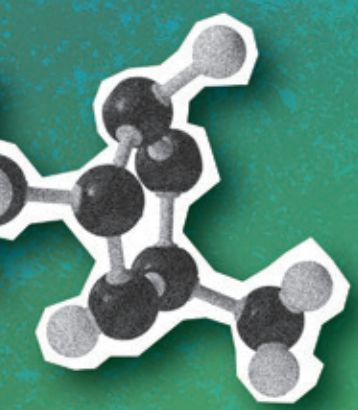
Politechnika
Wrocławska

Studiuj z nami!















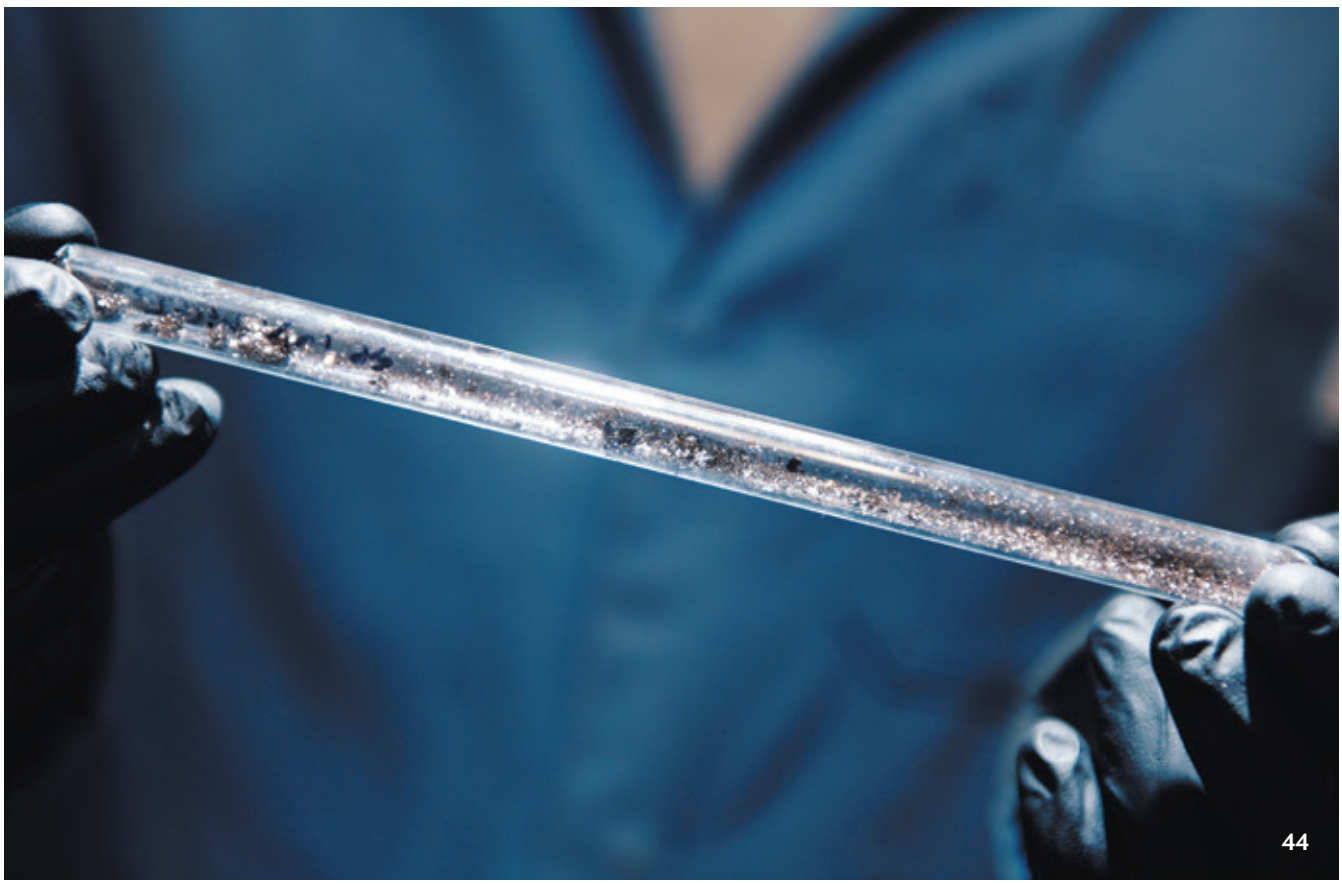
Maria Skłodowska-Curie

rekrutacja.pwr.edu.pl

eprasa.pl d166b0f064

POLSKA EDYCJA
ŚWIAT NAUKI
SCIENTIFIC AMERICAN

CZERWIEC 2026
NUMER 6 (418)



MEDYCYNA

24 SERCE W PŁOMIENIACH
Rzeczywistą przyczyną chorób układu sercowo-naczyniowego może być stan zapalny.
MELINDA WENNER MOYER

FIZYKA

44 NOWY RODZAJ MAGNESÓW
Jak odkrycie altermagnesów może zmienić fizykę i informatykę.
BOB HENDERSON

EWOLUCJA

54 JAK PTAKI PRZETRWAŁY APOKALIPSĘ?
Zaczynamy rozumieć, dlaczego ptaki – jako jedyna grupa dinozaurów – przetrwały masowe wymieranie pod koniec kredy.
STEVE BRUSATTE

PSYCHOLOGIA

62 NASZ ÓSMY ZMYSŁ
Zaburzenia interocepcji, zdolności interpretowania wewnętrznego stanu ciała, mogą stanowić podłoże wielu schorzeń psychicznych – takich jak lęk, zaburzenia odżywiania i stres pourazowy.
DIANA KWON

RAPORT SPECJALNY

30 NAUKA A LUKSUS

54 WAKACJE W KOSMOSIE
JONATHAN O'CALLAGHAN

57 CHEMIA POŻĄDANIA
APRIL LONG

59 INNOWACYJNE ZEGARKI
JEANNA BRYNER

62 WIDZIEĆ DALEJ I LEPIEJ
KATE WONG

Zdjęcie Tony Luong

eprasa.pl d166b0f064

ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
SCIENTIFIC AMERICAN

CZERWIEC 2026
NUMER 6 (418)

6 ZDROWIE
Zaopiekować się opiekunem
LYDIA DENWORTH

7 MILITARIA
Mgły nauki
SARAH SCOLES

10 SKANER
Ratowanie teleskopu ◆ Znowu nie tacy wyjątkowi! ◆ Trąba niczym szwajcarski scyzoryk ◆ Zbiorowe oszustwo ◆ Istotna zmiana pozycji ◆ Niezwykły przewodnik ciepła ◆ Pszczela makabra ◆ Nigdy nie jest za późno ◆ Czym zastąpić duroplast?

22 WSZECHŚWIAT
Tak trzymać!
PHIL PLAIT

70 MATEMATKA
Pozornie niepozorny problem matematyczny
JACK MURTAGH

72 UMYSŁ GIĘTKI
Pierwsze lepsze
MAREK PENSZKO

76 SIŁA MYŚLI
Ufać czy nie ufać osądom AI?
WALTER QUATTROCIOCCHI

78 FAKTOGRAF
Obiekty niemożliwe
CLARA MOSKOWITZ

80 Z ARCHIWUM „SCIENTIFIC AMERICAN”
Kwantowy płyn ◆ Bezpieczne obserwacje ◆ Co kryje wnętrze Ziemi ◆ Fale krótkie docenione ◆ Pajęcze mieszkania


7 Richard Mia


22 NASA

OKŁADKA



Około 920 tys. osób w samych tylko Stanach Zjednoczonych umiera każdego roku z powodu chorób układu sercowo-naczyniowego, a nawet u jednej czwartej z nich nie stwierdza się tradycyjnych czynników ryzyka, takich jak wysokie ciśnienie krwi. Nowe badania pokazują, że prawdziwym winowajcą może być stan zapalny – nadmierna reakcja układu odpornościowego prowadząca do zatykania naczyń krwionośnych.

Ilustracja Maria Corte

Polska wersja okładki Jolanta Kotas


80 Scientific American, tom 34, nr 26, 24 czerwca 1876

eprasa.pl d166b0f064

PRENUMERATA „ŚWIATA NAUKI”

SCIENTIFIC AMERICAN

Prenumeruj druk



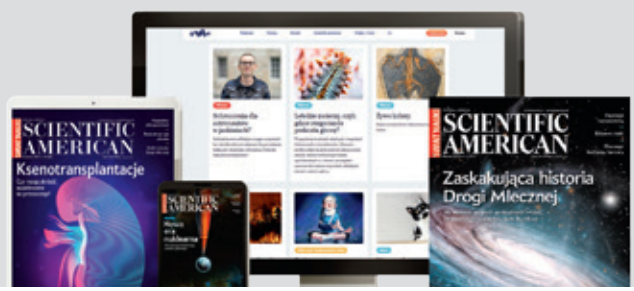
KUP TERAZ

Prenumerata roczna
189 zł

Prenumerata półroczna
99 zł

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

Prenumeruj druk i serwis Pulsar



KUP TERAZ

Prenumerata roczna
279 zł

Prenumerata półroczna
159 zł

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

Prenumeruj w pakiecie z „Wiedzą i Życiem”



KUP TERAZ

Prenumerata roczna
299 zł

Prenumerata półroczna
169 zł

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

Darmowa dostawa
co miesiąc pod wskazany adres

Gwarancja
stałej ceny

MASZ PYTANIA?

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

prenumerata@swiatnauki.pl

sklep.polityka.pl

Zapraszamy na wygodne zakupy!

Dla siebie i bliskich. Kupuj dla szkoły, firmy, instytucji.

eprasa.pl d166b0f064

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

Drodzy Czytelnicy,

nadchodzą wakacje, to doskonała okazja, aby zadbać o swoje zdrowie. Pogoda sprzyja aktywności w plenerze, świeże warzywa i owoce pozwalają urozmaicić dietę i zwykle (choć niestety nie zawsze) mamy więcej czasu dla siebie. To wszystko powinno poprawić kondycję naszego serca. Jednak od lat lekarze obserwują nie do końca zrozumiałe zjawisko – ludzie umierają na zawał, mimo że nie mieli wysokiego ciśnienia, wysokiego poziomu cholesterolu LDL, cukrzycy typu 2 i nie palili tytoniu – czyli nie występował u nich żaden ze znanych czynników ryzyka. Badacze podejrzewają, że przyczyną jest stan zapalny, będący wynikiem nadgorliwości naszego układu odpornościowego (*s. 24*). Na szczęście istnieją już leki, które mogą temu zaradzić.

Polecam artykuł dotyczący nowego rodzaju magnesów (*s. 44*). Konwencjonalny magnetyzm (ferromgnetyzm) jest na pozór dość zwyczajnym zjawiskiem, jednak jego istotę odkryto stosunkowo późno, bo dopiero w latach 20. XX wieku, i być może to właśnie doprowadziło do powstania mechaniki kwantowej. Ferromagnetyzm odkrywa ogromną rolę w technice, ale nie jest jedynym rodzajem magnetyzmu. Odkryty niedawno altermagnetyzm wzbudza ogromne nadzieje, przede wszystkim na nowy rodzaj pamięci komputerowej, ale od przełomu naukowego do zastosowań komercyjnych daleka droga.

Ptaki, duże, małe, czasem pięknie śpiewające i barwne, to nieodłączny element życia, jakie znamy. A przecież ich istnienie wcale nie jest oczywiste, bo wielu ptasich krewnych – pierzastych uskrzydlonych dinozaurów – wyginęło w następstwie upadku na Ziemię planetoidy pod koniec okresu kredowego. Co zadecydowało o ich przetrwaniu? (*s. 54*)

Czym jest tzw. ósmy zmysł, czyli czucie trzewne, inaczej interocepcja? To odbieranie sygnałów z wnętrza ciała, takich jak bicie serca, rytm oddechu czy aktywności układu pokarmowego. Okazuje się, że zaburzenia interocepcji, na przykład nadmierna wrażliwość na te sygnały lub rozbieżność obiektywnego stanu z odczuciem, mogą być przyczyną wielu chorób psychicznych – m.in. anoreksji, lęku, depresji czy nawet schizofrenii. Badacze coraz lepiej poznają te mechanizmy i opracowują skuteczne terapie (*s. 62*).

Na koniec trochę lżejszy temat, choć wielu może zdenerwować – to rola nauki w tworzeniu towarów i usług luksusowych (*s. 30*). Temat rzeka, ale w raporcie ograniczono się do czterech dziedzin. Luksusowe zegarki to głównie triumf mechaniki precyzyjnej i inżynierii materiałowej, nie chodzi więc tylko o kruszce i szlachetne kamienie, ale o niezwykle skomplikowane mechanizmy, miniaturyzację i skrajną wytrzymałość. W lornetkach z kolei wysoka cena przekłada się w znacznie większym stopniu niż w zegarkach na ich innowacyjność i funkcjonalność. Najbardziej egalitarną dziedziną z raportu jest perfumiarstwo, a najmniej – kosmiczna turystyka. W przypadku tej ostatniej autorzy zastanawiają się, czy naprawdę pobyt w orbitalnym hotelu może być komfortowy. Nieco wątpliwe, jednak wartością są silne emocje i niezapomniane wrażenia. To one lądują wysoko na liście pragnień, gdy już kogoś stać praktycznie na wszystko – czego najlepszym przykładem jest kolejka wspinaczy na Mount Everest, na którym raczej komfortowo nie jest.

Miłej lektury!

Elżbieta Wieteska

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

TŁUMACZE, AUTORZY I KONSULTANCI BIEŻĄCEGO NUMERU

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

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

eprasa.pl d166b0f064

Co nas porusza?

– czyli teraźniejszość i przyszłość (oraz koszty) mobilności

Jak i czym podróżujemy? Dokąd? Po co? Jakie są tego społeczne i środowiskowe skutki? Na te i inne pytania odpowiada raport przygotowany w ramach projektu współrealizowanego przez badaczy Centrum Europejskich Studiów Regionalnych i Lokalnych (EUROREG) na Uniwersytecie Warszawskim.



Fot. Pexels.com

W raporcie* wzięto pod uwagę zachowania transportowe w dwóch polskich obszarach miejskich – Poznań i Trójmiasto – pomiędzy lipcem 2022 a listopadem 2024 r. Samochodami porusza się około 79% mieszkańców, zaś z transportu powietrznego korzysta ¼ z nich. Podróże takie oznaczają emisje gazów cieplarnianych.

Liderami w emitowaniu spalin są osoby w średnim wieku (głównie mężczyźni), czynne zawodowo i z wyższym wykształceniem. Lepsza sytuacja materialna łączy się z możliwością nabywania pojazdów czy rezerwacji biletów lotniczych. Na transportowe decyzje wpływa także miejsce zamieszkania. – *Duże znaczenie ma zapobieganie rozlewaniu się miast. Nowe osiedla powinny być budowane jak najbliżej skupisk miejsc pracy oraz mieć dobry dostęp do lokalnych usług, takich jak szkoły, przedszkola i sklepy*, komentują badacze. Od czego bowiem zależy struktura emisji? Od emisyjności środków transportu. To jednak nie wszystko. Jeszcze większe znaczenie mają pokonywane odległości i napełnienie poszczególnych pojazdów.

(Nie)sprawiedliwość środowiskowa?

Większość emisji gazów cieplarnianych pochodzi z mobilności niewielkiej grupy dużo podróżujących. „10% osób latających najwięcej odpowiadało za aż 68% wszystkich emisji związanych z lotami. Nierówno rozkładają się także emisje związane z przemieszczaniem się samochodami", czytamy w raporcie. Podobnie rozkładają się emisje zanieczyszczeń. Tu pojawia się pytanie o „sprawiedliwość środowiskową" – rozłożenie środowiskowych kosztów pomiędzy poszczególne grupy społeczne.

Grupy społeczne, które są narażone na najwyższe, szkodliwe dla zdrowia stężenia smogu, jednocześnie w stosunkowo małym stopniu dokładają się do emisji. Grupy pokrzywdzone, czyli narażone na nieproporcjonalnie wysokie stężenia NO2, to ponadprzeciętnie często m. in. osoby starsze, kobiety, osoby słabiej wykształcone. Ciężar zanieczyszczeń spada częściej na grupy nieuprzywilejowane, co prowadzi do tzw. pętli potrójnego ryzyka, gdzie na wysokie narażenie na smog nakładają się wyższa podatność na negatywne efekty zdrowotne smogu (smog jest bardziej dotkliwy np. dla osób starszych) oraz niższa dostępność do ochrony zdrowia i innych narzędzi zaradczych (np. oczyszczaczy powietrza), stwierdzają dr Michał Czepkiewicz i dr Jakub Rok.

W najbliższych latach liczba aut na polskich ulicach będzie prawdopodobnie rosnąć, na co wskazują zmiany zaobserwowane w podłużnej części badania. Pierwsze lub dodatkowe samochody pojawiają się, gdy poprawia się sytuacja materialna, gdy ktoś podejmuje nową pracę oraz gdy dwie osoby zamieszkują razem lub spodziewają się dziecka. Okazji do rezygnacji z auta jest mniej i wiążą się one między innymi z pogorszeniem stanu zdrowia – choć też zdarzają się sytuacje, w których samochód staje się mniej użyteczny i ponoszenie kosztów z nim związanym przestaje być uzasadnione. Wykorzystywanie samochodu bywa koniecznością, ale nie zawsze. *Dzieje się to często bezrefleksyjnie i jest wyrazem dążenia do poziomu wygody i statusu społecznego, jaki uważamy za normalny* – dodają badacze.

Nie tylko infrastruktura

Samochód funkcjonuje nie tylko jako środek transportu. To narzędzie organizacji życia rodzinnego i zawodowego oraz ważny zasób umożliwiający sprawcze funkcjonowanie w codzienności. Tym samym nasze uzależnienie od aut to nie tylko kwestia słabości infrastruktury czy organizacji transportu publicznego. Wynika to też z procesów socjalizacji do mobilności oraz norm panujących w społeczeństwie. Obecnie czynią one korzystanie z samochodu rozwiązaniem domyślnym i „oczywistym".

Silnej presji społecznej na posiadanie samochodu podlegają mężczyźni – samochód kojarzy się z ich zaradnością i samodzielnością, osoby wchodzące w dorosłość, które bywają namawiane przez rodziców i rówieśników na zrobienie prawa jazdy, a także pary spodziewające się dzieci, które słyszą od innych, że nie da się wychować dziecka bez auta – *Zależność od samochodu w polskich miastach i ich otoczeniu okazuje się zjawiskiem głęboko zakorzenionym nie tylko w przestrzeni i polityce transportowej, lecz przede wszystkim w kulturze codzienności.* – dodaje dr Dawid Krysiński, który realizował część badania na Wydziale Socjologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Zachęcamy do lektury całego raportu: https://conasporusza.pl/.

UNIWERSYTET WARSZAWSKI | SERWIS NAUKOWY

Artykuł jest częścią cyklu poświęconego badaniom realizowanym na Uniwersytecie Warszawskim.

* Badanie jest wynikiem realizacji projektu nr 2020/37/B/HS4/03931 finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki.

eprasa.pl d166b0f064



Zaopiekować się opiekunem

Pomaganie chorym lub starzejącym się bliskim może być rujnujące dla zdrowia, ale odporność organizmu da się zwiększać

LYDIA DENWORTH

MOJA MAMA PRZEŻYŁA z chorobą Alzheimera 12 lat. Chociaż miałam dużo pomocy, opieka nad nią odcisnęła na mnie swoje piętno. Trudno było ją przenieść z łóżka na wózek inwalidzki. Nie można było jej nawet na chwilę zostawić samej. Patrzenie, jak postępujące zmiany zabierają mi osobę, którą kochałam, było rujnujące emocjonalnie. Odeszła w 2024 roku.

Mniej więcej co piąty Amerykanin jest teraz w takiej samej sytuacji: opiekuje się ukochaną osobą dotkniętą chorobą przewlekłą lub niepełnosprawnością. Około połowa z tych opiekunów troszczy się o starszych członków rodziny. Wiadomo, że to naraża na depresję, ale w dużym stopniu także na rozwój cukrzycy, astmy, otyłości i różnorakich zaburzeń bólowych. W konsekwencji na przedwczesną śmierć. W badaniu przeprowadzonym przez amerykańskie Centers for Disease Control and Prevention, którego wyniki opublikowano w 2024 roku, opiekunowie uzyskiwali gorsze wyniki w zakresie 13 z 19 wskaźników zdrowia. Badanie wskazuje, że pierwotną przyczyną problemów jest przewlekły stres. Prowadzi nie tylko do zaburzeń psychicznych, ale również, poprzez hamowanie działania układu odpornościowego, do chorób fizycznych.

Ktoś jednak wreszcie zaczął troszczyć się o opiekunów. Naukowcy wykorzystują to, czego dowiedzieli się na temat wpływu stresu na funkcjonowanie umysłowe i fizyczne, do tworzenia strategii potencjalnie zwiększających odporność. „Ważne, abyśmy zrozumieli, że samo sprawowanie opieki, choć stanowi obciążenie, nie determinuje jeszcze gorszego stanu zdrowia umysłowego i fizycznego – mówi psycholożka Elissa Epel, kierująca ośrodkiem Aging, Metabolism and Emotions Center na University of California w San Francisco. – Istnieje wiele czynników związanych z odpornością, które mogą na to wpływać”.

Stopniowo się upowszechniają innowacyjne programy zapewniające wsparcie. W 2024 roku agencja Centers for Medicaid and Medicare Services wdrożyła zaś rozwiązania, które pomogą lekarzom szkolić osoby świadczące bezpośrednią opiekę nad krewnymi i wspierać w tym procesie zarówno lekarzy, jak i rodziny.

Zależności pomiędzy przewlekłym stresem, osłabioną odpornością i problemami fizycznymi po raz pierwszy zostały udokumentowane w latach 80. i 90. w pionierskich pracach psychoneuroimmunolożki Janice Kiecolt-Glaser z Ohio State University. Odkryła ona m.in., że osoby opiekujące się chorymi współmałżonkami wolniej dochodziły do siebie po ranach kłutych w obrębie ramienia w porównaniu z osobami, które nikim się nie opiekowały.

Opiekunowie okazują się także biologicznie starsi niż osoby, które nie mają takich obowiązków. „Wiemy, że świadczenie opieki powoduje przyspieszenie starzenia pod wieloma względami” – mówi psycholożka społeczna Kathi Heffner, zastępca kierownika ds. badań naukowych na wydziale geriatrii i starzenia w Medical Center na University of Rochester. W połączeniu z depresją obciążenie związane z zapewnianiem opieki nasila stan zapalny, który przyczynia się do uszkodzeń organizmu związanych z wiekiem. Efekt ten określa się jako starzenie zapalne (inflammaging). Badania nad opiekunami wykazują obniżenie poziomu aktywności enzymów, chroniących telomery – końcówki chromosomów, które skracają się wraz z naszym starzeniem. Telomery skracają się szybciej u osób będących w stresie, a do takich należą opiekunowie.

W miarę starzenia się nasze organizmy wytwarzają także coraz mniej dziewiczych limfocytów T – komórek układu odpornościowego, które organizm przetrzymuje w rezerwie do czasu zetknięcia się z nowym zarazkiem, na przykład SARS CoV-2, czyli wirusem wywołującym COVID. Profil limfocytów T, czyli stosunek limfocytów dziewiczych do dojrzałych, może stanowić wskaźnik stanu zdrowia układu odpornościowego danej osoby. Epel wraz ze współpracownikami wykazała w 2018 roku, że rodzice opiekujący się niepełnosprawnymi dziećmi mieli w profilu limfocytów T przesunięcie w kierunku mniejszej liczby komórek dziewiczych. Ta obserwacja jest zgodna z przyspieszonym starzeniem immunologicznym.

Jednym z oczywistych sposobów na pomoc opiekunom jest zmniejszenie ich obciążenia. Wśród celów programu o nazwie Caring for Caregivers, prowadzonego przez Medical Center przy Rush

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

Ilustracja Jay Bendt

eprasa.pl d166b0f064

University w Chicago, jest zwiększanie świadomości skutków, jakie przynosi opieka, i zmiana podejścia personelu medycznego. „Chcemy, żeby lekarze pierwszego kontaktu pytali pacjentów, czy się kimś zajmują – mówi Diane Mariani, pracowniczka socjalna, zarządzająca programem Caring for Caregivers. – Następnie powinni spytać, czy w odczuciu pacjenta wpływa to na jego zdrowie, a w końcu zaproponować możliwe rozwiązania."

Niestety poziom obciążenia opiekunów często narasta z czasem, szczególnie w przypadku opieki nad osobą dotkniętą rakiem lub demencją. „Czynniki obciążające nie znikają – mówi Heffner. – Wyzwania wręcz rosną wraz z postępem choroby". To dlatego badacze, tacy jak Heffner i Epel, poszukują sposobów, aby wzmocnić odporność. Zaobserwowano, że nie wszyscy opiekunowie są dotknięci skutkami obciążeń w ten sam sposób. „Niektórzy odnajdują więcej znaczenia i sensu w tym, że się kimś opiekują" – mówi Epel. Lepiej radzą sobie ci, którzy mają wsparcie społeczne.

W randomizowanym badaniu, przeprowadzonym w 2025 roku, Heffner oceniała skuteczność treningu funkcji poznawczych (na przykład gier logicznych) jako strategii mającej budować psychiczną odporność. Wcześniejsze badania wykazały, że taki trening i gry mogą przyspieszać u ludzi przetwarzanie neuronowe, zaś jego szybkość koreluje z lepszą zdolnością dostosowywania się do stresu. Dziewięćdziesiąt sześć osób opiekujących się bliskimi dotkniętymi demencją grało przez osiem tygodni w gry, które miały na celu przyspieszenie przetwarzania i poprawę skupienia. Druga grupa 96 osób oglądała filmy edukacyjne. Ci, którzy grali w gry, wykazywali sześć miesięcy później znaczącą poprawę szybkości przetwarzania i skupienia. „Rok później zgłaszali mniejsze problemy w radzeniu sobie z wyzwaniami dotyczącymi pamięci i zachowań osób, którymi się opiekowali" – mówi Heffner. Obecnie analizuje badania krwi uczestników eksperymentu, szukając oznak poprawy reakcji immunologicznych i oceniając, czy trening funkcji poznawczych spowolnił starzenie się widoczne w profilu limfocytów T.

„Jeśli będziemy w stanie zwiększyć potencjał adaptacji do stresu u opiekunów, to przełoży się na lepsze efekty i wyższą jakość życia tych osób" – mówi Heffner. Wszystkim nam powinno zależeć na osiągnięciu tego celu. ■



Mgły nauki

Czy przeciwnik właśnie wynalazł broń, która zmieni świat, czy tylko zmyśla? DARPA buduje sztuczną inteligencję, która natychmiast to rozstrzygnie

SARAH SCOLES

POD KONIEC 2022 ROKU chińscy badacze ogłosili coś nadzwyczajnego: oświadczyli, że z użyciem dzisiejszych, stosunkowo podstawowych komputerów kwantowych mogliby hipotetycznie odszyfrować zaszyfrowane informacje – takie, jakie można przesyłać przez komunikator Signal albo jakie satelity szpiegowskie mogłyby przekazywać na Ziemię. Na razie dane pozostają bezpieczne. Ale gdyby komputery kwantowe potrafiły złamać ten szyfr, sekrety przestałyby być sekretami. To oczywiście zła wiadomość dla prowadzących pikantne rozmowy na Signalu, ale jeszcze gorsza dla służb ochrony państwa.

W istocie – stwierdzili eksperci – taki scenariusz byłby katastrofalny – gdyby był prawdziwy. Jednak część tych samych ekspertów podeszła do tych twierdzeń sceptycznie. Czy to nie marketingowy szum? Przechwałki? Tak czy inaczej, deklaracja wzbudziła obawy, że Chiny w dziedzinie komputerów kwantowych i łamania szyfrów mogły wyprzedzić Stany Zjednoczone.

Tego rodzaju strach robi geopolityczną brudną robotę, popychając USA do pogoni za naukowymi majakami i rozproszając uwagę, na co wojsko nie może sobie pozwolić, prowadząc jednocześnie wojnę z wyboru z Iranem.

Nikt tego nie chce, a już szczególnie nie czołowa amerykańska agencja wojskowych badań i rozwoju: Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). Aby oceniać prawdziwość naukowych doniesień, uruchomiła specjalny program SciFy – Scientific Feasibility. Ma on za zadanie tworzyć narzędzia do szybkiej weryfikacji podejrzanych twierdzeń naukowych – sprawdzać, czy są bzdurą, czy może technicznym przełomem i Departament Obrony powinien się im przyjrzeć.

Zadaniem DARPA, mówi kierująca SciFy Erica Briscoe, jest zapobieganie

eprasa.pl d166b0f064

Tego rodzaju strach robi geopolityczną brudną robotę, popychając USA do pogoni za majakami i rozpraszając uwagę, na co wojsko nie może sobie pozwolić, prowadząc jednocześnie wojnę z wyboru z Iranem.

technicznym zaskoczeniom i zapewnienie, że amerykańska technika wojskowa zawsze wyprzedzi wszystko, co wymyślą gdzie indziej. Faktycznie, agencja powstała po tym, jak ZSRR niespodziewanie wystrzelił swojego pierwszego satelitę Sputnika 1. Powołano ją po to, by już nigdy nie doszło do podobnego zaskoczenia.

Pod pewnym względem SciFy jest więc wręcz wzorcowym programem DARPA. Jeśli jego narzędzia zadziałają tak, jak się tego oczekuje, pozwolą ocenić, czy pogłoski o nowym, metaforycznym Sputniku są mocno przesadzone. „Wykonalność wykracza poza często słyszane pojęcia walidacji i replikacji – mówi Briscoe – i naprawdę wchodzi w tę spekulatywną przestrzeń, gdzie jest trochę osądu i trochę sztuki".

Narzędzia SciFy mogą również pozwolić agencjom obronnym i wywiadowczym przewidywać, czy i jakimi sposobami inne państwo mogłoby na przykład w ciągu pięciu lat stworzyć komputer kwantowy zdolny do łamania szyfrów. „Możemy uważać, że jeszcze tego nie mają, ale chcemy wiedzieć, jak mogliby do tego dojść" – mówi Briscoe.

Analiza prowadzona przez AI może też mieć charakter preskryptywny, wskazując, gdzie inwestować wojskowe środki na badania i rozwój – a to DARPA bardzo interesuje. „Jeśli jesteś taką organizacją, próbujesz po prostu ustalić, które z całego wachlarza szalonych pomysłów na świecie okażą się wartościowe" – mówi Clayton Kerce z Georgia Tech Research Institute, członek jednego z zespołów SciFy. Innymi słowy, oprócz wykrywania bzdur narzędzia SciFy mogłyby dawać zielone światło krajowym projektom z pogranicza fantastyki.

Zespół Kerce'a pracuje właśnie nad czymś takim, budując zestaw narzędzi o nazwie Farscape. Obecnie, jak mówi, można wprowadzić do systemu twierdzenie naukowe, a system uruchomi agenty AI, które zbiorą istotne informacje, przeanalizują zgromadzoną wiedzę, uszeregują wagę dowodów i przygotują ocenę typu „bzdura albo zielone światło" dla pierwotnego twierdzenia. Farscape porównuje wyniki agentów, syntetyzuje je i stawia diagnozę.

Analiza obejmuje między innymi próby rozumowania Farscape'a według schematów podobnych do ludzkich, takich jak dedukcja i indukcja. Ten element rozumowania szczególnie interesuje Kerce'a jako matematyka stosowanego i sprawia, że Farscape jest niezależny od dziedziny: nie obchodzi go, czy pytasz o nierozładowujące się akumulatory, czy nieprzepuszczalny pancerz. W ramach testu wewnętrznego zespół poprosił system o określenie, kiedy chińscy producenci chipów dorównają amerykańskiej firmie NVIDIA.

Frank Ferraro z University of Maryland, Baltimore County – członek innego zespołu SciFy – porównuje system swojej grupy do jednego ze swoich hobby: stolarki. „Tak do tego podeszliśmy, przynajmniej z mojej perspektywy – mówi – w sensie zachowania równowagi między budowaniem warsztatu, rozwijaniem narzędzi, które są do dyspozycji, a następnie uczeniem się, jak najlepiej ich używać".

Ten zespół liczy ponad 25 osób konstruujących własne narzędzia. Cały system (czyli „warsztat") może następnie zdecydować, które narzędzia najlepiej zastosować do konkretnego twierdzenia. Jedno narzędzie – powiedzmy młotek – rozbija twierdzenie na elementy możliwe do zweryfikowania. Na przykład: załóżmy, że konkurencyjny kraj A twierdzi, że stworzył pancerz z samonaprawiającego się materiału. Aby to mogło być prawdą, ten materiał musiałby pozostawać stały zarówno w równikowej dżungli, jak i w polarnej tundrze. Ale zarówno literatura naukowa, jak i symulacja właściwości tego materiału pokazuje, że w tropikalny dzień stałby się cieczą. Płynny pancerz odpada; ergo – niewykonalne.

Obecnie DARPA, we współpracy z Johns Hopkins Applied Physics Laboratory, oceniła pracę zespołów, poddając ją trzem „technicznym sprintom". W pierwszym zespoły dostały 48 godzin na to, by ich AI oceniła twierdzenia naukowe. Wyniki – oraz stojące za nimi rozumowanie – porównano z analizami ludzkich ekspertów z danych dziedzin. Ten proces zostanie powtórzony w dwóch kolejnych sprintach.

DARPA niedawno zakończyła sprint dotyczący materiałoznawstwa i jest obecnie w trakcie oceny wyników sprintu poświęconego sztucznej inteligencji. Następny będzie sprint dotyczący komputerów kwantowych – wszystkie te tematy, jak mówi Briscoe, znajdują się wysoko na liście zainteresowań Departamentu Obrony.

Twierdzenia, które grupy musiały oceniać, mogą wydawać się nieco nudne, ale mają znaczenie wojskowe. Jedno z nich brzmiało: „dodatki zawierające fluor w ciekłym elektrolicie umożliwiają akumulatorom litowo-jonowym pracę do 10 V" – co oznacza, że dodanie niewielkiej domieszki do baterii mogłoby sprawić, iż drony stałyby się lżejsze i mogły latać dalej.

W niedawno zakończonym pierwszym sprincie wszystkie zespoły osiągnęły „umiarkowaną" zgodność z ocenami ludzkich ekspertów od materiałoznawstwa, co było celem DARPA. Co więcej, według Kerce'a, czasami analiza AI skłaniała ekspertów do ponownego przemyślenia swoich opinii.

„Zmodyfikowali swoją ocenę w 19% przypadków" – wspomina (DARPA nadal zestawia oficjalne dane z pierwszego sprintu) – ponieważ AI potrafiła połączyć fakty z ogromnych zbiorów informacji, których człowiek nie jest w stanie zapamiętać.

W nadchodzących miesiącach zespoły skierują swoją AI przeciwko twierdzeniom dotyczącym komputerów kwantowych – potencjalnie takim, jak to wysunięte przez chińskich badaczy. A później podobne narzędzia mogą podpowiedzieć amerykańskiemu wojsku, jak rozwijać własne kwantowe sztuczki, nie błądząc po bezproduktywnej krainie science fiction. ■

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 d166b0f064

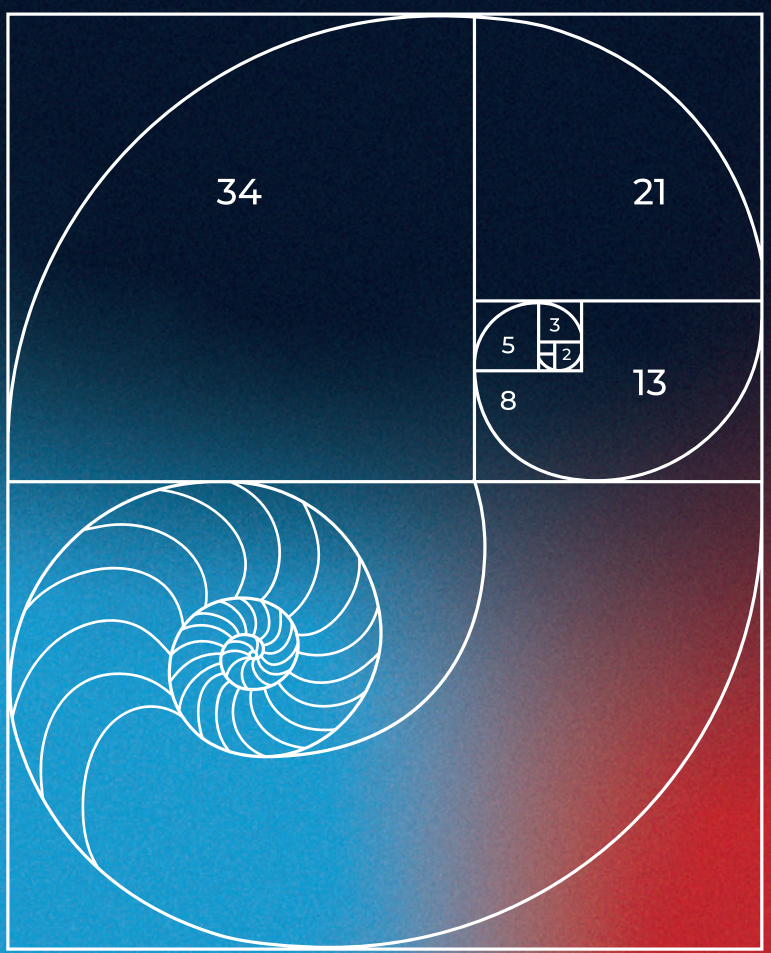
UNIWERSYTET WARSZAWSKI

MISMaP

ZAPRASZAMY NA JEDYNE TAKIE W POLSCE

INTERDYSCYPLINARNE

STUDIA W UNIWERSYTECIE WARSZAWSKIM!



WWW.MISMAP.UW.EDU.PL

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

• ŚCISŁYCH • PRZYRODNICZYCH • SPOŁECZNYCH • HUMANISTYCZNYCH

eprasa.pl d166b0f064

KOSMOS

Powstrzymać upadek

NASA ma śmiały plan ratowania teleskopu kosmicznego

NALEŻĄCE DO NASA Neil Gehrels Swift Observatory ściga się z czasem. Ten krążący wokół Ziemi od ponad 21 lat teleskop monitoruje sferę niebieską w poszukiwaniu rozbłysków gamma – najpotężniejszych i najjaśniejszych eksplozji we Wszechświecie – i po zauważeniu jakiegoś błyskawicznie obraca się w jego kierunku, by się mu dokładnie przyjrzeć. Jednak poruszając się po orbicie, zderza się z niezliczoną liczbą cząstek z atmosfery ziemskiej, tracąc z każdym uderzeniem odrobinę prędkości, wskutek czego przesuwa się coraz bliżej Ziemi.

Jeśli nic się nie zmieni, teleskop przegra ten wyścig z czasem jeszcze w tym roku i wypadnie z orbity, kończąc w płomieniach swą długą karierę naukową. NASA ma jednak nadzieję przedłużyć jego funkcjonowanie o kolejne 10 lat misji, w której ramach robot delikatnie przyczepi się do Swifta, przepchnie go na bezpieczniejszą orbitę i następnie się odczepi. Gdyby to się udało, otworzyłoby to nowe możliwości przedłużania czasu fukcjonowania statków kosmicznych przeznaczonych do badań naukowych.

„Tego typu idee są już od dawna w obiegu i jestem przekonany, że technika ta w końcu osiągnęła wystarczający poziom, by takie zadanie nie było już wyłącznie czystym szaleństwem" – mówi Jonathan McDowell, astronom i analityk do spraw zrównoważonego rozwoju badań kosmicznych.

Swift Observatory jest wyposażone w instrument o nazwie Burst Alert Telescope, który obejmuje jednocześnie obserwacjami ogromną część nieba w poszukiwaniu rozbłysków promieniowania i precyzyjnie wyznacza ich lokalizację. Wykrywszy coś interesującego, w ciągu minuty czy dwóch obraca się, aby zbadać to miejsce za pomocą pozostałych dwóch teleskopów – jednego wychwytującego promieniowanie ultrafioletowe i światło widzialne oraz drugiego rejestrującego promieniowanie rentgenowskie.

To właśnie szybkość reakcji zadecydowała o nazwie misji [swift – zwinny, prędki] i jej nieustającym znaczeniu dla astronomii, mimo że naukowcy rozwiązali już najpilniejsze zagadki dotyczące rozbłysków gamma. Ostatnio Swift jest coraz częściej wykorzystywany do weryfikacji intrygujących obserwacji dokonanych przez inne obserwatoria. A w nadchodzących latach, gdy Vera C. Rubin Observatory w Chile zintensyfikuje swoje badania, a NASA wystrzeli Nancy Grace Roman Space Telescope, pojawi się o wiele więcej takich odkryć wymagających szybkich – czyli takich, jakie zapewnia Swift – obserwacji kontrolnych.

„Swift jest naprawdę jedynym instrumentem, który potrafi przeprowadzić tak szybko obserwacje uzupełniające – mówi Brad Cenko, astrofizyk z NASA Goddard Space Flight Center w Maryland i główny badacz misji. – Sądzimy, że taka funkcja jest w istocie czymś, na co zapotrzebowanie będzie wzrastać".

Niestety, fizyka orbitalna może misji zagrozić. Wszystkie statki kosmiczne na niskiej orbicie okołoziemskiej, zwłaszcza te krążące na wysokości poniżej 600 km, napotykają na opór atmosfery. Im gęstsza atmosfera, tym większy jej wpływ i szybsze opadanie satelity. A gęstość atmosfery zmienia się wraz z aktywnością słoneczną. Gdy Słońce jest szczególnie aktywne – tak jak to było w ostatnich kilku latach – gęstość atmosfery jest większa.

Swift odczuwa wpływ tych wahań. Misja została wystrzelona na wysokość około 600 km, gdzie satelity nie mogą uniknąć zakłóceń atmosferycznych, ale jeszcze na początku 2024 roku wydawało się, że przetrzyma ona maksimum słoneczne i będzie działać do lat 30. Tymczasem Słońce okazało się aktywniejsze, niż oczekiwano, i na początku 2025 roku stało się jasne, że Swift jest skazany na spłonięcie przed upływem roku.

Zespół obserwatorium lobbował w NASA na rzecz podjęcia próby uratowania go, uzasadniając to wartością naukową zdolności Swifta do szybkiej reakcji – oraz faktem, że jego dni są już i tak policzone. „Gdyby to się udało, korzyści dla nauki byłyby ogromne – mówi Cenko. – Gdyby nie, czego oczywiście nie chcemy, i tak wszedłby w atmosferę jeszcze w tym roku".

We wrześniu 2025 roku NASA podpisała wartą 30 mln dolarów umowę z firmą Katalyst Space Technologies na przeprowadzenie misji ratunkowej, której start zaplanowano na początek czerwca. To niezwykle napięty harmonogram w przypadku każdej misji, a co dopiero takiej, która ma na celu serwis z użyciem robotów – coś, co od dawna stanowi wyzwanie dla inżynierów kosmicznych i nigdy dotąd nie było podejmowane w ramach misji naukowej. Gdy latały promy kosmiczne NASA, astronauci sporadycznie wykonywali misje serwisowe – w szczególności odbyli pięć lotów mających na celu naprawę, modernizację i wzmocnienie Hubble Space Telescope. W przypadku misji zrobotyzowanej, wprawdzie znacznie tańszej, nie można liczyć na ludzką inwencję i szybkość reakcji w obliczu pojawiających się wyzwań, co jest znacznym utrudnieniem. Być może jednak nadszedł wreszcie odpowiedni moment. Na przykład gigant Northrop Grumman z powodzeniem wykorzystał dwa pojazdy Mission Extension Vehicles do rewitalizacji komercyjnych satelitów komunikacyjnych. Teraz

eprasa.pl d166b0f064

SŁYSZENIE KSZTAŁTÓW s. 12

UNIWERSALNA TRĄBA s. 14

GNIAZDO W CZASZCE s. 18



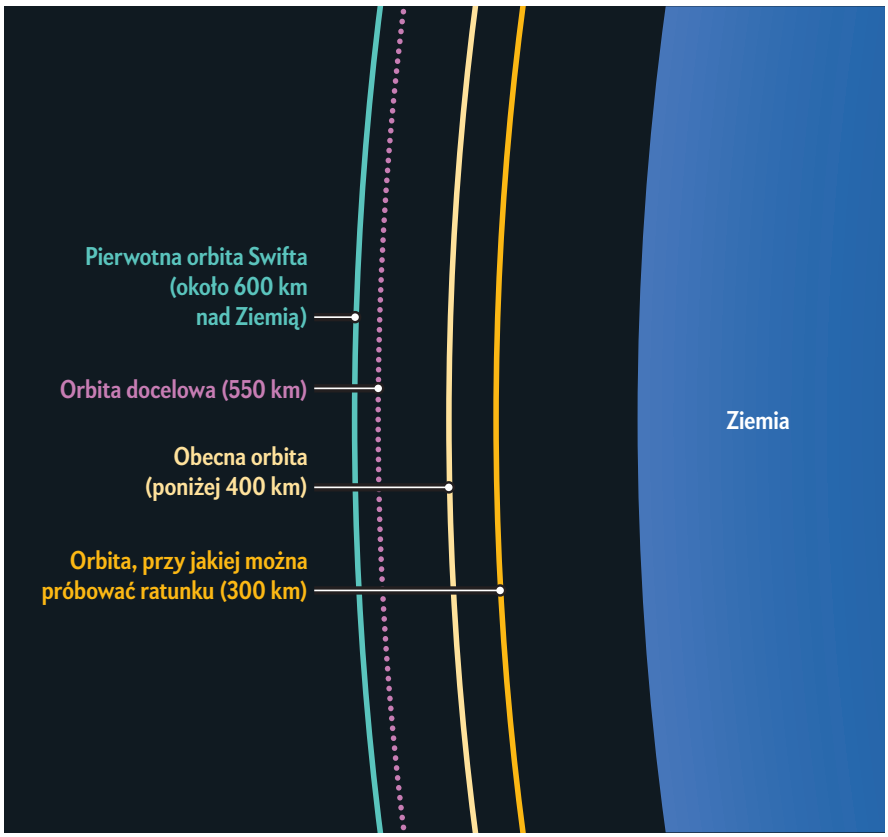
Obserwatorium Swift traci wysokość – lecz nowa robotyczna misja może je uratować.

Ilustracja Violet France

egrasa.pl d166b0f064

Przesuwanie Swifta

Od momentu wystrzelenia w 2004 roku Swift Observatory opadło o około jedną trzecią wysokości w kierunku Ziemi. Naukowcy z NASA mają nadzieję wynieść je z powrotem niemal na pierwotną wysokość, lecz aby zmaksymalizować szanse na sukces, muszą to zrobić, zanim jego orbita obniży się o kolejne 100 km, bo inaczej opór powietrza prawdopodobnie pokona statek i spowoduje jego upadek na Ziemię.



firma Katalyst jest gotowa podjąć wyzwanie i buduje trójramienny robotyczny statek kosmiczny, który ma uchwycić to liczące kilkadziesiąt lat obserwatorium. „Swift nie był projektowany z uwzględnieniem przechwytywania – mówi inżynier Kieran Wilson, główny badacz misji ratunkowej Swifta w Katalyst. – Został zbudowany ponad 20 lat temu, nie ma więc nawet porządnej dokumentacji dotyczącej wyglądu tych złączy, za które zamierzamy go złapać".

Po ukończeniu budowy statek ratunkowy zostanie załadowany na rakietę Northrop Grumman Pegasus, która wystartuje spod zmodyfikowanego samolotu odrzutowego – jest to konieczne, aby udało się dogonić Swifta na jego nietypowej orbicie w pobliżu równika. Jeśli wszystko pójdzie zgodnie z planem, w lipcu lub sierpniu statek rozpocznie trwający kilka miesięcy proces modyfikacji orbity Swifta, dążąc do osiągnięcia wysokości około 550 km. Po odłączeniu od obserwatorium Katalyst opadnie i spłonie w atmosferze – czyli spotka ją los, przed którym ma ona uratować Swifta.

Jest to ryzykowna misja bez gwarancji sukcesu. „To, co nie pozwala mi w nocy spać, to rzeczy, nad którymi nie mamy kontroli" – mówi inżynier Ghonhee Lee, dyrektor generalny Katalyst. Jeśli jednak wszystko pójdzie dobrze, to nie tylko Swift będzie uratowany, lecz także zmienią się zasady użytkowania satelitów naukowych, co sprawi, że przedłużanie ich życia za pomocą robotów stanie się rzeczywistością.

„To prawie jak nowa misja – mówi Cenko. – A kosztuje zaledwie ułamek tego, ile kosztowałoby zbudowanie czegoś od podstaw i wysłanie w kosmos". *Meghan Bartels*

KOGNITYWISTYKA

Nie tylko człowiek

Wyniki najnowszego badania podważają koncepcje ewolucji ludzkiego języka

DLACZEGO „BOUBA" BRZMI OKRĄGŁO, a „kiki" – ostro i kanciasto? Ta intuicja, łącząca określone dźwięki z kształtami, okazuje się zaskakująco uniwersalna. Od co najmniej stu lat naukowcy traktują tę powtarzalność jako wskazówkę dotyczącą pochodzenia języka, wysuwając hipotezę, że nasi przodkowie mogli budować pierwsze słowa na tych instynktownych skojarzeniach między dźwiękiem a znaczeniem.

Jednak niedawne badanie opublikowane w czasopiśmie „Science" przynosi nieoczekiwany zwrot: pisklęta kur domowych wykazują te same powiązania między dźwiękiem a kształtem, co wskazuje, że związek ten nie musi być wyjątkowy dla ludzkiego języka. Jeśli zwykła kura z podwórka ma podobne do naszych wrodzone skojarzenia dotyczące kształtów i dźwięków, można się zastanawiać, czy nie podążaliśmy dotąd błędnym tropem w badaniach lingwistycznych.

Maria Loconsole, psycholożka porównawcza z Università degli Studi di Padova, wraz ze współpracownikami postanowiła zbadać tzw. efekt bouba-kiki u piskląt, ponieważ ptaki można testować niemal natychmiast po wykluciu, zanim ich mózg zostanie ukształtowany przez doświadczenia świata zewnętrznego. Badacze ustawili pisklęta przed dwoma panelami: jeden przedstawiał jakby kwiat o łagodnie zaokrąglonych konturach, drugi – plamę przypominającą komiksowy wybuch. Następnie odtwarzali nagrania ludzi wypowiadających słowa „bouba" lub „kiki" i obserwowali zachowanie ptaków.

Gdy pisklęta słyszały „bouba", 80% z nich najpierw podchodziło do zaokrąglonego kształtu i spędzało średnio ponad trzy minuty na jego eksplorowaniu, w porównaniu z niespełna jedną minutą przy kształcie kolczastym. Preferencje zmieniały się, gdy słyszały „kiki".

Ponieważ testy przeprowadzano w starannie kontrolowanych warunkach w pierwszych godzinach życia piskląt

Grafiki Amanda Montañez

eprasa.pl d166b0f064

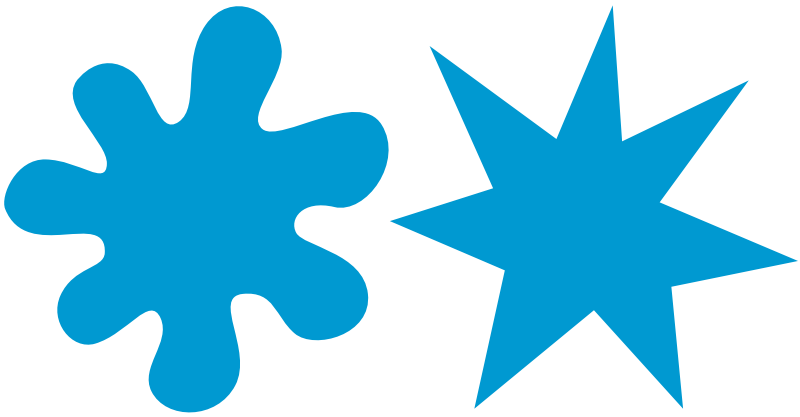
poza skorupką, skojarzenia między konkretnymi dźwiękami a kształtami nie mogły być wynikiem uczenia się przez doświadczenie. Mogą więc stanowić dowód na istnienie wrodzonej predyspozycji percepcyjnej, sięgającej znacznie dalej w historii ewolucyjnej, niż dotąd sądzono.

„Oddzieliliśmy się od ptaków na linii ewolucyjnej 300 mln lat temu – mówi dr Aleksandra Ćwiek, językoznawczyni z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, która nie brała udziału w badaniu. – To wręcz niewiarygodne".

W pracy z 2022 roku Ćwiek i jej współpracownicy wykazali, że efekt bouba-kiki występuje w różnych kulturach i systemach pisma na całym świecie. Inne eksperymenty pokazały, że podobnie reagują ludzkie niemowlęta – jeszcze zanim nauczą się mówić.

W latach 2019 i 2022 badacze testowali ten efekt u wielkich małp i stwierdzili, że nie przechodzą one testu bouba-kiki, co świadczyło, że zjawisko to może być charakterystyczne wyłącznie dla ludzi i naszych zdolności językowych. Loconsole uważa jednak, że wcześniejsze treningi komunikacyjne małp mogły zaburzyć wyniki.

Jared Taglialatela, dyrektor centrum badawczego Ape Initiative w stanie Iowa i współautor jednego z badań nad małpami, zgadza się z tą opinią. Bohater tamtego eksperymentu, bonobo Kanzi (niedawno zmarł), był często poddawany podobnym testom językowym. Możliwe



więc, że kiedy zetknął się z nowymi, bezsensownymi słowami, próbował odgadnąć ich „znaczenie", zamiast kierować się intuicyjnym skojarzeniem.

W świetle nowych wyników badań nad pisklętami Ćwiek przyjmuje szerszą perspektywę. „To właściwie sprawia, że pytanie o efekt bouba-kiki jako rozwiązanie zagadki ewolucji języka staje się mniej interesujące, ponieważ jest to zjawisko przedjęzykowe – mówi. – Pokazuje nam coś głębszego o poznaniu – o zdolności łączenia zmysłów".

A co właściwie sprawia, że „bouba" jest okrągłe, a „kiki" ostre? Możemy prawdopodobnie wykluczyć jedną z długo rozważanych teorii: że skojarzenia te wynikają z kształtu ust podczas wymawiania tych słów. Dźwięk „b" rzeczywiście wymaga zaokrąglenia warg, a „k" – energicznego uderzenia języka o podniebienie, ale oczywiście kury nie potrafią wypowiadać tych słów. Zamiast tego efekt bouba-kiki może wynikać z fizycznych właściwości obiektów, jak sugerują niektórzy badacze. Gdy okrągłe przedmioty uderzają o ziemię lub się toczą, zazwyczaj wydają bardziej ciągłe, niskoczęstotliwościowe dźwięki niż obiekty o ostrych krawędziach. Wrodzone rozumienie tych zależności, łączące wzrok i słuch, mogłoby pomagać nowo narodzonym zwierzętom szybko interpretować otoczenie – na przykład w celu znalezienia pożywienia lub unikania drapieżników.

Efekt bouba-kiki mógł odegrać pewną rolę w powstaniu języka, obok wielu innych zdolności poznawczych. Jednak u kur (i zapewne innych zwierząt) te same predyspozycje wydają się pełnić znacznie starszą, ewolucyjną funkcję. „Nawet jeśli język jest czymś wyjątkowym dla ludzi – mówi Loconsole – nie oznacza to, że wywodzi się z umiejętności, która jest wyjątkowa wyłącznie dla człowieka".

Cody Cottier

REKLAMA

26 NAGRODY NAUKOWE POLITYKI

Przez 25 lat wsparliśmy 407 naukowców!

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

Formularz zgłoszeniowy: polityka.pl/stypendia

Na zgłoszenia czekamy do 14 czerwca!

Partner Główny Nagród Naukowych POLITYKI 2026
KOPIPOL

Partnerzy Nagród Naukowych POLITYKI 2026
Dr Irena Eris
CONSULTRONIX
zaks sprzyjamy wyobraźni

Patron honorowy
Marcin Kulasek Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Patroni medialni
tokfm
FORUM AKADEMICKIE

eprasa.pl d166b0f064

BIOMECHANIKA

Słoniowe zmysły

„Wąsy" na słoniowej trąbie mają szczególną budowę

OBSERWOWANIE SŁONIA poszukującego korzeni pokazuje zarówno siłę, jak i czułość jego trąby. Zbudowana z ponad 40 tys. mięśni, trąba słonia potrafi przewrócić drzewo, a następnie delikatnie zebrać fragmenty, które spadły. Młodym słoniom opanowanie posługiwania się trąbą zajmuje niemal rok, a ludziom jeszcze więcej czasu zajęło zrozumienie, jak one są w stanie to robić. Sekret może tkwić w słoniowych wąsach czuciowych.

Naukowcy, którzy przeanalizowali włosy czuciowe pokrywające trąby tych zwierząt, odkryli ich unikalną właściwość, która pomaga słoniom odczuwać otaczający je świat i rozpoznawać, czy jakieś zadanie wymaga siły, czy delikatności. W badaniu opublikowanym w „Science" wykazują, że słoniowe wąsy – w przeciwieństwie do wąsów innych ssaków – są elastyczniejsze na końcach i sztywniejsze bliżej skóry.

Obserwacja ta pomaga naukowcom lepiej zrozumieć „umwelt" słoni, czyli ich indywidualne doświadczenie sensoryczne i percepcyjne świata. „Odkryliśmy, że słonie są jak istoty z innej planety – mówi Andrew K. Schulz, główny autor badania i inżynier mechanik z Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme w Niemczech. – Mają te przypominające rogi wąsy z zagadkowym gradientem sztywności".

Ponieważ słonie mają bardzo grubą, niemal pancerną skórę, badacze przypuszczali, że wąsy na ich trąbach pełnią istotną funkcję sensoryczną, pozwalając zwierzętom delikatnie wchodzić w interakcje z otoczeniem. Aby jednak naprawdę zrozumieć te drobne struktury, potrzebny był znacznie dokładniejszy wgląd. Oprócz obrazowania i testów mechanicznych Schulz i jego współpracownicy wykorzystali tomograf komputerowy specjalnie zaprojektowany do badania małych obiektów, aby stworzyć cyfrowy model wąsów słonia; pozwoliło to zespołowi analizować ich strukturę w kierunku od środka na zewnątrz.

Jak ustalili, część wąsa bliżej skóry słonia jest bardzo wytrzymała i porowata, natomiast materiał na jego końcu jest gęstszy i znacznie bardziej elastyczny. Chcąc zrozumieć mechanikę tej unikalnej struktury, badacze wydrukowali w technologii 3D powiększoną wersję wąsa z zachowaniem rzeczywistego gradientu sztywności, aby samodzielnie go „poczuć".

„Szłam korytarzem, dotykałam różnych rzeczy [tym wąsem] i mnie olśniło" — mówi Katherine J. Kuchenbecker, współautorka badania i dyrektorka działu inteligencji haptycznej w Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme. Zauważyła, że uderzenie w coś twardego sztywną podstawą wąsa daje znacznie wyraźniejsze i „czystsze" wrażenie niż kontakt za pośrednictwem miękkiej końcówki, co pozwalało jej wyczuć obiekt, nawet bez bezpośredniego jego kontaktu ze skórą.

Słonie używają trąb do oddychania, wąchania, chwytania przedmiotów, komunikacji, a nawet do odbierania informacji o obiektach znajdujących się poza ich polem widzenia. Ich wąsy pomagają kształtować te doświadczenia.

„Niemal każdy ssak – nie tylko słonie – ma wąsy, których rozmiar, kształt i właściwości materiałowe są niemal na pewno dostosowane do sposobu, w jaki dany gatunek wykorzystuje dotyk w swoim środowisku" – wyjaśnia Mitra Hartmann, inżynierka biomedyczna i mechaniczna z Northwestern University, która nie brała udziału w badaniu.

Schulz i jego zespół włączyli swoje dane do zestawu narzędzi dla badaczy z innych dziedzin. Szczególnie interesuje ich możliwość zastosowania materiałów o podobnym gradiencie sztywności w robotyce. Utrzymanie wytrzymałości maszyn przy jednoczesnym nadaniu im wystarczającej miękkości, by nie uszkadzały obiektów, z którymi wchodzą w kontakt, jest jednym z głównych wyzwań robotyki.

„To badanie jest wspaniałym przykładem nauki interdyscyplinarnej – mówi John Hutchinson, biolog z Royal Veterinary College. – Elegancko łączy neuronaukę, anatomię i mechanikę". *K. R. Callaway*



Armin Kritzinger/Getty Images

eprasa.pl d166b0f064

ZAMACH STANU CZY SANACJA?



Wydanie powstało przy współpracy z Muzeum Józefa Piłsudskiego w Sulejówku

Muzeum Józefa Piłsudskiego w Sulejówku

W sprzedaży

148 stron

KUP TERAZ

Wydanie papierowe – w punktach sprzedaży prasy i na **sklep.polityka.pl**
Wydanie cyfrowe i audio – subskrypcja **polityka.pl/cyfrowa**
Podkast POLITYKA o historii – **polityka.pl/podkasty**
Newsletter historyczny – **polityka.pl/newslettery**

Na sklep.polityka.pl znajdziesz ponad 60 tytułów z serii Pomocnik Historyczny

eprasa.pl d166b0f064

ETOLOGIA

Owadzie perfumy

Larwy chrząszczy działają wspólnie, by wyglądać – i pachnieć – jak kwiaty

PRYSZCZEL LEKARSKI („hiszpańska mucha”, *Lytta vesicatoria*) składa wiosną tysiące jaj. Kiedy wykluwają się z nich jaskrawopomarańczowe larwy, wspinają się po łodygach kwiatów i siadają w grupach, czekając na przelatujące samotne pszczoły, do których przyczepiają się za pomocą haczykowatych odnóży, aby „złapać podwózkę”. Obecnie naukowcy odkryli, że te skupiska wydzielają wyraźny kwiatowy zapach – co czyni te larwy pierwszym znanym zwierzęciem naśladującym zapach kwiatu.

Ryan Alam, chemik z Max-Planck-Institut für chemische Ökologie w Niemczech, wraz ze swoimi współpracownikami odkrył, że larwy wabią pszczoły, emitując zestaw 17 związków zapachowych często występujących w kwiatach, w tym tlenek linalolu i aldehyd benzoesowy. Gdy larwa zostanie już przetransportowana drogą powietrzną do gniazda pszczoły, żywi się jej jajami oraz zapasami pyłku i nektaru. Pozostaje tam do czasu przepoczwarczenia, a następnie opuszcza gniazdo jako osobnik dorosły, aby ponownie rozpocząć cykl.

Oprócz wabienia pszczół, perfumy larw przyciągają także inne larwy, co może pomagać im w tworzeniu owych przypominających kwiaty skupisk. Badanie zostało opublikowane na serwerze preprintów bioRxiv i nie zostało jeszcze poddane recenzji naukowej, ale „przedstawia przekonujące argumenty za tym, że larwy chrząszczy naśladują kwiaty pod względem chemicznym, a być może i wizualnym, aby mamić i wabić pszczoły” – mówi Jim McLean, biolog ewolucyjny z Macquarie University w Australii, który nie brał udziału w badaniu.

Zwierzęta takie jak modliszka storczykowa naśladują wygląd kwiatów, a dziwidło olbrzymie wydziela zapach przypominający gnijące mięso, aby przyciągać owady, ale te chrząszcze dodają nową strategię do repertuaru mimikry, mówi Alam.



Larwy majkowatych (inaczej oleicowatych, *Meloidae*, rodzina owadów z rzędu chrząszczy) tworzą skupiska przypominające kwiaty.

DANNY KESSLER

Dmitry Telnov, entomolog z Natural History Museum w Londynie, który również nie brał udziału w badaniu, zauważa, że inny gatunek majkowatych w USA potrafi naśladować feromony płciowe pszczół-gospodarzy. Naśladowanie zapachów „może być ewolucyjnym podejściem stosowanym przez majkowate w celu wabienia konkretnych gatunków – mówi – co jest absolutnie zaskakujące”.

Danny Kessler

BIOOGIA

Pion czy poziom?

Skąd twoje serce wie, że wstałeś

KIEDY PODNOSISZ SIĘ Z KRZESŁA, twoje ciśnienie krwi natychmiast wzrasta, aby zrekompensować ruch i zapobiec omdleniu. Przez dziesięciolecia badacze sądzili, że proces ten kontrolują baroreceptory – neurony w tętnicach sygnalizujące nagły spadek ciśnienia krwi mózgowi, a ten z kolei wydaje polecenie zwężenia naczyń krwionośnych. Niektórzy eksperci podejrzewali, że inne neurony również mogą pomagać w utrzymaniu ciśnienia krwi podczas takich zmian pozycji ciała, ale nie było wiadomo, które dokładnie.

W badaniu opublikowanym niedawno w czasopiśmie „Nature” naukowcy przyjrzeli się bliżej tajemniczym neuronom w sercu, które mogą być zaangażowane w ten proces. „Wiemy, że istnieją, ale nie mieliśmy pojęcia, co dokładnie wykrywają” – mówi starszy autor badania Stephen Liberles, neurobiolog molekularny z Harvard University. Robiąc doświadczenia na myszach, jego zespół skupił się na białku o nazwie PIEZO2, które przekształca nacisk na błony komórkowe w sygnały nerwowe. Badacze odkryli, że neurony produkujące PIEZO2 oplatają wszystkie cztery jamy serca myszy w złożonych, przypominających sieć strukturach. „Takie neurony występują również w ludzkim sercu” – dodaje Liberles.



Aby zrozumieć ich funkcję, Liberles i jego współpracownicy obracali myszy z pozycji poziomej do pionowej, jednocześnie monitorując ich parametry życiowe w czasie rzeczywistym. Zdrowa mysz natychmiast dostosowuje rytm serca do takiej zmiany pozycji. Jednak gdy badacze wstrzyknęli myszom toksynę, która selektywnie niszczyła neurony PIEZO2

eprasa.pl d166b0f064

w sercu, ciśnienie krwi gryzoni gwałtownie spadało i już nie wracało do normy.

Gdy naukowcy wywołali u myszy krwotok, neurony PIEZO2 reagowały znacznie wcześniej, niż czujniki w tętnicach zdążyłyby zasygnalizować problem – co świadczy, że mają bezpośredni dostęp do informacji o objętości krwi. Zespół przypuszcza, że mózg najprawdopodobniej uzyskuje ogólne wyobrażenie o ciśnieniu krwi z tętnic, ale polega na tych nowo odkrytych czujnikach w sercu, aby otrzymywać dokładne informacje o ilości krwi przepływającej przez ten narząd.

„Autorzy doszli do wniosku, że neurony wytwarzające PIEZO2 są niezbędne do utrzymania ciśnienia krwi i wspierania przeżycia w warunkach zmniejszonej objętości krwi" – mówi Ardem Patapoutian, biolog molekularny z Scripps Research Institute, który nie brał udziału w badaniu. Patapoutian otrzymał w 2021 roku Nagrodę Nobla w dziedzinie fizjologii lub medycyny za odkrycie roli białek PIEZO1 i PIEZO2 w odbieraniu bodźców mechanicznych. „To ważne badanie, które dostarcza cennych informacji na temat regulacji układu sercowo-naczyniowego" – dodaje.

Jednak poszukiwania tajemniczych neuronów układu krążenia są dalekie od zakończenia. Liberles i jego współpracownicy zauważają w swoim artykule, że w układzie sercowo-naczyniowym istnieje co najmniej sześć różnych typów neuronów, a funkcja trzech z nich wciąż pozostaje nieznana. „Chcemy zrozumieć, jak działają – mówi Liberles. – Przed nami jeszcze wiele pracy." *Jacek Krywko*

INŻYNIERIA MATERIAŁOWA

Cieplny przełom

Rekordowy przewodnik ciepła wskazuje nowe kierunki badań

MIEDŹ OD PONAD WIEKU UZNAWANA JEST za jeden z najlepszych przewodników ciepła występujących w naturze, a ta jej właściwość sprawiła, że stała się podstawowym materiałem wykorzystywanym w radiatorach i wymiennikach ciepła. Teraz jednak pojawił się nowy rekordzista pod względem zdolności odprowadzania ciepła.

Jak opisano na łamach „Science", metaliczny materiał ceramiczny zwany azotkiem tantalu w fazie θ osiągnął przewodnictwo cieplne na poziomie około 1110 W/m·K – niemal trzykrotnie wyższe niż w przypadku miedzi, której przewodnictwo wynosi około 400 W/m·K. Co więcej, działa w sposób, jakiego naukowcy wcześniej nie zaobserwowali. „Nasz wynik bije rekord przewodnictwa ciepła w materiałach metalicznych – mówi główny autor badania Yongjie Hu, fizyk i inżynier z University of California w Los Angeles. – Jeśli wziąć pod uwagę jego wyjątkowe cechy, ten przewodnik może być wykorzystywany zamiennie z miedzią lub nawet ją zastąpić."

Podobnie jak czysty węgiel może występować w postaci diamentu, grafenu i innych struktur, tak azotek tantalu również istnieje w wielu odmianach alotropowych o bardzo różnych właściwościach. Naukowcy znali niektóre z nich od dziesięcioleci, ale aż do teraz nikt nie badał konkretnej konfiguracji, na której skupili się Hu i jego współpracownicy – takiej, w której atomy materiału tworzą ciągłą, silnie uporządkowaną sieć krystaliczną.

Badacze odkryli, że w tej strukturze zarówno elektrony, jak i kwazicząstki energii drgań sieci krystalicznej zwane fononami – odpowiedzialne za przenoszenie ciepła i dźwięku – napotykały znacznie mniejszy opór niż w konwencjonalnych metalach, co pozwalało im skuteczniej przewodzić ciepło.

Materiał ujawnił także zupełnie nowy mechanizm zwiększania przewodnictwa cieplnego w metalach. W zwykłych metalach fonony często zderzają się ze sobą oraz z elektronami, co ogranicza ich zdolność do rozpraszania ciepła. W badanej przez Hu i jego zespół odmianie azotku tantalu struktura krystaliczna



pozwala fononom przemieszczać się na wyjątkowo duże odległości przy minimalnych zakłóceniach. Zdaniem Hu odkrycie to wyznacza nowy kierunek dla naukowców projektujących przewodniki cieplne nowej generacji.

„Wyniki tego badania są zarówno wyjątkowe, jak i koncepcyjnie bardzo istotne" – mówi Xiaojia Wang, inżynier mechanik z University of Minnesota, która nie brała udziału w pracach badawczych. Jak dodaje, zespół bardzo rygorystycznie zweryfikował wyniki swoich pomiarów, więc raczej są one wiarygodne. Jeśli uda się produkować ten materiał na dużą skalę, może to mieć „ogromny wpływ" na zarządzanie ciepłem w elektronice, centrach danych i systemach energetycznych.

Hu dodaje, że azotek tantalu w fazie θ może okazać się szczególnie cenny ze względu na coraz powszechniejsze związane z wykorzystaniem sztucznej inteligencji problemy z odprowadzaniem ciepła z centrów danych.

Dla materiałoznawców badanie to może być również inspiracją do prób przekraczania innych długo uznawanych ograniczeń. „Czy naprawdę rozumiemy, gdzie leżą rzeczywiste granice, które przez dekady uznawaliśmy za fundamentalne, a są jedynie odzwierciedleniem naszych możliwości technicznych i poziomu wiedzy? – pyta Hu. – Skoro udało się pobić rekord przewodnictwa cieplnego, zaczynamy zastanawiać się, czy inne domniemane granice fizyki materiałów również mogą zostać przekroczone."

Rachel Nuwer

Ilustracje Thomas Fuchs

eprasa.pl d166b0f064

PALEONTOLOGIA

Gniazda jak z horroru

Pradawne pszczoły znalazły swój dom w żuchwach martwych ssaków

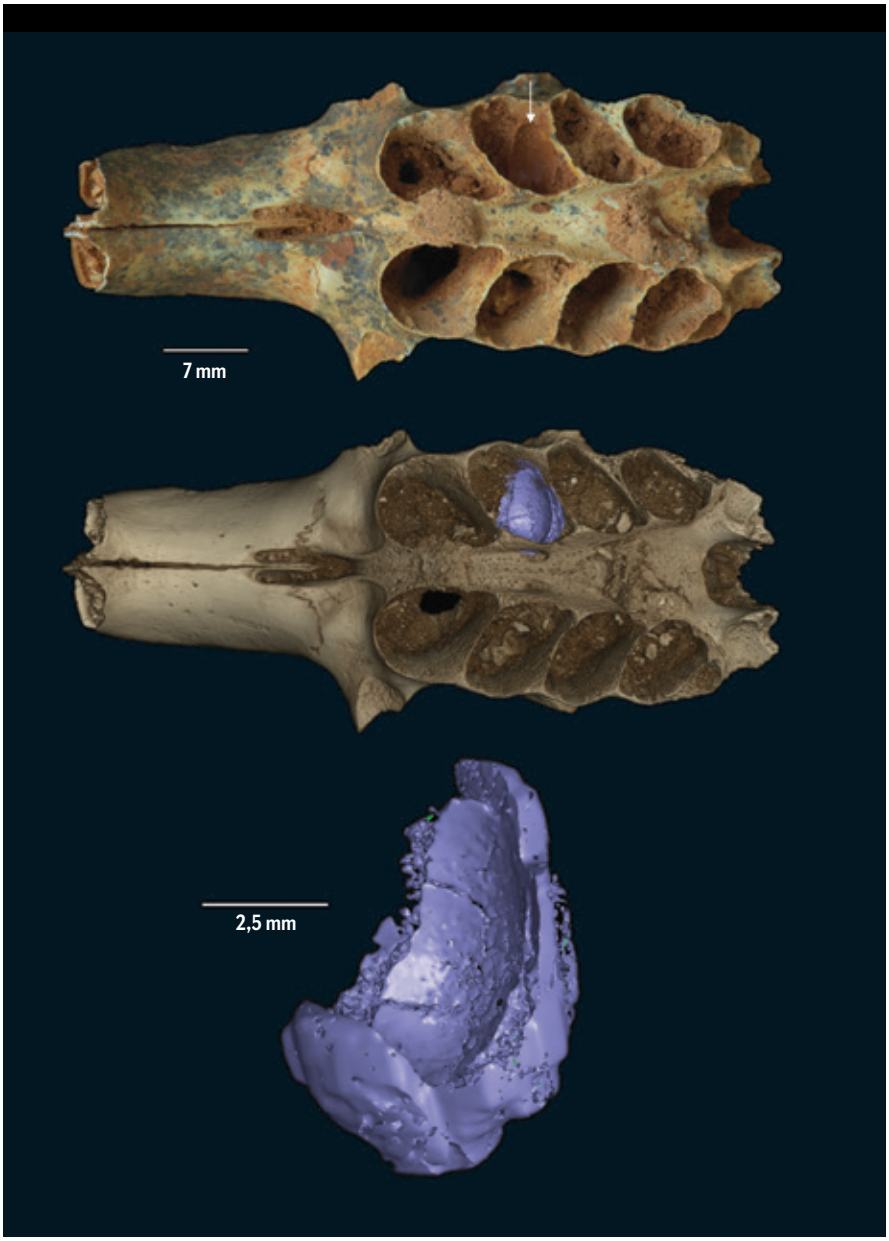
TYSIĄCE LAT TEMU na obszarze dzisiejszej Dominikany znajdowała się jaskinia pełna kości. A te kości były pełne pszczół.

W paleontologicznym precedensie badacze odkryli, że pszczoły wykorzystywały żuchwy wymarłych dziś ssaków jako nory lęgowe. Nie wiadomo, jaki gatunek pszczoły korzystał z tej makabrycznej okazji – zachowały się jedynie ich gładko wyścielone gniazda ukryte w zębodołach pradawnych gryzoni i leniwców. Czegoś takiego nigdy wcześniej nie udokumentowano, mówi Lázaro W. Viñola López, badacz podoktorski w Field Museum i jeden z odkrywców. „To było coś zupełnie nieoczekiwanego" – podkreśla.

Kiedy Viñola López i jego współpracownicy przeciskali się pomiędzy ostrymi krawędziami skał do jaskini Cueva de Mono, poszukiwali skamieniałości jaszczurek – i znaleźli ich pod dostatkiem. Natrafili także na dziesiątki tysięcy kości wymarłych gryzoni i leniwców, co skłoniło ich do wniosku, że odkryli dawne miejsce żerowania rodziny sów, które prawdopodobnie gniazdowały w jaskini i wypluwały na podłoże niestrawione resztki ofiar. Choć trudno precyzyjnie datować te skamieniałości, zwierzęta pochodzą z późnego czwartorzędu (rozpoczętego około 125 tys. lat temu) i obejmują gatunki, które wyginęły około 4500 lat temu, informują badacze na łamach „Royal Society Open Science".

W ziemi wypełniającej puste zębodoły żuchw gryzoni i leniwców Viñola López oraz jego zespół dostrzegli dziwne, kielichowate struktury, które ostatecznie zidentyfikowali jako dzieło pszczół. Twarde, gładkie ściany tych „kielichów" powstały dzięki wodoodpornej warstwie, którą samotnice nakładają na komory lęgowe, gdzie rozwijają się larwy. Ponad 90% gatunków pszczół prowadzi samotny tryb życia, a większość zakłada gniazda w ziemi.

„Współczesne pszczoły, z tego co mi wiadomo, nie są znane z gniazdowania w jaskiniach ani w wypełnionych osadem jamach kostnych" – mówi paleontolog z Emory University Anthony J. Martin, który nie brał udziału w badaniu, lecz zajmuje się analizą nor i śladów – tzw. skamieniałości śladowych – pozostawianych przez dawne zwierzęta. Odkrycie nazwał „podwójną niespodzianką".



Fotografia i obraz tomografu komputerowego skamieniałej żuchwy; ślad nory pszczoły zaznaczony na fioletowo

Viñola López i jego współpracownicy podejrzewają, że pszczoły zaczęły wykorzystywać kości wkrótce po tym, jak sowy je zwróciły, być może dlatego, że gleby w otaczających lasach były płytkie.

Kości wypełnione gniazdami znaleziono w trzech z pięciu warstw osadów, co wskazuje, że pszczoły korzystały z jaskini przez długi czas. W pojedynczych zębodołach znajdowano nawet do sześciu różnych gniazd. „To zapewne kilka pszczół przybyłych razem i gniazdujących wspólnie" – mówi Viñola López.

Kości mogły zapewniać dodatkową ochronę przed drapieżnikami, takimi jak pasożytnicze osy. „Są trochę jak termosy – wyjaśnia Martin. – Miały zewnętrzną warstwę ochronną w postaci kości, a ich komora lęgowa znajdowała się w osadzie, więc były podwójnie zabezpieczone."

Stephanie Pappas

Z. „Trace Fossils within Mammal Remains Reveal Novel Bee Nesting Behaviour" L.Lázaro W. Viñola López i in., „Royal Society Open Science", tom 12.1 grudnia 2025 (CC BY 4.0)

eprasa.pl d166b0f064

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 d166b0f064

EDUKACJA

Droga do perfekcji

Światowi mistrzowie w jakiejś dziedzinie niekoniecznie brylowali w niej we wczesnej młodości

CO TAK NAPRAWDĘ JEST POTRZEBNE, by stać się w jakiejś dziedzinie najlepszym? Odpowiedź może nie tkwić ani w tym, że ktoś był genialnym dzieckiem, ani że przez całe życie skupiał się na doskonaleniu jednej umiejętności. Najnowsze badania opublikowane w „Science" wskazują, że droga do mistrzostwa bywa znacznie bardziej kręta.

Autorzy analizy próbowali się dowiedzieć, co decyduje o sukcesie w różnych dziedzinach – od sportu przez szachy po muzykę klasyczną. Wnioski okazały się zaskakujące: osoby, które jako dzieci zapowiadały się najbardziej obiecująco w swojej dyscyplinie, rzadko osiągały szczyt jej opanowania w dorosłości.

Badania podważają tzw. regułę 10 tys. godzin, według której 10 tys. godzin ćwiczeń wystarczy, by doskonale opanować jakąś umiejętność, mówi psycholożka z Purdue University Brooke Macnamara, współautorka pracy. Zasada ta została spopularyzowana w książce *Outliers* autorstwa Malcolma Gladwella z 2008 roku i opierała się na badaniu z 1993 roku dotyczącym osób uczących się gry na skrzypcach. Do 20 roku życia ćwiczyli średnio 10 tys. godzin. Nie stali się jednak artystami światowej klasy, zauważa Macnamara.

„W porównaniu z muzykami klasy krajowej, bardzo dobrymi, ale nie najlepszymi – wykonawcy światowej klasy często zaczynali grać później" – wyjaśnia badaczka. Osoby te zwykle angażowały się w młodych latach w wiele różnych aktywności i nie wyróżniały się szczególnie wcześnie w jednej konkretnej dziedzinie. „Praktykują w swojej specjalności i więcej w innych obszarach, a na szczyt wspinają się relatywnie późno – mówi. – To nie pasuje do teorii celowego treningu ani do reguły 10 tys. godzin, mówiącej, że wczesny start i maksymalizacja wysiłków w określonej dziedzinie prowadzą do osiągnięcia najwyższego poziomu".

Wyniki zaskoczyły także współautora pracy, psychologa z Michigan State University Davida Z. Hambricka. „Pamiętam, że trudno było mi w to uwierzyć – mówi. – Nigdy nie zastanawiałem się nad względnymi korzyściami treningu w jednej dyscyplinie w porównaniu z treningiem w wielu. Specjalizacja jest przecież z definicji specyficzna".

Badacze podkreślają, że z ich ustaleń nie wynika, iż ćwiczenie i wysiłek nie są potrzebne, by zostać arcymistrzem szachowym czy zwycięzcą Wimbledonu. Chodzi raczej o to, że najlepsi w jakiejś dziedzinie dorośli to często „późno dojrzewające talenty" – mówi Macnamara.

W sporcie na przykład zawodnicy światowej klasy osiągają szczyt formy później niż ci klasy krajowej. Ci, którzy błyszczą wcześnie, dochodzą do poziomu najwyższego w swojej grupie wiekowej, ale ostatecznie niższego niż poziom, który druga grupa osiągnie w późniejszym wieku.

Wyniki są intrygujące, zauważa Edson Filho z Boston University, który nie brał udziału w badaniu. Zwraca jednak uwagę, że w niektórych dyscyplinach, takich jak gimnastyka, szczyt formy przypada znacznie wcześniej niż w innych sportach. Dodaje też, że analiza nie uwzględnia takich czynników, jak finanse czy jakość szkolenia, które również wpływają na to, kto trafia do ścisłej czołówki.

Wyniki badań świadczą, że ludzie się zmieniają. Dzieci mogą się wypalić albo po prostu stracić zainteresowanie. Aby stać się ekspertem, trzeba konsekwentnie utrzymywać wysoki poziom w najtrudniejszych warunkach, mówi Filho. „To długa droga".

Wnioski mają znaczenie dla instytucji i trenerów, którzy mogą mieć tendencję do kierowania zasobów ku dzieciom wcześnie uznanym za najbardziej obiecujące – choć to niekoniecznie one mają największy potencjał, by osiągnąć poziom światowy.

Badanie niesie też przesłanie dla tych, którzy chcą rozwijać swoją pasję lub marzenie, ale nie wygrali szkolnego konkursu ani nie trafili na szczyt młodzieżowej ligi: nie rozpaczajcie, mówi Macnamara.

„Jeśli nie byliście cudownym dzieckiem, jesteście w dobrym towarzystwie. Większość wykonawców światowej klasy również cudownymi dziećmi nie była."

Claire Cameron



AleksandarGeorgiev/Getty Images

eprasa.pl d166b0f064

INŻYNIERIA MATERIAŁOWA

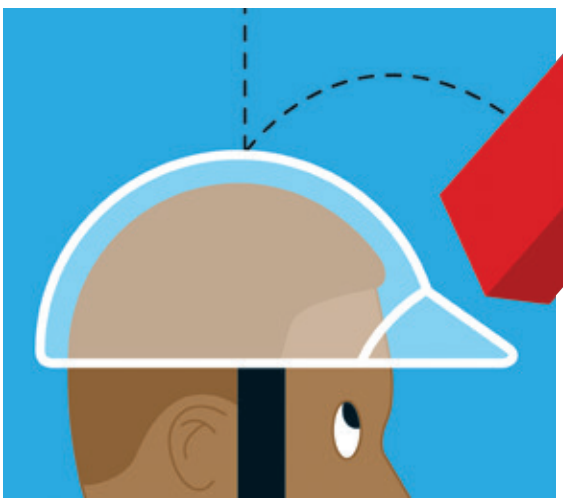
Trochę szkło, trochę plastik

Nowy materiał łamie dotychczasowe reguły

„KOMPLEKSYMERY” – materiały, które można formować jak szkło okienne, ale które są odporne na uderzenia niczym plastik – według badaczy nie powinny istnieć. A jednak kilka gramów takiej substancji znajduje się w laboratorium Wageningen University and Research w Holandii. Na łamach „Nature Communications” chemik fizyczny Jasper van der Gucht z Wageningen i jego zespół opisują, co sprawia, że kompleksymery są tak podatne na topienie, jak szkło, a jednocześnie tak trudne do rozbicia, jak tworzywa sztuczne. W przyszłości ten paradoksalny materiał może ułatwić produkcję i naprawę wytrzymałego sprzętu ochronnego, takiego jak kaski.

Znane nam wszystkim szkło oraz większość tworzyw sztucznych należą do materiałów „szklistych” – gdy stygną po przejściu ze stanu ciekłego, nie krystalizują w uporządkowane struktury atomowe, tak jak woda zamarzająca w lód. Zamiast tego tworzą amorficzną masę, która zachowuje się jak ciało stałe, ale ma przypadkowy układ atomów przypominający ciecz.

Od dziesięcioleci naukowcy sądzili – na podstawie obserwacji eksperymentalnych – że im wolniej materiał szklisty się topi, tym gorzej znosi uderzenia. Zarówno wolno topiące się szkło okienne, jak i szybciej topiący się plastik podporządkowują się tej zasadzie: pierwsze zmienia stan powoli, ale łatwo się tłucze,



podczas gdy drugi szybko twardnieje i topnieje, lecz lepiej wytrzymuje uderzenia. Van der Gucht i jego zespół odkryli jednak, że kompleksymery całkowicie przeczą temu prawu. Sekret może tkwić w strukturze materiału: jego długie łańcuchy cząsteczek, zwane polimerami, są połączone szczególnym rodzajem wiązania o dalekim zasięgu.

Badacze początkowo stworzyli kompleksymery (complexiмers) – nazwę tę sami wymyślili – jako łatwo poddający się recyklingowi substytut pewnego rodzaju termoutwardzalnego materiału kompozytowego zwanego duroplastem. Duroplasty składają się z łańcuchów polimerowych silnie związanych niezwykle trudnymi do rozerwania wiązaniami chemicznymi, co czyni je bardzo trwałymi, ale zarazem trudnymi do przetworzenia – nie dają się przetopić. Naukowcy dodali naładowane cząsteczki, które sprawiły, że łańcuchy zaczęły przyciągać się za pomocą wiązań jonowych – opartych na przyciaganiu kolumbowskim – zamiast wcześniejszych wiązań kowalencyjnych. Wprowadzili także związki hydrofobowe, aby zapobiec rozpadowi łańcuchów w kontakcie z wodą. Zdaniem zespołu wiązania jonowe między naładowanymi cząsteczkami – działające na większe odległości niż wiązania kowalencyjne – mogą pomagać kompleksymerom zachować zwartą strukturę, zapobiegając ich gwałtownemu rozszerzaniu się i natychmiastowemu topnieniu pod wpływem ciepła.

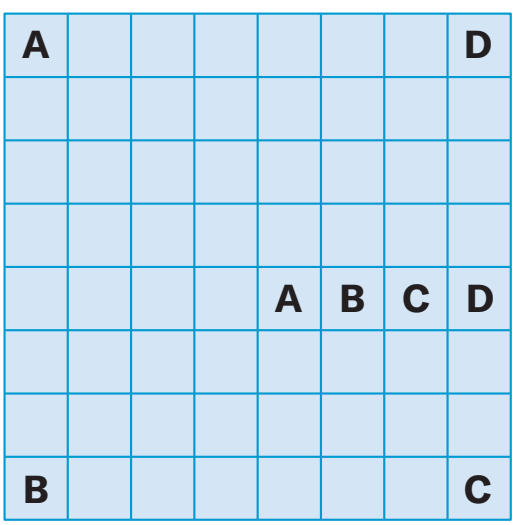
Oddziaływania jonowe mogłyby poprawić właściwości mechaniczne materiałów szklistych i uczynić je łatwiejszymi w obróbce – mówi Matthew Tirrell, inżynier chemiczny z University of Chicago, który nie brał udziału w badaniu.

Powolne topnienie oznacza również, że przedmioty wykonane z kompleksymerów jest łatwiej naprawić niż te z duroplastów. „Wystarczy podgrzać je opalarką, aby usunąć uszkodzenie – zadrapanie albo pęknięcie” – wyjaśnia van der Gucht.

Obaj badacze twierdzą, że ten materiał łamiący dotychczasowe reguły może także pomóc fizykom lepiej zrozumieć proces powstawania szkła, zwany przejściem szklistym (zeszkleniem). Odkrycie dalekozasięgowych oddziaływań, które sprawiają, że materiały szkliste topnieją w odmienny sposób niż zwykle, powinno, jak mówi van der Gucht, „pomóc teoretykom wyjaśnić przejście szkliste w bardziej ogólnym sensie”.

Rohini Subrahmanyam

Ilustracja Thomas Fuchs



Spektrum der Wissenschaft

ZAGADKA MATEMATYCZNA

Demontaż

Heinrich Hemme

PODZIEL DIAGRAM
wzdłuż oznaczonych linii na cztery przystające części – o jednakowej wielkości i takim samym kształcie. W każdej części powinny się znaleźć dwie jednakowe litery.

Rozwiązanie na stronie 75.

eprasa.pl d166b0f064



Teleskop Hubble'a został umieszczony na orbicie przez prom kosmiczny Discovery 25 kwietnia 1990 roku.

NASA

Tak trzymać!

Pomimo dziesięcioleci spędzonych w kosmosie Hubble działa bez zarzutu

PHIL PLAIT

24 KWIETNIA 1990 ROKU prom Discovery wzbił się w niebo z teleskopem Hubble'a upakowanym w ładowni. Misja ta miała raz na zawsze zmienić nasze spojrzenie na Wszechświat.

Hubble nie jest bynajmniej największym teleskopem w historii – jego lustro o średnicy 2,4 m uważa się obecnie za małe – niemniej wyniesienie ponad atmosferę nadało mu supermoce. Nasza atmosfera nieustannie kipi i się burzy, zamazując widok z instrumentów naziemnych. Ponadto sama też świeci – bardzo słabo, jakkolwiek wystarczająco, by ograniczyć jasność ciał niebieskich, które mogą dostrzec astronomowie. Powietrze pochłania poza tym większość promieniowania ultrafioletowego i podczerwonego – a są to interesujące dla nauki zakresy długości fal. Lokalizacja poza obrębem atmosfery sprawiła, że Hubble stał się jednym z najważniejszych teleskopów, jakie kiedykolwiek zbudowano.

Zrewolucjonizował astronomię, dostrzegając obiekty słabsze, niż kiedykolwiek wcześniej zdołano zobaczyć. Skupił się na tempie ekspansji Wszechświata, obserwował zmiany pogody na planetach zewnętrznych i udowodnił, że każda duża galaktyka kryje w swoim jądrze supermasywną czarną dziurę – to tylko trzy niesamowite osiągnięcia, które przychodzą mi do głowy. Tak naprawdę sukcesy tego wspaniałego instrumentu są tak liczne, że trudno je tu wyliczyć (co byłoby też nieco nużące, choć czy eksploracja kosmosu może być nużąca?).

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

eprasa.pl d166b0f064

Jednak pomimo tych wszystkich zalet teleskopu trafiam w Internecie na wiele komentarzy, cokolwiek niefrasobliwie deprecjonujących Hubble'a – bo ponoć należący do NASA James Webb Space Telescope (JWST) go „zastąpił". To twierdzenie jest nie tylko niesprawiedliwe, ale wręcz błędne. JWST nie tylko nigdy nie miał zamienić Hubble'a, ale i nie mógłby tego zrobić, bo został zaprojektowany do zupełnie innych celów.

Hubble jest zoptymalizowany pod kątem obserwacji Wszechświata w świetle widzialnym. Potrafi również rejestrować nieco ultrafioletu i podczerwieni, lecz zasadniczo nie jest czuły na te zakresy widma. Natomiast JWST wykrywa promieniowanie podczerwone o znacznie dłuższych falach, emitowane przeważnie w zupełnie innych procesach astrofizycznych.

To prawda, że JWST jest teleskopem znacznie większym. Ma zwierciadło o średnicy 6,5 m, dzięki czemu zbiera mniej więcej siedmiokrotnie więcej promieniowania niż Hubble. Generalnie rzecz biorąc, większe zwierciadło oznacza również wyższą rozdzielczość, czyli lepszą zdolność dostrzegania drobnych szczegółów. Zależy to jednak również od obserwowanej długości fali i w istocie w najlepszych warunkach obserwacyjnych Hubble minimalnie przewyższa JWST. Ale nie o to tak naprawdę chodzi; każdy z nich jest teleskopem wyjątkowym w swoim rodzaju i przoduje w obserwacjach, do jakich się najlepiej nadaje.

Zrozumienie zdolności teleskopu Hubble'a w zakresie widzenia w świetle widzialnym pozwala rozpoznać jedną kluczową dziedzinę, w której widzenie w podczerwieni teleskopu JWST go przewyższa – obserwacje pierwszych galaktyk we wczesnym Wszechświecie.

Najgłębsze obserwacje Hubble'a wykazały, że w odległym Wszechświecie istnieje zaskakujące bogactwo galaktyk, lecz tu uwidoczniły się ograniczenia tego teleskopu. Im odleglejsza galaktyka, tym większe przesunięcie jej światła ku czerwieni, ponieważ ekspansja kosmiczna galaktykę od nas oddala. W pewnym momencie większość promieniowania dochodzącego od galaktyki jest w zakresie podczerwonym i Hubble nie jest w stanie nic dostrzec – za to JWST widzi doskonale. Dlatego właśnie to nowsze obserwatorium bije raz po raz rekordy odległości i zapewnia nam bezprecedensowy wgląd we wczesny Wszechświat.

To w pewnym sensie ironia losu. Ideę teleskopu kosmicznego po raz pierwszy wysunął astronom Lyman Spitzer w 1946 roku, a w latach 60. astronomka Nancy Grace Roman zaczęła przekonywać NASA do jego budowy – potem mówiono o niej wręcz „matka Hubble'a" – a teleskop kosmiczny, którego start przewidywany jest w tym roku, nosi jej imię. Projekt Hubble'a nękały jednak duże opóźnienia i przekroczenia budżetu – ostateczny koszt jego budowy wyniósł 10 mld dolarów. To samo stało się z JWST; początkowo zakładano, że będzie kosztował mniej niż miliard dolarów i zostanie wystrzelony do 2004 roku – kosztował jednak również około 10 mld dolarów i wystrzelono go dopiero w roku 2021. Teleskopy mają więc podobny rodowód.

Pod innymi względami jednak ich historia jest zupełnie odmienna. Hubble został wystrzelony z wadliwym zwierciadłem, które było o jeden lub dwa mikrony zbyt płaskie na krawędziach – to znacznie mniej niż grubość ludzkiego włosa, lecz wystarczająco dużo, by fatalnie rozmyć obraz w teleskopie. Doskonale pamiętam te mgliste lata: podczas badań do mojego doktoratu spędziłem sporo czasu, pracując z oprogramowaniem, które z wykorzystaniem procedur matematycznych korygowało niektóre nieostre zdjęcia z Hubble'a. Na szczęście problem ten został całościowo rozwiązany poprzez zamontowanie optyki korekcyjnej w 1993 roku, a późniejsze instrumenty miały wbudowane układy zapewniające poprawne ogniskowanie.

Wydaje się, że obecnie niewiele już osób wie o tym trudnym okresie (odbywały się nawet przesłuchania w Kongresie dotyczące błędu NASA!), skupiając się wyłącznie na sukcesach Hubble'a. I chyba nie ma w tym nic złego, pod warunkiem że wyciągnie się wnioski na przyszłość.

W przypadku JWST zasadniczo tak się stało. Podana przeze mnie kwota 10 mld dolarów jest tylko w połowie prawdziwa; gdy porówna się jego koszty z kosztami teleskopu Hubble'a, biorąc pod uwagę inflację i dodatkowo uwzględni się koszty misji serwisowych realizowanych z użyciem promu kosmicznego, co powinno się zrobić), znacznie większy JWST okazuje się w istocie tańszy pomimo wszelkich opóźnień i problemów technicznych. No i oczywiście otrzymaliśmy teleskop, który od początku działa niemal bez zarzutu, nawet po serii na pozór niemożliwych, przypominających konstrukcje Rube'a Goldberga, kroków, które pozwoliły go uruchomić w kosmosie.

Podstawowa misja JWST miała trwać ponad pięć lat, które upłyną w 2027 roku, lecz jego przewidywany okres eksploatacji wynosi co najmniej 20 lat dzięki ostrożnemu zarządzaniu zapasami paliwa na pokładzie. Należy tu zwrócić uwagę, że główna misja Hubble'a miała trwać tylko 15–20 lat, a obecnie przebywa on w kosmosie już 36. rok, wykonawszy od momentu wystrzelenia ponad 1,7 mln obserwacji.

Jeśli JWST przetrwa tak długo, jak Hubble, będę szczęśliwy, widząc, że wciąż wpatruje się w niebo w 2057 roku.

Hubble zatem wcale nie jest przestarzały. Jeśli chodzi o kamery, instrumenty, a nawet panele słoneczne, jest obecnie wręcz w znacznie lepszym stanie niż w momencie wystrzelenia. Trzeba przyznać, że starzejące się żyroskopy, niezbędne do precyzyjnej orientacji obserwatorium, doznawały wielokrotnie awarii utrudniających realizację misji. Jednakże inżynierowie na Ziemi znaleźli sposoby, aby wykorzystać do maksimum jedyny działający żyroskop na pokładzie Hubble'a.

NASA ma w zwyczaju wydłużanie swoich misji znacznie ponad ich nominalny okres eksploatacji. Chandra Xray Observatory jest w 26. roku swojej pięcioletniej misji, Spitzer Space Telescope pracował 11 lat po upływie „terminu przydatności", a Fermi Gammaray Space Telescope nadal działa, mimo że minęło już dwa razy więcej czasu, niż pierwotnie zakładano.

Jeśli JWST przetrwa tak długo, jak Hubble, będę szczęśliwy, widząc, że wciąż wpatruje się w niebo w 2057 roku. Hubble'a zapewne już dawno wtedy nie będzie, lecz mam nadzieję, że w międzyczasie powstaną inne wspaniałe kosmiczne obserwatoria, które nie tyle go zastąpią, ile będą kontynuować jego pracę. ■

eprasa.pl d166b0f064

SERCE W PŁOMIENIACH

Rzeczywistą przyczyną chorób układu sercowo-naczyniowego może być stan zapalny

MELINDA WENNER MOYER
Ilustracja MARIA CORTE





PRZEZ DZIESIĘCIOLECIA LEKARZE BYLI SZKOLENI, BY KONCENTROWAĆ SIĘ na czterech głównych czynnikach ryzyka chorób serca – schorzeń, które co roku zabijają więcej Amerykanów niż jakakolwiek inna choroba. Ta groźna czwórka to: nadciśnienie, palenie tytoniu, wysoki poziom „złego" cholesterolu LDL oraz cukrzyca typu 2. A jednak od równie dawna kardiolodzy obserwują pacjentów, którzy nie mają żadnego z tych problemów, a mimo to umierają z powodu chorób serca. I kardiolodzy nie mieli dotąd najmniejszego pojęcia, dlaczego.

U nawet jednej czwartej osób przyjmowanych do szpitali z zawałem nie występuje żaden z tych czterech czynników ryzyka. Co więcej, w tajemniczy sposób to właśnie ci pacjenci „niskiego ryzyka" mają najgorsze rokowania. Analiza z 2023 roku wykazała, że hospitalizowani z ostrymi zespołami wieńcowymi, u których nie występowało żadne z czterech zagrożeń, byli o 57% bardziej narażeni na śmierć niż ci z przynajmniej jednym z nich.

Jeśli znane czynniki ryzyka nie występują u jednego na czterech pacjentów, to znaczy, że dla pozostałych trzech nadal trafnie prognozują zagrożenie – dobry wynik. Oznacza to jednak również, że spośród około 920 tys. Amerykanów umierających co roku z powodu chorób układu krążenia, około 230 tys. umiera bez żadnej zrozumiałej przyczyny.

Ta śmiertelna zagadka od lat dręczy kardiologa Paula Ridkera. „Pamiętam, jak mówiłem sobie, że musi istnieć jakiś inny fundamentalny czynnik determinujący choroby serca" – mówi Ridker, dyrektor Centrum Zapobiegania Chorobom Układu Krążenia w Brigham and Women's Hospital w Bostonie.

Po dziesiątkach badań i prób klinicznych Ridker uważa, że znalazł brakujący element. Jego praca, wraz z badaniami innych naukowców, wskazuje dziś, że przewlekły stan zapalny – długotrwały i szkodliwy dla organizmu stan aktywacji układu odpornościowego – może być ukrytym czynnikiem, który przyspiesza rozwój chorób układu krążenia aż do niebezpiecznego, śmiertelnego stadium. Gdy cholesterol gromadzi się w tętnicach, zmienia swoją formę na ostrą i nieregularną, której organizm już nie rozpoznaje. To prowokuje układ odpornościowy do podjęcia walki zarówno z nim, jak i z naczyniami krwionośnymi. Jest to bitwa bez zwycięzców, a jej skutkiem są zawały serca i udary.

Początkowo przyjmowana z sceptycyzmem, koncepcja ta zyskuje dziś coraz większą akceptację naukowców. Choroba serca to „choroba zapalna" – mówi Kathryn Moore, dyrektorka Cardiovascular Research Center at New York University's Grossman School of Medicine. Jesienią 2025 roku American College of Cardiology zaleciło, aby pracownicy ochrony zdrowia rutynowo badali pacjentów pod kątem białek zapalnych.

Ta koncepcja daje nadzieję na opracowanie terapii chorób serca. Jeśli to stan zapalny napędza choroby układu krążenia, to jego łagodzenie może chronić narząd bijący w naszej piersi. W czerwcu 2023 roku amerykańska FDA zatwierdziła nowe zastosowanie niedrogiego leku przeciwzapalnego stosowanego od dawna w leczeniu dny moczanowej – do terapii pacjentów z chorobami serca. W badaniu klinicznym z 2020 roku naukowcy wykazali, że lek ten, kolchicyna, może zmniejszyć ryzyko zawałów serca, udarów i innych powikłań aż o 31%. Co istotne, największe korzyści odnotowano u pacjentów, którzy już przyjmowali standardowe leki obniżające poziom cholesterolu – statyny.

Nie jest to jednak terapia pozbawiona kontrowersji. Niektóre nowsze badania nad kolchicyną nie wykazały efektów ochronnych, a wielu kardiologów podchodzi do jej stosowania z rezerwą. Ridker

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

eprasa.pl d166b0f064

i inni badacze testują obecnie różne terapie przeciwzapalne o bardziej precyzyjnym mechanizmie działania. Mimo że wiele pytań pozostaje bez odpowiedzi, wielu naukowców uważa, że ta zmiana podejścia – postrzeganie układu naczyniowego nie jako sieci zatkanych rur, lecz jako pól bitewnych stanu zapalnego – może zrewolucjonizować zdrowie publiczne i uratować miliony istnień.

PRZEZ DZIESIĘCIOLECIA wśród lekarzy i naukowców dominował pogląd, że miażdżyca – odkładanie się substancji tłuszczowych, w tym cholesterolu, w tętnicach – jest procesem biernym, niemal mechanicznym, nieuniknionym produktem starzenia. „Uczono nas, że odkładanie się blaszek w tętnicach przypomina rdzę w rurze" – mówi Jean-Claude Tardif, kardiolog kierujący Centrum Badawczym w Montreal Heart Institute.

A jednak już od dawna pojawiały się przesłanki, że stan zapalny może odgrywać w tym procesie aktywną rolę. W połowie lat 50. XIX wieku niemiecki patolog Rudolf Virchow obserwował pod mikroskopem chore naczynia krwionośne i dostrzegł w blaszkach miażdżycowych zaczerwienioną, objętą stanem zapalnym tkankę. W 1913 roku rosyjski patolog Nikołaj Aniczkow opisał eksperyment, w którym stosował u królików dietę bogatą w cholesterol i odkrył, że ich tętnice pełne są białych krwinek – dziś wiadomo, że są one kluczowym wskaźnikiem stanu zapalnego. Przez długi czas wyniki te interpretowano jako dowód na to, że stan zapalny rozwija się w odpowiedzi na miażdżycę.

Możliwe było jednak także odwrotne wyjaśnienie. Stan zapalny to złożony proces – wbudowany system alarmowy organizmu, uruchamiany wtedy, gdy układ odpornościowy wykrywa zagrożenie. Organizm wysyła na miejsce komórki odpornościowe, które atakują intruzów i zakażone komórki. Dlatego gardło staje się czerwone i opuchnięte podczas grypy. Czasami jednak ten system działa nadto intensywnie – walczy zbyt długo lub zbyt ostro – i zaczyna uszkadzać zdrowe tkanki.

W połowie lat 90. Ridker i jego współpracownicy wykazali, że taka nadmierna aktywność może być przyczyną choroby. Opublikowali przełomową pracę opartą na danych z Physicians' Health Study, który od 1982 roku gromadził informacje zdrowotne od lekarzy. Naukowcy analizowali poziomy białka C-reaktywnego (CRP) – molekularnego sygnału zapalenia – u 543 lekarzy, u których później wystąpił zawał serca, udar lub poważny zakrzep żylny. Porównali te wyniki z poziomami CRP u 543 lekarzy, u których nie doszło do zdarzeń sercowo-naczyniowych. W porównaniu z mężczyznami o najniższych poziomach CRP, ci z najwyższymi mieli trzykrotnie większe ryzyko zawału i dwukrotnie większe ryzyko udaru.

Kilka lat później zespół Ridkera przebadał niemal 28 tys. kobiet uczestniczących w Women's Health Study, obserwowanych średnio przez osiem lat. Kobiety z najwyższymi poziomami CRP miały 2,3 razy większe ryzyko zawału lub innych poważnych problemów sercowo-naczyniowych niż te z najniższymi poziomami.

Wyniki te świadczyły, że stan zapalny nie jest jedynie skutkiem choroby serca – jest jej śmiertelnym współsprawcą. W 1999 roku patolog z University of Washington Russell Ross napisał na łamach „New England Journal of Medicine", że „miażdżyca jest bez wątpienia chorobą zapalną". Od tego czasu kolejne badania potwierdziły ustalenia Ridkera. „Mnóstwo badań obejmujących setki tysięcy pacjentów niezmiennie pokazuje, że im wyższe wskaźniki stanu zapalnego we krwi, tym większe ryzyko zdarzeń klinicznych" – mówi Tardif.

W tym samym czasie Ridker badał także statyny – leki obniżające poziom cholesterolu. Przepisuje się je głównie ze względu na zdolność redukowania poziomu LDL, znanego czynnika ryzyka chorób serca. LDL, czyli lipoproteina o niskiej gęstości, transportuje cholesterol do tkanek, gdzie jest potrzebny m.in. do budowy błon komórkowych. Gdy jednak jest go zbyt dużo, może odkładać się w tętnicach i je zatykać.

Ku zaskoczeniu badaczy, prace Ridkera zaczęły wskazywać, że statyny nie tylko obniżają poziom cholesterolu – tłumią również stan zapalny. W badaniu z 2001 roku wykazał wraz ze współpracownikami, że prawastatyna (sprzedawana pod nazwą Pravachol) obniża poziom CRP o 17% po 24 tygodniach. Z kolei w badaniu z 2005 roku, opublikowanym w „New England Journal of Medicine", Ridker i jego zespół wykazali, że niezależnie od poziomu LDL, osoby przyjmujące statyny i mające niski poziom CRP rzadziej doświadczały zawałów serca lub umierały z przyczyn sercowych niż osoby przyjmujące statyny, ale z wysokim poziomem CRP.

To odkrycie sprowokowało do pytania: czy osoby z prawidłowym poziomem cholesterolu – którym zwykle nie przepisuje się statyn – mogłyby mimo to odnieść korzyść z tych leków, jeśli poziom ich stanu zapalnego jest wysoki?

Ridker postanowił to sprawdzić. Wraz ze swoim zespołem zaprojektował badanie kliniczne, aby ustalić, czy osoby z niskim LDL, ale wysokim poziomem CRP, skorzystają z terapii statynami. Skorzystały – i to w wyraźnym stopniu.

OPUBLIKOWANE W 2008 ROKU BADANIE, znane jako JUPITER, objęło niemal 18 tys. uczestników z niskim poziomem LDL i wysokim CRP, którym podawano statynę albo placebo. Badanie przerwano wcześniej, po średnio około dwóch latach obserwacji, ponieważ statyny okazały się bardzo skuteczne. U osób je przyjmujących ryzyko zawału serca zmniejszyło się o 54%, a ryzyko udaru o 48%. Analiza uzupełniająca uczestników JUPITER wykazała, że największą ochronę przed problemami sercowymi zyskali ci, u których dzięki lekowi obniżyły się zarówno poziomy cholesterolu, jak i CRP.

W tamtym czasie wielu lekarzy wyśmiewało pomysł, że leki obniżające cholesterol mogą przynosić jakiekolwiek korzyści zdrowym osobom, które i tak mają niski jego poziom. „Mówili, że ci ludzie nie są zagrożeni" – wspomina Ridker. A jednak statyny działały – i nagle dotychczasowa koncepcja ryzyka chorób serca przestała mieć sens.

Na pierwszy rzut oka wyniki badania JUPITER mogą wskazywać, że rola cholesterolu w chorobach serca jest niewielka. W rzeczywistości jest odwrotnie: cholesterol okazuje się zapałką, która zapala ogień zapalenia naczyń. Zapałką w kształcie kryształu.

Zwykle cholesterol ma postać woskowatej, amorficznej masy. Jednak gdy gromadzi się i osiąga wysokie stężenie w tętnicach, może przyjmować formę krystaliczną – podobnie jak cukier krystalizujący w gęstym syropie.

Kryształy te były trudne do zaobserwowania w laboratoriach. Podczas przygotowywania tkanek do oglądania pod mikroskopem patolodzy zwykle traktują próbki alkoholem, aby je usztywnić i móc pokroić na cienkie skrawki. Alkohol jednak rozpuszcza kryształy cholesterolu, dlatego badacze rzadko je widzieli – zamiast tego obserwowali puste przestrzenie, które po nich pozostawały. Co więcej, przez długi czas uważano, że kryształy te są nieszkodliwe; niektórzy przypuszczali nawet, że powstają głównie po śmierci.

eprasa.pl d166b0f064

George Abela, kierownik oddziału kardiologii na Michigan State University, miał jednak wątpliwości. Wiedział, że zawały i udary często następują po pęknięciu blaszek miażdżycowych, i zastanawiał się, czy kryształy cholesterolu mogą odgrywać w tym rolę, rozrywając je. Pewnego dnia w 2004 roku zapytał kolegę, czy cholesterol może zwiększać objętość podczas krystalizacji, podobnie jak woda rozszerza się, gdy zamarza. Jeśli tak, mógłby – jak przypuszczał – napinać i uszkadzać ściany tętnic.

Abela wspomina odpowiedź kolegi: „Nie, jedyną substancją na tej planecie, która zwiększa objętość podczas krystalizacji, jest woda". To wydawało się sensowne. Abela zapytał jednak, czy ktoś kiedykolwiek rzeczywiście to sprawdził. „Oczywiście – mówi – nikt tego nie zrobił."

Postanowił więc sprawdzić to sam. Kupił proszek cholesterolowy (wykorzystywany w eksperymentach laboratoryjnych), stopił go do postaci płynnej, a następnie pozwolił cząsteczkom ponownie się skrystalizować. Wynik go zszokował: w formie krystalicznej cholesterol zajmował o 45% więcej miejsca niż jako ciecz. Rzeczywiście się rozszerzał. Co więcej, kryształy miały ostre, igłowate krawędzie – idealnie przystosowane do rozrywania ścian tętnic. W przełomowej pracy z 2009 roku Abela i jego współpracownicy porównali tętnice wieńcowe osób, które zmarły na choroby serca, z tętnicami osób zmarłych z innych przyczyn. Okazało się, że wszyscy pacjenci z chorobami serca mieli naczynia krwionośne perforowane przez kryształy cholesterolu. „Są jak małe noże, które przecinają powierzchnię tętnic – wyjaśnia Abela. – I są ich tysiące."

Kryształy powodują jeszcze więcej szkód. Zdrowy organizm ludzki nie wytwarza struktur krystalicznych, dlatego układ odpornościowy traktuje je jako sygnał alarmowy i atakuje. (Podobny mechanizm zachodzi w dnie moczanowej – nagromadzenie kryształów kwasu moczowego wywołuje ból i stan zapalny). Kryształy „uruchamiają reakcję zapalną, sygnalizując organizmowi, że coś się gromadzi – że trzeba to powstrzymać i usunąć" – mówi Moore.

Na miejsce szybko docierają białe krwinki zwane monocytami, które przekształcają się w makrofagi. To komórki odpornościowe pochłaniające lipidy i złogi cholesterolu, w tym jego ostre kryształy. Następnie, jak wyjaśnia Moore, „wzywają limfocyty T i inne komórki odpornościowe, by dołączyły do akcji", co prowadzi do powstawania blaszki miażdżycowej – chaotycznej mieszaniny cholesterolu, tłuszczów, komórek odpornościowych i obumarłych resztek komórkowych. Makrofagi wytwarzają także substancje prozapalne, w tym interleukinę-1 beta (IL-1β), które wzmacniają reakcję immunologiczną i pogarszają stan blaszki.

Zwykle układ odpornościowy walczy, zwycięża i się wycofuje. W tętnicach jednak nie potrafi przestać. „Z powodów, których w pełni nie rozumiemy, ten proces zapalny uruchamia się i nie zostaje wyłączony – mówi Moore. – Może trwać przez dziesięciolecia."

Makrofagi w tętnicach zaczynają obumierać, uwalniając zawarte w nich kryształy cholesterolu. Blaszka staje się coraz bardziej niestabilna i w końcu może pęknąć. Pęknięcie naraża przepływającą krew na kontakt z substancjami wywołującymi krzepnięcie. Powstałe skrzepy mogą przemieszczać się po organizmie, prowadząc do zawałów serca lub udarów.

Te odkrycia i proponowane mechanizmy działania wskazują, że cholesterol nie jest jedynym „czarnym charakterem" tej historii. Nadmierna reakcja układu odpornościowego na kryształy cholesterolu – przewlekły stan zapalny, który wywołuje – może być znacznie groźniejsza.

PO BADANIU JUPITER, które uwypukliło rolę stanu zapalnego, Ridker chciał sprawdzić, czy istnieje sposób, by mu przeciwdziałać. Czy uspokojenie cyklu zapalnego mogłoby chronić serce? Ponieważ przekaźnik komórkowy IL-1β odgrywa kluczową rolę w zapaleniu, zastanawiał się, czy jego blokowanie mogłoby spowolnić lub zatrzymać ten proces, wyciszając „burzę" w tętnicach.

Kilka lat po publikacji na temat JUPITER-a Ridker i jego współpracownicy rozpoczęli rekrutację do badania klinicznego, które ostatecznie przekonało wielu ekspertów, że terapie ukierunkowane na stan zapalny mogą być kolejną wielką granicą kardiologii. W badaniu CANTOS, opublikowanym w 2017 roku, 10 tys. pacjentów z chorobami serca i wysokim poziomem CRP – z których większość przyjmowała także statyny – podzielono na grupy. Części z nich regularnie podawano różne dawki kanakinumabu, przeciwciała monoklonalnego obniżającego poziom IL-1β w organizmie. Pozostali otrzymywali placebo.

Po czterech latach okazało się, że u osób przyjmujących 150 mg kanakinumabu ryzyko śmierci z powodu chorób serca lub udaru było o 15% mniejsze w porównaniu z grupą placebo. Badanie CANTOS – jak mówi Moore – „dostarczyło pierwszego dowodu u ludzi, że blokowanie tych szlaków zapalnych rzeczywiście przynosi korzyści". To był naprawdę przełomowy moment.

Kanakinumab miał jednak działania niepożądane: osoby przyjmujące ten lek częściej niż inni uczestnicy badania umierały z powodu infekcji. W 2018 roku amerykańska Agencja Żywności i Leków (FDA) odrzuciła wniosek o dopuszczenie go do stosowania w leczeniu chorób serca. Okazało się jednak, że istnieją inne możliwości.

W czasie gdy trwało badanie CANTOS, Stefan Mark Nidorf, kardiolog związany z Harry Perkins Institute of Medical Research w Perth w Australii, wybrał skromniejsze podejście. W niewielkim badaniu klinicznym on i jego współpracownicy analizowali przeciwzapalne działanie kolchicyny – starego leku na dnę moczanową. Zespół Nidorfa uznał, że skoro lek ten redukuje stan zapalny, może działać podobnie w przypadku problemów sercowych wywołanych przez kryształy cholesterolu. Badacze ustalili, że rzeczywiście zmniejsza on ryzyko incydentów wieńcowych u osób z chorobami serca.

Aby uzyskać mocniejsze dowody, Nidorf przeprowadził większe badanie. W 2020 roku on i jego zespół opublikowali wyniki znacznie szerszego eksperymentu obejmującego 5500 pacjentów z chorobami serca. U osób przyjmujących niewielkie dzienne dawki kolchicyny przez średnio nieco ponad dwa lata ryzyko wystąpienia incydentu sercowego było o 31% mniejsze niż u tych, które otrzymywały placebo. Niemal wszyscy uczestnicy przyjmowali również statyny. Było to istotne, ponieważ pokazało, że kolchicyna może dodatkowo zmniejszać ryzyko zawałów i udarów u osób, które już ograniczają je za pomocą leków obniżających cholesterol.

„Miażdżyca ma dwa oblicza – mówi Nidorf. – Trzeba obniżać cholesterol, bo to on napędza proces zapalny. Ale to nie wystarcza – trzeba jeszcze dołączyć lek przeciwzapalny. Fakt, że większość uczestników badania już stosowała statyny, sugeruje, że kolchicyna działała znacznie szerzej niż same statyny.

W 2023 roku, częściowo na podstawie tych wyników, FDA zatwierdziła stosowanie kolchicyny w celu zmniejszenia ryzyka zawału serca, udaru, rewaskularyzacji wieńcowej oraz zgonu z przyczyn sercowo-naczyniowych u pacjentów z miażdżycą

eprasa.pl d166b0f064

lub wieloma czynnikami ryzyka chorób serca. Dwa lata później American College of Cardiology zaleciło rutynowe badanie poziomu CRP u pacjentów – co wyraźnie pokazuje, jak bardzo zmieniło się podejście w tej dziedzinie.

NAUKA RZADKO JEDNAK rozwija się liniowo. Od tego czasu opublikowano kolejne badania kliniczne dotyczące kolchicyny – i ich wyniki są mieszane. W badaniu klinicznym CLEAR SYNERGY, opublikowanym w 2025 roku i obejmującym 7000 pacjentów po niedawnym zawale serca, stwierdzono, że stosowanie kolchicyny przez średnio trzy lata nie zmniejszyło ryzyka incydentów wieńcowych.

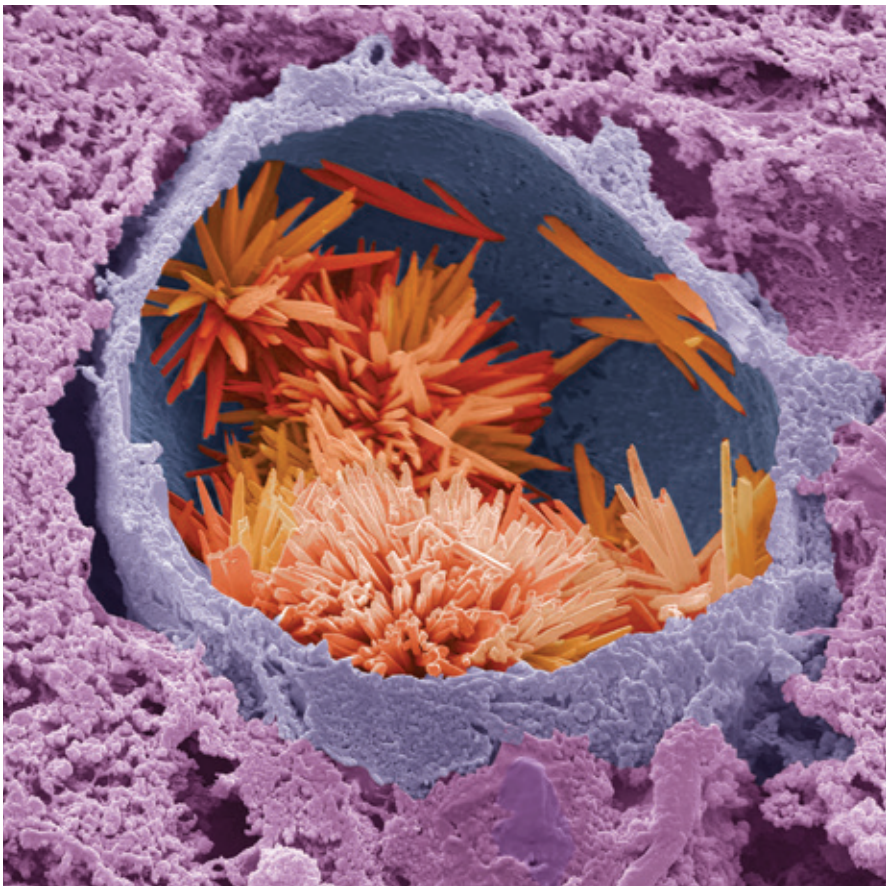
„Byliśmy zaskoczeni, biorąc pod uwagę wcześniejsze badania – mówi główny badacz, Sanjit Jolly, kardiolog interwencyjny z McMaster University w Ontario.

W wynikach badania zwrócono również uwagę na działania niepożądane ze strony układu pokarmowego. „U 10–15% pacjentów występuje dość ciężka biegunka" – dodaje. (Kolchicyna zmniejsza stan zapalny poprzez zaburzanie tworzenia struktur komórkowych zwanych mikrotubulami w komórkach odpornościowych. Mikrotubule są jednak niezbędne także dla szybko dzielących się komórek wyścielających jelita, dlatego osoby przyjmujące lek mogą doświadczać problemów żołądkowo-jelitowych).

Tu ujawnia się częsty problem związany z lekami przeciwzapalnymi. „Kiedy wpływamy na stan zapalny, ingerujemy w układ odpornościowy" – mówi Gregg Stone, kardiolog interwencyjny z Icahn School of Medicine at Mount Sinai. Często trudno znaleźć, „złoty środek – terapię, która jest skuteczna, ale nie nazbyt toksyczna".

Być może ze względu na potencjalne działania niepożądane kardiolodzy rzadko przepisują kolchicynę, jak wskazują najnowsze dane. „Powiedziałbym, że środowisko kardiologiczne ma obecnie sporo wątpliwości" – mówi Jolly.

Badanie CLEAR SYNERGY ujawniło podziały w środowisku naukowym. Ridker, Nidorf i inni badacze twierdzą, że miało ono istotne ograniczenia. Jednym z głównych było to, że przeprowadzono je w czasie pandemii COVID-19, gdy pacjenci mogli rzadziej zgłaszać lekarzom problemy sercowe. Skupiało się też na ostrym stanie zapalnym bezpośrednio po zawale, a nie na przewlekłym stanie zapalnym towarzyszącym miażdżycy.



Cholesterol, lipid wytwarzany głównie w wątrobie (*powyżej*), może tworzyć kryształy o ostrych krawędziach, które uszkadzają ściany tętnic i wywołują reakcję zapalną, blokując przepływ krwi.

W tym kontekście kolchicyna mogła po prostu nie przynosić korzyści, mówi Nidorf.

Inni badacze uważają jednak, że wyniki CLEAR SYNERGY są wiarygodne i wskazują na potrzebę dalszych badań nad kolchicyną. „Jeśli ktoś ma bardzo wysoki poziom CRP, to prawdopodobnie jest to lek do rozważenia, ale nie stosowałbym go u wszystkich" – mówi Stone.

Pojawiają się także nowe kierunki badań nad innymi terapiami. Trwa kilka międzynarodowych badań klinicznych nad inhibitorami interleukiny-6 (IL-6), kolejnego przekaźnika chemicznego układu odpornościowego, i ich wpływem na choroby serca. Szlak sygnałowy IL-6 napędza wiele szkodliwych procesów naczyniowych i stanowi ważne ogniwo łączące działanie IL-1β i CRP. Może być silniej powiązany z ryzykiem sercowo-naczyniowym, dlatego badacze liczą, że blokery IL-6 okażą się skuteczniejsze niż dotychczasowe leki. Niektóre z tych badań finansują i nadzorują duże firmy farmaceutyczne, w tym Novo Nordisk i Novartis, ale dotychczas nie opublikowano wyników.

Ostatecznym celem nie jest jedynie zapobieganie zawałom i udarom, lecz zatrzymanie miażdżycy i chorób serca, zanim się rozwiną. W tym celu Tardif niedawno rozpoczął badanie kliniczne obejmujące 10 tys. pacjentów z cukrzycą typu 2, aby sprawdzić, czy kolchicyna może zapobiegać chorobom serca u takich osób. Cukrzyca jest jednym z głównych czynników ryzyka problemów kardiologicznych. „Staramy się wykazać, że ograniczenie stanu zapalnego bardzo wcześnie w tym procesie przyniesie korzyści" – mówi. W Nowym Jorku zespół Moore próbuje odpowiedzieć na powiązane pytanie: czy można znaleźć leki, które nie tylko wygaszą „pożar" zapalny, lecz także naprawią szkody, które już wyrządził?

Ridker uważa, że wiele z tego jest możliwe. Po dekadach sceptycyzmu obserwuje, jak jego niegdyś radykalna koncepcja trafia do głównego nurtu. Ta zmiana – jak mówi – „jest niezwykle ekscytująca. Dwadzieścia lat temu ludzie uważali nas za wariatów". ■

Z NASZEGO ARCHIWUM

Łamiąca serca dyskryminacja. Jyoti Madhusoodanan; lipiec 2022.

Steve Gschmeissner/Science Source

eprasa.pl d166b0f064



Innowacyjne materiały i rozwiązania techniczne, dzięki którym powstają rzeczy wyjątkowe

ILUSTRACJE KYLE BEAN

eprasa.pl d166b0f064



Nauka a luksus

eprasa.pl d166b0f064

Wakacje w kosmosie

Czy planowane hotele orbitalne faktycznie zapewnią turystom obiecywany komfort?

JONATHAN O'CALLAGHAN

KIEDY ASTRONAUCI PO RAZ PIERWSZY WEJDĄ na pokład komercyjnych stacji kosmicznych, doświadczenie to będzie nieporównywalne z niczym, co znali wcześniej. Mogą natrafić na drewniane wykończenia i ciepłe wnętrza, nowoczesne kapsuły sypialne, duże okna oferujące zapierający dech w piersiach widok na Ziemię oraz atmosferę przypominającą ekskluzywny hotel na powierzchni planety. Taka wizja przyświeca kilku prywatnym inicjatywom, mającym na celu w nadchodzących latach wynieść na orbitę „habitaty" zdolne przyjmować zarówno turystów kosmicznych, jak i astronautów rządowych.

Jednak idea luksusowego życia w kosmosie – czego operatorzy komercyjnych stacji na razie starają się nie obiecywać – może wydawać się sprzecznością samą w sobie. Dla przykładu International Space Station jest ciasna, nieprzyjemnie pachnie i pełna jest okruchów oraz martwego naskórka. Utrzymanie komfortowej i czystej atmosfery, nie mówiąc już o standardzie pięciogwiazdkowym, na działającym statku kosmicznym będzie ogromnym wyzwaniem. „Jestem sceptyczny – mówi Jeff Nosanov, ekspert branżowy z Atlanty i były menedżer projektów w NASA. – Trudności związane z utrzymaniem stacji kosmicznej w działaniu są bardzo niedoszacowane."

Pierwsza z czterech planowanych komercyjnych stacji, Haven-1 od kalifornijskiej firmy Vast, ma wystartować na początku 2027 roku. Obiekty te powstają – częściowo przy wsparciu NASA – jako następcy ISS, która ma zostać wycofana w latach 30. XXI wieku. Przejście od publicznych do prywatnych stacji kosmicznych, pierwsze takie w historii ludzkości, daje nowe możliwości przemyślenia tego, jak będzie wyglądało życie na orbicie.

„To będzie futurystyczne doświadczenie – mówi Dylan Taylor, dyrektor generalny i przewodniczący Voyager Technologies z Kolorado, która rozwija stację Starlab planowaną na 2029 rok. – Zamiast »luksusowe« lepiej powiedzieć »nowoczesne« albo »zaawansowane«" – dodaje, zauważając, że ISS, choć imponująca – opiera się na technice z lat 80. i 90. „To, co budujemy, to technika lat 20. i 30. XXI wieku."

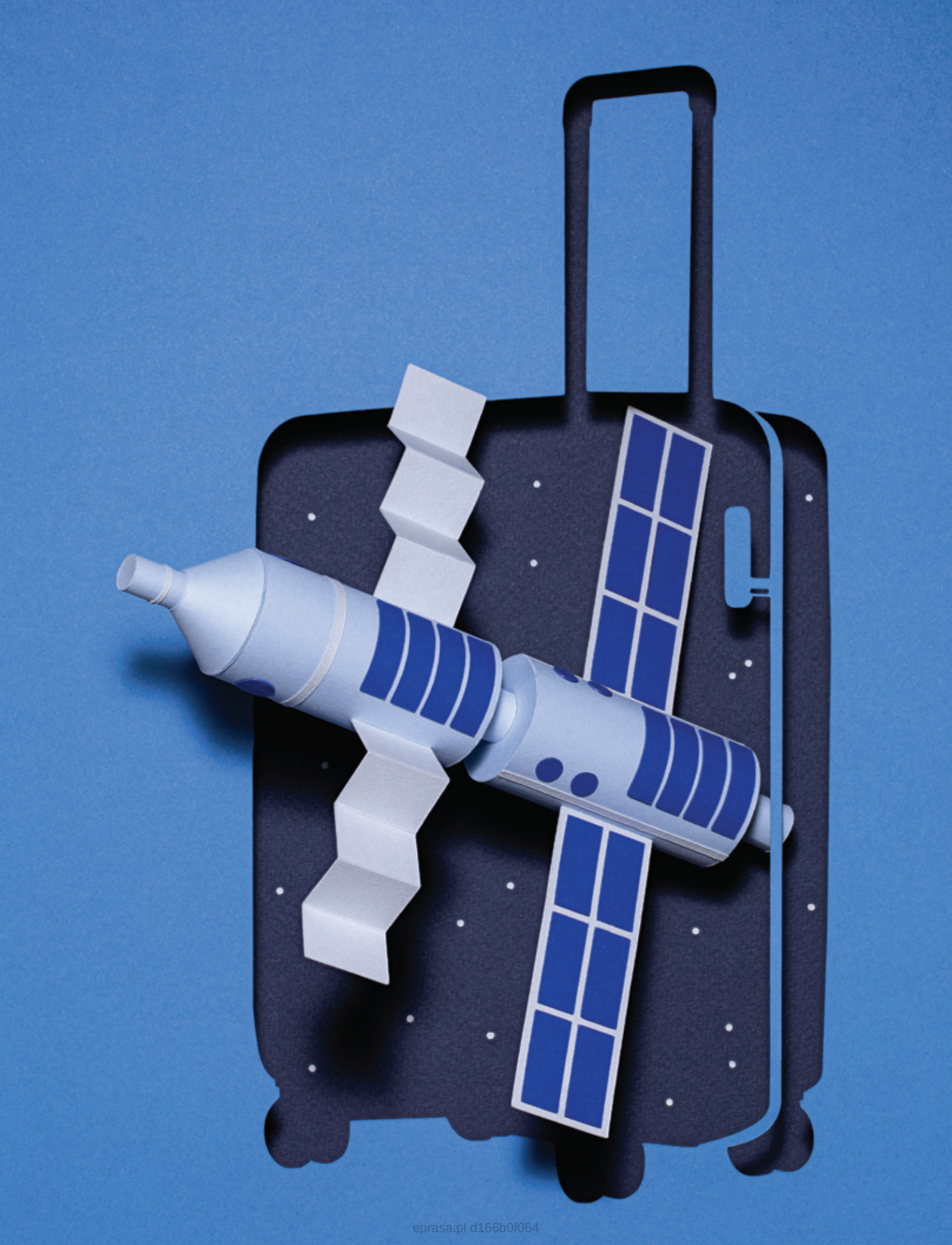
Spośród czterech firm zaangażowanych w te projekty, Vast może być najbliżej wyniesienia swojego habitatu. Dwaj inni konkurenci – Axiom Space z Teksasu oraz Blue Origin ze stanu Waszyngton – również zapowiadają start przed końcem dekady. Każda ze stacji musi spełnić długą listę wymagań NASA, jeśli jej twórca chce wysyłać tam astronautów – od dopuszczalnego poziomu dwutlenku węgla po kolor lampek kontrolnych. Jednak wiele decyzji dotyczących działania stacji pozostanie w gestii operatorów.

Wszystkie planowane stacje mają krążyć na wysokości podobnej do ISS – około 400 km nad Ziemią – i gościć jednocześnie od czterech do 10 osób. Transport zapewni prawdopodobnie kapsuła Crew Dragon firmy SpaceX lub inne pojazdy, takie jak Starliner od Boeing. Początkowo pobyty będą trwały tygodnie, ale w przyszłości mogą wydłużyć się do miesięcy, a nawet lat.

Wśród przewidywanych gości są turyści kosmiczni, prywatni badacze oraz astronauci rządowi. Roman Chiporukha, współzałożyciel firmy SpaceVIP z Nowego Jorku, mówi, że operatorzy „po cichu

Jonathan O'Callaghan jest wielokrotnie nagradzanym niezależnym dziennikarzem piszącym na tematy związane z astronomią, astrofizyką, komercyjnymi lotami kosmicznymi i eksploracją kosmosu. Na platformie X @Astro_Jonny.

eprasa.pl d166b0f064



eprasa.pl d166b0f064



Toaleta przeznaczona do zamontowania na ISS – jeszcze na Ziemi.

badają zainteresowanie", by oszacować potencjalną liczbę klientów. Przy cenach sięgających 100 mln dolarów za pobyt baza klientów nie będzie duża. „Na świecie jest może tysiąc osób, które mogą sobie na to pozwolić" – mówi.

Taylor przewiduje, że przynajmniej na początku większość gości będą stanowić zawodowi astronauci finansowani przez agencje, takie jak NASA. Na pokładzie będą mogli prowadzić badania lub produkować rzeczy przydatne na Ziemi, takie jak zaawansowane półprzewodniki czy leki – podobnie jak na ISS, ale przy mniejszych ograniczeniach. „Na komercyjnej stacji można prowadzić eksperymenty znacznie szybciej, bo nie ma biurokracji ISS" – mówi Taylor.

Toalety na ISS często sprawiają kłopoty – mówi Nosanov. – To jak siedzenie na odkurzaczu. W żadnym sensie nie jest to luksusowe."

EFF NOSANOV, BYŁY MENEDŻER DO SPRAW OFERT W NASA

Astronauci mogą spodziewać się stacji radykalnie różniących się koncepcyjnie od ISS. Operatorzy współpracują z projektantami i firmami, by nadać wnętrzom styl niespotykany dotąd w kosmosie. W 2022 roku Voyager ogłosił współpracę z Hiltonem przy projektowaniu stacji, prezentując wizję przytulnych wnętrz, miękko wykończonych ścian i kojącego oświetlenia – bardziej przypominających luksusowy hotel niż obiekt pędzący z prędkością 27 tys. km/h wokół Ziemi.

Firma Vast zatrudniła w 2023 roku byłego projektanta Apple'a, Petera Russella-Clarke'a, by opracować wygląd swojej stacji. Haven-1 ma mieć eleganckie wnętrze z drewnianymi panelami i miękkimi powierzchniami; wizualizacje pokazują gości śpiących pod nadmuchiwanymi kołdrami wywierającymi nacisk, który symuluje działanie grawitacji. „To zdecydowanie ma być luksusowe doświadczenie" – mówi Chiporukha. Z kolei Axiom zatrudniła francuskiego projektanta Philippe'a Starcka, który zaprojektował wnętrza z miękkimi, „bąbelkowymi" ścianami zapewniającymi komfortowe warunki życia.

Sen będzie kluczowy dla poczucia „domowości", mówi Anastasia Prosina, założycielka firmy doradczej Stellar Amenities. Problemem jest to, że na orbicie można zobaczyć nawet 15–16 wschodów i zachodów słońca na dobę. „Jeśli myślimy o luksusie, chcemy, by ludzie czuli się dobrze. A jakość snu to coś, o czym astronauci mówią bardzo otwarcie." Jednym z rozwiązań jest kontrolowane oświetlenie symulujące naturalny cykl dnia i nocy.

Mimo najlepszych starań pewnych aspektów życia na orbicie nie da się jeszcze uczynić luksusowymi. Toalety są tu szczególnie problematyczne. „Te na ISS często sprawiają kłopoty – mówi Nosanov. – To jak siedzenie na odkurzaczu. W żadnym sensie nie jest to luksusowe."

Dochodzi do tego kwestia obsługi stacji, która wymaga stałej pracy wyszkolonych astronautów, a nie kosmicznych turystów. „Większość czasu astronauci spędzają na utrzymaniu ISS w działaniu" – podkreśla Nosanov. Nowe stacje „na początku będą bardzo czyste, ale to nie potrwa długo. Stacja kosmiczna po prostu śmierdzi. A ludzie się nie kąpią – tylko trochę się myją. To bardziej szkoła przetrwania niż komfort."

Mimo to być może te stacje stanowią pierwszy krok w stronę przyszłości, w której życie w kosmosie stanie się naprawdę luksusowe – może nawet z idealnie zaprojektowaną kosmiczną toaletą. ■

NASA

eprasa.pl d166b0f064



Chemia pożądania

W laboratoriach naukowcy tworzą nowe związki chemiczne, aby luksusowe zapachy wywoływały w nas czyste emocje

APRIL LONG

NA 10. PIĘTRZE niepozornego biurowca przy 57. ulicy na Manhattanie technicy w białych fartuchach laboratoryjnych, uzbrojeni w pipety, pochylają się nad szklanymi fiolkami i wagami cyfrowymi, starannie komponując perfumy. To Laboratorium Eksperymentalne firmy Givaudan, jednego z największych producentów zapachów na świecie; praca tych techników wymaga niezwykłej precyzji. Ich zadaniem jest przygotowywanie próbnych partii kompozycji zapachowych zaproponowanych przez perfumiarzy – nawet 250 dziennie – które następnie są oceniane, modyfikowane i tworzone na nowo, aż któraś wersja zostanie ostatecznie zatwierdzona. Ściany są zastawione tysiącami słoików i pojemników, z których każdy zawiera unikalną substancję aromatyczną – a w sąsiednim pomieszczeniu znajduje się kolejne 50 tys. próbek w fiolkach, ustawionych na półkach, które zdają się ciągnąć w nieskończoność.

„To naprawdę wygląda trochę przerażająco – mówi Stephen Nilsen, wiceprezes i perfumiarz w Givaudan. – A każda butelka to sekret, zagadka. W każdej kryje się jakaś historia".

Przez tysiące lat składniki perfum po prostu destylowano i ekstrahowano z różnych części roślin. Następnie, w 1868 roku, zsyntetyzowano pierwszy organiczny związek zapachowy [kumarynę – przyp. red.], co dało całe spektrum nowych możliwości olfaktorycznych. Rynek podziwia kunszt perfumiarzy, ale innowacje w branży luksusowych zapachów to przede wszystkim zasługa chemików, których eksperymenty prowadzą

April Long jest pisarką i autorką newslettera i bloga *The Pomander* na platformie Substack. Mieszka na Brooklynie.

eprasa.pl d166b0f064

do powstawania nowych związków aromatycznych.

„To generowanie pomysłów, sprawdzanie koncepcji i trochę naukowego szaleństwa" – mówi Paul Jones, dyrektor i główny naukowiec w firmie International Flavors and Fragrances (IFF), kolejnym dużym producencie zapachów. W laboratoriach IFF w Union Beach w stanie New Jersey Jones i jego zespół chemików organicznych budują modele hipotetycznych cząsteczek zapachowych, a następnie poddają surowce reakcjom chemicznym, by sprawdzić, jakie nowe zapachy się pojawią. Cel jest jeden: stworzyć skalowalny, unikalny związek chemiczny, który zapewni firmie przewagę konkurencyjną.

Globalny rynek substancji aromatycznych, który według firmy Statista w tym roku osiągnie wartość ponad 65 mld dolarów – pełen jest handlowych tajemnic. Formuły perfum rzadko są patentowane – zamiast tego są pilnie strzeżone jako tajemnice handlowe – natomiast same zaprojektowane molekuły są regularnie patentowane i opatrywane znakami towarowymi, pozostając przez lata wyłączną własnością swoich twórców, zanim trafią na rynek [tzw. substancje captiv (zastrzeżone, uwięzione) – przyp. red.] .

Twórcy zapachów muszą brać pod uwagę kwestie własności intelektualnej jeszcze przed rozpoczęciem reakcji chemicznej, mówi Jones. „Analityka jest dziś tak zaawansowana, że jeśli nie masz materiałów chronionych prawnie, twoje dzieło może każdy łatwo skopiować". Stawka jest szczególnie wysoka w segmencie luksusowym. „Różnica między perfumami luksusowymi a konsumenckimi, jak te używane w detergentach do prania, polega na tym, że te pierwsze charakteryzuje wyrafinowanie – mówi – jakaś szczególna »iskra«, jak Saffiano, związek chemiczny opracowany przez IFF, pachnący jak zamsz. Wąchasz myślisz, zaraz, zaraz… jak to możliwe…"

Takie molekularne majsterkowanie pozwala również tworzyć zamienniki dla składników naturalnych tradycyjnie pozyskiwanych z zagrożonych obecnie wymarciem roślin lub substancji pochodzenia zwierzęcego [W większości przypadków ich pozyskiwanie jest nielegalne ze względów etycznych – przyp. red.] albo objętych ograniczeniami ze względu na ryzyko wywoływania uczuleń lub innych problemów zdrowotnych. [Problemem może też być ich wysoka cena, zatrudnianie dzieci przy zbiorze, trudności z pozyskiwaniem i brak standaryzacji, czyli duża zmienność.] Coraz częściej też domy perfumeryjne sięgają po tzw. łagodną chemię, wykorzystując procesy biologiczne, takie jak fermentacja czy reakcje enzymatyczne. „Weźmy fermentację alkoholowa, podczas której pod wpływem enzymów wytwarzanych przez drożdże z węglowodanów powstaje alkohol i dwutlenek węgla – mówi Nilsen. – Mamy enzymy i mikroorganizmy, które w podobny sposób potrafią przetwarzać cukry lub przekształcać związki chemiczne, tworząc złożone struktury molekularne będące podstawą pięknych zapachów".

Dodatkową zaletą tych związków jest to, że ich produkcja jest bardziej środowiskowo zrównoważona. Jednym z przykładów jest Ambrofix – drzewna, ambrowa cząsteczka zapachowa, będąca zamiennikiem ambry, substancji powstającej w układzie pokarmowym kaszalotów. Początkowo była wytwarzana ze sklareolu, związku pozyskiwanego w szałwii muszkatołowej, dziś jest produkowana w procesie fermentacji cukru trzcinowego. „Kiedyś potrzebowaliśmy tysięcy hektarów upraw, by uzyskać odpowiednią ilość surowca – mówi Nilsen. – Teraz mamy bioreaktor, który pozwala stworzyć tę samą cząsteczkę i ziemi uprawnej potrzeba stukrotnie mniej".

Innowacje w perfumiarstwie nie zachodzą wyłącznie w laboratoriach chemii syntetycznej. Botanicy krzyżują rośliny, aby uzyskać odmiany o lepszych właściwościach zapachowych, a przyjazne środowisku techniki ekstrakcji – takie jak wykorzystanie nadkrytycznego dwutlenku węgla czy techniki mikrofalowej – stopniowo zastępują heksan, toksyczny rozpuszczalnik ropopochodny, od dawna stosowany do wydobywania aromatów z roślin. Postępy w upcyklingu również dostarczają perfumiarzom nowych składników. Jak wyjaśnia Bernard Blerot, wiceprezes ds. badań i rozwoju naturalnych surowców w IFF, jednym z najnowszych aromatów wprowadzonych w ten sposób jest Oakwood – efekt opatentowanego procesu ekstrakcji CO_2 z nadmiarowego drewna od największego producenta beczek we Francji. „Ten zapach jest interesujący, bo jest jednocześnie suchy i ciepły" – mówi Blerot. „Różni się od sandałowca, wetiweru czy paczuli", dając perfumiarzom nową nutę do wykorzystania.

Popyt na nowe molekuły zapachowe w segmencie luksusowym ma swoje źródło w neurobiologii: węch jest ściśle powiązany z emocjami i pamięcią. Jak mówi neurobiolożka Rachel Herz, autorka książki *The Scent of Desire* z 2007 roku, jesteśmy biologicznie zaprogramowani, by doświadczać zapachów w taki właśnie sposób, co sprawia, że naturalnie poszukujemy ulotnych przyjemności, jakie mogą dawać perfumy. „Percepcja zapachu i aktywacja emocji zachodzą w niemal dokładnie tej samej części mózgu, dlatego nasze doświadczenie zapachu jest z natury emocjonalne i różni się od wszystkich innych doznań zmysłowych [tzw. efekt Prousta, w nawiązaniu do powieści *W poszukiwaniu straconego czasu*, w której Marcel Proust opisał, jak aromat magdalenki zanurzonej w herbacie przywołuje zapachy dzieciństwa – przyp. red.] – mówi. – Sprawia, że coś czujemy, nawet jeśli tego nie rozpoznajemy ani nie znamy źródła. A kiedy to uczucie jest miłe, jest to głęboka, pierwotna przyjemność, bez analizy i poznawczego filtra. To czysta emocja. I myślę, że właśnie dlatego tak bardzo jej pragniemy".

Podczas spaceru po laboratorium Givaudan Nilsen podsuwa mi pod nos kolejne butelki z substancjami zapachowymi. Jedna pachnie jak zimne powietrze, inna jak wiórki z temperowanego ołówka, jeszcze inna jak marakuja zmieszana z cebulą (co wydaje mi się trochę dziwne, ale „używamy tego cały czas", zapewnia Nilsen). Wącham surowce: absolut różany, różowy pieprz, jaśmin. Na koniec wizyty Nilsen pokazuje mi Carto – robota, który pozwala perfumiarzom „szkicować" kompozycje, jeszcze zanim trafią one do laboratorium na testy. Po jednej stronie urządzenia znajduje się szklana komora z 300 składnikami zapachowymi, po drugiej – ekran komputera.

„Ktoś niedawno przyszedł do mnie i powiedział, że marzy mu się zapach tęczowego mango – mówi Nilsen. – Pomyślałem, że nie mam pojęcia, co to znaczy. Więc przyszedłem tutaj i zacząłem się zastanawiać, co mogłoby się na to składać. Maślan etylu, trochę cytrali, jakieś zielone nuty – zielone jabłko, odrobina gruszki. Trochę brzoskwini". Wprowadza te i inne składniki do Carto, a maszyna natychmiast zaczyna działać, odmierzając substancje w odpowiednich proporcjach do próbki w fiolce. Nilsen wyjmuje gotowy zapach niczym z automatu na napoje i podaje mi do powąchania. Pachnie jak mango, ale jaśniej, świeżej i nie tak oczywiście. Mango, które aż chciałoby się nosić na skórze.

„To jeszcze bardzo dalekie od gotowych perfum – wzrusza ramionami Nilsen – ale poprawia nastrój, prawda?" ■

eprasa.pl d166b0f064



Innowacyjne zegarki

Nowoczesne luksusowe czasomierze łączą w sobie techniczną doskonałość i artystyczny kunszt

JEANNA BRYNER

Królowa Karolina Murat z Neapolu, młodsza siostra Napoleona Bonaparte, uchodzi za pierwszą osobę, która nosiła zegarek naręczny: miał owalną kopertę ze srebrną tarczą, przymocowaną do bransolety wykonanej z włosów i złotych nici. Podarowany królowej w 1812 roku przez szwajcarskiego zegarmistrza Abrahama-Louisa Bregueta zegarek (który zaginął) dziś wydawałby się niepozorny w porównaniu ze współczesnymi arcydziełami mierzenia czasu. Wraz z rosnącą złożonością zegarków (tak – w świecie czasomierzy, których zakup może wymagać kredytu hipotecznego, opłaca się być skomplikowanym), coraz większego znaczenia nabierają materiałoznawstwo i mechanika. Weźmy pierwszy cichy alarm wibracyjny opracowany dla zegarka mechanicznego, zaprezentowany w 2019 roku. Firma zegarmistrzowska Richard Mille poświęciła pięć lat na stworzenie zegarka składającego się z 816 części, którego dwa pierścienie – odpowiednio z włókna węglowego i tytanu – przenosiły drgania pochodzące z oscylującej masy na nadgarstek użytkownika.

Elementy te zostały zamknięte w konstrukcji uznawanej za przykład haute horlogerie i ucieleśniają odwieczną ideę luksusowych zegarków jako połączenia sztuki i nauki, mody i sentymentu, precyzyjnej inżynierii i wyrazistej estetyki. „Nikt nie wydaje setek tysięcy dolarów na zegarek mechaniczny dlatego, że to najefektywniejszy sposób sprawdzania godziny – mówi Nicholas Manousos, dyrektor wykonawczy Horological Society of New York. – Ludzie kupują wysokiej klasy zegarki z tego samego powodu, dla którego kupują sztukę albo klasyczne samochody. Przyciąga ich rzemiosło, piękno, technika, wyjątkowość, historia i emocjonalna siła przedmiotu stworzonego ludzkimi rękami”.

TanTan Wang, redaktor znanego serwisu zegarkowego Hodinkee, dodaje, że piękno tych zegarków polega na tym, iż sztuka i nauka idą w nich w parze. „W niektórych z najbardziej zaawansowanych technicznie zegarków każdy element jest misternie zdobiony i ręcznie wykończony”.

Jeanna Bryner jest sekretarzem redakcji „Scientific American”.

eprasa.pl d166b0f064



Luksusowy zegarek firmy Richard Mille precyzyjnie mierzy prędkość.

South China Morning Post/Edmond So/Getty Images

„Scientific American" rozmawiał z Manousosem i Wangiem o postępach w zegarmistrzostwie oraz o tym, dlaczego pasjonaci zegarków tak bardzo zaangażowali się w ich kolekcjonowanie.

Poniżej skrócony zapis rozmowy.

Współczesne smartfony sprawiły, że zegarki naręczne stały się w dużej mierze zbędne. Dlaczego więc ludzie wciąż wydają na nie dziesiątki, a nawet setki tysięcy dolarów?

Wang: Zegarki są atrakcyjne, ponieważ odpowiadają na podstawową ludzką potrzebę wyrażania siebie. Można powiedzieć, że luksusowe zegarki przyciągają jako symbole statusu. Ale gdy rozmawia się z pasjonatami, wymiana zdań wygląda zupełnie inaczej. Ciekawe jest to, że ludzie podchodzą do zegarków na bardzo różne sposoby. Jedni interesują się nimi ze względu na historię, inni z powodu fascynacji mikromechaniką, jeszcze inni – ze względu na wzornictwo i modę.

Jednocześnie, w coraz bardziej cyfrowym i zdominowanym przez Internet świecie, zegarki naręczne stanowią

eprasa.pl d166b0f064

odskocznię od tej rzeczywistości. Mechaniczne zegarki to małe, cudowne inżynieryjne konstrukcje, które wciąż opierają się na wielu technikach opracowanych setki lat temu. Dobrze wykonane zegarki można przekazywać z pokolenia na pokolenie – a to dziś rzadkość w przypadku jakiegokolwiek produktu.

Manousos: Ludzki wymiar mechanicznego zegarmistrzostwa jest również niezwykle silny. W świecie zdominowanym przez systemy cyfrowe zegarek jest „uczciwy". Widać w nim koła zębate, sprężyny, wychwyt i wykończenie. Przypomina ludziom, że innowacja może być elegancka, namacalna i poetycka, a nie tylko pożyteczna.

Czy zegarmistrzostwo to bardziej sztuka czy nauka?

Manousos: Dla mnie zegarmistrzostwo jest najlepsze wtedy, gdy sztuka i nauka są nierozdzielne. Nauka to oczywistość. Zegarek musi rozwiązywać realne problemy inżynieryjne: jak magazynować energię i jak kontrolować jej uwalnianie; jak kompensować wstrząsy, wahania temperatury, tarcie i zużycie oraz jak zmieścić to wszystko w małej objętości i zapewnić mechanizmowi niezawodne działanie. Technika jest bezlitosna. Ale sztuka jest równie ważna. Ręczne wykańczanie mostka [elementu utrzymującego ruchome części], kształtowanie koperty tak, by dobrze układała się na nadgarstku, projektowanie tarczy, strojenie dźwięku repetiera minutowego – to wszystko wymaga artystycznego wyczucia.

Wang: Istnieje też bardziej dosłowny wymiar zegarków jako dzieł sztuki. W zegarmistrzostwie funkcjonuje wiele dekoracyjnych technik, w szczególności tarcza może posłużyć za „malarskie płótno". Popularną techniką zdobniczą jest emaliowanie wysokotemperaturowe (emalia *grand feu*) – proszek szklany miesza się z wodą, ręcznie nakłada na tarczę, a następnie wypala warstwami w wysokiej temperaturze. Stosowanie tak pracochłonnych technik, jak emaliowanie, często wiąże się z bardzo wysokim odsetkiem nieudanych prób, co czyni finalny produkt jeszcze bardziej wyjątkowym.

Co zegarmistrzowie i eksperci uznają za największe osiągnięcia ostatniej dekady?

Manousos: Jednym z najważniejszych osiągnięć było szerokie zastosowanie krzemu w kluczowych elementach mechanizmu, zwłaszcza w sprężynie włosowej i częściach wychwytu [mechanizmu odpowiadającego za „tykanie" zegarka]. Może nie brzmi to tak efektownie, jak nowa wielka komplikacja [dodatkowa funkcja niezwiązana bezpośrednio z pomiarem czasu], ale w zegarmistrzostwie ma ogromne znaczenie. Krzem jest niemagnetyczny i niezwykle lekki, a przy tym można go kształtować z wyjątkową precyzją, co sprawia, że zegarki są znacznie odporniejsze na pola magnetyczne i ogólnie stabilniejsze.

Wang: To trudne pytanie! Jednym z najciekawszych „pojedynków" między markami zegarkowymi, które obserwowaliśmy kilka lat temu, była rywalizacja o stworzenie jak najcieńszego zegarka pokazującego tylko czas. Mówimy o rekordach poprawianych o dosłownie dziesiąte części milimetra. To absolutnie zdumiewające. Dla porównania – grubość tych zegarków jest tylko nieco większa niż grubość dwóch kart kredytowych ułożonych jedna na drugiej.

Interesują mnie także zegarki typu tool watch, takie jak Omega Speedmaster noszony przez astronautę Buzza Aldrina podczas misji na Księżycu czy Rolex Explorer stworzony specjalnie do użytku w ekstremalnych warunkach. Co umożliwiło ich powstanie i czy w tej dziedzinie nadal dokonuje się postęp?

Manousos: Zegarki typu tool watch [użytkowe, zadaniowe] powstały, aby sprostać bardzo konkretnym potrzebom pilotów, nurków, alpinistów czy astronautów, operującym w skrajnych warunkach, którzy potrzebują instrumentów niezawodnych, trwałych, o czytelnych wskazaniach. Sukces tych zegarków wynika z przemyślanej inżynierii i projektowania podporządkowanego funkcji: solidnych mechanizmów, kopert odpornych na ciśnienie i wstrząsy, czytelnych tarcz o wysokim kontraście, materiałów luminescencyjnych do pracy w słabym oświetleniu oraz użytecznych komplikacji, takich jak chronografy czy obrotowe pierścienie pomiarowe.

Nadal się je ulepsza, głównie przez stosowanie innowacyjnych materiałów i rozwiązań technicznych – są to m.in. lepsze komponenty antymagnetyczne, wytrzymalsze materiały kopert, udoskonalone smary oraz efektywniejsze substancje świecące. Choć wiele z tych zegarków nosi się dziś na co dzień lub kolekcjonuje, to nadal trwają prace nad ich podstawową funkcją, jako niezawodnych instrumentów terenowych, dzięki czemu są one coraz trwalsze, czytelniejsze i precyzyjniejsze.

Wang: Speedmaster Moonwatch to zegarek zadaniowy o jednym z najlepiej udokumentowanych związków z historią. Kiedy NASA w latach 60. szukała zegarka dla swoich astronautów na potrzeby misji kosmicznych, przygotowała listę 11 rygorystycznych testów. W 1965 roku model Omega ST 105.003 był jedynym zgłoszonym przez markę zegarkiem, który przeszedł wszystkie próby bez zastrzeżeń. To, co czyni ten model wyjątkowym i cenionym przez kolekcjonerów, to fakt, że do dziś współczesna wersja Speedmaster Moonwatch jest produkowana w sposób bardzo zbliżony do pierwowzoru, oferując bezpośrednie nawiązanie do tamtych czasów.

Jednocześnie zegarki typu tool watch nadal się udoskonala. W przypadku zegarków dla nurków na przykład granice wodoszczelności są przesuwane coraz dalej – mimo że już dziś wiele modeli ma parametry znacznie przekraczające możliwości człowieka. Jeśli kiedykolwiek znajdziesz się na głębokości ponad 6 tys. metrów pod wodą, to zegarek raczej nie będzie twoim największym problemem.

Zegarki typu tool watch stanowią też doskonałe pole testowe dla ulepszeń mechanizmów. Wiele marek pracuje nad zwiększeniem odporności na pole magnetyczne poprzez szersze wykorzystanie komponentów z krzemu.

Czy komplikacje to obszar, w którym można spodziewać się dalszych innowacji inżynieryjnych?

Wang: Komplikacje to bez wątpienia jeden z kluczowych obszarów przesuwania granic zegarmistrzostwa. Nawet w ostatnich latach widzimy nacisk na maksymalistyczne podejście do projektowania zegarków, a moim zdaniem to właśnie wielkie osiągnięcia horologiczne będą kształtować ideę luksusowego zegarka przez kolejne 100 lat. Chciałbym jednak również zobaczyć większy nacisk na obniżanie ceny tych zaawansowanych komplikacji.

Na przykład mechaniczny repetier minutowy, który na żądanie wybija aktualny czas, kosztuje zazwyczaj przynajmniej kilkaset tysięcy dolarów. Jednak niektórym markom udało się znaleźć sposoby na obniżenie kosztów komplikacji. To może być myślenie życzeniowe, ale być może doczekamy się repetiera, na który będą mogli sobie pozwolić zwykli śmiertelnicy. ■

eprasa.pl d166b0f064

Widzieć dalej i lepiej

Lornetki i inne urządzenia optyczne do obserwacji na duże odległości kosztują różnie. Oto, co odróżnia sprzęt z najwyższej półki od tego dla początkujących

KATE WONG

KIEDY PO RAZ PIERWSZY zajęłam się birdwatchingiem – na początku pandemii COVID-19 – nie mogłam uwierzyć, że dopiero w średnim wieku odkryłam przyjemność obserwowania ptaków. To było idealne hobby. Mogłam obserwować ptaki wszędzie. I to praktycznie za darmo. Miałam już jedyny potrzebny na start sprzęt: przyzwoitą lornetkę dla początkujących, która pozwalała obserwować małe lub znajdujące się daleko ptaki, dzięki czemu mogłam lepiej dostrzec ich cechy identyfikacyjne i docenić ich piękno.

Z początku byłam z tego sprzętu w pełni zadowolona. Niedługo potem „zaliczyłam" dzięki niemu pierwsze 100 gatunków („liferów", jak mówią ptasi zapaleńcy). Nie było źle. Ale pewnego dnia, z ciekawości, wypróbowałam znacznie droższą lornetkę z zamkniętej na klucz gabloty w lokalnym sklepie ze sprzętem sportowym. Obraz świata przez nią widziany był jaśniejszy, ostrzejszy, po prostu lepszy. Widziałam pojedyncze włoski na wypchanym łosiu stojącym w odległym kącie sklepu. Nie kupiłam wtedy tej lornetki, ale wiedziałam, że gdy tylko będę mogła zainwestować w optykę tak wysokiej klasy, na pewno to zrobię.

W końcu się zdecydowałam i kupiłam – szaleństwo! – lornetkę Swarovski NL Pure za 3200 dolarów, którą wielu uważa za najlepszą na rynku w kategorii lornetek do obserwacji ptaków. Moja pierwsza, model Celestron NatureDX za niecałe 200 dolarów, nadal jest w użyciu – stoi na parapecie kuchennego okna i jest zawsze pod ręką, gdy przy karmniku w ogrodzie pojawi się jakiś ciekawy ptak, a ja zmywam naczynia. Ale to tę nową zabieram w teren na wyprawy obserwacyjne.

Uwielbiam ją. Przyjemnie się na nią patrzy i z niej korzysta, a co najważniejsze mam wrażenie, że dzięki niej widzę znacznie więcej. Muszę jednak przyznać, że zastanawiałam się, czy taka cena jest uzasadniona. Co właściwie odróżnia lornetki kosztujące tysiące dolarów od tych dziesięć razy tańszych? Postanowiłam to sprawdzić.

Jeszcze kilkadziesiąt lat temu odpowiedź była stosunkowo prosta, bo lornetki były prostsze, mówi Steve Sosensky z Optics4Birding. „W ciągu ostatnich 30 lat wprowadzono mnóstwo ulepszeń" – podkreśla.

Zasadniczo lornetka to dwa małe teleskopy zamontowane obok siebie, dzięki czemu można obserwować odległe obiekty obojgiem oczu. Każdy z tych „teleskopów" zawiera duże soczewki obiektywu z przodu, które zbierają światło; w środku znajdują się pryzmaty, które załamują światło i korygują odwrócony obraz powstający w obiektywie; z tyłu jest okular, złożony z mniejszych soczewek powiększających obraz.

Istnieją dwa główne typy lornetek, różniące się układem pryzmatów. Lornetki z pryzmatem Porro – nazwane tak od włoskiego wynalazcy Ignazia Porro – mają obiektywy rozstawione szerzej niż okulary, co sprawia, że są masywniejsze. W lornetkach z tzw. pryzmatem dachowym (od pryzmatu w kształcie dachu, roof-prism) rozstaw okularów i obiektywów jest taki sam, dzięki czemu są smuklejsze, światło w nich biegnie niejako prosto, choć w rzeczywistości w sposób dużo bardziej skomplikowany, i wymagają użycia powierzchni odbijających. Lornetki z systemem Porro lepiej przepuszczają światło i dają jasny, wierny obraz, a także są łatwiejsze w produkcji. Te z pryzmatami dachowymi są wytrzymalsze i łatwiejsze do uszczelnienia, ale tracą część światła.

Producenci wprowadzili wiele ulepszeń: szkło z dodatkiem tlenku baru w pryzmatach, powłoki korygujące fazę (potrzebne w lornetkach dachopryzmatycznych), soczewki z fluorytem zmniejszające aberrację chromatyczną, powłoki chroniące przed zarysowaniami, wodą, zatłuszczeniem i kurzem, wypełnienie azotem lub argonem zapobiegające parowaniu, a także lekkie i trwałe obudowy z magnezu.

Albert Fiedler ze Swarovski Optik, który od 25 lat zajmuje się projektowaniem sprzętu optycznego, zwraca uwagę, że jednym z największych osiągnięć w tym czasie było wprowadzenie systemu spłaszczania pola (Field Flattener System), który zapewnia ostrość aż po brzegi obrazu. „Takie rozwiązania były znane w astronomii i tylko przy bardzo dużych powiększeniach. My zastosowaliśmy je przy 8×, 10×, 12×, czyli typowych stosowanych do obserwacji ptaków" – mówi. Inna innowacja pozwoliła znacznie zmniejszyć masę dużych lunet obserwacyjnych które oferują znacznie większe powiększenie niż lornetki – zmieniając po prostu rozstaw soczewek w obiektywie.

Im więcej takich udoskonaleń, tym wyższa cena. Jeszcze kilkanaście lat temu dobra lornetka kosztowała około 500 dolarów, a najlepsze – kilka razy więcej. Na tę najlepszą opcję zdecydował się w 2009 roku biolog ochrony przyrody i ornitolog Dan Cooper z Resource Conservation District of the Santa Monica Mountains w Calabasas w Kalifornii, kiedy kupił lornetkę za 2500 dolarów firmy Leica, uznawanej – obok Swarovski Optik i Zeiss – za jednego z czołowych producentów lornetek i innej optyki sportowej. Ale gdy w 2016 roku zaczął

Kate Wong jest starszą redaktorką działu nauk biologicznych w „Scientific American". Jest również zapaloną obserwatorką ptaków.

eprasa.pl d166b0f064



eprasa.pl d166b0f064



Lornetki z serii Swarovski Optik NL Pure są powszechnie uznawane za najlepsze w swojej klasie – cena to odzwierciedla.

testować lornetki, z zakresu 150–350 dolarów dla Wirecuttera, był zaskoczony: „One wszystkie są całkiem dobre". Jego znajomi ornitolodzy to potwierdzili: „Nie trzeba już wydawać 2500 dolarów". Najlepszy model w jego testach – Athlon Midas pierwszej generacji – ma większość funkcji kiedyś zarezerwowanych dla topowych lornetek, a kosztuje tylko 250 dolarów. I nadal pozostaje jednym z najlepszych wyborów w swojej cenie – po 10 latach.

Jednak droższe modele mają przewagę w trudnych warunkach. „Jeśli mały ptak jest bardzo daleko i w słabym świetle, używam lornetki firmy Leica – te gwarantują lepszą ostrość i odwzorowanie kolorów". Tańsze lornetki dają mętny obraz na brzegach. I nie są tak trwałe.

Technika nadal się rozwija, choć wolniej niż kiedyś. Przy projektowaniu serii NL Pure, która zadebiutowała w 2020 oku, Fiedler starał się ulepszyć jej poprzedniczkę, która był wtedy uważana za złoty standard. Skupił się na zwiększeniu pola widzenia – czyli obszaru obrazu widocznego przez lornetkę.

To kluczowe w birdwatchingu, bo ułatwia odnalezienie i śledzenie ptaka w gęstym listowiu. Efektem było pole widzenia o kącie 70° – najszersze w tej klasie – co wymagało eliminacji licznych aberracji. Poprawiono też ergonomię i precyzję ustawiania ostrości.

Fiedler nadal widzi pole do ulepszeń. Być może dalsze modyfikacje układu soczewek w obiektywie pozwolą zmniejszyć ich średnicę, a tym samym masę zarówno lornetek, jak i lunet obserwacyjnych. Być może uda się opracować obudowę wykonaną z włókna węglowego, znanego z wytrzymałości oraz lekkości i zrezygnować z gumowej powłoki chroniącej sprzęt przed wstrząsami, sugeruje. „Pozwólcie mi pomarzyć". ■

Dzięki uprzejmości Swarovski Optik

eprasa.pl d166b0f064



BYDGOSZCZ DWORCOWA 43 • **GDYNIA** ŚWIĘTOJAŃSKA 84 • **KATOWICE** GALERIA KATOWICKA • **KRAKÓW** DIETLA 51 • **ŁODŹ** MANUFAKTURA
POZNAŃ POSNANIA • **SZCZECIN** AL. PIASTÓW 53 • **WROCŁAW** ALEJA BIELANY • **WARSZAWA** BLUE CITY • **WARSZAWA** TAMKA 49

FIZYKA

NOWY RODZAJ MAGNESÓW

Jak odkrycie altermagnesów może zmienić fizykę i informatykę

BOB HENDERSON
Zdjęcia TONY LUONG



eprasa.pl d166b0f064



Naukowcy odkryli niedawno materiały o nowych właściwościach magnetycznych. W laboratorium Massachusetts Institute of Technology badacze manipulują rurkami kwarcowymi zawierającymi kryształy, które wytwarzają magnetyzm p-falowy.

eprasa.pl d166b0f064

ZESZŁEJ JESIENI, W WIETRZNE POPOŁUDNIE w Cambridge w stanie Massachusetts, w rozbrzmiewającym charakterystycznym szumem pomp chłodniczych laboratorium, Jiaruo Li, doktorantka na Massachusetts Institute of Technology, pracowała nad nowym urządzeniem do zapisywania danych cyfrowych. Jej celem było wykorzystanie niezwykłego rodzaju magnetyzmu, odkrytego w tym samym laboratorium rok wcześniej, po to, aby urządzenie to było szybsze i bardziej energooszczędne niż konkurencyjne. Jej praca była bardzo ważna ze względu na obecny boom centrów danych wywołany przez rozwój sztucznej inteligencji oraz wynikający z niego gwałtowny wzrost zapotrzebowania na energię.

W tej chwili Li skupiała się na znalezieniu swego rodzaju igły w stogu siana: ledwo widocznego okruszka bromku niklu o odpowiednich właściwościach. Aby to osiągnąć, w sterowanym komputerowo piecu umieszczonym w laboratorium MIT wyhodowała kryształ wielkości dziesięciocentówki, przez 10 dni wypalając w wysokiej temperaturze szklaną rurkę zawierającą proszek bromku niklu. Następnie, w poszukiwaniu próbki o atomowej grubości, przykleiła do swojego dzieła specjalną taśmę, oderwała ją i przeniosła płatki z taśmy na błyszczącą płytkę krzemową. Trzymając płytkę pod światło, obserwowała morze tysięcy maleńkich złotych kryształków na fioletowym, lustrzanym tle. „Tylko jeden lub dwa kryształki będą wystarczająco cienkie” – stwierdziła.

Bromek niklu jest związkiem pokrewnym dla jodku niklu. Wiosną 2025 roku trafił na pierwsze strony gazet, ponieważ występuje w nim tzw. magnetyzm p-falowy (p-wave magnetism) – zjawisko przewidziane przez teoretyków na początku 2024 roku. Magnesy p-falowe wykazują właściwości, których nie mają tradycyjne magnesy, przez co nadają szczególne cechy przepływającym przez nie prądom elektrycznym. Przełom ten to tylko jedna z najnowszych rewelacji związanych z odkryciem nowej klasy magnesów zwanych altermagnesami. Materiały te zaskoczyły wielu naukowców, wykazując kombinację cech, które mogą nie tylko zrewolucjonizować komputery, ale także przeformułować nasze rozumienie fizyki magnesów. Równie niezwykłe jest to, że nowe magnesy wcale nie są nowe. Wiele z nich to powszechnie badane związki o nieznanych dotąd supermocach, a ich możliwości można wyjaśnić za pomocą prostej geometrii.

MAGNESY, z którymi mamy do czynienia na co dzień – z biegunami północnym i południowym, przytrzymujące rysunki dzieci na drzwiach lodówki – nazywane są ferromagnetykami i są szeroko stosowane już od czasów prehistorycznych, ale ich istotę udało się w pełni zrozumieć dopiero w momencie pojawienia się współczesnej teorii kwantowej w latach 20. XX wieku. Jak twierdzi fizyk z University of Oxford Stephen Blundell, „powstanie mechaniki kwantowej mogło być związane właśnie z badaniem magnetyzmu”. Jeszcze przed opracowaniem współczesnej teorii kwantowej fizycy Niels Bohr i Hendrika Johanna van Leeuwen niezależnie od siebie udowodnili, że magnetyzm jest niezgodny z fizyką klasyczną, czyli niekwantową.

Źródłem magnetyzmu jest kwantowo-mechaniczna cecha elektronów zwana spinem. Spin sprawia, że elektron zachowuje się jak mała, wirująca naładowana kulka, dzięki czemu powstaje pole magnetyczne podobne do pola wytwarzanego przez maleńki magnes sztabkowy. (Fakt, że elektrony są – o ile wiadomo – nieskończenie małe, i w związku z tym wcale nie przypominają kulek, pokazuje, że spin jest cechą czysto kwantową). Kiedy w ciele stałym o strukturze krystalicznej spiny dużej liczby elektronów ustawiają się w taki sposób, że ich maleńkie pola magnetyczne łączą się ze sobą i wywołują efekt makroskopowy, voilà – powstaje ferromagnetyk. Najbardziej charakterystyczną jego cechą jest namagnesowanie, czyli makroskopowe pole magnetyczne, składające się z linii sił, które można dostrzec w postaci samoorganizacji opiłków żelaza rozsypanych wokół magnesu.

Ferromagnetyki odgrywają ogromną rolę w technice; Blundell nazywa je „silnikiem współczesnego świata”. Dla przykładu, w elektrowniach wirujące magnesy przekształcają energię mechaniczną w elektryczną. I choć większość komputerów osobistych korzysta obecnie z niemagnetycznej pamięci półprzewodnikowej, to zdecydowana większość informacji gromadzonych w światowych centrach danych ma postać bitów zakodowanych w niewielkich namagnesowanych obszarach ferromagnetycznych dysków twardych. „Wszystkie dane są przechowywane w chmurze, a chmura to same magnesy” – mówi Jairo Sinova, profesor fizyki na Johannes Gutenberg-Universität Mainz w Niemczech i kluczowa postać w odkryciu altermagnesów.

Istotą magnetyzmu jest zbiorowa organizacja spinów elektronów w materiale, a ferromagnetyzm nie

Bob Henderson jest niezależnym dziennikarzem mieszkającym w stanie Nowy Jork. Ma doktorat z fizyki teoretycznej wysokich energii uzyskany na University of Rochester; w różnych okresach życia zarabiał też jako fotoreporter, inżynier elektryk oraz analityk i makler.

eprasa.pl d166b0f064

jest jedyną możliwością. W latach 30. francuski fizyk Louis Néel przewidział, że tzw. oddziaływania wymienne mogą sprawić, iż spiny w sąsiednich atomach będą skierowane nie w tych samych, ale w przeciwnych kierunkach. Daje to układ spinów typu „góra-dół-góra", w odróżnieniu od ferromagnetycznego układu „góra-góra-góra". Taki naprzemienny układ znosi namagnesowanie generowane przez spiny, dzięki czemu materiał nie ma makroskopowego pola magnetycznego. Néel otrzymał w 1970 roku Nagrodę Nobla z fizyki po eksperymentalnym potwierdzeniu swoich przewidywań. W wykładzie noblowskim stwierdził, że chociaż odkryte przez niego „antyferromagnetyki" teoretycznie są „niezwykle interesujące", to, ze względu na brak namagnesowania, wydają się nie mieć żadnych zastosowań praktycznych.

Jednak pod koniec lat 80. odkryto, że przydatna jest inna właściwość magnesów: potrafią one regulować opór elektryczny materiału. Fizycy Peter Grünberg i Albert Fert niezależnie od siebie wykazali, że umieszczając w urządzeniu równolegle dwie warstwy ferromagnetyczne, a następnie zmieniając orientację ich pól magnetycznych, można kontrolować natężenie prądu przepływającego przez urządzenie. Dzieje się tak dlatego, że gdy prąd przepływa przez ferromagnetyk, spiny elektronów mają tendencję do ustawiania się zgodnie z kierunkiem namagnesowania. Prąd ulega „polaryzacji spinowej", a prąd spolaryzowany przez jeden magnes będzie łatwiej przepływał przez inny. Uzyskana w ten sposób zmiana oporu nazywana jest gigantycznym magnetooporem (giant magnetoresistance; GMR), ponieważ niewielkie pole magnetyczne użyte do odwrócenia magnetyzacji jednej z dwóch warstw może spowodować ogromną zmianę oporu.

Odkrycia Grünberga i Ferta przyniosły im w 2007 roku Nagrodę Nobla z fizyki i dały początek spintronice – dziedzinie elektoniki, w której spin służy do przekazywania i przechowywania informacji. (W elektronice klasycznej tę rolę pełni ładunek elektryczny). Spintronika zrobiła furorę w latach 90., kiedy IBM opracował oparte na GMR „głowice odczytujące" służące do pobierania danych z dysków twardych: ich wyjątkowa wrażliwość na magnetyzm doprowadziła do gęstszego upakowania bitów i tysiąckrotnego wzrostu pojemności pamięci dyskowej. Efekt wykorzystywany w GMR – różnicowa przewodność obróconych ferromagnetyków – został spożytkowany w spintronice do przedstawiania jedynek i zer w technologii pamięci zwanej MRAM (Magnetoresistive Random Access Memory). Znalazła ona swoje miejsce w specjalistycznych chipach komputerowych stosowanych w samochodach, urządzeniach AGD i smartwatchach.

Przez dziesięciolecia uważano, że polaryzacja spinowa to głównie efekt ferromagnetyczny, ale odkrycie altermagnesów to zmieniło. Co więcej, zrewolucjonizowało ogólne rozumienie magnetyzmu. Rafael Fernandes, fizyk z University of Illinois Urbana-Champaign, twierdzi, że jest to nowy sposób myślenia. „Gdy miałem 13 lat, musiałem zacząć nosić okulary; w chwili, gdy po raz pierwszy je założyłem, zdałem sobie sprawę, jak wielu rzeczy wcześniej nie dostrzegałem".

ODKRYCIE ALTERMAGNETYZMU miało swój początek w pewnej enigmatycznej sytuacji: pewien antyferromagnetyk wydawał się wykazywać cechę charakterystyczną dla ferromagnetyku. W 2018 roku Sinova oraz jego współpracownicy, w tym Tomas Jungwirth – profesor z Fyzikální ústav w Czechach, University of Nottingham w Anglii oraz Uniwersytetu Tohoku w Japonii – badali teoretyczne właściwości antyferromagnetycznego dwutlenku rutenu. Z ich obliczeń wynikało, że materiał ten powinien wykazywać właściwość zwaną anomalnym efektem Halla, który pojawia się wtedy, gdy prąd przepływa przez materiał i wytwarza napięcie – siłę elektryczną – znacznie silniejsze, niż można by się spodziewać, gdyby było ono wywołane wyłącznie przez pola magnetyczne w materiale. Wiadomo, że efekt ten jest charakterystyczny dla ferromagnetyku, ale dwutlenek rutenu był antyferromagnetykem, więc jak to jest możliwe? Teoretycy i ich zespół obliczyli ten efekt, ale nie czuli, że go rozumieją. „Co tu się, u diabła,

Istotą magnetyzmu jest zbiorowa organizacja spinów elektronów w materiale, a ferromagnetyzm nie jest jedyną opcją.

dzieje?" – wspomina Jungwirth. Sinova mówi, że po przewidzeniu tego efektu, ale tylko w jednym materiale, trzeba było zadać sobie pytanie: czy to nowy rodzaj magnetyzmu? Należało też zrozumieć symetrię, która stanowi jego źródło.

Dla fizyka symetria to cecha, dzięki której obiekt może podlegać pewnym transformacjom bez zmiany swoich właściwości. Dla przykładu, okrąg jest wysoce symetryczny, ponieważ można go obrócić o dowolny kąt, a mimo to nadal będzie wyglądał tak samo. Kwadrat również jest symetryczny, ale w mniejszym stopniu: obrót nie powoduje w nim żadnych zmian tylko wtedy, gdy kąt jest całkowitą wielokrotnością 90° .

Jednym z przełomowych osiągnięć fizyki XX wieku było uznanie roli, jaką symetria odgrywa dla praw natury. „W XIX wieku dysponowaliśmy fundamentalnymi zasadami, które wielcy fizycy przekazali nam niejako na kamiennych tablicach: zachowanie energii, zachowanie pędu, zachowanie momentu pędu – mówi Blundell. – Jednakże nie bardzo wiedzieliśmy, skąd się one wzięły". Zmieniło się to w 1918 roku, kiedy niemiecka matematyczka Emmy Noether wykazała, że powyższe trzy prawa zachowania wynikają z symetrii praw fizycznych względem, odpowiednio, przesunięć w czasie, przemieszczeń przestrzennych i obrotów. Mniej więcej w tym samym czasie postulat Alberta Einsteina, że prawa fizyki są takie same niezależnie od ruchu obserwatora, doprowadził go do sformułowania szczególnej i ogólnej teorii względności. Obecnie uważa się, że specyficzna mieszanka cząstek elementarnych i sił, stanowiąca podstawę większości pojęć fizycznych, wynika z konkretnej kombinacji symetrii.

eprasa.pl d166b0f064



Jiaruo Li wykorzystuje cieniutkie druciki, żeby połączyć p-falowe magnetyczne złącze tunelowe z chipem krzemowym (*z lewej*). Z prawej strony trzyma próbkę o szerokości około 10 µm w strefie produkcyjnej laboratorium.

eprasa.pl d166b0f064



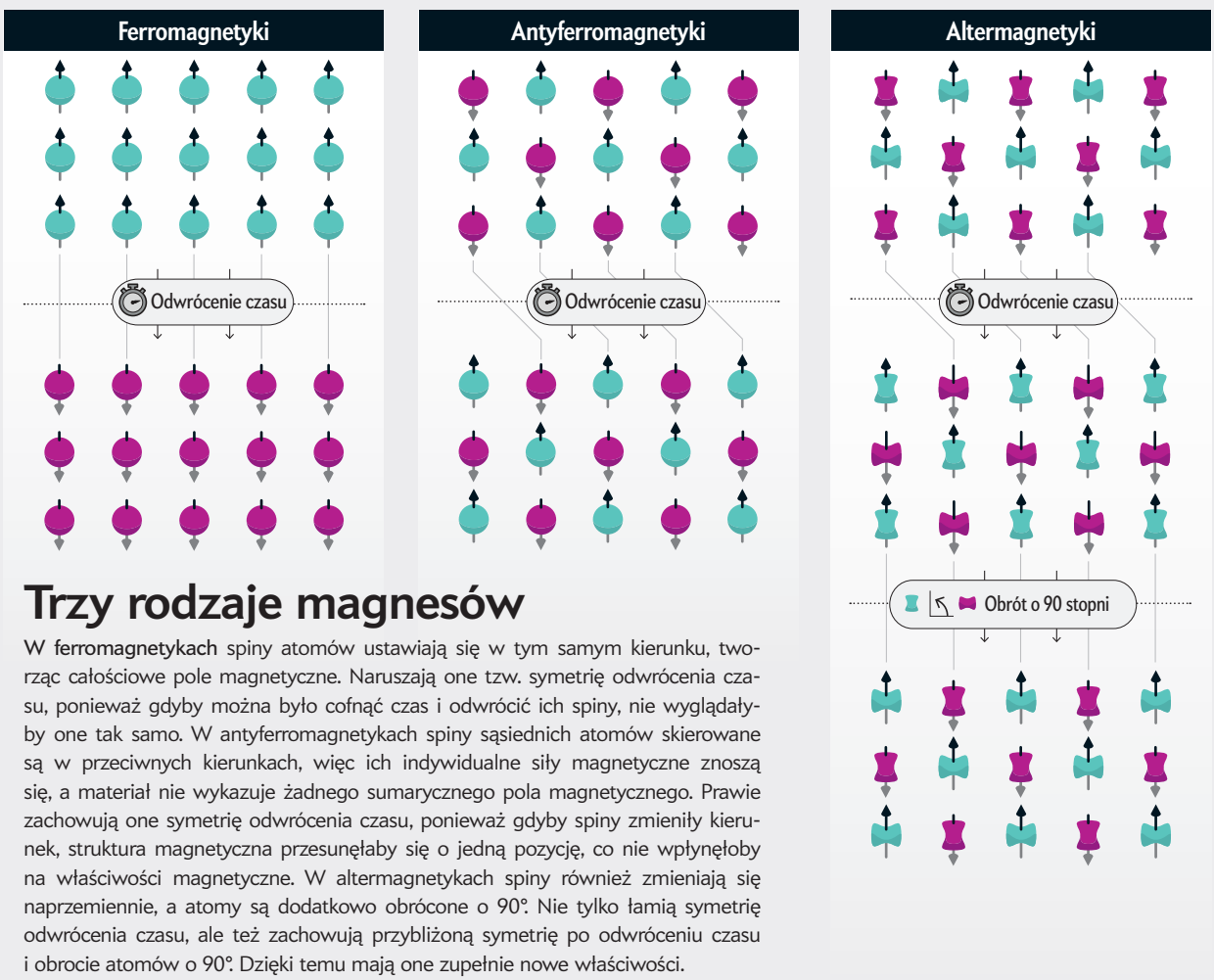
eprasa.pl d166b0f064

Jednakże sytuacja staje się naprawdę interesująca dopiero wtedy, gdy dochodzi do złamania symetrii. „Gdyby Wszechświat cechował się najwyższą możliwą symetrią, czyli pełną symetrią obrotową i pełną symetrią translacyjną, byłby całkowicie pozbawiony jakichkolwiek charakterystycznych cech – mówi Riccardo Comin, fizyk kierujący grupą badawczą Li w MIT. – Nie byłoby życia, planet, niczego". Dla przykładu, chociaż symetria obrotowa praw fizyki rządzących oddziaływaniami subatomowymi sugeruje, że w przestrzeni nie ma żadnego wyróżnionego kierunku, to w wystarczająco niskich temperaturach, w procesie zwanym spontanicznym łamaniem symetrii, prawa te mogą powodować zjawiska, takie jak magnetyzm, który wyznacza konkretny kierunek. „Zasadniczo im mniej symetryczne są rzeczy, tym są bogatsze i bardziej zróżnicowane" – mówi Comin.

Doskonałym przykładem jest porównanie ferromagnetyka z antyferromagnetykiem: względny brak interesujących i użytecznych właściwości tego drugiego wynika z faktu, że antyferromagnetyki zachowują symetrię, którą ferromagnetyki łamią. Wyobraźmy sobie, że odwracamy wszystkie spiny w magnesie tak, by skierowane były w przeciwną stronę. Antyferromagnetyk zasadniczo nie ulegnie zmianie, podczas gdy namagnesowanie ferromagnetyka zmieni kierunek, a jego bieguny północny i południowy zamienią się miejscami. Fizycy twierdzą, że ferromagnetyk łamie „symetrię odwrócenia czasu", a antyferromagnetyk w większości nie, ponieważ takie odwrócenie spinów jest tym, co można by zaobserwować, gdyby udało się w jakiś sposób odwrócić strzałkę czasu, a tym samym kierunek „obrotu" każdego elektronu [*patrz grafika poniżej*].

Oczywiście nie możemy naprawdę cofnąć czasu, ale rozważanie jego teoretycznych skutków jest użytecznym eksperymentem myślowym. I to właśnie złamanie symetrii odwrócenia czasu pozwala ferromagnetykom wykazywać prądy spolaryzowane spinowo, anomalny efekt Halla i inne właściwości, których nie mają antyferromagnetyki. A przynajmniej tak się wydawało, dopóki nie pojawili się Sinova i jego współpracownicy.

Libor Šmejkal, były student Sinovy i Jungwirtha, obecnie pracujący w Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme w Niemczech, po przeprowadzeniu wymagających użycia superkomputera skomplikowanych obliczeń, w końcu doszedł do wniosku, że klucz do rozwiązania zagadki dwutlenku rutenu tkwi w kształtach jego atomów. Atomy rutenu, obecne



Trzy rodzaje magnesów

W **ferromagnetykach** spiny atomów ustawiają się w tym samym kierunku, tworząc całościowe pole magnetyczne. Naruszają one tzw. symetrię odwrócenia czasu, ponieważ gdyby można było cofnąć czas i odwrócić ich spiny, nie wyglądałyby one tak samo. W antyferromagnetykach spiny sąsiednich atomów skierowane są w przeciwnych kierunkach, więc ich indywidualne siły magnetyczne znoszą się, a materiał nie wykazuje żadnego sumarycznego pola magnetycznego. Prawie zachowują one symetrię odwrócenia czasu, ponieważ gdyby spiny zmieniły kierunek, struktura magnetyczna przesunęłaby się o jedną pozycję, co nie wpłynęłoby na właściwości magnetyczne. W altermagnetykach spiny również zmieniają się naprzemiennie, a atomy są dodatkowo obrócone o 90°. Nie tylko łamią symetrię odwrócenia czasu, ale też zachowują przybliżoną symetrię po odwróceniu czasu i obrocie atomów o 90°. Dzięki temu mają one zupełnie nowe właściwości.

Grafika Jen Christiansen

eprasa.pl d166b0f064

w dwutlenku rutenu, mają spiny, które sprawiają, że ma on własności magnetyczne, ale naturalny kulisty kształt ich chmur elektronowych jest zdeformowany przez sąsiednie atomy tlenu. Okazuje się, że chmury atomowe o spinach skierowanych w jednym kierunku są obrócone o 90° w stosunku do chmur o spinach skierowanych w przeciwnym kierunku. Powstały układ spinów i kształtów łamie symetrię odwrócenia czasu, ponieważ odwrócenie spinu zmienia magnes.

Co więcej, Šmejkal zaobserwował, że dwutlenek rutenu zachowuje symetrię, która nadaje mu wyjątkowe właściwości, jakich nie mają nawet ferromagnetyki. Odwrócenie spinów (podobne do teoretycznego odwrócenia czasu), a następnie obrót atomów magnesu o 90° przywraca układ spinów i kształtów do stanu początkowego. Dzięki tej symetrii może on wytwarzać prądy o polaryzacji spinowej, których spiny zmieniają (alternują) się z obrotem prądu – właściwość, od której pochodzi nazwa altermagnesów.

Krótko mówiąc, Šmejkal pokazał, że źródłem „magii" magnesu jest raczej symetria, a nie jego namagnesowanie. Podobnie jak antyferromagnetyki, altermagnetyki nie są namagnesowane i jako całość nie mają pola magnetycznego; ponieważ jednak łamią symetrię odwrócenia czasu, może w nich powstawać wiele użytecznych efektów magnetycznych, takich jak polaryzacja spinowa.

Następnie Šmejkal zastosował teorię grup – dziedzinę matematyki zajmującą się opisem symetrii – aby opracować system klasyfikacji magnesów i precyzyjnego określania ich właściwości. „Ten opis symetrii okazał się niezwykle owocny"– mówi Šmejkal – ponieważ udało mi się usystematyzować wszystkie materiały". Dla przykładu, z jego systematyki wynika, że dla materiałów, których spiny są kolinearne (czyli ustawione równolegle do siebie), możliwe są tylko trzy odrębne typy namagnesowania – ferromagnetyki, antyferromagnetyki i altermagnetyki. (W tych trzech przypadkach spiny mogą być skierowane w górę lub w dół, ale nigdy w bok pod kątem). Systematyka ta umożliwia również identyfikację nowych materiałów magnetycznych. Šmejkal i jego współpracownicy, przeglądając bazy danych znanych materiałów, znaleźli ponad 200 potencjalnych altermagnetyków. Wiele z nich, na przykład dwutlenek rutenu, jest dobrze znanych, ale nikt nie podejrzewał, że mają one jakiekolwiek szczególne właściwości.

W owym czasie większość badań miała wciąż charakter czysto teoretyczny. Sytuacja uległa zmianie w 2024 roku, kiedy to zespół pod kierownictwem Juraja Krempasky'ego z Paul Scherrer Institut w Szwajcarii po raz pierwszy jednoznacznie potwierdził istnienie altermagnesu. Naukowcy skierowali precyzyjnie skalibrowane promieniowanie z akceleratora cząstek synchrotronowych na kryształ tellurku manganu i zmierzyli energię, pęd i spin jego elektronów. Wyniki dowiodły, że właściwości te są zgodne z przewidywaniami Šmejkala i innych teoretyków. Chociaż tellurek manganu jest zbyt kruchy, aby można go było wykorzystać komercyjnie, wynik ten dobrze wróży spintronice, ponieważ istnieje wiele innych potencjalnych altermagnesów – twierdzi Peter Wadley, fizyk z University of Nottingham, który brał udział w eksperymencie. Materiały te „w piękny sposób łączą zalety ferromagnetyków i antyferromagnetyków – uważa Wadley. – To jak magnes z fantazji; jest prawie zbyt dobry, aby był prawdziwy".

QIAN SONG MARZY, żeby jedna technologia pamięci komputerowych zastąpiła wszystkie pozostałe. Komputery zazwyczaj wykorzystują kilka rodzajów pamięci: szybką, ale ulotną pamięć RAM, która do działania potrzebuje zasilania; wolniejsze dyski półprzewodnikowe, które przechowują dane przez dłuższy czas; i magnetyczne dyski twarde, które tworzą większość pamięci w chmurze. Jako doktorant w grupie badawczej Comina, Song – teraz już postdoktorant na University of California w Berkeley – zapoczątkował projekt, nad którym pracuje aktualnie Li. W 2025 roku po raz pierwszy zademonstrował spiralny wariant fali p altermagnesu w jodku niklu i uważa, że może to być klucz do rozwiązania uniwersalnego. „Dlaczego potrzebujemy tylu różnych rodzajów pamięci? – pyta Song. – Chcę to ujednolicić i zwiększyć szybkość pamięci. Pytanie brzmi: czy istnieje jakakolwiek fizyczna granica?"

Jednym z przełomowych osiągnięć fizyki XX wieku było uznanie roli, jaką symetria odgrywa dla praw natury.

Najbardziej do tej granicy mogą się zbliżyć altermagnetyki, gdyż łączą w sobie pożądane właściwości ferromagnetyków i antyferromagnetyków. Podobnie jak ferromagnetyki, mogą one generować prądy spolaryzowane spinowo i wywoływać efekty jak GMR. Tak jak antyferromagnetyki, mają one spiny, które mogą obracać się około 1000 razy szybciej niż spiny ferromagnetyków, co oznacza, że pamięci mogłyby działać z prędkością teraherców, a nie gigaherców, jak obecnie. Kolejną zaletą altermagnetyków, wspólną z antyferromagnetykami, jest brak magnetyzacji i wrażliwości na pola magnetyczne, co pozwoliłoby inżynierom na upakowanie znacznie większej liczby elementów na niewielkiej przestrzeni. A magnetyzm p-falowy, który Song odkrył w jodku niklu, potencjalnie może być kluczem do ogromnego wzrostu efektywności energetycznej.

Magnesy p-falowe należą do czwartej i ostatniej kategorii systemu symetrii Šmejkala. Są to antyaltermagnetyki, które łamią symetrię w przypadku transformacji zwanej inwersją, polegającej zasadniczo na odwróceniu obiektu na lewą stronę. Tego rodzaju magnesy nie mają spinów kolinearnych – dla przykładu, spiny w jodku niklu zamiast układać się równolegle przyjmują ustawienie trójkątne, które obraca się w krysztale. W rezultacie powstaje kształt helisy, podobny do śruby lub cząsteczki DNA. Podobnie jak w przypadku śruby, helisa może być prawo- lub lewoskrętna – jest to właściwość zwana chiralnością, która łamie symetrię inwersji i zapewnia urządzeniu Songa

eprasa.pl d166b0f064



i Li przydatną funkcję: możliwość efektywnego przełączania chiralności magnetyzmu poprzez przyłożenie pola elektrycznego.

Słuchając na początku 2024 roku wykładu Comina poświęconego eksperymentom Songa z jodkiem niklu, Fernandes przypomniał sobie niedawno opublikowaną pracę, w której Šmejkal i jego współpracownicy przewidzieli magnetyzm p-falowy, i zdał sobie sprawę, że słyszy coś znajomego. „To wygląda na falę p” – pomyślał Fernandes. Magnetyzm p-falowy nie został jeszcze zaobserwowany eksperymentalnie, a koncepcja była tak nowa, że nawet Comin o niej nie słyszał. Jednak po podjęciu współpracy z Fernandesem zdał sobie sprawę, że teoria leżąca u podstaw magnetyzmu p-falowego może wyjaśniać niezwykłe i potencjalnie użyteczne właściwości jodku niklu, które odkrył Song. W międzyczasie Song skupił się już na stworzeniu uniwersalnej pamięci: p-falowej wersji magnetycznego

eprasa.pl d166b0f064



Li przenosi warstwy p-falowego magnesu, aby skonstruować magnetyczne złącze tunelowe. Do tej pracy używa mikroskopu i mikromanipulatorów umieszczonych w wypełnionej argonem komorze rękawicowej, które umożliwiają operowanie materiałami o grubości atomowej.

złącza tunelowego – elementu pamięci MRAM, który przechowuje pojedynczy bit.

Song szacuje, że takie urządzenie mogłoby zapisywać dane, zużywając zaledwie jedną stutysięczną (lub mniej) energii wymaganej przez jakąkolwiek z istniejących pamięci – głównie dzięki wydajnemu przełączaniu prądu, które umożliwia magnes p-falowy. Aby jednak odczyt danych był równie efektywny, kryształ bromku niklu, który będzie stanowił jedną z warstw urządzenia, musi mieć grubość atomową. To właśnie poszukiwaniem takiego idealnego kryształu zajęła się Li.

Teraz w laboratorium jej ręce, ubrane po łokcie w parę czarnych gumowych rękawic, sięgały do ogromnego akrylowego pudła. W dłonie wzięła krążek krzemu pokryty kryształkami bromku niklu. Umieściła krążek pod mikroskopem sił atomowych, którego ostrze przez następne 10 min miało wytyczyć nad krążkiem linię grubości kilku nanometrów. Linia ta miała otaczać obszar o wymiarach 25×25 µm, a Li miała następnie wyznaczyć grubości kryształków znajdujących się w jego obrębie. Na ekranie komputera widać było postępy ruchów ostrza nad krajobrazem żółtych, niebieskich i zielonych kształtów. Gdy mikroskop zakończył pracę, Li narysowała myszką na ekranie linię wzdłuż krawędzi obiecującego kryształka i odczytała liczbę: 10 nm. Cienki, ale nie wystarczająco. „To wszystko, co chciałam wiedzieć" – stwierdziła.

ODKRYCIE ALTERMAGNETYZMU uwydatnia fakt, że nie istnieje tylko jeden rodzaj niekonwencjonalnego magnetyzmu, lecz jest ich wiele. Po pierwsze, magnesy mogą być hybrydami czterech podstawowych typów Šmejkala i tym samym łączyć w sobie ich cechy, podobnie jak psy rasy labradoodle mają cechy labradorów retrieverów i pudli. Ponadto w ramach systematyki Šmejkala istnieje potencjalnie wiele podkategorii, które teoretycy próbują obecnie szczegółowo opisać. Jak twierdzi Igor Mazin, profesor fizyki na George Mason University, w przypadku magnesów niekolinearnych – w tym p-falowych, ale także takich osobliwości, jak przypominające wiry formacje, znane jako skyrmiony – precyzyjna klasyfikacja jest zadaniem nie do wykonania, ponieważ możliwości są nieograniczone. „W przypadku magnesów kolinearnych można powiedzieć, że jest to góra i dół – mówi Mazin. – Kiedy przechodzi się do obiektów niekolinearnych, można dokonywać większych lub mniejszych obrotów, w takim czy innym kierunku".

Charakterystycznym przykładem jest jodek niklu. Fernandes mówi, że szczegółowa analiza symetrii wykazała, iż mimo że materiał ten „przypomina" magnes p-falowy, „tak naprawdę nim nie jest", ponieważ nie spełnia wszystkich kryteriów Šmejkala dla tej kategorii. Jest to magnetyczny odpowiednik rasy labradoodle, który wygląda i zachowuje się bardzo podobnie do magnesu p-falowego. I chociaż niedawne eksperymenty potwierdziły, że kilka materiałów to faktycznie altermagnetyki, to jednocześnie podały w wątpliwość status ich prekursora – dwutlenku rutenu. „Ten materiał prawdopodobnie nie jest magnetyczny – mówi Jungwirth. – W naszych pracach teoretycznych wybraliśmy [nieco] niefortunny pierwszy przykład".

Pomimo tych zawirowań odkrycie altermagnetyków wywołało lawinę związanych z nimi badań i wzbudziło ogromne nadzieje w środowisku spintronicznym. Artykuł Šmejkala, Sinovy i Jungwirtha z 2022 roku, w którym po raz pierwszy użyto terminu „altermagnes", został zacytowany już ponad 1500 razy. W rzeczywistości jednak altermagnetyzm był tylko jednym z wielu

Dokończenie na stronie 75.

Z NASZEGO ARCHIWUM

Na tropie nadprzewodników. Bob Henderson; listopad 2019.

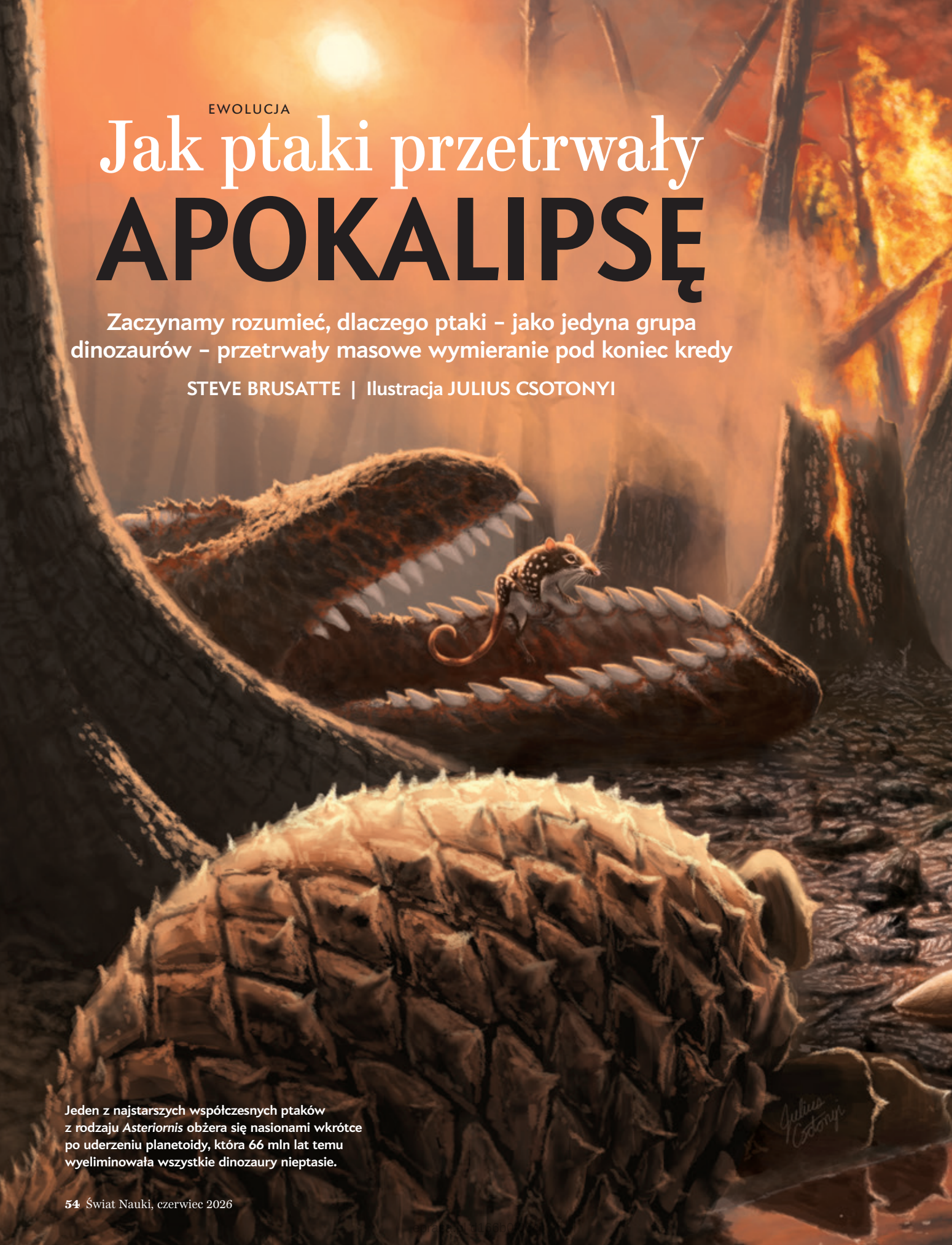
eprasa.pl d166b0f064

EWOLUCJA

Jak ptaki przetrwały APOKALIPSĘ

Zaczynamy rozumieć, dlaczego ptaki – jako jedyna grupa dinozaurów – przetrwały masowe wymieranie pod koniec kredy

STEVE BRUSATTE | Ilustracja JULIUS CSOTONYI



Jeden z najstarszych współczesnych ptaków z rodzaju *Asteriornis* obżera się nasionami wkrótce po uderzeniu planetoidy, która 66 mln lat temu wyeliminowała wszystkie dinozaury nieptasie.


eprasa.pl d1660b0064

W OSTATNIM DNIU KREDY, około 66 mln lat temu, Ziemia tętniła oszałamiającą różnorodnością dinozaurów. W Ameryce Północnej superdrapieżnik *Tyrannosaurus rex* polował na swoją ulubioną ofiarę, trójrogiego triceratopsa. W Azji zwinne raptory obserwowały stada kaczodziobych i opancerzonych roślinożerców, takich jak hadrozaury i ankylozaury, a karłowate formy mięsożerców i roślinożerców przemierzały europejskie wyspy. Na lądach południa długoszyje zauropody, cięższe od samolotów odrzutowych, stąpały majestatycznie, wprawiając ziemię w drżenie każdym krokiem. A wszędzie, na wszystkich lądach i wyspach, drobne upierzone dinozaury popisywały się swoimi kolorami i deseniami, trzepocząc przy tym skrzydłami, a czasami podrywając się do lotu.

I nagle, bez uprzedzenia, era dinozaurów dobiegła końca. W Zatokę Meksykańską uderzyła ogromna planetoida, wywołując reakcję łańcuchową przerażających konsekwencji tego impaktu: trzęsienia ziemi, tsunami i pożarów, po których nastąpiły lata ciemności i mrozu. Było to prawdopodobnie najbardziej niszczycielskie wydarzenie w dziejach Ziemi – a jego wynikiem była zagłada trzech czwartych gatunków, które żyły wówczas na naszej planecie. Katastrofa była tak potężna i brzemienna w skutkach, że zrodziła jeden z największych i często powtarzanych mitów w nauce, przez wielu uważanych za prawdziwy: że koniec kredy był zarazem ostatecznym kresem dinozaurów, wybitych co do jednego wraz z końcem ery mezozoicznej.

W rzeczywistości niektóre dinozaury przetrwały apokalipsę późnokredowego impaktu. Chociaż takie ikoniczne gatunki, jak *T. rex* i *Triceratops*, faktycznie wyginęły, to przedstawiciele jednej grupy dinozaurów mieli więcej szczęścia: to ptaki, które żyją do dziś. Skąd ta łaskawość losu, skoro wszystkie inne dinozaury tak marnie zakończyły swoją egzystencję? Naukowcy głowią się nad tym od dziesięcioleci. Tajemnica pogłębiła się w ciągu ostatnich 30 lat, gdy paleontolodzy odkryli dziesiątki pierzastych i uskrzydlonych dinozaurów, blisko spokrewnionych z ptakami i podobnych do nich pod względem biologii i zachowań, choć nienależących bezpośrednio do linii ptasiej. Niektóre z tych dinozaurów potrafiły nawet latać. Co zatem pozwoliło ptakom uniknąć losu wszystkich swoich krewnych i kuzynów?

Niedawno pojawiła się odpowiedź, oparta na nowych badaniach paleontologicznych, genetycznych i ekologicznych. Wiele ptaków fruwało nad głowami *T. rex* i *Triceratopsa*, gdy uderzyła planetoida, ale większość z nich zginęła wraz ze swoimi dinozaurowymi kuzynami. Jedynymi, którym udało się przetrwać ten armagedon, były gatunki z tej samej linii, co wszystkie ptaki współczesne. Ich przetrwanie zależało od okoliczności: miejsca, w którym żyły, i cech, które miały, a okazały się one zbawienne, gdy niemal cały świat legł w gruzach.

NAUKOWCY OD DAWNA zastanawiali się nad związkami między współczesnymi ptakami a wymarłymi dinozaurami. W latach 60. XIX wieku badacze z pokolenia Karola Darwina zauważyli uderzające podobieństwa w szkieletach współczesnych ptaków i małych dinozaurów mięsożernych z okresu jurajskiego i kredowego, czyli – wedle dzisiejszego datowania – od 201 do 66 mln lat temu. W latach 90. XX wieku hipoteza mówiąca, że ptaki wywodzą się od dinozaurów, zyskała na popularności, zwłaszcza w kontekście dokonanych w chińskich osadach wulkanicznych znalezisk szkieletów dinozaurów z pięknie zachowanymi zarysami i odciskami piór.

W ciągu ostatnich 25 lat rolnicy z prowincji Liaoning odkopali na swoich polach tysiące szkieletów tych upierzonych dinozaurów. Współpracując z moim zmarłym kolegą Junchangiem Lü, miałem przyjemność przebadać wiele z nich

Steve Brusatte jest profesorem na University of Edinburgh i autorem książki *The Story of Birds*, w której przedstawia nowe spojrzenie na pochodzenie i ewolucję ptaków (Mariner, 2026).

eprasa.pl d166b0f064

i nadać nazwę nowemu gatunkowi, bliskiemu krewnemu welociraptora, którego nazwaliśmy *Zhenyuanlong*. To fantastyczny okaz, z delikatnymi, przypominającymi włosy piórami pokrywającymi większość ciała i lotkami na kości ramiennej, tworzącymi niewielkie skrzydła. Kiedy wpatrywałem się w tę skamieniałość w jednym z pokojów chińskiego muzeum, gdzie światło padało wprost na pióra, naprawdę zrozumiałem tę szczególną więź łączącą dinozaury z ptakami.

Te upierzone stworzenia opowiadają historię o wywodzeniu się ptaków od dinozaurów. Była to jedna z najwspanialszych przemian ewolucyjnych w historii życia: groźne, naziemne drapieżniki zredukowały rozmiary swych ciał, okryły się puchem, wydłużyły i przekształciły kończyny przednie w skrzydła i w końcu opanowały przestworza.

Przez większą część ostatnich dwóch dekad pracowałem nad zrozumieniem tej zdumiewającej transformacji, począwszy od mojej pracy doktorskiej, której promotorem był nieżyjący już Mark Norell. Pod jego kierunkiem opracowane zostało obszerne drzewo rodowe wczesnych ptaków i ich dinozaurowych krewniaków. Drzewo to pokazało, że ptaki powstawały z dinozaurów stopniowo, przez dziesiątki milionów lat. Wiele kluczowych cech współczesnych ptaków – pióra, skrzydła, widełki (furcula, zrośnięte obojczyki), pneumatyczne kości, niezwykle wydajne płuca, duże mózgi – to w istocie cechy dinozaurów, które rozwinęły się z wielu różnych powodów na przestrzeni dziejów i dopiero później weszły w skład tych latających maszyn, jakimi okazały się ptaki.

Zgodnie ze wskazaniami zapisu kopalnego, prawdziwe ptaki pojawiły się na Ziemi około 150 mln lat temu; jednym z nich jest ikona paleontologii, słynny archeopteryks, który pod koniec jury szybował nad lagunami dzisiejszych Niemiec. Jedna niezwykła umiejętność odróżniała te ptaki od innych dinozaurów: potrafiły nie tylko poruszać się biernie lotem ślizgowym, jak niektóre z ich upierzonych krewnych, ale także trzepotać skrzydłami, aby zapewnić sobie siłę nośną i ciąg niezbędny do wzbicia się w powietrze i utrzymania się w locie.

Przez kolejne 85 mln lat, a może i dłużej, prawdziwe ptaki żyły obok swoich dinozaurowych krewnych. Z początku, jak ów archeopteryks, wyglądały niczym miniaturowe welociraptory, z ostrymi jak noże zębami, zakrzywionymi pazurami i długimi, kostnymi ogonami. Z czasem u niektórych z nich doszło do udoskonaleń, które lepiej przystosowały je do lotu. Ramiona się wydłużyły, skrzydła stały się szersze i bardziej zwarte, mięśnie poruszające skrzydłami się wzmocniły, a ciała – mimo tych zmian – zmniejszyły swoją masę. Ich ogony skróciły się do pojedynczej, zrośniętej kości (pygostylu), mocującej wachlarz sterówek, a uzębione szczęki przekształciły się w dzioby. Niektóre stały się stałocieplne i zaczęły rosnąć w przyspieszonym tempie.

W ciągu tych jurajskich i kredowych dziejów ptaki kolonizowały nowe siedliska na lądzie, w wodzie, a zwłaszcza na drzewach, gdzie grupa zwana enantiornitami przyjęła nowy sposób życia, żywiąc się roślinami i owadami oraz gniazdując wysoko w koronach. Pod koniec kredy na scenie pojawiły się prawdziwie współczesne ptaki. Takie rodzaje jak *Vegavis* i *Asteriornis*, należące do tej samej grupy, co kaczki i kury, gęgały, krakały i trzepotały skrzydłami obok wielu prymitywnych, wolno rosnących maruderów z długimi ogonami, zębami i zakrzywionymi pazurami. Okres kredowy, przy całej różnorodności upierzonych i skrzydlatych stworzeń,

Ta skamieniała czaszka *Asteriornis*, zwanego Cudownym Kurczakiem, reprezentuje najstarszego znanego przedstawiciela rodziny, do której należą dzisiejsze kury i kaczki.



Daniel J. Field/University of Cambridge

eprasa.pl d166b0f064

cechowała pokojowa koegzystencja prymitywnych reliktów dawniejszych czasów i nowoczesnych lotników, którzy zyskali całkiem nowe talenty.

Potem nastąpiła katastrofa. Zabójcą okazała się planetoida o średnicy 10 km, pozostałość po narodzinach naszego Układu Słonecznego, której trajektoria przypadkowo przecięła orbitę Ziemi. Kiedy bolid uderzył na terenie dzisiejszego półwyspu Jukatan w Meksyku, eksplodował z siłą ponad miliarda bomb jądrowych. Ogień i siarka wypełniły powietrze w ciągu pierwszych dni po kataklizmie. Pył ze zniszczonych osadów i sadza z pożarów lasów przeniknęły do atmosfery, odcięły promienie słoneczne i pogrążyły planetę w trwającej długie lata zimie. Każdy mieszkaniec globu, każdy gatunek, który żył tego dnia na Ziemi, miał tylko 25% szans na przetrwanie. Pterozaury – fruwające gady, które opanowały aktywny lot przed ptakami – wyginęły bez reszty, podobnie jak gady morskie i amonity o spiralnych muszlach. Taki sam los spotkał niemal wszystkie dinozaury.

Paleontolodzy przez lata spierali się o szybkość wymierania pod koniec kredy i o to, czy planetoida była sprawcą, czy też niesłusznie oskarżonym świadkiem trwającego już wcześniej wymierania. Opierając się na nowych badaniach i dowodach, jestem przekonany, że śmierć nastąpiła szybko – właściwie natychmiast w kategoriach czasu geologicznego – i że to właśnie ów bolid był za to odpowiedzialny.

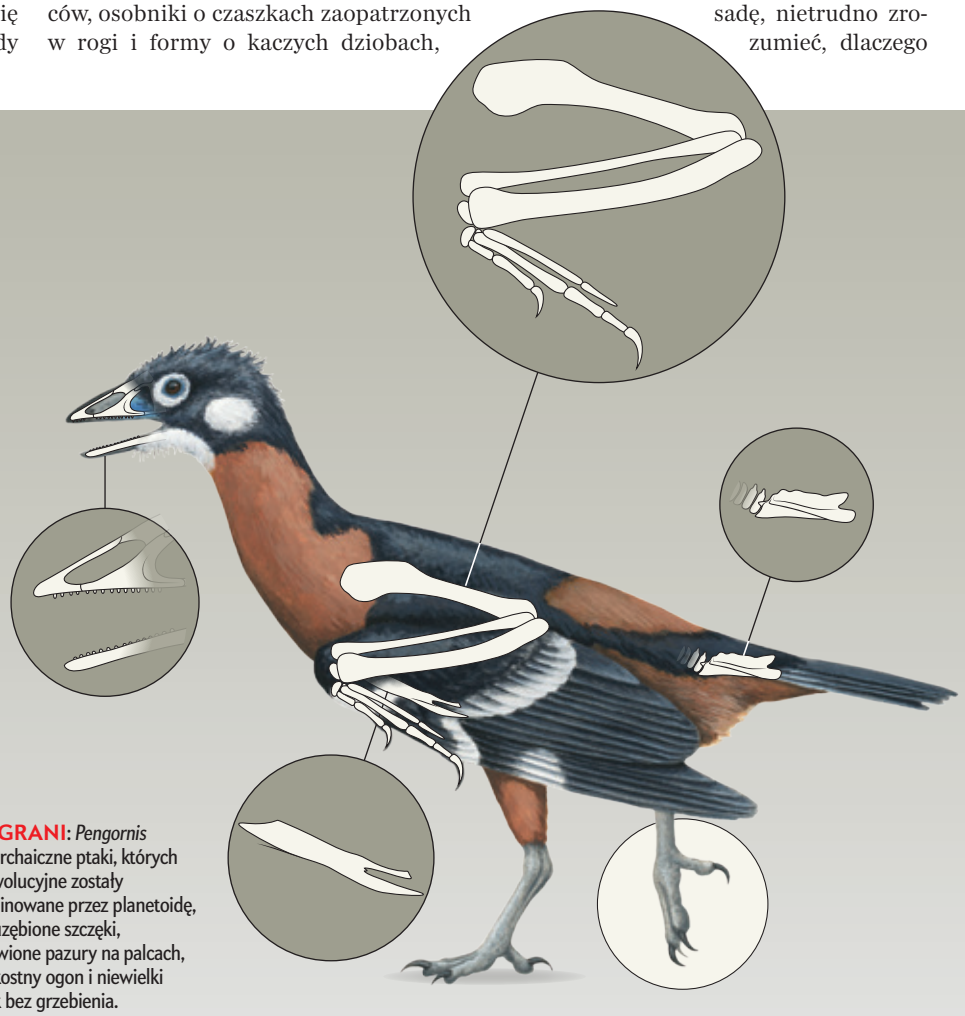
Od ponad dekady wraz z kolegami prowadzimy badania na pustkowiach w północno-zachodniej części Nowego Meksyku, gdzie odsłaniają się niezliczone warstwy skał o pastelowych barwach, przepełnione skamieniałościami dinozaurów, dokumentujących zdarzenia aż do samego końca okresu kredowego. W roku 2025 nasz zespół, kierowany przez geologa Andrew Flynna z New Mexico State University, opisał pełną wigoru społeczność dinozaurów z tych terenów, której wiek określono na mniej niż kilkaset tysięcy lat przed niosącym zagładę impaktem. Jej bujny rozkwit trwał wówczas w najlepsze. Można było tam spotkać zwierzęta mięsożerne i roślinożerców, osobniki o czaszkach zaopatrzonych w rogi i formy o kaczych dziobach, aktywnych, drobnych myśliwych, budzące grozę tyranozaury, a nawet nieliczne długoszyje zauropody, *Alamosaurus*, jedne z największych zwierząt, jakie kiedykolwiek żyły na lądach. Nic nie wskazywało na zbliżającą się katastrofę. I nagle ich szkielety znikają ze skał, a jedyną pozostałością po dawnych dobrych czasach stają się kruche, puste w środku kości ptaków.

ABY ZROZUMIEĆ, dlaczego ptaki przetrwały, gdy wszystkie nieptasie dinozaury wyginęły, musimy najpierw przyjrzeć się liście ofiar i ocalałych – nie tylko dinozaurów, ale całego królestwa zwierząt, które pozostawiło ślady swojego istnienia z czasów tuż przed impaktem. Jedna prawidłowość rzuca się w oczy: wszystkie duże osobniki były skazane na śmierć. Żadne zwierzę lądowe większe od husky syberyjskiego nie przetrwało końca kredy i nie pojawiło się nigdzie w osadach z następnego okresu – paleogenu.

Mając na uwadze tę zasadę, nietrudno zrozumieć, dlaczego

Wygrać los na loterii

Pod koniec kredy ptaki osiągnęły wielkie sukcesy ewolucyjne. Gdy nadeszła katastrofa, tylko nieliczne z nich, należące do współczesnych linii, przetrwały apokalipsę. Ostatnio udało się zidentyfikować te cechy, które mogły zdecydować o ich przetrwaniu, a których zabrakło ich archaicznym pobratymcom. W czasie wielkiej katastrofy faworytami okazały się te stworzenia, które żyły na ziemi lub w pobliżu wody, a ich ciała szybko wzrastały, potrafiły przy tym sprawnie latać i żywiły się nasionami.



PRZEGRANI: *Pengornis* i inne archaiczne ptaki, których linie ewolucyjne zostały wyeliminowane przez planetoidę, miały uzębione szczęki, zakrzywione pazury na palcach, długi, kostny ogon i niewielki mostek bez grzebienia.

eprasa.pl d166b0f064

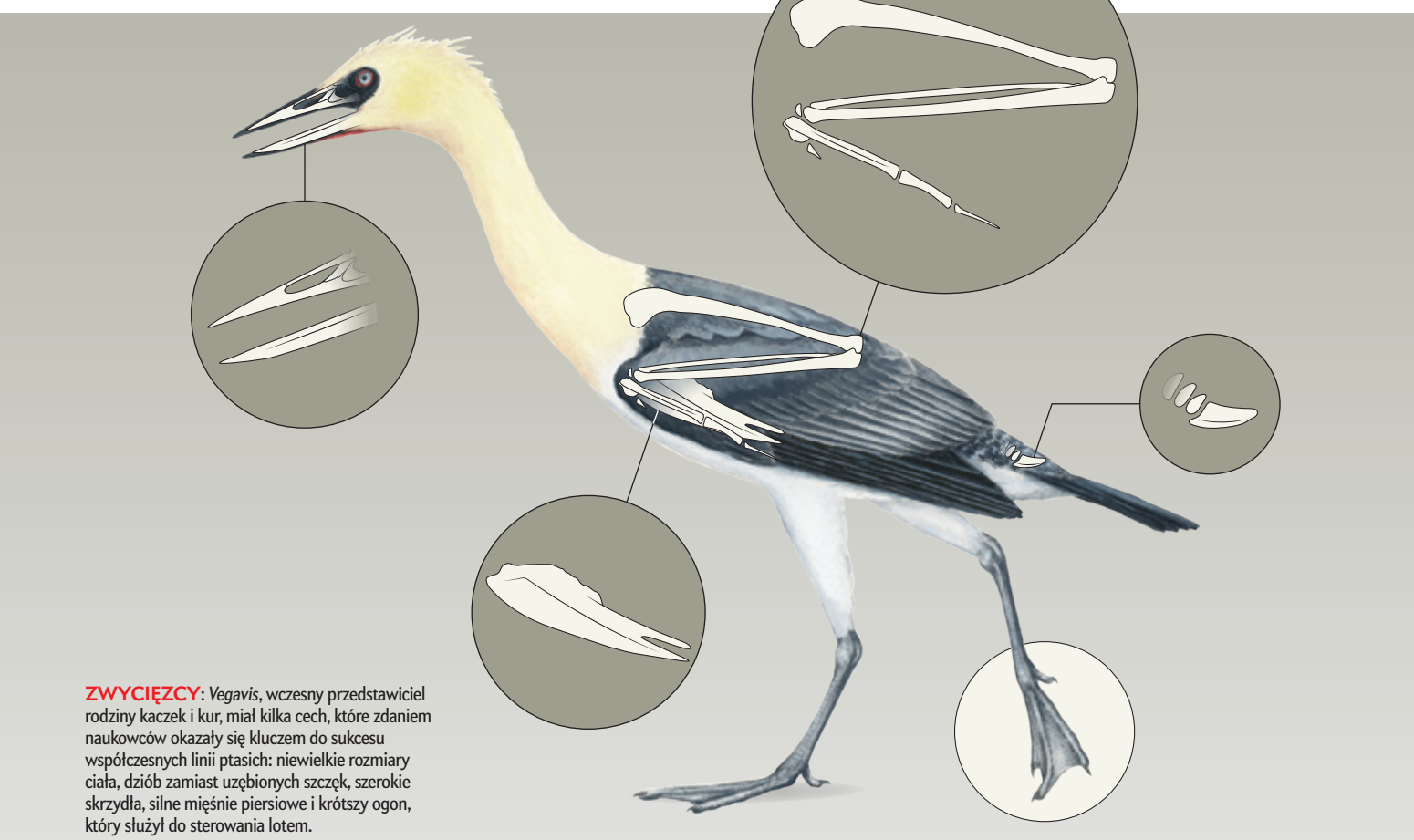
dinozaury nieptasie – w tym wiele form upierzonych – były skazane na śmierć. Ze względu na swoje zwykle potężne rozmiary, musiały pochłaniać znaczne ilości pożywienia, co było trudne, gdy Ziemia płonęła, a ekosystemy się rozpadały. Zwierzęta takie nie mogły zakopać się pod ziemią ani łatwo znaleźć kryjówki przed pożarami i innymi kataklizmami, których doświadczały wszelkie środowiska. Poza tym większość z nich potrzebowała kilku lat, aby osiągnąć dojrzałość, co zmniejszało szanse pojedynczych osobników na przetrwanie długiej zimy wywołanej przez planetoidę.

Ptaki miały jednak wiele cech, które nie pasowały do tej układanki. Ich małe rozmiary sprawiały, że nie potrzebowały każdego dnia dziesiątek kilogramów pożywienia i lepiej radziły sobie w okresach niedoborów. Były zdolne do lotu, więc nawet jeśli nie potrafiły kopać nor, mogły od razu uciec przed bezpośrednim zagrożeniem. Z pewnością atuty te zapewniały im przewagę nad innymi dinozaurami i pozostałymi zwierzętami, które w tym czasie wyginęły. A więc wszystko jasne? Niezupełnie, a to z powodu jednego dręczącego problemu. Koniec kredy nie był po prostu historią ptaków, które przetrwały, i reszty dinozaurów, które nie miały szans.

Wiele ptaków podzieliło los innych dinozaurów i wyginęło w następstwie kataklizmu, który nawiedził Ziemię. Dlaczego przetrwały jakiekolwiek ich linie? Dlaczego tylko nieliczne?

W rzeczywistości wiele ptaków – a może nawet ogromna większość – podzieliło los innych dinozaurów i również wyginęły w następstwie kataklizmu, który nawiedził Ziemię. Według szacunków skala wymierania ptaków pod koniec kredy to ponad 90% gatunków. Gdyby nie ci ocaleńcy, ptaki – podobnie jak pozostałe dinozaury – mogły zakończyć na przełomie er swoją egzystencję i dziś nie cieszylibyśmy się świergotem wróbli przy karmniku, smakiem pieczonych kurczaków ani figlami domowych papużek. Musimy więc przeformułować pytanie: dlaczego w ogóle przetrwały jakiekolwiek linie ptaków?

Po raz kolejny powinniśmy w tym celu porównać ofiary z ocalałymi, tym razem wśród samych ptaków. Dobrze przebadane osady z późnej kredy, rozciągające się od stanowisk terenowych naszego zespołu w Nowym Meksyku, na północ, przez Montanę, aż po Saskatchewan, ujawniły kilkanaście gatunków ptaków. Są to zarówno formy archaiczne, które zachowały zęby i długie kostne ogony, jak i wysoko zaawansowane gatunki należące do współczesnych grup. Warstewka odpowiadająca wielkiemu wymieraniu to cienka



ZWYCIĘZCY: *Vegavis*, wczesny przedstawiciel rodziny kaczek i kur, miał kilka cech, które zdaniem naukowców okazały się kluczem do sukcesu współczesnych linii ptasich: niewielkie rozmiary ciała, dziób zamiast uzębionych szczęk, szerokie skrzydła, silne mięśnie piersiowe i krótszy ogon, który służył do sterowania lotem.

Ilustracje Rebecca Gelernter

eprasa.pl d166b0f064

linia osadów przepełnionych rzadkim pierwiastkiem irydem, przyniesionym na Ziemię przez planetoidę. Powyżej niej trafić można jedynie na szczątki ptaków należących do współczesnych linii ewolucyjnych. Wszystkie inne ptaki znikają; nigdzie nie znajdziemy już okazów z zębami, sierpowato zakrzywionymi pazurami ani długimi, prostymi ogonami. I dotyczy to całego świata, nie tylko Ameryki.

Jedyne ptaki, które przetrwały do paleogenu, należały do tzw. grupy koronnej (crown group), a więc linii ewolucyjnych współczesnych ptaków, które nadal są obecne na Ziemi, a nawet bujnie się rozwijają. Nasza wiedza na temat najstarszych przedstawicieli tej grupy pochodzi w głównej mierze z dwóch niedawno odkrytych skamieniałości datowanych na sam koniec okresu kredowego.

Pierwszym z nich jest rodzaj nazwany *Vegavis*, opisany na podstawie nagromadzenia kości tkwiących w twardej bryle skalnej wydobytej z pól lodowych Antarktydy w latach 90. XX wieku. Dopiero w zeszłym roku do przedstawicieli tego rodzaju dodany został wspaniale zachowany okaz: niemal kompletna czaszka opisana przez Christophera Torresa z University of the Pacific w Stockton w Kalifornii, Julię Clarke z University of Texas w Austin i ich współpracowników. Drugim jest *Asteriornis* – nazywany czule Wonderchicken (Cudowny Kurcza") – znaleziony w wapiennych blokach jednego z kamieniołomów przy granicy belgijsko-holenderskiej i opisany przez Daniela J. Fielda z University of Cambridge i jego zespół w 2020 roku. Oba te rodzaje należą do rodziny kaczek i kur (blaszkoziobych i grzebiących), a zatem są mocno osadzone na drzewie rodowym współczesnych ptaków.

Vegavis i *Asteriornis* są swego rodzaju ikonami ptaków, które stawiły czoła asteroidzie. Były małe, jak na ptaki tamtych czasów, miały dzioby zamiast uzębionych szczęk i żyły w wodzie lub w jej pobliżu. Ich rozwój osobniczy przebiegał szybko, gdyż od pisklęcia do dorosłego osobnika mijał zaledwie rok, o czym świadczy brak śladów rocznych pierścieni przyrostowych w kościach.

Vegavis, znany z bardziej kompletnych skamieniałości, był w dodatku sprawnym lotnikiem, z dużymi skrzydłami i silnymi mięśniami pasa barkowego. Wśród jego szczątków znaleziono również skamieniały syrinks, czyli tzw. krtań tylną, będącą narządem głosowym ptaków, położonym u podstawy tchawicy. Wskazuje to, że mógł wydawać złożone dźwięki, takie jak gdakanie, gęganie lub dowolne inne wokalizacje. Antarktyda była w kredzie znacznie cieplejsza niż dziś, a *Vegavis* był niewątpliwie silnym ptakiem, zdolnym tolerować długotrwałe zimowe zaciemnienie panujące w obszarach wokółbiegunowych. Wygląda na to, że wczesne ptaki z grupy koronnej miały dość wyjątkowe cechy i ta ich wyjątkowość mogła przełożyć się na ich sukces ewolucyjny.

CZY ISTNIAŁY KONKRETNE POWODY, dla których szybko rosnące wodne ptaki z dziobami miałyby mieć „lepsze karty" od reszty ptaków i dinozaurów? Niedawne badania przeprowadzone przez Daniela Fielda, Dereka Larsona z University of Toronto i ich współpracowników sugerują, że kluczowe znaczenie miały dwa czynniki: siedlisko i dieta. Los zwierząt pod koniec kredy mógł zależeć od tego, gdzie żyły i czym się odżywiały. Ptaki z grupy koronnej miały akurat to, co w warunkach kryzysu okazało się najbardziej przydatne.

Rozważmy najpierw siedlisko. Skutki uderzenia planetoidy dotknęły wszystkie zakątki Ziemi, ale nigdzie niebezpieczeństwo nie było tak wielkie, jak w lasach. To na nie spadły wszystkie nieszczęścia: najpierw zostały zdziesiątkowane przez fale uderzeniowe (im bliżej impaktu, tym bardziej), a w ciągu kolejnych dni i tygodni, już na całym świecie, przez pożary i kwaśne deszcze. Jeśli nawet któreś drzewo przetrwało ten atak, zostało wkrótce pozbawione światła słonecznego, bez którego fotosynteza jest niemożliwa. Zapis kopalny mówi o czymś jeszcze – pladze grzybów, które opanowały butwiejące i rozkładające się drzewa na pogorzeliskach. Minęły zapewne setki lat, zanim nowe drzewa wyrosły w miejsce starych, gdy atmosfera znów zaczęła przepuszczać promienie słoneczne.

Nadrzewność dla zwierząt z późnej kredy to był prosty przepis na kłopoty. Wiele kredowych ptaków, zwłaszcza te archaiczne, o długich ogonach, traktowało lasy jako uprzywilejowane miejsca do życia. Ale nie *Vegavis*, *Asteriornis* i inne wczesne ptaki koronne, które preferowały środowiska wodne i przybrzeżne na lądzie. Tam, mimo zniszczeń i zagrożeń poimpaktowych, szanse przeżycia były większe.

Spójrzmy teraz na dietę. Kiedy nadeszła długa zima, ekosystemy zbudowane na fundamencie prowadzących fotosyntezę roślin załamały się. Kiedy rośliny obumarły, roślinożercom zabrakło pożywienia i wkrótce nadeszła śmierć. Następne w kolejce były zwierzęta mięsożerne i proces postępował a górę łańcucha pokarmowego, aż cała misterna sieć ekologiczna się rozpadła. Spośród dostępnych zasobów roślinnych pozostał jeden: nasiona.

Większość roślin obumarła szybko, a zwierzęta, które zjadały liście, łodygi, pędy, owoce lub inne ich części, pozostały z pustymi brzuchami. Ale nasiona to inna historia. Jak pokazują przykłady dzisiejszych katastrof, nasiona mogą przetrwać w glebie przez dziesięciolecia i umożliwić ekosystemom odrodzenie się po pożarach lub erupcjach wulkanicznych. Ponieważ ptaki z grupy koronnej miały szpiczaste, ruchliwe i wprawne dzioby, mogły skorzystać z nasiennej bonanzy, podczas gdy większość innych zwierząt – w tym archaiczne uzębione ptaki – nie była do tego zdolna.

Podsumujmy: przetrwanie późnokredowego wymierania oznaczało wygraną w szalonej grze w pokera. Każdy gatunek zasiadał przy stoliku ze znaczonymi kartami: gdzie żył, co jadł, jak się rozwijał i zachowywał. Każdy komplet kart był z góry ustalony – nie można było dobrać nowych, ponieważ brakowało czasu na adaptacje poprzez zwykłe procesy doboru naturalnego, gdzie geny przez wiele pokoleń kształtują sukces lub porażkę.

Zasady gry były proste, ale brutalne: zależały od tego jaką kartę wykładałeś w momencie katastrofy. Jeśli oznaczała powolny wzrost, nieumiejętność kopania nor ani poszukiwania schronienia, życie na drzewach lub wzmożony apetyt (zwłaszcza na rośliny), to gra od razu była skończona. Dinozaury nieptasie, w tym większość form upierzonych, znalazły się w tej trudnej sytuacji, pomimo ich zdecydowanej dominacji przez poprzednie 150 mln lat. I podobnie było z wieloma

Przetrwanie późnokredowego wymierania oznaczało wygraną w szalonej grze w pokera.

eprasa.pl d166b0f064

prawdziwymi ptakami, również tymi zdolnymi do aktywnego lotu.

Lecz jeśli wzrost był szybki, znajdywanie schronienia lub ucieczka przed niebezpieczeństwem nie stanowiły problemu, habitat był wodny lub naziemny, a dieta składała się z nasion, to każda karta okazywała się dobra i zwiększała szanse na sukces przy stole. A jeśli traf pozwolił mieć komplet takich kart? To był strzał w dziesiątkę, lub raczej poker królewski. Ptaki z grupy koronnej akurat miały taki zestaw w ręku i to one wyszły z gry zwycięsko – uniknęły całkowitego wymarcia, przeżyły kolejne dni po katastrofie i dostały szansę na założenie nowej dynastii (fruwających) dinozaurów.

PO IMPAKCIE, gdy minęły i jego bezpośrednie skutki, rozwiały się chmury sadzy i pyłów, a słońce na nowo oświetliło zniszczoną Ziemię, rozpoczął się powolny proces przywracania na niej życia. Brutalnie potraktowana biosfera odradzała się we wszelkich obszarach. Z nasion wyrastały drzewa, z drzew lasy, z lasów złożone ekosystemy. W ciągu kilku tysięcy lat Ziemia znów wypełniła się życiem i tętniła śpiewem ptaków.

W Nowym Meksyku, ponad kredowymi skałami przepełnionymi kośćmi dinozaurów, występują warstwy paleogeńskich mułowców, będące osadami dawnych rzek i bagnisk. Również i one zawierają liczne skamieniałości – lecz nie ma tam już ostrych jak sztylety zębów tyranozaurów, ani gigantycznych kręgów zauropodów, za to łatwo natknąć się na znacznie mniejsze szczęki i zęby ssaków. Nasi włochaci przodkowie też brawurowo rozegrali swoją partię pokera, gdy uderzyła planetoida: byli drobnymi zwierzętami, umieli kopać nory, ich ciała szybko przyrastały, a co do diety, to nie byli wybredni.

Długi okres oczekiwania w cieniu dinozaurów skończył się dla maleńkich ssaków, rzadko, jeśli w ogóle, osiągających rozmiary większe niż kot domowy, po 150 mln lat i nagle nadarzyła się wyjątkowa okazja. Ssaki zaczęły rozpychać się w opustoszałych po dinozaurach niszach i już milion lat po uderzeniu planetoidy można było spotkać ich formy osiągające wielkość krów i koni. Ale nie były same.

Każdej wiosny zapuszczam się na pustkowia Nowego Meksyku i przez lata nabrałem biegłości w wypatrywaniu zębów paleogeńskich ssaków. Ale jakkolwiek bym się starał, nigdy nie udało mi się dorównać mojemu przyjacielowi Thomasowi Williamsonowi, niedawno emerytowanemu kustoszowi New Mexico Museum of Natural History and Science, z jego łupami. Williamson jest światowym ekspertem w dziedzinie tych ssaków, które zastąpiły dinozaury – zaszczyt ten zdobył dzięki dziesięcioleciom wyczerpujących wędrówek przez pustynię, kiedy to z oczami wbitymi w ziemię wypatrywał wszelkich ich skamieniałych szczątków. Był tak nimi zafascynowany, że zawsze zabierał ze sobą na pustynię swych synów – bliźniaków, Ryana i Taylora – łącząc opiekę nad dziećmi z poszukiwaniem skamieniałości. Edukował ich tak, jak później i mnie przekazywał swą głęboką wiedzę.

Podczas jednej z takich wycieczek, gdy bliźniaki miały już po 10 lat, Taylor znudził się po wielu godzinach bezowocnych poszukiwań. Oddalił się, by poszukać pospolitych tam grzechotników. Nie mając szczęścia, zatrzymał się na chwilę, by skorzystać z ustronnego miejsca. To właśnie wtedy natknął się na prawdziwy skarbiec ze skamieniałościami – niezliczone kawałki kości wszelkich kształtów i rozmiarów wystawały z osadów na dnie pustyni. Jego radosne okrzyki niosły się echem po pustych kanionach, docierając do uszu ojca.

Przekonany o wadze znaleziska, Williamson wrócił później w to miejsce z łopatą, by zebrać worki skał, które przesiał przez sita w muzeum, wyławiając każdą, nawet najdrobniejszą skamieniałość. Wśród wszelkich możliwych kości znajdowały się dość niezwykle okazy: o cienkich jak papier ściankach i puste w środku. Jedna z nich wyglądała jak zmiażdżony kikut kości ogonowej, inne zawierały zrośnięte fragmenty kości dłoni i nadgarstka. Nie były to szczątki ssaków; należały do ptaka.

Williamson i dwaj jego koledzy, Daniel Ksepka z Bruce Museum w Greenwich w stanie Connecticut i Thomas Stidham, obecnie pracujący w Austin College w Teksasie, nadali temu osobnikowi nazwę *Tsidiiyazhi abini* (co w języku nawaho oznacza „mały poranny ptaszek") na pamiątkę tych stworzeń, które w czasach paleogeńskiej dżungli, przekształconej potem w pustynię, czuły się tam jak u siebie w domu. *Tsidiiyazhi abini*, który żył zaledwie kilka milionów lat po uderzeniu planetoidy, był drobnym nadrzewnym ptaszkiem, nie większym od papużki falistej. Wrócił do nadrzewnego życia po odrodzeniu się lasów. Był świetnie przystosowany do egzystencji wśród koron drzew – widać to choćby po jego zdolności do rotacji dwóch palców do tyłu, dla osiągnięcia pewniejszego chwytu gałęzi. Tę umiejętność dzielił z żyjącymi do dziś w subsaharyjskiej Afryce sześcioma gatunkami ptaków należącymi do rzędu czepig (*Coliiformes*), które również charakteryzują się zdolnością rotacji palców.

Znalezienie bliskiego krewnego czepig w Nowym Meksyku kilka milionów lat po uderzeniu planetoidy ma zaskakujące implikacje. Linia czepig zagnieżdżona jest głęboko na drzewie rodowym współczesnych ptaków, co oznacza, że zanim się one pojawiły, musiały już istnieć na Ziemi linie bardziej prymitywne, choć też należące już do grupy koronnej. Wraz z paleogeńskimi czepigami musieli więc współwystępować wcześni przedstawiciele innych linii ewolucyjnych, m.in. flamingów i perkozów, jastrzębi i orłów, gołębi i sów. I rzeczywiście, jeśli przeanalizujemy najnowsze drzewa rodowe współczesnych ptaków – takie jak to przedstawione w 2024 roku przez Josefin Stiller z Københavns Universitet i jej współpracowników, oparte na porównaniu całych genomów setek gatunków – zobaczymy, że wiele głównych, żyjących do dziś grup powstało tuż po późnokredowym wymieraniu, podczas burzliwego rozwoju (radiacji) współczesnych ptaków.

Z punktu widzenia ptaków planetoida zmieniła wszystko: ich dinozaurowi kuzyni odeszli, ssaki zyskały niewidziane od milionów lat możliwości, a ptaki mogły w spokoju eksperymentować. Próbowały więc nowych stylów lotu, niedostępnej wcześniej diety, środowisk zajmowanych dotąd przez innych – i szybko się różnicowały, aż do osiągnięcia dzisiejszego bogactwa: ponad 10 tys. gatunków, dwa razy więcej niż ssaków.

Historia dotąd opiera się głównie na analizie DNA i budowanych na tej podstawie drzewach rodowych. Poza *Tsidiiyazhi* Taylora i kilkoma innymi rzadkimi okazami, wciąż znaleźliśmy bardzo niewiele kopalnych śladów wczesnopaleogeńskich ptaków. Powód jest prosty: były to drobne stworzenia, o delikatnych szkieletach, które miały, jak mówią paleontolodzy, niewielki potencjał fosylizacji. Niewielki, ale nie zerowy. Jakieś skamieniałości tych ptaków na pewno tkwią gdzieś w skałach, czekając na nowe pokolenie paleontologów (lub ich dzieci), którzy będą mieć więcej szczęścia lub umiejętności. Sam z pewnością będę ich wypatrywał, gdy następnym razem, wraz z moimi studentami, ruszymy na łowy do Nowego Meksyku. ■

Z NASZEGO ARCHIWUM

Kto mi dał skrzydła?
Stephen Brusatte; luty 2017

eprasa.pl d166b0f064

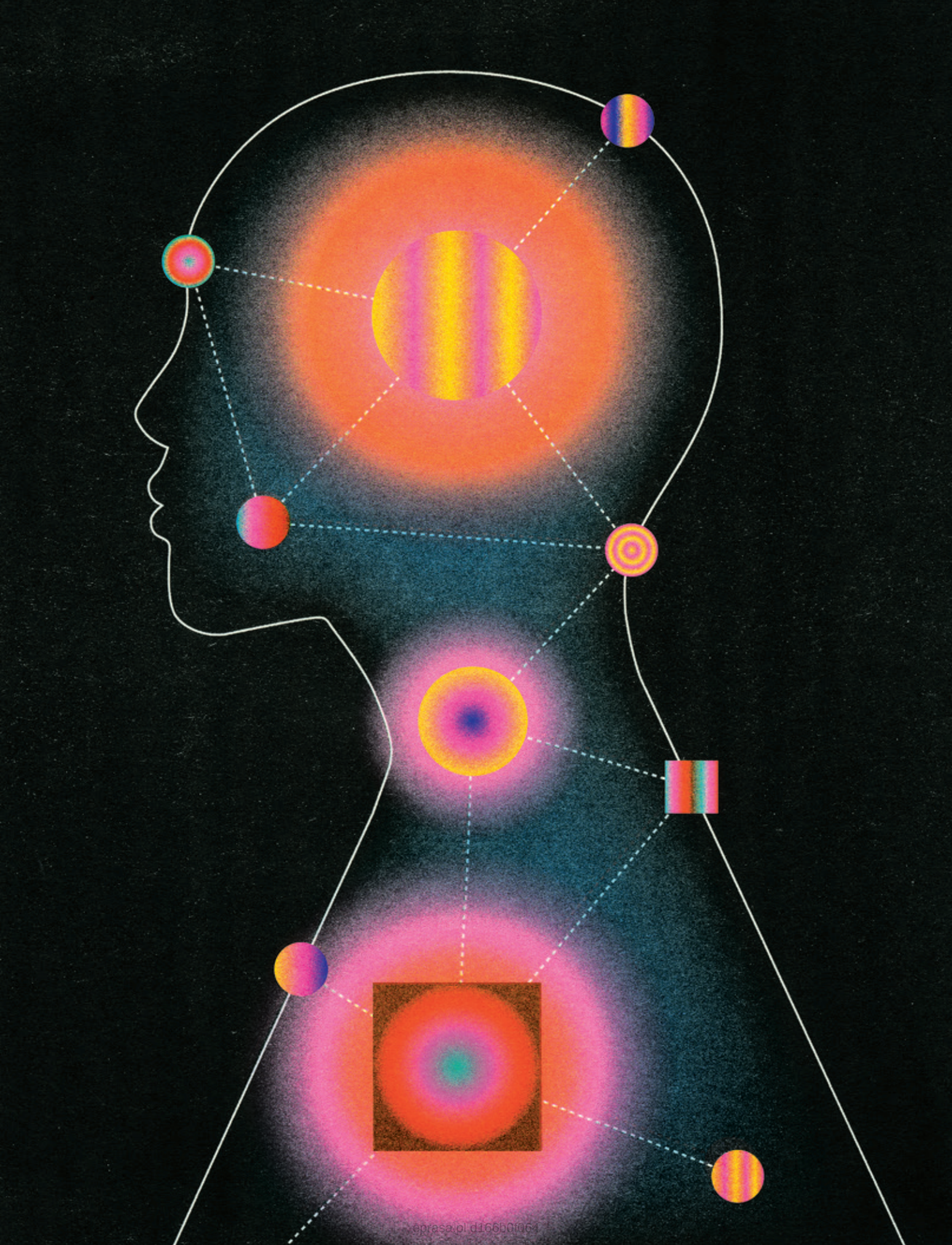
PSYCHOLOGIA

Nasz ósmy zmysł

Zaburzenia interocepcji, zdolności interpretowania wewnętrznego stanu ciała, mogą stanowić podłoże wielu schorzeń psychicznych – takich jak lęk, zaburzenia odżywiania i stres pourazowy

DIANA KWON
Ilustracje DTAN STUDIO

eprasa.pl d166b0f064



ZANIM **MAGGIE MAY**, 30-kilkuletnia mieszkanka stanu Arkansas, trafiła w 2024 roku do kliniki psychiatrycznej, przez lata zmagała się z atypową anoreksją – zaburzeniem odżywiania prowadzącym do skrajnego ograniczania jedzenia i głębokich zaburzeń obrazu własnego ciała. (Imię zostało zmienione ze względu na prywatność.) Próbowała tradycyjnych metod leczenia z udziałem psychoterapeuty i dietetyka, lecz nie przyniosły one poprawy. Dlatego gdy usłyszała o badaniu nowej, nietypowej terapii, natychmiast postanowiła wziąć w nim udział.

Terapia była faktycznie nietuzinkowa: oprócz rozmów terapeutycznych May uczestniczyła w kilku sesjach w komorze deprywacji sensorycznej – ciemnym, dźwiękoszczelnym pomieszczeniu, w którym unosiła się na płytkiej wodzie podgrzanej do temperatury jej skóry i nasyconej solami Epsom, co zwiększało wyporność. Celem było ograniczenie bodźców zewnętrznych, aby mogła skupić się na odczuciach płynących z wnętrza ciała – na rytmicznym biciu serca, łagodnym przepływie powietrza w płucach i innych sygnałach fizjologicznych.

Zdolność do odbierania sygnałów z wnętrza ciała nazywa się interocepcją lub czuciem trzewnym. Niektórzy radzą sobie z nią lepiej niż inni, a jej poziom może się zmieniać w czasie. Wydarzenia życiowe mogą ją wzmacniać lub osłabiać. Sahib Khalsa, psychiatra i neurobiolog z University of California w Los Angeles, i jego współpracownicy uważają, że zaburzenia interocepcji mogą być jednym z głównych mechanizmów leżących u podstaw anoreksji. Postanowili więc wykorzystać ponownie terapię opracowaną dekady temu – flotation-REST (czyli terapię ograniczonej stymulacji środowiskowej) – i w 2018 roku rozpoczęli jej badania kliniczne. Według ich hipotezy u osób z anoreksją oraz niektórymi innymi zaburzeniami niedostateczne poleganie na sygnałach wewnętrznych prowadzi do nadmiernego polegania na sygnałach zewnętrznych – takich jak wygląd w lustrze – co ostatecznie powoduje zniekształcony obraz ciała, jeden z kluczowych czynników tych chorób. „Kiedy znajdują się w kabinie floatingowej, odczuwają sygnały wewnętrzne znacznie silniej – mówi Khalsa. – To doświadczenie może zmienić ich rozumienie relacji między mózgiem a ciałem.”

W badaniach powiązano zaburzenia tego wewnętrznego zmysłu z wieloma różnymi schorzeniami, w tym z zaburzeniami lękowymi, zespołem stresu pourazowego (PTSD) oraz osobowością borderline. Niektórzy badacze i klinicyści są dziś zdania, że problemy z interocepcją mogą przyczyniać się do wielu chorób psychicznych. Równolegle z tymi badaniami – których projektowanie jest trudne również dlatego, że wciąż dokładnie nie wiadomi, czym jest interocepcja – inne zespoły opracowują terapie mające na celu wzmocnienie tego wewnętrznego zmysłu i poprawę dobrostanu psychicznego.

Całość tych badań prowadzi do jednego zasadniczego wniosku: ciało i umysł są nierozerwalnie ze sobą powiązane. „Zawsze myśleliśmy o zaburzeniach psychicznych jako o czymś, co dzieje się w mózgu lub umyśle” – mówi Camilla Nord, profesor neuronauki poznawczej na University of Cambridge. Jednak, jak dodaje, klinicyści od dawna zauważają, że osoby z zaburzeniami psychicznymi często zgłaszają objawy fizyczne, takie jak zaburzenia pracy serca, oddychania czy apetytu.

IDEA, ŻE CIAŁO MOŻE WPŁYWAĆ na umysł, sięga setek lat wstecz. W XIX wieku dwaj psychologowie, działający niezależnie od siebie na przeciwnych krańcach świata, zaproponowali wówczas nowatorską koncepcję: emocje są wynikiem reakcji ciała na określone zdarzenie. Teoria ta, nazwana teorią Jamesa-Langego od nazwisk jej twórców – amerykańskiego psychologa Williama Jamesa i duńskiego lekarza Carla Langego – stała w sprzeczności z dominującym wcześniej przekonaniem, że to emocje są przyczyną zmian fizjologicznych, a nie ich skutkiem.

Choć koncepcja ta spotkała się z krytyką, zainspirowała licznych badaczy. W latach 80. XX wieku nastąpił wzrost zainteresowania rolą sygnałów fizjologicznych w zaburzeniach panicznych. Badacze odkryli, że mogą wywołać ataki paniki, prosząc uczestników o wdychanie powietrza wzbogaconego w dwutlenek węgla – co przyspiesza oddech – lub podając im izoproterenol, lek zwiększający tętno.

Odkrycia te skłoniły niektórych psychologów do wniosku, że to właśnie doznania fizyczne są głównym wyzwalaczem ataków paniki. Na początku lat 90. Anke Ehlers, psycholożka z Georg-August-Universität Göttingen, wraz ze swoim zespołem przebadała dziesiątki

Diana Kwon jest niezależną dziennikarką. Zajmuje się naukami o życiu, mieszka w Berlinie.

eprasa.pl d166b0f064

osób cierpiących na zaburzenia paniczne i wykazała, że pacjenci ci lepiej wyczuwają bicie swojego serca niż osoby zdrowe – a większa świadomość tych sygnałów wiązała się z nasileniem objawów. Co więcej, niewielkie badanie pilotażowe obejmujące 17 pacjentów pokazało, że osoby wrażliwsze na te sygnały częściej doświadczały nawrotów ataków paniki. Obserwacje te wskazywały dwukierunkową zależność: nie tylko sygnały fizyczne z ciała mogą wywoływać skutki psychiczne, ale także zdolność ich odbierania i interpretowania – czyli poziom interocepcji – może mieć ogromny wpływ na zdrowie psychiczne.

W miarę upływu lat rosnąca liczba dowodów wskazuje, że interocepcja odgrywa istotną rolę w kształtowaniu emocji i dobrostanu psychicznego. Duża część tych badań koncentruje się na sercu. Z każdym uderzeniem serca krew napływa do tętnic i aktywuje receptory zwane baroreceptorami, które wysyłają do mózgu informacje o sile i tempie pracy serca.

W przełomowym badaniu z 2014 roku Hugo Critchley, neuropsychiatra z Brighton and Sussex Medical School, wraz ze swoim zespołem wykazał, że proces ten może wpływać na wrażliwość na strach. Monitorując pracę serca uczestników podczas oglądania twarzy wyrażających strach lub neutralność, badacze odkryli, że ludzie łatwiej rozpoznają przerażone twarze i oceniają je jako bardziej intensywne wtedy, gdy serce pompuje krew, niż wtedy, gdy się rozluźnia i napełnia. Osoby o wyższym poziomie lęku częściej dostrzegały strach nawet wtedy, gdy serce było w fazie rozkurczu.

Badacze wykazali również, że sygnały z ciała – takie jak rytm oddychania czy aktywność układu pokarmowego – mogą wpływać na reakcje emocjonalne. Ludzie szybciej reagują na przerażone twarze podczas wdechu niż podczas wydechu, a tempo oddychania może wpływać na to, jak ktoś odczuwa intensywność i uciążliwość bólu.

W nowszych badaniach część neuronaukowców skierowała uwagę na układ pokarmowy. W 2021 roku Nord i jej współpracownicy odkryli, że osoby, którym podano lek przeciwwymiotny wpływający na rytmy jelitowe – procesy zachodzące w żołądku wspomagające trawienie – rzadziej odwracały wzrok od obrazów przedstawiających odchody niż zwykle. Nord przypuszcza, że tego typu sygnały trzewne związane z obrzydzeniem mogą mieć znaczenie w zaburzeniach odżywiania. „Możliwe, że niektóre z tych sygnałów przyczyniają się do odczuwania niechęci wobec sygnałów sytości, sprawiając, że uczucie sytości staje się bardzo nieprzyjemne – staje się czymś, czego nie chce się doświadczać” – mówi.

ALE JAK DOKŁADNIE DOCHODZI do zaburzeń interocepcji? Wielu badaczy podejrzewa, że może to mieć związek z błędnym działaniem przewidywań naszego mózgu. Interocepcja, podobnie jak inne zmysły, dostarcza informacji do mózgu, który – jak sugerują niektórzy neuronaukowcy – działa jak maszyna predykcyjna: nieustannie wykorzystuje wcześniejszą wiedzę o świecie, aby interpretować napływające sygnały. W przypadku interocepcji mózg próbuje rozszyfrować przyczynę doznań wewnętrznych. Jeśli jego interpretacje

Tempo oddychania może wpływać na to, jak ktoś odczuwa intensywność i uciążliwość bólu.

są błędne, mogą prowadzić do negatywnych skutków psychicznych – na przykład gdy ktoś mylnie zakłada, że jego tętno jest podwyższone, może zacząć odczuwać lęk mimo braku zagrożenia. A jeśli ktoś nauczył się kojarzyć uczucie głodu z obrzydzeniem, może drastycznie ograniczać ilość spożywanego pokarmu.

Sygnały wewnętrzne są znacznie bardziej niejednoznaczne niż bodźce zewnętrzne odbierane przez inne zmysły, takie jak wzrok czy słuch. Dlatego wcześniejsza wiedza mózgu o tych sygnałach ma szczególne znaczenie, mówi André Schulz, profesor psychologii na Université du Luxembourg.

Aby lepiej zrozumieć i ocenić potencjalne rozbieżności między subiektywnymi a obiektywnymi miarami sygnałów z naszego ciała, badacze opracowali model opisujący różne wymiary przetwarzania interoceptywnego. W 2015 roku Sarah Garfinkel, wówczas badaczka odbywająca staż podoktorski w zespole Critchleya w Brighton and Sussex, wraz ze współpracownikami zaproponowała model wyraźnie rozróżniający trzy kategorie interocepcji: dokładność interoceptywną (czyli to, jak dobrze ktoś obiektywnie radzi sobie z zadaniami takimi, jak wykrywanie bicia serca), wrażliwość interoceptywną (subiektywną ocenę własnych zdolności w tym zakresie) oraz świadomość interoceptywną (czyli stopień, w jakim ta samoocena odpowiada rzeczywistym umiejętnościom).

Garfinkel, obecnie pracująca na University College London, i Critchley wraz ze współpracownikami wykazali, że u dorosłych osób w spektrum autyzmu istnieje związek między lękiem a słabą zdolnością przewidywania własnych umiejętności interoceptywnych – w tym przypadku wrażliwości na bicie serca. W badaniu obejmującym 40 osób (w tym 20 z autyzmem) stwierdzono, że osoby autystyczne gorzej radziły sobie z zadaniem wykrywania pulsu i częściej przeceniały swoje zdolności interoceptywne niż osoby bez autyzmu. Ta rozbieżność była większa u osób o wyższym poziomie lęku, co sugeruje, że błędy w przewidywaniu sygnałów z ciała mogą przyczyniać się do odczuwania lęku, mówi Critchley.

W ostatnich latach lista zaburzeń psychicznych powiązanych z dysfunkcjami interocepcji znacznie się wydłużyła. Niektóre z nich, takie jak zaburzenia paniczne i lękowe, wiążą się z nadmiernym skupieniem na procesach zachodzących w ciele; inne, jak osobowość borderline czy schizofrenia, mogą wynikać z osłabionej zdolności odczuwania tych sygnałów.

W przeglądzie badań nad interocepcją opublikowanym w 2021 roku Nord i jej współpracownicy przeanalizowali 33 badania obejmujące łącznie ponad 1200 uczestników. Wykazali, że osoby z różnymi zaburzeniami psychicznymi – w tym z zaburzeniami lękowymi i schizofrenią – wykazują podobne zmiany w wyspie (insula), kluczowym obszarze mózgu związanym z interocepcją podczas zadań dotyczących odczuwania sygnałów

eprasa.pl d166b0f064

z ciała. Ogólnie jednak wyniki badań są niejednoznaczne. „Jeśli spojrzeć na literaturę, tyle samo badań znajduje związek na przykład z lękiem, co go nie znajduje albo wskazuje zależność odwrotną" – mówi Jennifer Murphy, psycholożka z University of Surrey w Anglii.

Różnice te mogą wynikać z trudności w badaniu interocepcji, którą trudno zarówno manipulować, jak i mierzyć. Weźmy na przykład interocepcję sercową. W wielu wcześniejszych badaniach uczestnicy mieli liczyć własne uderzenia serca, ale test ten może mierzyć raczej ich wyobrażenie o tętnie niż rzeczywistą zdolność jego odczuwania. Problem ten szczególnie wyraźnie pokazano w badaniu z 1999 roku, w którym osoby z rozrusznikami serca raportowały swoje tętno, podczas gdy eksperymentatorzy – za ich zgodą – potajemnie zmieniali tempo pracy urządzenia. Deklarowane przez uczestników wartości nie odpowiadały rzeczywistym zmianom; większy wpływ miały ich przekonania o tym, jak powinno zmieniać się tętno.

Aby pokonać te ograniczenia, naukowcy opracowują nowe metody badawcze. Micah Allen, neuronaukowiec z Aarhus Universitet w Danii, wraz ze swoim zespołem stworzył zadanie polegające na rozróżnianiu tętna, w którym uczestnicy oceniają, czy seria dźwięków jest szybsza czy wolniejsza niż ich aktualny puls. Pozwala to dokładniej zmierzyć wrażliwość na bicie serca. Allen i jego współpracownicy testują obecnie w podobny sposób interocepcję oddechową. Za pomocą sterowanego komputerowo urządzenia badacze mogą precyzyjnie zmieniać opór powietrza odczuwany podczas wdechu przez rurkę. Dzięki temu mogą określić, jak dobrze dana osoba wykrywa zmiany w oddychaniu.

Korzystając z tych nowych metod, zespół Allena odkrył, że zdolności interoceptywne nie przenoszą się automatycznie między różnymi funkcjami organizmu. W niedawnym badaniu obejmującym 241 osób wykazano, że zdolność odczuwania własnego tętna nie była powiązana z wynikami w zadaniu dotyczącym oddychania. Badacze łączą także testy behawioralne z pomiarami aktywności mózgu. Jednym z przykładów jest tzw. potencjał wywołany uderzeniem serca – sygnał w mózgu pojawiający się przy każdym uderzeniu. Wykazano, że zmiany tych sygnałów, które można rejestrować nieinwazyjnymi metodami, takimi jak elektroencefalografia, są związane zarówno z dokładnością wykrywania pulsu, jak i zdolnością przetwarzania emocji. Podobne sygnały mózgowe związane z innymi narządami, takimi jak jelita czy układ oddechowy, również wiążą się ze zdolnością odczuwania sygnałów z tych obszarów.

Badania te pokazują, że zdolności interoceptywne nie są jednolite w obrębie organizmu – różnią się w zależności od funkcji, od oddychania po rytm serca i pracę jelit. Dlatego trudno jednoznacznie stwierdzić, czy sprzeczne wyniki badań nad rolą interocepcji w zaburzeniach psychicznych oznaczają brak istotnego związku, czy raczej to, że badacze nie stosowali właściwych metod lub nie analizowali odpowiednich systemów czy poziomów interocepcji, mówi Murphy. „Jest mało prawdopodobne, aby każde zaburzenie wiązało się z tym samym aspektem interocepcji." Wyjaśnienie, w jaki dokładnie sposób interocepcja jest zaburzona u osób z chorobami psychicznymi, pozostaje aktywnym obszarem badań. Niektórzy eksperci uważają, że odpowiedzi dostarczą być może badania nad terapiami sprawdzającymi, czy ingerencje ukierunkowane na ten wewnętrzny zmysł mogą poprawić zdrowie psychiczne. Wiele takich badań jest obecnie w toku.

„Aby zrozumieć, czym jest interocepcja, musimy nią manipulować – mówi Allen. – A aby zrozumieć jej rolę jako biomarkera, czyli czegoś związanego ze zdrowiem psychicznym, również musimy nauczyć się nią manipulować."

Jane Green wie z własnego doświadczenia, że stresujące sytuacje mogą natychmiast wpływać na ciało. W jej przypadku – osoby w spektrum autyzmu – przeczytanie złej wiadomości lub bezpośrednia konfrontacja twarzą w twarz mogą uruchomić w organizmie reakcję łańcuchową: wyrzut adrenaliny, a następnie kołatanie serca, wzdęcia, swędzenie i inne objawy fizyczne.

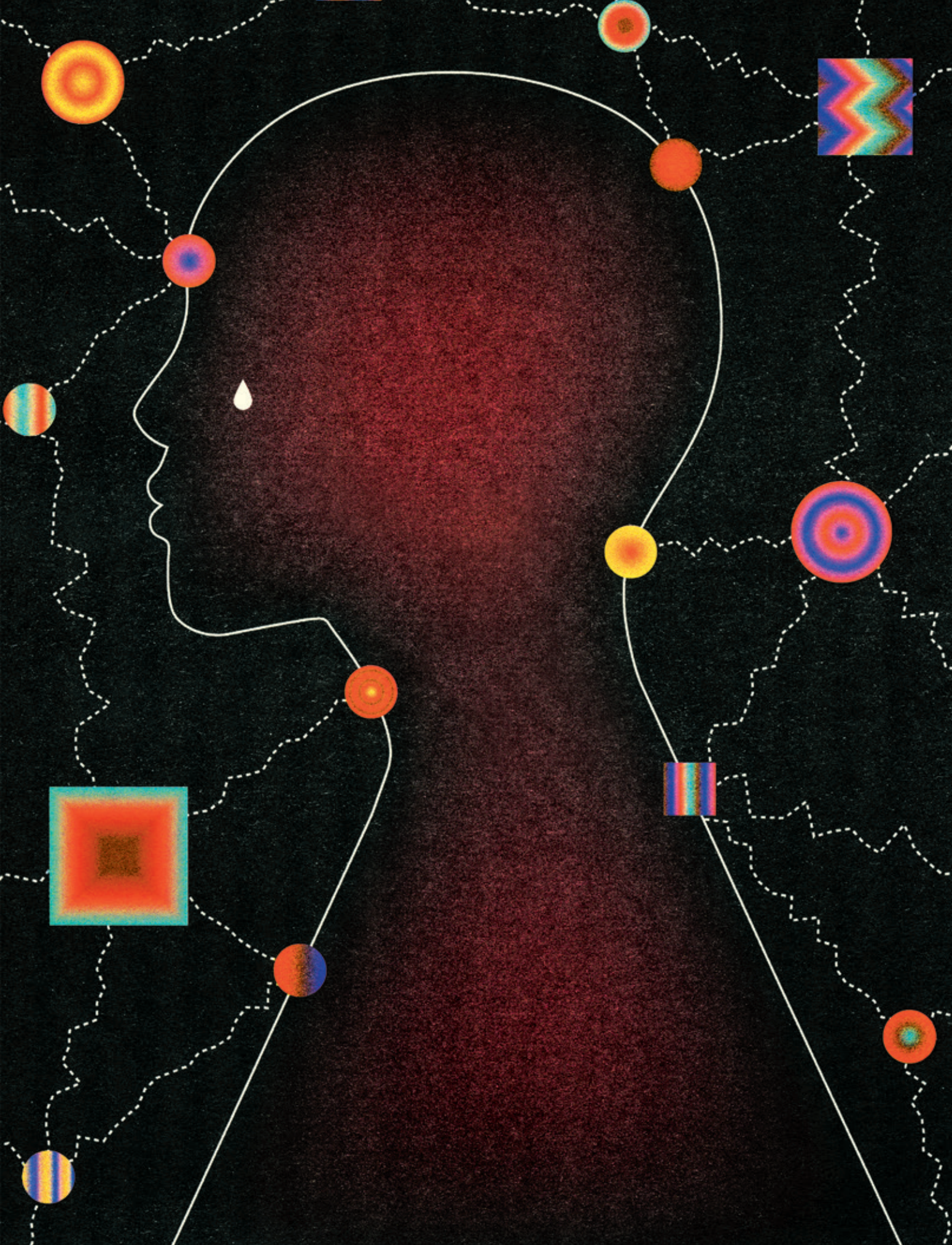
Takie reakcje mogą być związane z trudnością w odczytywaniu sygnałów płynących z własnego ciała. W 2019 roku Green wzięła udział w badaniu klinicznym, w którym Hugo Critchley, Sarah Garfinkel i ich współpracownicy sprawdzali właśnie tę kwestię – czy zmniejszenie rozbieżności między postrzeganymi a rzeczywistymi zdolnościami interoceptywnymi może poprawić poziom lęku u dorosłych osób w spektrum autyzmu. Interwencja opierała się na zadaniach związanych z wykrywaniem bicia serca.

Po przeszkoleniu i przebadaniu 121 uczestników (z których połowa została losowo przydzielona do grupy kontrolnej wykonującej zadania niezwiązane z interocepcją) w sześciu sesjach zespół napisał w publikacji z 2021 roku, że terapia skutecznie zmniejszyła poziom lęku u uczestników, a efekt ten utrzymywał się przez co najmniej trzy miesiące.

Udział w badaniu był dla Green „prawdziwym punktem zwrotnym" w radzeniu sobie z lękiem. „Teraz rozumiem, że kiedy jestem zestresowana, niezależnie od tego, czy mi się to podoba, moje ciało reaguje" – wyjaśnia. Choć nadal doświadcza reakcji fizycznych w emocjonalnie trudnych sytuacjach, są one zazwyczaj słabsze niż przed terapią. A świadomość tego, co dzieje się w jej ciele, pozwala jej na lepszą kontrolę, dodaje. Green jest przewodniczącą i założycielką organizacji SEDSConnective, wspierającej osoby neuroatypowe z chorobami tkanki łącznej, takimi jak zespoły Ehlersa-Danlosa. Schorzenia te często współwystępują z zaburzeniami lękowymi, dlatego Green promuje obecnie terapie oparte na interocepcji jako formę wsparcia dla dotkniętych nimi osób.

May, która uczestniczyła w badaniu nad terapią flotation-REST, doświadczenie odcięcia od bodźców zewnętrznych pomogło przetrwać pobyt w klinice leczenia zaburzeń odżywiania, gdzie była zmuszana do jedzenia – a tym samym do przybierania na wadze. „Pracujesz nad problemami, które doprowadziły cię do leczenia, ale jednocześnie twoje poczucie dyskomfortu wobec własnego ciała staje się coraz silniejsze" – mówi. W komorze flotacyjnej świadomość fizycznego ciała May jakby się rozmywała, co zmniejszało część negatywnych odczuć wobec samej siebie i uspokajało

eprasa.pl d166b0f064



Zdolności interoceptywne są szczególnie podatne na kształtowanie we wczesnym dzieciństwie i okresie dojrzewania.

natłok myśli. „Nie czujesz, gdzie kończy się twoje ciało, a zaczyna woda – mówi. – Ponieważ unosisz się na wodzie bez żadnego wysiłku, tracisz też poczucie, że twoje ciało wywołuje u ciebie dyskomfort."

Terapia flotation-REST daje obiecujące wyniki: w badaniu klinicznym obejmującym 68 osób hospitalizowanych z powodu anoreksji, losowo przydzielonych do terapii lub grupy placebo, zespół Khalsy wykazał, że po sześciu miesiącach osoby poddane terapii deklarowały mniejsze niezadowolenie z własnego ciała niż osoby z grupy kontrolnej. Badacze opracowali również wersję tej terapii dla osób z lękiem i depresją. W pierwszych badaniach klinicznych interwencja ta wydawała się łagodzić objawy tych zaburzeń. Obecnie naukowcy sprawdzają, czy może ona pomóc także osobom z zaburzeniami związanymi z używaniem amfetaminy.

Równolegle badane są inne terapie oparte na interocepcji. Na Emory University zespół kierowany przez psycholożkę kliniczną Negar Fani analizuje efekty połączenia interwencji mindfulness z urządzeniem do noszenia na ciele, które generuje wibracje zsynchronizowane z oddechem użytkownika. W grupie osób po traumatycznych doświadczeniach taka interwencja bardziej zwiększała zaufanie do sygnałów z własnego ciała niż sama praktyka uważności. Nawet długo po zakończeniu sesji uczestnicy potrafili przywołać odczucie tych zsynchronizowanych z oddechem wibracji, mówi Fani. „Pomaga im to wrócić do rzeczywistości, do chwili obecnej. Mogą sięgnąć do sygnałów z ciała i zdecydować, co z nimi zrobić." Zespół prowadzi obecnie kolejne badanie, aby sprawdzić, czy metoda ta poprawia dobrostan psychiczny u osób po traumie.

W innym trwającym projekcie Nord współpracuje z Garfinkel nad serią badań mających ustalić, w których układach ciała – i w których z trzech wymiarów (dokładności, wrażliwości i świadomości) – interocepcja ulega zmianie u osób z różnymi zaburzeniami psychicznymi, takimi jak lęk czy depresja. W ramach tych badań testuje się różne interwencje, w tym trening interoceptywny, terapia mindfulness (mająca poprawić połączenie między umysłem a ciałem) oraz stymulacja wyspy mózgu za pomocą skupionych ultradźwięków.

NAUKOWCY WCIĄŻ MAJĄ WIELE PYTAŃ dotyczących interocepcji. Jednym z kluczowych jest to, skąd biorą się różnice w jej funkcjonowaniu. Część zdolności interoceptywnych może kształtować się już we wczesnym niemowlęctwie. Badania wykazały, że nawet trzymiesięczne niemowlęta różnią się czasem, jaki poświęcają na obserwowanie kolorowych kształtów poruszających się w rytmie ich serca lub niesynchronicznie – co wskazuje, że zdolność odczuwania rytmu serca pojawia się bardzo wcześnie.

Interakcje z opiekunami w pierwszych latach życia mogą odgrywać kluczową rolę w tym, jak dobrze ktoś „stroi się" ze swoim ciałem. Sposób, w jaki rodzic reaguje na sygnały niemowlęcia – głód, zmęczenie czy ból – może wpływać na to, jak dobrze dziecko nauczy się interpretować te sygnały w późniejszym życiu. Choć bezpośrednie dowody na tę hipotezę są ograniczone, badania pokazują, że środowisko opieki we wczesnym dzieciństwie wpływa na reakcje organizmu na stres.

Na rozwój interocepcji mogą wpływać także inne czynniki, takie jak płeć czy warunki środowiskowe, w tym trudne doświadczenia we wczesnym latach życia. Niektóre badania świadczą, że szczególnie ważną rolę odgrywają negatywne doświadczenia, zwłaszcza przewlekła trauma interpersonalna w dzieciństwie. Klinicyści od dawna zauważają, że traumatyczne wydarzenia mogą prowadzić do odłączenia się od ciała, tzw. dysocjacji, a część badaczy uważa, że ten stan może z czasem zaburzać procesy interoceptywne. U części osób zmiany te mogą wiązać się ze zwiększonym ryzykiem samookaleczeń i samobójstw. Na przykład w badaniu z 2020 roku wykazano, że osoby z historią prób samobójczych oraz zdiagnozowanymi zaburzeniami psychicznymi – takimi jak lęk, PTSD czy depresja – gorzej radziły sobie z zadaniem wykrywania bicia serca niż osoby z podobnymi problemami, które nie podejmowały prób odebrania sobie życia.

Zdolności interoceptywne mogą zmieniać się w czasie. Szczególnie podatne na kształtowanie są w pewnych okresach życia, takich jak wczesne dzieciństwo, gdy uczymy się interpretować sygnały z ciała, czy okres dojrzewania, kiedy organizm przechodzi intensywne zmiany. Może to być jeden z mechanizmów wyjaśniających, dlaczego „są to okresy zwiększonego ryzyka rozwoju zaburzeń psychicznych" – mówi Murphy.

Granice interocepcji dopiero zaczynamy rozumieć. W ostatnich latach naukowcy zainteresowali się związkiem między układem odpornościowym a mózgiem, które pozostają w ciągłej komunikacji. Coraz więcej badań wskazuje, że mózg monitoruje i wpływa na procesy zachodzące w układzie odpornościowym, a ten z kolei oddziałuje na mózg. Zaburzenia funkcjonowania układu odpornościowego – zwłaszcza stan zapalny – powiązano z chorobami psychicznymi, takimi jak depresja, psychozy czy zaburzenia pourazowe. Układ odpornościowy może wpływać na nasze stany psychiczne w znacznie dłuższej perspektywie niż na przykład serce, które oddziałuje na emocje w czasie rzeczywistym.

Zrozumienie mechanizmów interocepcji może doprowadzić do opracowania skuteczniejszych terapii chorób psychicznych – i fizycznych. Niektórzy badacze uważają, że wiedza ta może pomóc także w leczeniu objawów somatycznych. Na przykład Schulz i jego zespół badają obecnie terapie oparte na interocepcji w leczeniu zespołu przewlekłego zmęczenia (znanego jako CFS/ME – chronic fatigue syndrome/myalgic encephalomyelitis), złożonego schorzenia powodującego wiele objawów, w tym skrajne wyczerpanie. „Interocepcja ma ogromne znaczenie dla zdrowia jako całości – mówi Fani. – Nie możemy jej już dłużej ignorować." ■

Z NASZEGO ARCHIWUM

Budowanie świata od środka. György Buzsáki; sierpień 2022

eprasa.pl d166b0f064

POSZERZAMY HORYZONTY



Już w sprzedaży w punktach z prasą

Numer 6/2026
KUP TERAZ

Bieżące wydanie możecie kupić także we wszystkich sklepach sieci Lidl.

Prenumerata cyfrowa:
projektpulsar.pl

Prenumerata papierowa:
sklep.polityka.pl/wiz

CREDIT

eprasa.pl d166b0f064



Pozornie niepozorny problem matematyczny

Wymiana klucza Diffiego-Hellmana zabezpiecza praktycznie wszystko – od zwykłych wiadomości po rządowe tajemnice

JACK MURTAGH

30 PAŹDZIERNIKA 1942 ROKU grupa niszczycieli brytyjskiej Royal Navy polowała na nazistowski okręt podwodny w pobliżu delty Nilu. Zrzucano bomby głębinowe dopóty, dopóki uszkodzony okręt nie wypłynął na powierzchnię, zaczął napełniać się wodą i tonąć. Gdy niemiecka załoga szykowała się do ucieczki, trzej Brytyjczycy – porucznik Anthony Fasson, marynarz Colin Grazier i 16-letni pomocnik z kantyny Tommy Brown – zrobili coś, co przeczyło wszelkim instynktom. Zeskoczyli z pokładu na tonący okręt i weszli do środka.

Chcieli zdobyć to, co najcenniejsze: nie broń, nie jeńców, tylko księgi kodów, umożliwiające korzystanie z niemieckiej maszyny szyfrującej „Enigma". Znaleźli je w zalanych kwaterach dowódców, a Brown dostarczył zdobycz na pokład niszczyciela – i tylko on przeżył całą akcję. Dwa miesiące później zespół kryptologów matematyka Alana Turinga zaczął wykorzystywać kody do rozszyfrowywania nazistowskich wiadomości, co według szacunków skróciło wojnę o dwa lata, ratując miliony istnień ludzkich.

Kryptografia to matematyka utajniania komunikacji, a stawka tego procesu jest tak wysoka, jak to tylko możliwe w matematyce. Historia z okrętem podwodnym i wiele podobnych wskazują na paradoks, który towarzyszył kryptografii od tysiącleci: aby korzystać z kodu, trzeba najpierw ten kod uzgodnić. Jeśli chcę wysłać list, ale nie ufam listonoszowi, mogę ukryć wiadomość, szyfrując ją. Niepowołani nie będą w stanie go odczytać, ale adresat też nie. Jeśli wyślę list z opisem sposobu szyfrowania, będzie on dostępny także dla listonosza. Z tej pułapki kryptograficznej, zwanej problemem dystrybucji kluczy, wynika, że aby ustanowić prywatny kanał komunikacji, trzeba zacząć od prywatności.

W związku z tym historia kryptografii kojarzy się bardziej ze szpiegowskim thrillerem niż z matematyką. Gdy brakowało matematycznego rozwiązania problemu dystrybucji kluczy, stosowano rozwiązania fizyczne; były więc tajne spotkania, uzbrojeni kurierzy, sporadycznie napady, jak ten na okręt podwodny. Dopiero w 1976 roku naukowcy ze Stanford University, Whitfield Diffie i Martin Hellman, zaproponowali rozwiązanie, które zdawało się przeczyć logice. Opracowali metodę, pozwalającą dwóm nieznajomym uzgodnić wspólną tajemnicę, mimo powszechnej jawności i dostępności całego procesu uzgadniania tajemnicy w bezpośredniej komunikacji. Metoda ta nosi nazwę protokołu lub wymiany kluczy Diffiego-Hellmana i stanowi podstawę bezpieczeństwa Internetu. Za każdym razem, gdy sprawdzamy stan konta, robimy zakupy online, wysyłamy wiadomość WhatsAppem lub odwiedzamy stronę internetową z protokołem https, połączenie jest z reguły zabezpieczone jakąś wersją protokołu Diffiego-Hellmana.

W latach 70. kryptografowie wiedzieli, jak szyfrować dokumenty, zmieniając każdą informację tak, że stanowiła bełkot dla każdego, kto nie dysponował tajnym kluczem w postaci dużej liczby losowej. Podobnie w protokole Diffiego-Hellmana celem jest wygenerowanie dużej liczby, znanej tylko nadawcy i odbiorcy. Dzięki tej liczbie można stosować znane sposoby szyfrowania i dekryptażu.

Kluczowy trik Diffiego i Hellmana opiera się na „funkcji jednokierunkowej" – chodzi o operację obliczeniowo łatwą do przeprowadzenia, której odwrócenie jest jednak praktycznie niewykonalne. Kojarzy się to ze słynną tajną formułą Coca-Coli. Mieszanie składników jest proste, ale mimo dostępu do gotowego produktu, chemicy mają problem z odtworzeniem idealnej kopii napoju. Oto jak można zagwarantować identyczność dwóch mikstur sporządzanych przez dwie osoby, ustalające między sobą ich skład za pośrednictwem poczty, której wścibscy pracownicy mogą zaglądać

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).

Golden Sikorka/Getty Images

eprasa.pl d166b0f064

do korespondencji – i mając pewność, że skład mikstur pozostanie tajemnicą:

1. Baza publiczna: Uzgadniany jest wspólny płyn wyjściowy, na przykład litr wody gazowanej zmieszanej z syropem do coli. Skład tego płynu dostępny jest dla wszystkich.
2. Prywatne mieszanki: Jedna osoba wybiera jako tajny składnik aromat wiśniowy i miesza go z płynem bazowym, robiąc colę wiśniową. Druga bierze jako tajny składnik aromat waniliowy i miesza go z bazą, robiąc colę waniliową.
3. Wymiana: Obie wysyłają sobie swoje mieszanki pocztą. Każdy ma do nich dostęp, ale rozdzielenie składników jest praktycznie niemożliwe. Wykrycie wiśni lub wanilii nie oznacza ich wyodrębnienia ani określenia dokładnego składu w skończonym czasie.
4. Wspólny sekret: Ten, kto otrzymał waniliową colę, dodaje do niej ustaloną ilość swojego sekretnego aromatu wiśniowego, a odbiorca wiśniowej coli dodaje do niej sekretną ilość aromatu waniliowego.

Ponieważ kolejność mieszania nie ma znaczenia, oba końcowe napoje są identyczną colą wiśniowo-waniliową. Dwie osoby dysponują więc teraz wspólną, tajną „formułą". Szpiedzy mają dostęp do płynu bazowego oraz obu coli – wiśniowej i waniliowej, ale żadna prosta kombinacja tych płynów nie stworzy dokładnej tajnej formuły. Mogą próbować mieszać colę wiśniową z waniliową, ale nie trafią we właściwe proporcje. Mikstura z mieszanki aromatu waniliowego i płynu bazowego oraz mieszanki aromatu wiśniowego i płynu bazowego nie ma takich samych proporcji jak w tajnej recepturze: aromat waniliowy + aromat wiśniowy + płyn bazowy. Zauważmy, że dwie osoby dzielą wspólny sekret, choć żadna z nich nie zna dokładnego składu prywatnej mieszanki drugiej osoby.

Przesyłanie płynów zastępujemy komputerami, wykonującymi obliczenia, które bardzo trudno odtworzyć na podstawie wyniku. Wyobraźmy sobie, że dwie osoby dysponują jakąś jawną liczbą bazową b (odpowiednik wody z syropem). Jedna z nich wybiera tajną liczbę n (aromat wiśniowy), a druga swoją tajną liczbę m (wanilia). Pierwsza oblicza b^n, druga b^m. Przesyłają sobie te liczby (jak cole wiśniową i waniliową). Otrzymujący b^m podnosi tę liczbę do n-tej potęgi, a otrzymujący b^n podnosi ją do m-tej potęgi. Oba działania dają tę samą liczbę: b^{nm}. Zatem dwie osoby uzgadniają ostateczną wspólną liczbę bez udostępniania swoich prywatnych liczb.

Tu jednak pojawia się problem: jeśli ktoś przechwyci liczby b i b^n, może po prostu skorzystać z funkcji logarytmicznej w kalkulatorze i obliczyć wykładnik n, czyli odkryć całą tajemnicę. Potęgowanie nie jest funkcją jednokierunkową, bo logarytmy (odwrotność potęgowania) są łatwe do obliczenia. Diffie i Hellman odkryli jednak, że nie jest to łatwe w arytmetyce modularnej, czyli arytmetyce reszt. Jeśli c i p są liczbami całkowitymi, to wyrażenie $c \pmod p$ równe jest reszcie z dzielenia c przez p. Na przykład, jeśli $c = 15$, a $p = 12$, to $c \pmod p$ wynosi 3, ponieważ 15 podzielone przez 12 równa się 1 z resztą 3. Czasem mówimy o matematyce zegarowej, ponieważ wiąże się to obliczaniem czasu: jeśli na typowym zegarze 12-godzinnym jest godzina 10:00, a następnie mija pięć godzin, to zegar nie wskazuje godziny 15:00, tylko godzinę (liczbę) 3. Przy obliczeniach zegarowych zawsze podaje się wynik modulo 12, a 15 (mod 12) to 3. W metodzie uzgadniania klucza Diffiego-Hellmana korzysta się z potęgowania oraz operacji modulo na dużej liczbie pierwszej. Oto jak to działa:

1. Baza publiczna: Ustala się liczbę bazową b i dużą liczbę pierwszą p, które są powszechnie znane.
2. Obliczenia prywatne: Jedna osoba wybiera w sekrecie liczbę n i oblicza wartość $b^n \pmod p$, czyli resztę z dzielenia b do potęgi n przez liczbę pierwszą p; druga osoba postępuje podobnie, korzystając z sekretnej liczby m, czyli oblicza $b^m \pmod p$.
3. Wymiana: Obie osoby informują się nawzajem o otrzymanych wynikach. Szpiedzy mogą je poznać, bo nie stanowi to zagrożenia.
4. Wspólny sekret: Ten, kto otrzymał resztę z dzielenia b^n, podnosi ją do m-tej potęgi, a otrzymujący resztę z dzielenia b^m podnosi ją do potęgi n-tej. Następnie każdy oblicza resztę z dzielenia otrzymanego wyniku przez p, czyli w rezultacie każdy otrzymuje ten sam wynik końcowy: $b^{mn} \pmod p$, który stanowi wspólny sekret obu osób.

Teraz szpiegom będzie bardzo trudno wydedukować wynik $b^{nm} \pmod p$, korzystając z informacji publicznych: p, b, $b^n \pmod p$ i $b^m \pmod p$. Zadanie ustalenia n, gdy podane są b, p i $b^n \pmod p$ nosi nazwę problemu logarytmu dyskretnego, ale dotyczy czegoś zupełnie innego niż standardowy logarytm. Aby intuicyjnie zrozumieć wspomnianą trudność, zauważmy najpierw, że funkcja 5^x zachowuje się w przewidywalny sposób dla wartości x: $5^2 = 25$, $5^3 = 125$, $5^4 = 625$... Wyniki zwiększają się pięciokrotnie dla kolejnych x. Natomiast w arytmetyce modularnej „zawijanie" wprowadza chaos, który jest trudny do przewidzenia. Oto wyniki dla mod 17: $5^2 \pmod{17} = 8$, $5^3 \pmod{17} = 6$, $5^4 \pmod{17} = 13$. Ciąg wyników wydaje się losowy, bez żadnego konkretnego powiązania z danymi wejściowymi. Ten aspekt sprawia, że rozwiązanie problemu logarytmu dyskretnego jest niezwykle czasochłonne, gdy n, m i p są bardzo duże (w praktyce n i m mają blisko 80 cyfr, a liczba pierwsza p około 600).

Diffie i Hellman skorzystali z jednej z kilku możliwych funkcji jednokierunkowych – łatwych do wyliczenia, ale trudnych do odwrócenia. Co jednak zaskakujące, trudność rozwiązania problemu logarytmu dyskretnego pozostaje nieudowodniona. Najszybsza znana metoda rozwiązania zajęłaby superkomputerom tysiąclecia. Być może jednak ludzie po prostu nie są wystarczająco sprytni, aby znaleźć szybsze rozwiązanie. Współczesne bezpieczeństwo internetowe opiera się więc na niesprawdzonych założeniach. Do chronionych algorytmem Diffiego-Hellmana bilionowych transakcji bankowych i tajemnic rządowych ani organizacje hakerskie, ani służby wywiadowcze nie znalazły dotąd drogi na skróty.

Teoretycznie wiemy jednak, jak złamać ten algorytm za pomocą komputerów kwantowych. W 1994 roku informatyk teoretyk Peter Shor, wówczas zatrudniony w AT&T, odkrył algorytm wykorzystujący specyficzne cechy mechaniki kwantowej do rozwiązania problemu logarytmu dyskretnego w ciągu paru godzin zamiast tysiącleci. Jedynym ograniczeniem jest inżynieria.

Nie powstał jeszcze komputer kwantowy, który byłby wystarczająco stabilny i wydajny, aby dało się na nim uruchomić algorytm Shora. Trwają prace nad przejściem na „kryptografię postkwantową", ale dopóki się nie zakończą, nasze sekrety nadal będzie chronił algorytm Diffiego-Hellmana. ■

eprasa.pl d166b0f064

Pierwsze lepsze

czyli od bliźniaków do obciachów

MAREK PENSZKO

MATEMATYCY OD WIEKÓW USIŁUJĄ okiełznać liczby pierwsze, czyli znaleźć regułę rządzącą ich rozmieszczeniem. Najbliżej celu dotarł Bernhard Riemann, który poskromił krnąbrne liczby połowicznie, formułując w połowie XIX wieku hipotezę dotyczącą m.in. ich harmonijnego rozkładu w bardzo małym oddaleniu od pewnej krzywej. Znacznie wcześniej (1793) Gauss (będąc nastolatkiem) zapisał wzór na przybliżoną liczbę $\pi(x)$ liczb pierwszych w zakresie od 1 do x (π oznacza tu funkcję, a nie liczbę 3,14...):

$$\pi(x) \approx \frac{x}{\ln(x)}$$

Z tabeli 1, obejmującej zakres do 10^{12} wynika, że błąd bezwzględny obliczonych tym wzorem wartości $\pi(x)$ szybko rośnie, gdy zwiększa się x, ale względny powoli maleje. Ogólnie: błąd względny dąży do zera, gdy zakres x zmierza do nieskończoności. Nie znaczy to oczywiście, że od jakiejś gigantycznej wartości x błąd bezwzględny zaczyna maleć i w końcu oba błędy „znikają". Przeciwnie: błąd bezwzględny stale rośnie, a względny wciąż maleje, choć coraz wolniej.

x	$\approx\pi(x)$ wg wzoru	$\pi(x)$ rzeczywiste	błąd $\approx\pi(x)$	błąd %$\approx\pi(x)$
10	4	4	0	0
10^2	22	25	3	12,0
10^3	145	168	23	13,7
10^4	1086	1229	143	11,6
10^5	8686	9592	906	9,4
10^6	72 382	78 498	6116	7,8
10^7	620 421	664 579	44 158	6,6
10^8	5 428 681	5 761 455	332 774	5,8
10^9	48 254 942	50 847 534	2 592 592	5,1
10^{10}	434 294 482	455 052 511	20 758 029	4,6
10^{11}	3 948 131 654	4 118 054 813	169 923 159	4,1
10^{12}	36 191 206 825	37 607 912 018	1 416 705 193	3,8

Tabela 1

Później wzór Gaussa kilkakrotnie modyfikowano, aby uczynić go dokładniejszym. Te i podobne próby były jednak dalekie od opanowania chaosu, a jedyną skuteczną metodą systematycznego wyznaczania liczb pierwszych pozostaje od starożytności klasyczny wzór prostoty i skuteczności, czyli sito Eratostenesa. Trudno jednak traktować sito jako sposób sprawdzania pierwszości podejrzanych o to dużych liczb. Prosty algorytm sprawdzający korzysta z sita-wzoru $4n\pm1$ lub lepiej $6n\pm1$, choć oczywiście oba są przesadnie szczelne, bo wyłapują także liczby, które pierwszymi nie są. Na przykład na sicie $4n\pm1$ pozostanie liczba złożona 285 ($3\times5\times19$), którą jednak sito $6n\pm1$ słusznie przepuści ($285=4\times72+1\neq6n\pm1$). Z kolei liczba złożona 287 (7×41) pozostanie na obu sitach jako omyłkowo podejrzana o pierwszość ($287=4\times72-1=6\times48-1$).

Poniekąd ubocznym skutkiem zmagań z liczbami pierwszymi okazała się ich segregacja, a ściślej – wyróżnianie niektórych ich rodzajów ze względu na szczególne własności. Rzec by można, uznano niektóre liczby pierwsze za „lepsze" niż inne, tzn. z różnych względów zasługujące na większą uwagę, ciekawsze lub osobliwe. Takich wyróżnionych rodzajów pojawiło się mnóstwo. Wybór przynajmniej kilku najważniejszych jest wprawdzie subiektywny, ale w tym przypadku prostszy, bo uwzględniający w większym stopniu aspekt rekreacyjny niż ściśle matematyczny. W związku z tym wskazanie niektórych nie budzi wątpliwości. Na pierwszy plan wysuwają się liczby pierwsze bliźniacze, a tuż za nimi podobne, kojarzące się z dalszym „pokrewieństwem".

* * *

Każda para kolejnych liczb pierwszych ma jedną wspólną cechę: różnica między nimi ($r=p_{n+1}-p_n$) jest zawsze liczbą parzystą – z wyjątkiem odstępstwa na starcie ($r=3-2=1$). Na początku jest jeszcze jeden wyjątek: trzy kolejne liczby tworzą dwie pary bliźniacze – (3, 5) i (5, 7), czyli pary liczb pierwszych różniących się o 2. Większe bliźniaki nigdzie nie mogą ze sobą sąsiadować. To oczywiste, bo z trzech kolejnych liczb różniących się o 2 jedna musi być podzielna przez 3, a jedyną liczbą pierwszą podzielną przez 3 jest 3. Zakaz sąsiedztwa dotyczy zresztą wszystkich równych różnic oprócz wielokrotności 6 (dlaczego?). Pierwsze najmniejsze przykłady: dla 6 – (47, 53, 59), dla 12 – (199, 211, 223), dla 18 – (20 183, 20 201, 20 219), dla 24 – (16 763, 16 787, 16 811) itd. Co osobliwe, wbrew oczekiwaniom sąsiedztwo większych różnic (24) pojawia się przed sąsiedztwem mniejszych (18). To kolejny przejaw niesubordynacji liczb pierwszych.

Teoretyków liczb najbardziej interesują liczby pierwsze różniące się o 2, czego potwierdzeniem jest ich familiarne potraktowanie, czyli przyrównanie do bliźniaków, co zaproponował w roku 1916 niemiecki matematyk Paul Stäckel. Określenie „liczby pierwsze bliźniacze" szybko się przyjęło. Ograniczone wzięcie mają natomiast odrębne nazwy liczb pierwszych różniących się o 4 (kuzynowskie) i o 6 (seksowne lub sexy; skojarzenie z angielskim liczebnikiem *six*), które pojawiły się przed 30 laty.

Bliźniaki skupiają na sobie uwagę z dwóch powodów: obejmują najmniejszy dystans oraz dominują wśród par obejmujących różne dystanse. Ten drugi powód dotyczy jednak tylko względnie małego zakresu x – od 1 do 100. Począwszy od 100 bliźniaki zaczynają sporadycznie odstępować dominację kuzynom ($r=4$) i liczbom sexy ($r=6$), a tuż przed $x=1000$ sexy całkowicie przejmują panowanie i nie oddają go aż do gigantycznej granicy bliskiej 10^{36} (sekstylion). Krótkotrwała początkowa dominacja bliźniaków sprzyja jednak hipotezie o tym, że jest ich nieskończenie wiele, bo czyni tę hipotezę bardziej „odważną", choć analogiczna hipoteza mogłaby dotyczyć każdego r.

I tu pojawia się pytanie: czy r może być każdą liczbą parzystą? Inaczej mówiąc, czy są takie liczby k, że różnica między dwiema kolejnymi liczbami pierwszymi nigdy nie jest równa $2k$? Francuski matematyk Alphonse de Polignac wysunął w roku 1849 hipotezę o braku takich liczb. Zostało to potwierdzone komputerowo, ale tylko dla liczb $2k$ w zakresie

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

Ilustracje Marek Penszko

eprasa.pl d166b0f064

liczb pierwszych sięgającym 10^{12}. Jednoznaczna, konkretna odpowiedź na powyższe pytanie pozostaje zagadką.

Inne pytanie wiąże się z tercetami kolejnych liczb pierwszych (p_n, p_{n+1}, p_{n+2}) różniących się o 6, w rodzaju podanego wcześniej (47, 53, 59): czy są podobne kwartety i większe seksowne grupy? Kwintety i dłuższe ciągi łatwo wykluczyć, bo wówczas nie sposób byłoby uniknąć liczby podzielnej przez 5. Natomiast kwartetów jest nieskończenie wiele (prawdopodobnie, bo dowodu brak) – począwszy od (251, 257, 263, 269).

* * *

Seksowne kwartety można by nazwać czworaczkami, gdyby nazwy tej nie zarezerwowano dla innej grupy liczb pierwszych. Zacząć wypada jednak od ogólnego pojęcia, czyli wieloraczków, a ściślej *n*-raczków. Każdy z nich jest grupą *n* kolejnych liczb pierwszych – takich, że dla danego *n* dystans *d* między największą liczbą w grupie (p_n) a najmniejszą (p_1) jest minimalny. Przy n=2 pojawiają się omawiane już bliźniaki.

Dla n=3 mamy trojaczki, które występują w jednej z dwóch postaci: a) (p, p+2, p+6) lub b) (p, p+4, p+6). Pomijamy postać (p, p+2, p+4) mimo najmniejszego dystansu (d=4), bo dotyczy ona wyłącznie jednego wspomnianego wcześniej wyjątku (3, 5, 7). Trojaczków postaci (a), które zaczynają się bliźniakami, jest do miliona 1393, na przykład (5, 7, 11), (347, 349, 353). Trojaczków (b) mamy w pierwszym milionie nieco więcej (1444), na przykład (7, 11, 13) lub ostatni „XX-wieczny" (1993, 1997, 1999) – unikalny z liczb 4-cyfrowych także dlatego, że wśród jego 12 cyfr różne są tylko cztery, a siedem jest jednakowych.

Dla odmiany czworaczki przybierają tylko jedną postać, złożoną z dwóch sąsiednich par bliźniaczych: (p, p+2, p+6, p+8). Zatem różnice między czworaczkowymi liczbami tworzą układ (2-4-2). Podobnie jak poprzednio pomijamy wyjątek – tutaj (2, 3, 5, 7). Najmniejszymi czworaczkami jest grupa (5, 7, 11, 13), a dwie następne to (11, 13, 17, 19) i (101, 103, 107, 109). Do miliona czworaczków jest tylko 166, czyli 17 razy mniej niż trojaczków.

5-raczki mają dwie postacie: a) (p, p+2, p+6, p+8, p+12), b) (p, p+4, p+6, p+10, p+12). Postaci (a) jest do miliona 34, postaci (b) 31. Przykłady – najmniejszy i piąty w kolejności: a) (5, 7, 11, 13, 17), (16 061, 16 063, 16 067, 16 069, 16 073); b) (7, 11, 13, 17, 19), (5647, 5651, 5653, 5657, 5659).

Jest jedna postać 6-raczków – (p, p+4, p+6, p+10, p+12, p+16); do miliona jest ich 10, a trzy pierwsze przykłady zaczynają się od 7, 97 i 16 057.

Ogólny przegląd *n*–raczków skończymy na dwupostaciowych 7-raczkach: a) (p, p+x,...; x=2, 6, 8, 12, 18, 20), b) (p, p+x,...; x=2, 8, 12, 14, 18, 20). Do miliona są tylko dwa siedmioraczki (a), zaczynające się od 11 i 165 701, oraz pięć (b), z których dwa najmniejsze zaczynają się od 5639 i 88 799.

n-raczki	d_{min}	Układy różnic (*r*)
2	2	2
3	6	2-4, 4-2
4	8	2-4-2
5	12	2-4-2-4, 4-2-4-2
6	16	4-2-4-2-4
7	20	2-4-2-4-6-2, 2-6-4-2-4-2

Tabela 2

Mimo że dotyczą liczb pierwszych, wieloraczki wyglądają na w miarę uporządkowane. Z tabeli 2 wynika, że dystanse (d_{min}) tworzą dość elegancki ciąg rosnący (a przynajmniej na taki się on zapowiada), zaś układy różnic (*r*) stanowią zbiór regularnych liczbowych palindromów i ananimów.

Teoretycznie przegląd *n*-raczków można by kontynuować w nieskończoność, praktycznie jednak do n=21, bo to maksymalne *n*, dla którego znana jest liczba zaczynająca wieloraczek – 30-cyfrowa z dystansem d_{min}=84.

* * *

Symboliczny zapis *p*#, oznaczający iloczyn wszystkich liczb pierwszych od 2 do *p*, zwany jest pierwsznią. To analog silni (*n*!), która jest iloczynem wszystkich liczb naturalnych od 1 do *n*. Na przykład, pierwszznia 13, czyli 13#, wynosi 2×3×5×7×11×13=30 030. Pierwsznia kojarzy się z dowodem Euklidesa o nieskończoności ciągu liczb pierwszych. Przypomnijmy, że zgodnie z tym dowodem wyrażenie *p*#+1 jest albo nową, znacznie większą liczbą pierwszą (np. 11#+1=2×3×5×7×11+1=2310+1=2311) albo iloczynem liczb pierwszych większych od każdego czynnika w *p*# (np. 13#+1=30 031=59×509).

Do dowodu i pierwszni nawiązują liczby pierwsze pierwszniowe – o 1 mniejsze lub o 1 większe od pierwszni. Zapewne najbardziej zaskakującą ich cechą jest rzadkość występowania. Na blisko 350 liczb pierwszniowych (od 5 do kilkusetcyfrowych gigantów) zaledwie piętnaście jest pierwszymi.

Z pierwsznią związane są także odkryte przed półwieczem liczby Fortune'a. Odkrycia dokonał amerykański antropolog Reo Fortune w trakcie zabawy liczbowej z komputerem, polegającej na dodawaniu do kolejnych pierwszni takiej najmniejszej liczby m>1, aby otrzymać liczbę pierwszą P_F. Rezultaty zabawy dla początkowych *p*# przedstawione są w tabeli 3.

p#	*m*	P_F
3#=6	5	11
5#=30	7	37
7#=210	13	223
11#=2310	23	2333
13#=30030	17	30047
17#=510510	19	510529
19#=9699690	23	9699713
23#=223092870	37	223092907
29#=6469693230	61	6469693291
31#=200560490130	67	200560490197

Tabela 3

Osobliwe jest to, że wszystkie liczby *m* są pierwsze, co potwierdzono obliczeniami komputerowymi dla *p*# obejmujących komplet 168 liczb p<1000. I właśnie liczby *m* nazwano liczbami pierwszymi Fortune'a, czyli $m=F_p$. Później zauważono, że różnica między każdą *p*#, a największą mniejszą od niej (o więcej niż 1) liczbą pierwszą, także zawsze jest liczbą pierwszą. Dotąd nie udało się wyjaśnić, dlaczego wszystkie różnice w obu tych przypadkach są liczbami pierwszymi, ani tym

eprasa.pl d166b0f064

bardziej nie doszukano się żadnych prawidłowości w ciągach tych liczb.

* * *

Jeśli litery w słowie *X* przestawimy tak, że otrzymamy słowo *Y* (np. ze słowa ŚWIAT powstanie ŚWITA lub WIŚTA), wówczas *X* i *Y* będą względem siebie anagramami. Jeżeli zaś przestawimy cyfry w liczbie *X*, tworząc liczbę *Y* (np. 1423 zmienimy w 2143, 2341 lub 4231), to otrzymamy anagram liczbowy – ale tylko wtedy, gdy liczbom *X* i *Y* będzie przypisana jakaś konkretna wspólna cecha – podobnie jak konkretne znaczenie czyni grupy liter słowami i anagramami. Gdy takiej cechy brak, liczby są tylko permutacjami. W podanym przykładzie wszystkie liczby są anagramami, bo mają wspólną cechę – są liczbami pierwszymi. Najmniejszą anagramową liczbą pierwszą jest 13, ponieważ jej permutacja 31 także należy do liczb pierwszych. Wszystkie takie liczby 2-cyfrowe tworzą cztery pary – (13, 31), (17, 71), (37, 73), (79, 97).

Czy wśród 143 3-cyfrowych liczb pierwszych występuje sześć takich – złożonych z różnych cyfr – które są współpermutacjami, a tym samym współanagramami? Aby to rozstrzygnąć, wystarczy zauważyć, że do dyspozycji są wyłącznie cyfry 1, 3, 7 i 9, a to umożliwia 24 permutacje. Niestety, żaden komplet trzech cyfr z tego kwartetu nie daje ani sześciu, ani pięciu współanagramów pierwszych. Rekordem są dwa komplety 4-liczbowe: (179, 197, 719, 971) oraz (379, 397, 739, 937).

Poza liczbami 2-cyfrowymi są jeszcze tylko trzy grupy takich liczb pierwszych, że liczby w każdej grupie stanowią wszystkie ich współpermutacje, a równocześnie współanagramy. Są to 3-liczbowe grupy złożone z 3-cyfrowych liczb, z których w każdej są dwie jednakowe cyfry, a więc permutacje są trzy. Liczby te nazwano pierwszymi absolutnymi. Chodzi o grupy: (113, 131, 311), (199, 919, 991) i (337, 373, 733).

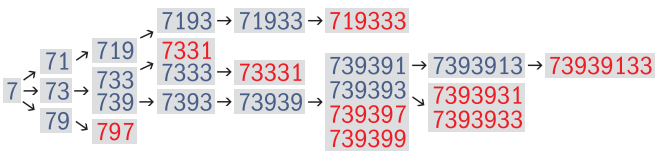
Do anagramowych liczb pierwszych nie są zaliczane przypadki trywialne, czyli liczby jednocyfrowe oraz złożone z jednakowych cyfr. Te drugie tworzą zresztą jedną z najmniejszych „lepszych" grup, bo obejmują tylko liczby złożone wyłącznie z jedynek. Najmniejszą jest 11, ale dwie następne są szeregami 19 i 23 jedynek, a dalej ich gąszcz sięga niewyobrażalnie wielkich wartości. Czwarta „razowa" liczba pierwsza ma 317 jedynek, a jedenasta ponad 8 mln.

Długie złożone liczby jedynkowe można niekiedy łatwo zmieniać w pierwsze zwane wirusowymi, umieszczając w nich „wirusa" w postaci innej cyfry. Na przykład liczbę 11-jedynkową (11 111 111 111=21 649×513 239) można zawirusować do pierwszości zerem na dowolnej z pięciu pozycji: drugiej, czwartej, siódmej, dziewiątej lub jedenastej (101 111 111 111, 111 011 111 111, 111 111 101 111, 111 111 110 111, 111 111 111 101).

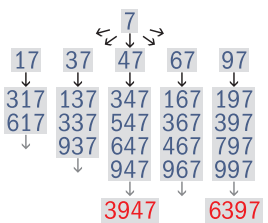
* * *

Słowo „obciach", będące potocznym określeniem czegoś niestosownego lub żenującego, ma w matematyce rekreacyjnej bardziej dosłowne znaczenie, choć także potoczne. Jest to liczba pierwsza, nie zawierająca zera, która pozostaje pierwszą po odcięciu od niej dowolnej liczby cyfr z jednej strony. Maksymalne obcięcie musi kończyć się jedną z jednocyfrowych liczb pierwszych, ale warunki, aby liczba była obciachem, zależą od tego, z której strony jest on skracany. Obciach lewostronny musi kończyć się cyfrą 3 lub 7, a pozostałe cyfry nie podlegają ograniczeniom. Obciachu prawostronnego dotyczą ostrzejsze warunki: wszystkie cyfry, poza początkową (jednocyfrową pierwszą), powinny należeć do zbioru {1, 3, 7, 9}. Nie dziw więc, że obciachów lewostronnych jest 4260, a prawostronne są tylko 83 – wliczając w to także jednocyfrowe „resztki" pierwsze, które formalnie obciachami nie są. Zaczynając od tych „resztek", można w procesie rekonstrukcji – który polega na odwrotnej czynności, czyli dodawaniu na początku lub na końcu po jednej cyfrze – odtworzyć wszystkie obciachy.

Na rys. 1 przedstawiony jest proces odtwarzania prawostronnych obciachów, zaczynających się siódemką. Jak widać, już na początku pojawiają się trzy obciachowe drogi, bo w siódmej dziesiątce są trzy dwucyfrowe liczby pierwsze. Jednak w trzecim etapie jedna droga się kończy (797), bo między 7970 a 7980 (ogólnie – między $10p$ a $10(p+1)$) nie ma liczby pierwszej. Wszystkie obciachy, których nie można wydłużyć, są na rys. 1 czerwone. Jedna droga kończy się największym z wszystkich 83 prawostronnych obciachów.



Rys. 1



Rys. 2

Zastosowanie analogicznej metody rekonstrukcji do lewostronnych obciachów ze startową siódemką jest już na wstępie (*rys. 2*) znacznie bogatsze w liczby pierwsze. Dwie najmniejsze niemożliwe do wydłużenia pojawiają się w czwartym etapie (czerwone). Natomiast na największy z wszystkich 4260 lewostronnych obciachów trzeba czekać aż do 24 etapu. To zakończony siódemką gigant – 357 686 312 646 216 567 629 137, który po uzupełnieniu na początku dowolną cyfrą (oprócz zera) zawsze zmienia się w 25-cyfrową liczbę złożoną.

ZADANIA

1. 7-raczek jest pierwszym *n*-raczkiem, w którym pojawia się różnica między liczbami większa niż 4, czyli 6. Dlaczego w 7-raczku kolejnymi różnicami nie mogą być tylko dwójki i czwórki, tworzące „przeplatankę" (2-4-2-4-2-4 lub 4-2-4-2-4-2)?

2. Poniższy ciąg liczb pierwszych utworzony jest zgodnie z pewną regułą. Jaka to reguła i jaką liczbę zastępuje znak zapytania. 2, 3, 7, 11, 23, 47, 79, 83, 167, 223, 227, 359, 439, **?**, 727, 839, 1087, 1091, 1223,...

3. Proszę znaleźć (utworzyć) zbiór czterech dwucyfrowych obciachów takich, że suma każdych trzech z nich także będzie obciachem. Obciachy mogą być zarówno lewo- jak i prawostronne.

Rozwiązania prosimy nadsyłać do 30 czerwca 2026 roku pocztą elektroniczną (redakcja@swiatnauki.pl)*, wpisując*

eprasa.pl d166b0f064

w temacie e-maila hasło ***UG 6/26****. Spośród autorów poprawnych rozwiązań przynajmniej dwóch zadań wyłonimy pięciu zwycięzców i nagrodzimy ich książką Rachel Carson* Milcząca wiosna *ufundowaną przez wydawnictwo PWN. Warunkiem udziału w konkursie jest zamieszczenie w e-mailu z odpowiedzią oświadczenia:*

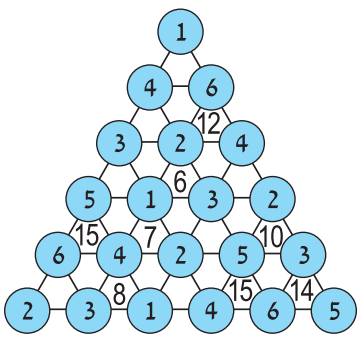
Zapoznałam/em się z regulaminem konkursu i akceptuję jego treść oraz wyrażam zgodę na przetwarzanie danych osobowych na potrzeby realizacji konkursu.

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

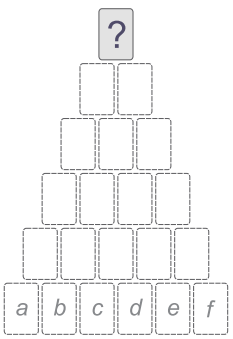


ksiegarnia.pwn.pl

ROZWIĄZANIA ZADAŃ Z NUMERU MARCOWEGO



Rys. 3



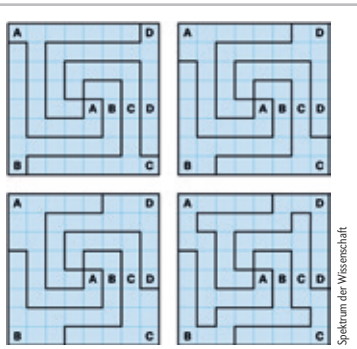
Rys. 4

1. Ciąg cyfr na lewym boku trójkąta (od góry): 1-4-3-5-6-2. Pełne rozwiązanie na rys. 3.
2. Ciąg cyfr w dolnym wierszu trójkąta: 1, 6, 7, 4, 3, 8, 5, 2, 9 (każda suma i sześć różnic sąsiednich cyfr jest liczbą pierwszą).
3. Po umieszczeniu dwóch kart na skrajnych polach trójkąta (z liczbami *a* i *f* – rys. 4) iluzjonista kładzie w wierzchołku kartę równą liczbie (*a*+*f*) (mod5). Taka sama zależność obowiązuje podczas wypełnienia trójkąta – dotyczy każdej karty umieszczanej nad dwiema kartami leżącymi tuż pod nią.

Za poprawne rozwiązanie przynajmniej dwóch zadań książkę Johna Trowsdale'a *Ciało wie lepiej. Przewodnik po nowoczesnej nauce o odporności* ufundowaną przez Wydawnictwo Sensus, otrzymują: Maciej Horodecki z Torunia, Magdalena Kowalczyk z Krakowa, Jacek Mucha z Krakowa, Jakub Rymarski z Warszawy, Łukasz Zaleski z Kolbud.

Rozwiązanie zagadki matematycznej ze strony 21.

Zadanie ma cztery podobne rozwiązania.



„Nowy rodzaj magnesów", dokończenie ze strony 53

przełomowych odkryć ostatniej dekady, które otworzyły ogromne możliwości w badaniach nad magnetyzmem

Pedram Khalili, profesor inżynierii elektrycznej i komputerowej na Northwestern University, datuje początek nowej ery na rok 2016, kiedy to Wadley z University of Nottingham wraz ze współpracownikami wykazał, że można elektrycznie przełączać antyferromagnetyk, co wcześniej uważano za niemożliwe. „Stopniowo zaczęliśmy rozumieć, że wiele z tych zjawisk, które zwykle kojarzymy z ferromagnetykami, w rzeczywistości nie wynika z ich namagnesowania – mówi. – To tylko bardzo powierzchowny sposób ich rozumienia".

Kwestią otwartą pozostaje, jaki wpływ nowe podejście będzie miało na technikę. Dla przykładu, urządzenie Li i Songa nigdy nie trafi do wnętrza komputera ani do centrum danych. Magnetyzm p-falowy jodku niklu może przetrwać tylko w temperaturach poniżej 60 K, czyli niższych niż temperatura ciekłego azotu. Li przeprowadzała swoje pomiary w komorze rękawicowej wypełnionej argonem, ponieważ bromek niklu, podobnie jak jodek niklu, jest solą, która rozpuszcza się w kontakcie z parą wodną, która przecież znajduje się w powietrzu. „Nie ma to praktycznego zastosowania, ale uważamy, że wiedza zdobyta dzięki jodkowi niklu pomoże w poszukiwaniu nowych materiałów – mówi Comin. – To jeden z kierunków, w którym prowadzimy badania".

Droga od przełomu naukowego do zastosowań komercyjnych jest zazwyczaj najeżona przeszkodami – twierdzi Stuart Parkin, który w latach 90. opracował dla firmy IBM głowice odczytujące oparte na technologii GMR, a obecnie jest dyrektorem Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik w Niemczech. „Często zdarza się, że pracownik naukowy odkrywa jakieś zjawisko i uważa, że to jest wszystko, co trzeba, i że można to do czegoś wykorzystać" – mówi. Zazwyczaj jednak „potrzebna jest nie tylko jedna cecha, ale kilka". Do cech tych należą trwałość i opłacalność produkcji, czego nie ma w rzemieślniczym podejściu Li w laboratorium. Do tego dochodzą kwestie inercji i kosztów. „Aby uzasadnić całą inwestycję we wprowadzenie zmiany, zazwyczaj potrzebne jest urządzenie, które w jakiś sposób przewyższa inne urządzenia o jeden lub dwa rzędy wielkości" – mówi Parkin. Ocenia, że nawet wtedy może minąć od 10 do 20 lat, zanim odkrycie przyniesie efekty komercyjne. Dla przykładu, w przypadku GMR zajęło to około dekady, a w przypadku supermocnego włókna syntetycznego Kevlar – aż dwie.

Tak czy inaczej, pomysł, że pamięć altermagnetyczna wyprze wszystkie konkurencyjne technologie, jest „całkowicie nierealny" – uważa Daniel Worledge, starszy kierownik w IBM, który kieruje działaniami badawczo-rozwojowymi firmy nad pamięcią MRAM. „Już 25 lat temu słyszałem, że MRAM ma stać się pamięcią uniwersalną. Miała zastąpić pamięć flash, DRAM i SRAM i być absolutnie najlepsza – mówi. – Tak się po prostu nie stało, ponieważ każda z tych technologii jest niezwykle wyspecjalizowana i naprawdę dobra w swoim zakresie. MRAM jest naprawdę świetna w tym, co robi, ale nie ma jednej pamięci, która byłaby dobra we wszystkim".

Khalili kieruje zespołem, który niedawno skonstruował obiecujące magnetyczne złącze tunelowe oparte na antyferromagnetykach niekolinearnych. Działa w temperaturze pokojowej i jest wykonane z materiałów nadających się do różnych zastosowań, woli jednak nie spekulować na temat jego ewentualnego wykorzystania. „To całkiem nowe urządzenie oparte na zupełnie nowej fizyce – mówi Khalili. – To również okazja do całkowitego przemyślenia architektury komputerowej. Być może największe korzyści przyniosą rozwiązania, których obecnie nawet nie przewidujemy". ■

eprasa.pl d166b0f064



Ufać czy nie ufać osądom AI?

Badacze sprawdzają, jak oceny dokonane przez duże modele językowe różnią się od ludzkich

WALTER QUATTROCIOCCHI

KIEDY WCHODZISZ do gabinetu lekarskiego, zakładasz coś tak podstawowego, że nie wymaga to żadnego uzasadnienia:: lekarz miał już wcześniej kontakt z ludzkim ciałem. Studiował anatomię, widział narządy i nauczył się odróżniać ból promieniujący od pulsującego. Wierzysz, że zdobył tę wiedzę nie tylko z lektur, lecz także dzięki wieloletniej praktyce i szkoleniu opartemu na bezpośrednim doświadczeniu.

Wyobraź sobie teraz, że odkrywasz, iż ten lekarz nigdy nie zetknął się z ludzkim ciałem. Zamiast tego przeczytał jedynie miliony opisów przypadków i nauczył się – bardzo dokładnie – jak zazwyczaj „brzmi" diagnoza. Jego wyjaśnienia wciąż mogłyby wydawać się przekonujące, a nawet uspokajające. Rytm wypowiedzi byłby właściwy, słownictwo nienaganne, a sformułowania znajome i budzące zaufanie. Jednak w chwili, gdy uświadomisz sobie, na czym naprawdę opiera się jego wiedza – na wzorcach w tekście, a nie na kontakcie ze światem – coś istotnego znika.

Każdego dnia wiele osób zwraca się do narzędzi takich, jak ChatGPT firmy OpenAI po porady medyczne, wskazówki prawne, analizy psychologiczne, pomoc edukacyjną czy ocenę tego, co jest prawdą, a co nie. I na pewnym poziomie wiedzą, że te duże modele językowe (large language models, LLM) jedynie imitują pojmowanie świata, którego w rzeczywistości nie rozumieją – choć ich sprawność językowa łatwo pozwala nam o tym zapomnieć.

Czy jednak rozumowanie LLM-ów jest w jakikolwiek sposób podobne do ludzkiego osądu, czy też jedynie generują one językowy cień myślenia? Jako naukowiec badający ludzkie decyzje i dynamikę informacji, wraz współpracownikami postanowiłem niedawno zmierzyć się z tym zaskakująco słabo zbadanym zagadnieniem. Porównaliśmy, jak LLM-y i ludzie reagują, gdy stawia się przed nimi zadanie polegające na wydaniu opinii w testach od dziesięcioleci analizowanych w psychologii i neuronauce.

Walter Quattrociocchi jest profesorem nauk komputerowych na L'Università degli Studi di Roma „La Sapienza". Zajmuje się złożonymi systemami i nauką danych ze szczególnym uwzględnieniem ludzkiej oceny, dynamiki informacji i dużych modeli językowych.

Tom Werner/Getty Images

eprasa.pl d166b0f064

Nie oczekiwaliśmy, że systemy te będą „myśleć” jak my, ale uznaliśmy, że warto zrozumieć, czym różnią się od człowieka, aby pomóc ludziom lepiej ocenić, jak i kiedy z nich korzystać.

W jednym z eksperymentów przedstawiliśmy 50 osobom i sześciu modelom językowym różne źródła informacji i poprosiliśmy o ocenę ich wiarygodności oraz uzasadnienie tej oceny. Wcześniejsze badania pokazują, że gdy człowiek natrafia na wątpliwy nagłówek, zazwyczaj zachodzi kilka procesów.

Po pierwsze, konfrontuje nagłówek z tym, co już wie o świecie, aby ocenić, czy pasuje on do podstawowych faktów, wcześniejszych wydarzeń lub osobistych doświadczeń. Po drugie, bierze pod uwagę swoje oczekiwania wobec źródła – czy jest to medium znane z rzetelności, czy raczej z przesady lub stronniczości. Po trzecie, rozważa, czy to, co napisano, ma sens jako część większego ciągu zdarzeń: czy mogło się wydarzyć i czy odpowiada temu, jak podobne sytuacje zwykle się rozwijają.

Modele językowe nie potrafią wykonać tych kroków. Aby sprawdzić, co zamiast tego robią, poprosiliśmy czołowe modele o ocenę wiarygodności nagłówków wiadomości, prosząc je o zastosowanie konkretnej procedury. Poleciliśmy im wskazać kryteria, którymi kierują się przy ocenie wiarygodności, oraz uzasadnić ostateczny werdykt. Zaobserwowaliśmy, że nawet gdy modele dochodziły do wniosków podobnych do tych formułowanych przez ludzi, ich uzasadnienia konsekwentnie odzwierciedlały wzorce zaczerpnięte z języka (takie jak częstość współwystępowania określonych kombinacji słów i konteksty ich użycia), a nie odwołania do faktów zewnętrznych, wcześniejszych wydarzeń czy doświadczenia – czyli czynników, które brali pod uwagę ludzie.

W innych eksperymentach porównywaliśmy sposób rozumowania ludzi i modeli językowych w obliczu dylematów moralnych. Gdy ludzie rozważają kwestie moralne, odwołują się do norm, oczekiwań społecznych, reakcji emocjonalnych oraz kulturowo ukształtowanych intuicji dotyczących krzywdy i sprawiedliwości. Jednym z przykładów jest to, że ludzie często stosują rozumowanie przyczynowe: zastanawiają się, jak jedno zdarzenie prowadzi do drugiego, dlaczego moment w czasie ma znaczenie i jak wszystko mogłoby się potoczyć, gdyby coś po drodze uległo zmianie. Wyobrażają sobie alternatywne scenariusze, używając rozumowania kontrfaktycznego – zadając pytania w rodzaju: „Co by było, gdyby ta okoliczność była inna?”.

Modele językowe często potrafią dopasować się do odpowiedzi ludzi – ale z powodów, które nie mają nic wspólnego z ludzkim rozumowaniem.

Stwierdziliśmy, że model językowy potrafi dość dobrze odtworzyć tę formę namysłu. Generuje wypowiedzi, które naśladują słownictwo troski, obowiązku czy praw. Posługuje się językiem przyczynowym opartym na wzorcach językowych, w tym konstrukcjami typu „jeśli–to” charakterystycznymi dla kontrfaktów. Trzeba jednak podkreślić, że model niczego sobie nie wyobraża ani nie prowadzi rzeczywistej deliberacji – jedynie odtwarza wzorce obecne w ludzkich wypowiedziach na temat takich scenariuszy. Efekt może brzmieć jak rozumowanie przyczynowe, ale mechanizm, który za tym stoi, to uzupełnianie wzorców, a nie rozumienie, w jaki sposób zdarzenia prowadzą do określonych skutków.

We wszystkich analizowanych przez nas zadaniach wyłania się spójny obraz. Modele językowe często potrafią dopasować się do odpowiedzi ludzi – ale z powodów, które nie mają nic wspólnego z ludzkim rozumowaniem. Tam, gdzie człowiek wydaje sąd, model wykrywa korelacje. Tam, gdzie człowiek ocenia, model przewiduje. Tam, gdzie człowiek wchodzi w relację ze światem, model operuje na rozkładzie słów. Ich architektura czyni je niezwykle skutecznymi w odtwarzaniu wzorców obecnych w tekstach. Nie daje im jednak dostępu do świata, do którego te słowa się odnoszą.

A jednak, ponieważ ludzkie sądy również są wyrażane językiem, odpowiedzi modeli często powierzchownie przypominają odpowiedzi ludzi. Ta luka między tym, co modele zdają się robić, a tym, co faktycznie robią, to coś, co wraz z moimi współpracownikami nazywamy „epistemią” – sytuacją, w której symulacja wiedzy staje się dla obserwatora nieodróżnialna od wiedzy jako takiej. Epistemia to błąd w interpretacji tych modeli, polegający na uznawaniu językowej wiarygodności za prawdę. Błąd ten pojawia się dlatego, że model jest płynny językowo, a płynność to coś, czemu ludzie są skłonni ufać.

Niebezpieczeństwo jest subtelne. Nie chodzi przede wszystkim o to, że modele często się mylą – ludzie też się mylą. Głębszy problem polega na tym, że model nie jest w stanie rozpoznać, kiedy „halucynuje”, ponieważ w ogóle nie reprezentuje prawdy. Nie potrafi tworzyć przekonań, rewidować ich ani konfrontować swoich odpowiedzi z rzeczywistością. Nie potrafi odróżnić twierdzenia wiarygodnego od niewiarygodnego inaczej niż przez analogię do wcześniejszych wzorców językowych. Krótko mówiąc, nie potrafi robić tego, do czego służy sądzenie.

Ludzie już dziś korzystają z tych systemów w kontekstach, w których konieczne jest odróżnianie pozoru od prawdy – takich jak prawo, medycyna czy psychologia. Model może wygenerować akapit brzmiący jak diagnoza, analiza prawna czy argument moralny. Ale brzmienie to nie to samo co treść. Symulacja nie jest tym, co symuluje.

Wszystko to jednak nie oznacza, że należy odrzucić modele językowe. Są to niezwykle potężne narzędzia, jeśli używa się ich zgodnie z ich naturą: jako silników automatyzacji języka, a nie rozumienia. Doskonale sprawdzają się w tworzeniu szkiców, streszczaniu, przekształcaniu i eksplorowaniu idei. Gdy jednak prosimy je o wydawanie sądów, nieświadomie redefiniujemy samo pojęcie sądu – przesuwając je z relacji między umysłem a światem na relację między zapytaniem a rozkładem prawdopodobieństwa.

Co powinniśmy zrobić z tą wiedzą? Nie należy się tych systemów obawiać, lecz dążyć do lepszego zrozumienia ich możliwości i ograniczeń. Warto pamiętać, że płynność nie jest wglądem, a elokwencja nie jest dowodem zrozumienia. Traktujmy duże modele językowe jako zaawansowane narzędzia językowe, które wymagają ludzkiego nadzoru właśnie dlatego, że nie mają dostępu do tego, od czego ostatecznie zależy sąd – do samej rzeczywistości. ■

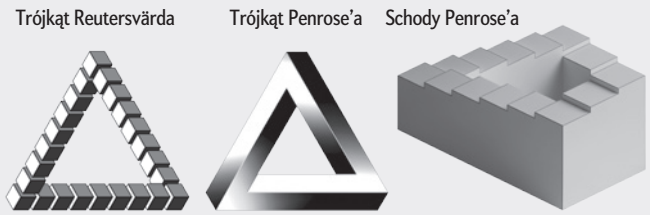
eprasa.pl d166b0f064

Obiekty niemożliwe

Matematycy zaprojektowali nowy rodzaj paradoksalnego kształtu

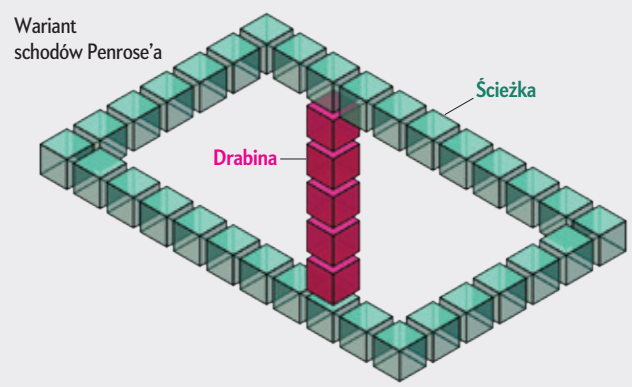
Tekst CLARA MOSKOWITZ
Grafika ROBERT GHRIST

OBIEKT NIEMOŻLIWY TO TAKI, który wygląda realistycznie na rysunku, ale w rzeczywistości istnieć nie może. Holenderski malarz i grafik M. C. Escher (1898–19720) znany jest m.in. z przedstawień schodów i wodospadów nieistniejących w trzech wymiarach. Wiele swoich prac Escher wzorował na konstrukcjach brytyjskich matematyków Rogera i Lionela Penrose'a, na przykład na trójkącie i schodach Penrose'a, przedstawionych w latach 50.



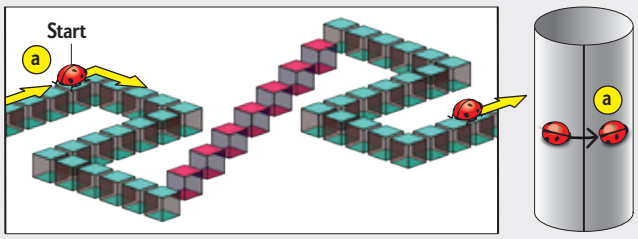
Matematycy Robert Ghrist z University of Pennsylvania i Zoe Cooperband z U.S. Naval Research Laboratory stworzyli matematyczny system klasyfikacji paradoksów wizualnych. Wyjaśniają, że obiekty niemożliwe są spójne lokalnie, ale niespójne globalnie. Na przykład biedronka po okrążeniu schodów Penrose'a będzie miała wrażenie, że pokonała wznoszący się ciąg stopni, mimo że znajdzie się na tej samej wysokości, od której zaczęła. „Istota paradoksu polega na tym, że chodzimy po pętli, a mamy wrażenie, że droga się zmienia. Brak jest korelacji między tym, gdzie jesteśmy, a tym gdzie wydaje nam się, że jesteśmy" – wyjaśnia Ghrist.

Ghrist i Cooperband wykorzystali swój model do zaprojektowania niemożliwego obiektu, który w nowy sposób „łamie" rzeczywistość. Początkiem konstrukcji jest wariant schodów Penrose'a, który tworzy niebieską ścieżkę na rysunku. Chodzący po niej w kółko owad będzie miał wrażenie wędrówki w poziomie, ale jeśli skorzysta z drabiny łączącej przeciwległe fragmenty, odbierze to jako wejście wyżej. Obie trasy są spójne lokalnie, ale nie globalnie.



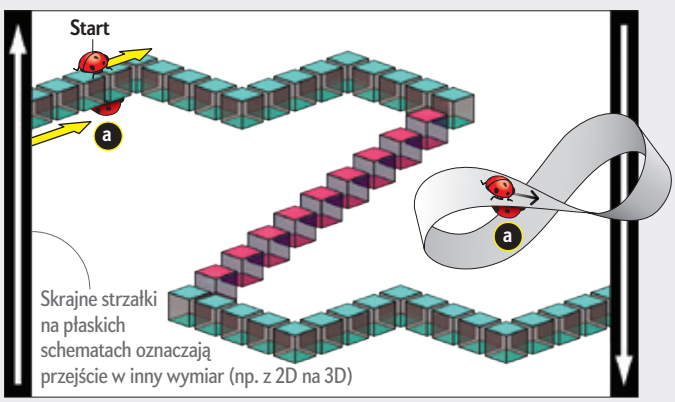
Matematycy przekształcili ścieżkę tworzącą prostokąt w linię łamaną i umieścili ją na walcu tak, aby lewy koniec łączył się z prawym. Idący nią od punktu startowego w prawo owad, dotarłby dokładnie tam, skąd wyruszył.

Niemożliwe schody na walcu



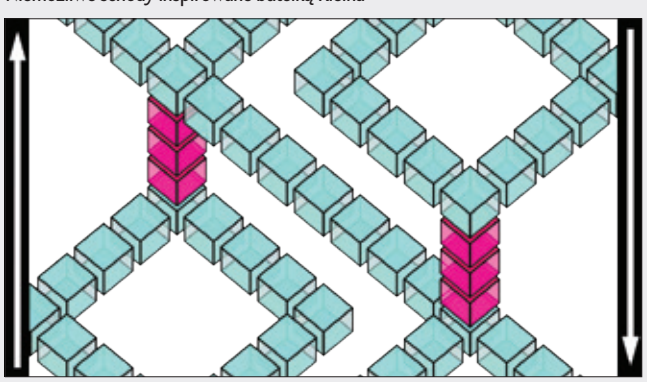
Dalej uczeni założyli, że ścieżka wije się jak wstęga Möbiusa (obiekt z paska papieru, którego końce sklejono po skręceniu jednego końca o 180°). Owad idący w prawo od punktu startowego, odkryłby po zrobieniu pętli, że to, co kiedyś było prawą stroną, się zmieniło.

Niemożliwe schody na wstędze Möbiusa



Ta ścieżka stanowi podstawę nowego, niemożliwego obiektu (drabiny Kleina), który jest ciągłym, wielopoziomowym układem schodów opartym na kształcie butelki Kleina, opisanej przez niemieckiego matematyka Felixa Kleina w 1882 roku.

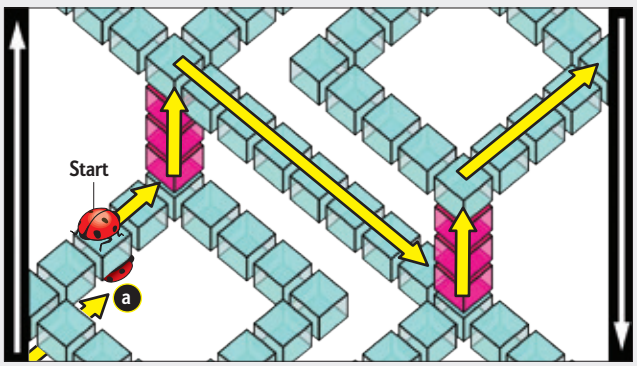
Niemożliwe schody inspirowane butelką Kleina

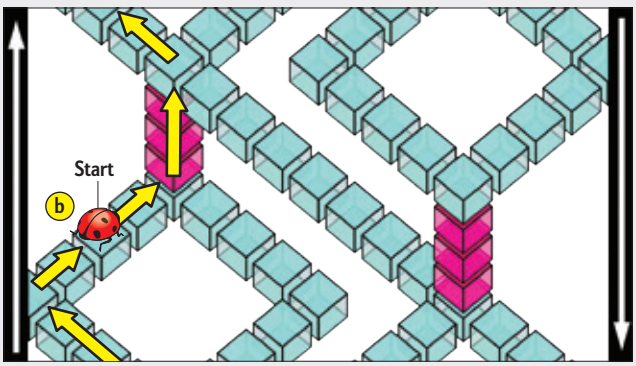


eprasa.pl d166b0f064

W niemożliwej drabinie Kleina orientacja owada zmienia się wtedy, gdy przekracza on pionową krawędź, jak w przypadku wstęgi Möbiusa. Biedronka może obejść poziomą pętlę od punktu startowego, idąc do góry po drabinie, po ścieżce, w górę po kolejnej drabinie i przekraczając pionową krawędź. Kończy pętlę odwrócona do góry nogami w stosunku do pozycji początkowej (*a*).

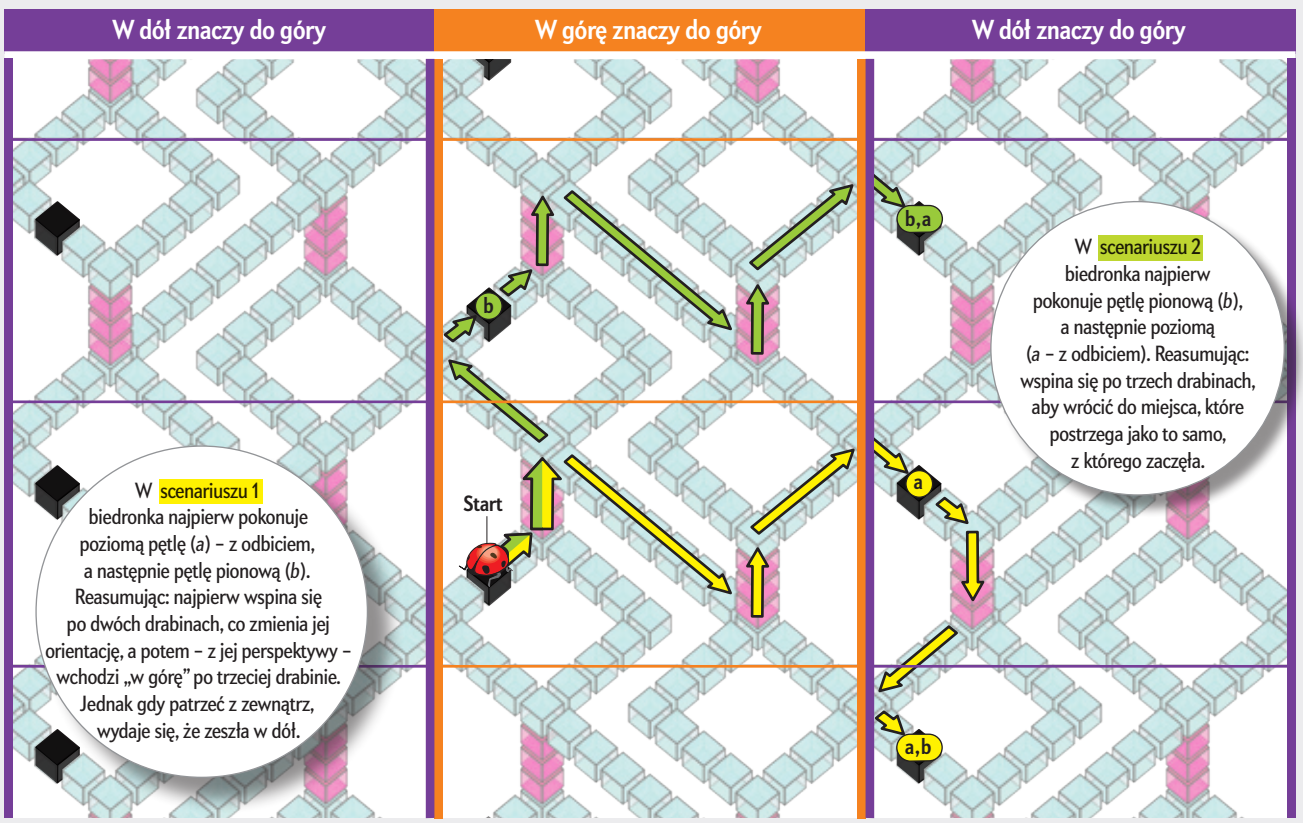
Gdy biedronka obchodzi pionową pętlę i przekracza poziomą krawędź, jej orientacja pozostaje taka sama – jak na walcu. Aby obejść taką pętlę, owad zaczyna ponownie w tym samym miejscu co poprzednio, przechodzi po jednej drabinie, a następnie skręca w lewo, aby przekroczyć poziomą krawędź, i kończy pętlę bez odwrócenia pozycji (*b*).





Poniższa siatka przedstawia „rozwiniętą” przestrzeń percepcyjną biedronki; odwrócenia są wkomponowane w kafelkowanie poprzez odbicia. Biedronka znajdująca się w środkowej części nie jest odwrócona. Jeśli porusza się poziomo do lewej lub prawej części, „odbija się” i zostaje odwrócona – odwrócone zostaje znaczenie słów „w górę”. Czarne kostki oznaczają „ten sam” punkt początkowy o nieznanej bezwzględnej wysokości i orientacji.

Rozważamy drogę biedronki, która w tej przestrzeni obchodzi zarówno pętlę poziomą, jak i pionową. Kierunek obchodzenia pętli jest istotny.



Nowy obiekt niemożliwy jest pierwszym, w którym kierunek chodzenia po pętli prowadzi do różnych efektów końcowych – taka cecha zwana jest nieabelową. „W matematyce często mamy do czynienia z nieabelowością, ale nigdy wcześniej nie zaobserwowano jej w paradoksach wizualnych” – podsumowuje Ghirst.

eprasa.pl d166b0f064

50, 100 i 150 lat temu



1976 PŁYN ELEKTRONOWO-DZIUROWY

„Niedawno naukowcy odkryli, że nośniki ładunku elektrycznego wewnątrz kryształu mogą istnieć w stanie mającym wiele właściwości kojarzonych z wodą. Na przykład mogą występować w postaci pary, a gdy względna »wilgotność« staje się wystarczająco wysoka, cząstki ulegają kondensacji. W przeciwieństwie do wody nowo odkryty płyn istnieje wyłącznie wewnątrz półprzewodnika i nie można go z tego środowiska wydobyć. Zamiast atomów czy cząsteczek typowych dla zwykłej cieczy składa się z elektronów i »dziur«, czyli dodatnio naładowanych pustych miejsc powstałych wskutek braku elektronu. Elektrony i dziury nieustannie wzajemnie się anihilują, emitując przy tym promieniowanie podczerwone. W rezultacie ciecz ta jest z natury niestabilna; bez ciągłego dopływu elektronów i dziur zanika w ułamku sekundy.

Wreszcie, nowa ciecz jest zasadniczo płynem kwantowo-mechanicznym. Zjawiska, które w konwencjonalnych płynach są pomijalne, mają ogromny wpływ na ciecz elektronowo-dziurową. Z tych powodów nowy ciecz stanowi wyjątkowe pole doświadczalne do badania niektórych fundamentalnych zasad fizyki."

1926 JAK OBSERWOWAĆ PLAMY SŁONECZNE

„W ciągu ostatniego roku lub dwóch liczba plam słonecznych gwałtownie wzrosła, podobnie jak ich rozmiary. Nierzadko zdarza się, że pojedyncza plama lub grupa plam jest tak duża, iż można ją dostrzec gołym okiem. Określenie »gołym okiem« jest jednak pewnym nadużyciem, ponieważ żaden rozsądny człowiek nie pomyślałby o patrzeniu na Słońce bez jakiejś ochrony – czy to tradycyjnego osmalonego szkła, czy bardziej nowoczesnego kawałka silnie zaciemnionej kliszy fotograficznej. Dzięki tak prostemu wyposażeniu amator może zobaczyć plamy i obserwować z dnia na dzień ich majestatyczną wędrówkę na tarczy słonecznej, w miarę jak Słońce się obraca."

CZY WNĘTRZE ZIEMI JEST PŁYNNE?

„Człowiek nigdy nie zdołał przeniknąć głębiej niż około jednej mili pod powierzchnię Ziemi – to zaledwie ukłucie szpilką. Chociaż nauka nie rości sobie prawa do całkowitej pewności, co do rzeczywistych warunków panujących w głębokich warstwach naszej planety, wiemy, że pewne rzeczy nie są prawdą. Jedną z nich jest przekonanie, że wnętrze Ziemi stanowi stopioną ciecz. Prawdopodobnie nic nie przyczyniło się bardziej do utrwalenia tego powszechnego błędnego przekonania niż istnienie wulkanów wyrzucających płynną lawę. Jednak w centrum Ziemi ciśnienie jest zbyt wielkie, by skały mogły się stopić. Dlatego są one sztywne niczym stal. Sejsmolodzy mogą łatwo udowodnić prawdziwość tego stwierdzenia, ponieważ rejestrują fale trzęsień ziemi przemieszczające się przez wnętrze planety; charakter tych fal dowodzi, że wnętrze jest sztywne. Większość badaczy uważa, że wulkany mają pochodzenie lokalne, a nie są one głęboko osadzone."

W 1936 roku przełomowa publikacja po raz pierwszy opisała istnienie stałego jądra wewnętrznego Ziemi otoczonego płynnym jądrem zewnętrznym.

PODSŁUCHIWANIE ARKTYKI

„Na szczycie świata nie istnieje wschód, zachód ani północ, dlatego tysiące krótkofalowych odbiorników radiowych rozmieszczonych po wszystkich stronach Ziemi będą miały jednakową możliwość odbioru wiadomości nadawanych przez lotników-odkrywców biorących udział w tegorocznym wyścigu do bieguna północnego.

Kanały w eterze wychodzące z lodowego regionu rozprzestrzenią się po całym globie. Szykuje się 12 ekspedycji arktycznych, a trzy są już gotowe do startu z najbardziej wysuniętych na północ punktów lądu ku kolebce burz. Reporterzy prasowi wraz z operatorami radiowymi i sprzętem bezprzewodowym utworzyli bazę w Point Barrow na Alasce, skąd mają nadzieję przechwytywać sygnały radiowe i przekazywać dalej najważniejszą wiadomość roku. Oczekuje się, że wielu radioamatorów korzystających z odbiorników krótkofalowych usłyszy relacje odkrywców niemal natychmiast po wyemitowaniu w arktyczne powietrze, ponieważ fale krótkie »skaczą« [odbijają się od jonosfery i powierzchni Ziemi – przyp. red] i podróżują bardzo daleko."



1876, Pająk *Mygale*: „To stworzenie budujące »zapadnię« nosi swoje jaja zamknięte w ciasno utkanym kokonie z białego jedwabiu, tworzącym dwa zaokrąglone elementy połączone na krawędzi".

1876 PAJĄKI BUDUJĄCE DRZWI

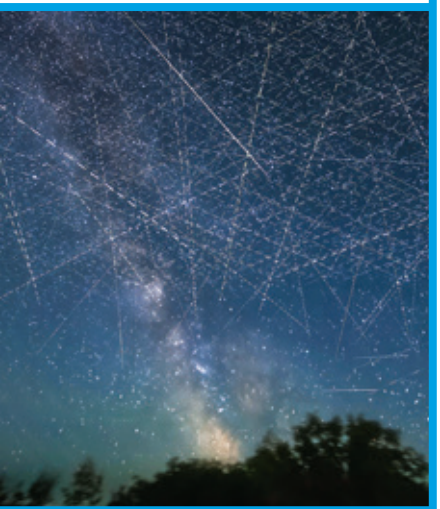
„W paryskim Jardin des Plantes [ogrodzie botanicznym we Francji] mieszka osobliwy pająk należący do rodzaju *Mygale* [historyczna nazwa dużych włochatych pająków, dziś nazywanych ptasznikami – przyp. red.]. Jak wszystkie pająki, stworzenie to ma ośmioro oczu. Jego szczękoczułki uzbrojone są w ostre zęby, a odnóża mają wysuwane pazury przypominające pazury kota.

Najbardziej niezwykły przedstawiciel tego rodzaju pochodzi z Korsyki. Jest to jasnobrązowy pająk żyjący w rurkowatych norach wykopanych w gliniastych zboczach. Tunele są na całej długości wyłożone twardą zaprawą i wyścielane miękką, jedwabistą siecią. Zanim jednak pająk ozdobi ściany najdelikatniejszym materiałem, najpierw mocuje grubszą tkaninę, która stanowi podstawę dla subtelniejszej wyściółki. Następnie rozpoczyna budowę drzwi – i wydaje się, że w tej pracy wykorzystuje niemal zdolność rozumowania. Choć mają zaledwie jedną dziesiątą cala grubości, drzwi te składają się z ponad 30 naprzemiennych warstw pajęczyny i zaprawy, z których każda osadzona jest w kolejnej niczym seria kubków."

Scientific American, tom 34, nr 26, 24 czerwca 1876

eprasa.pl d166b0f064







ŚWIAT NAUKI

POLSKA EDYCJA

SCIENTIFIC AMERICAN

W NUMERZE LIPCOWYM

Czy komputery oparte na fizyce kwantowej zmienią świat? W specjalnym raporcie jego autorzy analizują, na jakim etapie znajduje się dziś ta dziedzina i co musi się wydarzyć, aby spełniła pokładane w niej nadzieje. Jakie problemy mógłby rozwiązać prawdziwie użyteczny komputer kwantowy? Czy zrewolucjonizuje kryptografię, projektowanie materiałów, telekomunikację? O tym w kolejnym numerze,

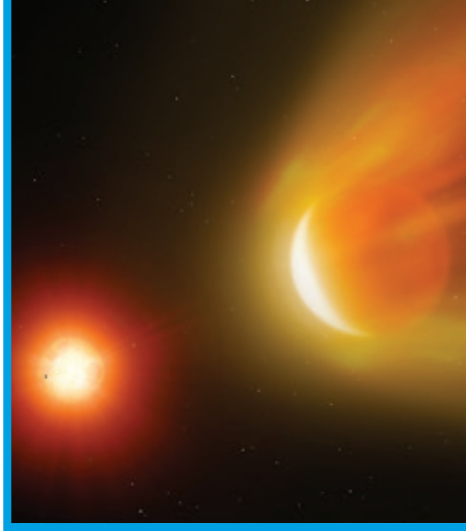
a ponadto:

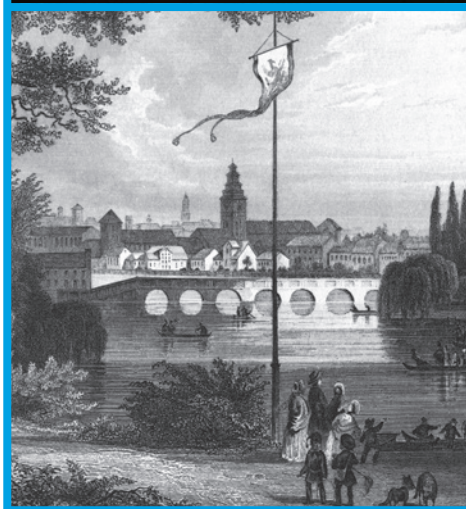
Misja Artemis II
Elektrownia jądrowa na Księżycu?
System komunikacyjny starożytnego Rzymu
Hipoteza Riemanna – nadal nierozwiązany problem

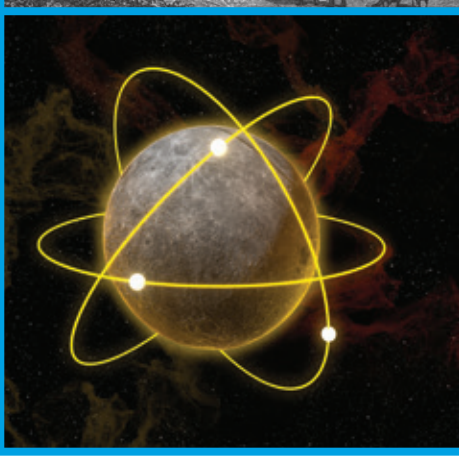
Prócz tego m.in.:

Leki na mocne mięśnie
Widok na wojnę
Obcy siarkowy świat
Gwiezdny karawan
Fraktalna geografia
Jak AI gra w okręty

**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 lipcowy dostępny od 24 czerwca

eprasa.pl d166b0f064

Twoja ciekawość świata jest zbyt duża, by studiować tylko jeden kierunek

UNIWERSYTET JAGIELLOŃSKI W KRAKOWIE



STUDIA MATEMATYCZNO -PRZYRODNICZE

Dla tych, którzy sięgają po więcej.

smp.uj.edu.pl

TWÓRZ SWOJĄ DROGĘ WŚRÓD NAJLEPSZYCH

- Własny program studiów
- Opiekun naukowy od pierwszego dnia
- Wybór spośród 26 kierunków
- Możliwość zdobycia 2 dyplomów