ŚWIAT NAUKI

POLSKA EDYCJA

swiatnauki.pl • projektpulsar.pl

# SCIENTIFIC AMERICAN

Czerwiec 2025 nr 6 (406)

Cena 16 zł 99 gr (w tym 8% VAT)

Mezozoiczni gladiatorzy

Florystyczna rewolucja

Magia kształtów

# ZAGADKOWE KOMETY

**Wyglądają jak planetoidy i poruszają się po zaskakujących trajektoriach. Co je napędza? Czy zagrażają naszej planecie?**

## PSYCHOLOGIA

**Uczeniu się sprzyja stan między wyzwaniem a frustracją**

ŚWIAT NAUKI 6/2025

INDEKS 378194

ISSN 0867-6380

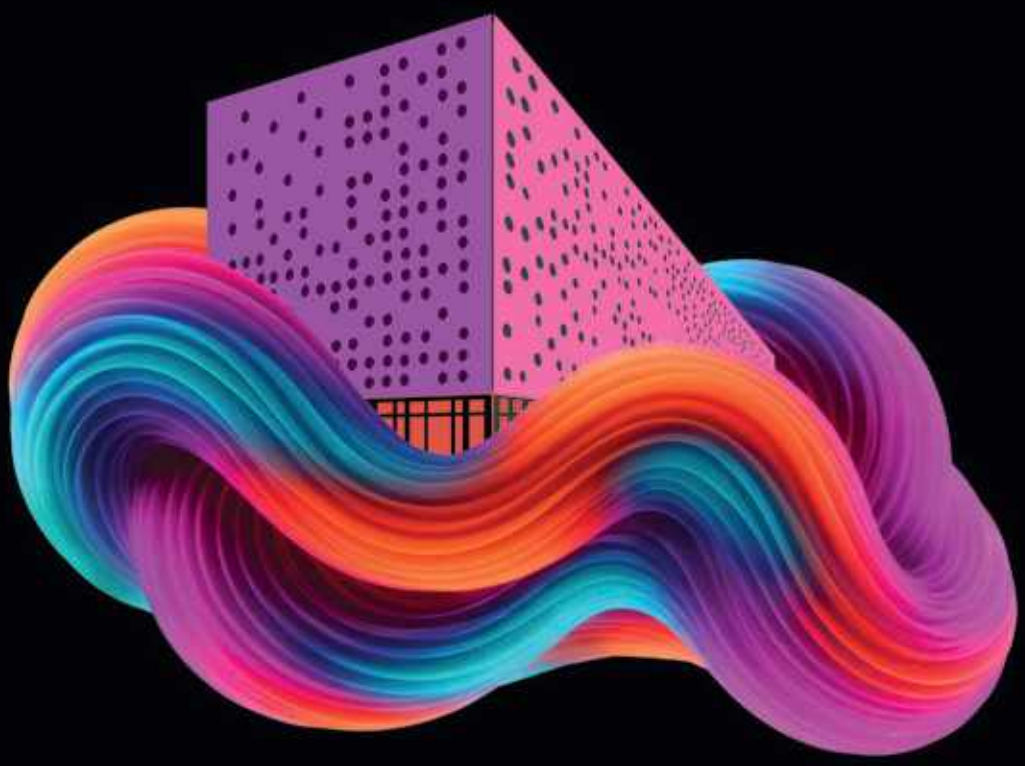
06

9 770867 638500

eprasa.pl a47be06fd

# AI

# TEŻ U NAS STUDIUJE



Politechnika Wrocławska

WIĘCEJ NA: REKRUTACJA.PWR.EDU.PL

ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
SCIENTIFIC AMERICAN

CZERWIEC 2025
NUMER 6 (406)

PLANETOLOGIA
**24 CIEMNE KOMETY**
Grupa komet o niewyjaśnionych trajektoriach i nietypowym wyglądzie stanowi dla nas zagadkę.
ROBIN GEORGE ANDREWS

MATEMATYKA
**32 MAGIA KSZTAŁTÓW**
Matematycy opisują ich zdaniem najbardziej urokliwe i intrygujące kształty i powierzchnie.
RACHEL CROWELL

PSYCHOLOGIA
**42 NAGRODA ZA CIEKAWOŚĆ**
Uczeniu się najbardziej sprzyja wyjątkowy stan między wyzwaniem a frustracją.
LYDIA DENWORTH

PALEONTOLOGIA
**48 GLADIATORZY MEZOZOIKU**
Wspaniale zachowane pancerze i szkielety dinozaurów ujawniają tajemnice funkcjonowania tych zwierząt.
MICHAEL B. HABIB

ZDROWIE
**58 NIEDOSKONAŁE PIĘKNO**
Na farmach prowadzonych według modelu „slow flower” rosną piękne kwiaty – bez szkodliwych dla ludzkiego zdrowia środków ochrony roślin stosowanych na ogromnych zagranicznych plantacjach, dominujących na florystycznym rynku.
MARYN MCKENNA



Jesse Burke



eprasa.pl a47be06fd8

ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
SCIENTIFIC AMERICAN

CZERWIEC 2025
NUMER 6 (406)

**6 WOKÓŁ NAUKI**
Klimatyczne raje nie istnieją
REDAKCJA „SCIENTIFIC AMERICAN”

**7 FORUM**
Pożary zagrażają astronomii
PETER MCMAHON

**8 SZTUKA RODZICIELSTWA**
Dzieci i smartfony
JACQUELINE NESI

**10 SKANER**
Ewolucja języka ◆ Uniwersalny jęk ◆ Jak korzystamy z Wikipedii ◆ Psy w ochronie środowiska ◆ Naukowa paleta barw

**18 WSZECHŚWIAT**
Cóż znaczy nazwa (gwiazdy)?
PHIL PLAIT

**22 MATEMATYKA**
Problem sofy
JACK MURTAGH

**70 ZDROWIE**
Chrapanie u dzieci
LYDIA DENWORTH

**71 SIŁA MYSLI**
Doświadczenie i koncentracja
HANNA POIKONEN

**72 Q&A**
Co kryje się za znakiem +?
MAX SPRINGER

**74 UMYSŁ GIĘTKI**
Z Hamiltonem...
MAREK PENSZKO

**78 FAKTOGRAF**
Zagadka długowieczności
CLARA MOSKOWITZ I MARK BELAN

**80 ARCHIWUM**
Rozwój mrówczych społeczeństw ◆ Wietrzny rekord ◆ Poznawcze wakacje ◆ Apetyt na książki ◆ Ogrom Wszechświata ◆ Premiera gazowej kuchenki ◆ Porządek na niebie

**OKŁADKA**




Niemal dekadę temu astronomowie zwrócili uwagę na niezwykłe skały kosmiczne: poruszały się jak komety, ale wyglądały jak planetoidy, bez warkoczy z gazu i pyłu, które decydują o ruchu komet. Od tego czasu badacze odkryli już kilkanaście takich obiektów. Czym dokładnie są te tzw. ciemne komety i czy zagrażają Ziemi?

Ilustracja Vladi333/Shutterstock

Projekt okładki Jolanta Kotas




6 Martin Gee



22 Thomas Fuchs



70 Jay Bendt



eprasa.pl a47be06fd8

SWIAT NAUKI SCIENTIFIC AMERICAN

# Zaprenumeruj nasz miesięcznik przez

InPost Paczkomat 24/7

- **Gwarantowana dostawa**
  do wybranego InPost Paczkomat 24/7
- **Darmowa przesyłka**
  przez cały okres prenumeraty
- **Niższa cena za egzemplarz**
  niż w sklepie




InPost

## Jak to działa?

- Podczas zakupu wybierasz swój ulubiony InPost Paczkomat.
- Możesz później zmienić punkt odbioru, np. podczas urlopu.
- Otrzymasz SMS i/lub email o tym, że możesz już odebrać nowy numer „Świat Nauki”.

**169 zł za rok**
Oszczędzasz 34 zł
Tylko ~~16,99~~ 14 zł za numer

**89 zł za pół roku**
Oszczędzasz 13 zł
Tylko ~~16,99~~ 14 zł za numer

blik PayU

Wejdź na **swiatnauki.pl/paczkomat** lub zeskanuj kod QR:

eprasa.pl a47be06fd8

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

**Prezes zarządu**
Jerzy Baczyński

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

**Dyrektor biura reklamy**
Izabela Kowalczyk-Dudek
tel. 22 451 61 36
e-mail: reklama@polityka.pl

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

**Druk** Quad/Graf

**Copyright © POLITYKA Sp. z o.o. SKA 2025**

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

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief **Laura Helmuth**
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 Servises **Stephen Pinock**

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

## Drodzy Czytelnicy,

być może pamiętają Państwo, ile zamieszania narobił w 2017 roku kosmiczny przybysz nazwany przez astronomów ‘Oumuamua. Poruszał się nietypowo, trochę jak kometa, ale z wyglądu jej nie przypominał. Fantazjowano nawet, że to statek Obcych. Astronomowie jednak dostrzegli w nim podobieństwo do innego ciała niebieskiego zaobserwowanego rok wcześniej. Od tamtego czasu odkryto już kilkanaście takich skał o zaskakujących trajektoriach i bez charakterystycznej dla komet komy. Rozwikłać ich zagadkę być może pomogą kosmiczne sondy (*s. 24*).

Przeciętny człowiek, zapytany o swój ulubiony kształt, pewnie się zdziwi. Kolor, zapach, owszem, ale kształt?! Dla matematyków jednak to fascynujący świat, pełen zaskakujących możliwości, a niektóre kształty lub powierzchnie uważają oni za szczególnie ciekawe. W artykule na s. 32 kilku matematyków z pasją opowiada o swoich faworytach.

Tymi matematykami, jak zapewne większością naukowców (a także czytelników naszego pisma), kieruje ciekawość. Ale co to takiego jest? Czy się do czegoś przydaje? A może tylko w życiu przeszkadza? Wyniki badań wskazują na korzyści – a jedna z nich jest taka, że ciekawość pomaga się uczyć (*s. 42*).

Za najpotężniejsze dinozaury uznajemy zwykle zauropody (ze względu na rozmiary) i tyranozaury (ze względu na rozmiary i siłę uzbrojonych w potężne zęby szczęk). Jednak to ceratopsy, ankylozaury i stegozaury były „żywymi czołgami”. Do tej pory niewiele było o nich wiadomo – teraz, dzięki nowo znalezionym skamieniałościom i doskonalszym metodom badawczym, paleontolodzy odkrywają szczegóły wyjątkowgo uzbrojenia tych gadów (*s. 48*).

Cięte kwiaty – na weselach, na cmentarzach, wręczane z okazji urodzin, świąt, jak Dzień Nauczyciela, zdobiące kawiarniane stoliki i sale koncertowe. I już od wielu lat dostępne bez względu na porę roku również w gatunkach, które w klimacie umiarkowanym kwitną tylko latem. W dodatku doskonałe w kształcie – z prostymi, długimi łodygami, bo takie są pożądane w reprezentacyjnych bukietach. Czy zdajemy sobie sprawę, że do supermarketów i kwiaciarni trafiają często po długiej podróży samolotem, że są tygodniami przechowywane w chłodniach, zabezpieczane środkami chemicznymi? To wszystko ma swoje negatywne skutki – zarówno dla środowiska, jak i ludzkiego zdrowia. Doceńmy kwiaty mniej idealne w formie, ale świeże, pachnące – sezonowe i uprawiane lokalnie. Z nich też da się układać wspaniałe bukiety (*s. 58*).

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

mgr Joanna Burek
Katedra Matematyki Stosowanej
Politechnika Lubelska

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 a47be06fd8

# Dzieci w sieci – czyli w czym problem i jaka jest jego skala?

**Ile czasu polskie dzieci spędzają średnio w wirtualnym świecie? Dlaczego pilnie potrzebujemy rozwiązań prawnych (i nie tylko), które uregulują ich sytuację? W poszukiwaniu odpowiedzi na te pytania niezbędna jest publikacja „Internet dzieci. Raport z monitoringu obecności dzieci i młodzieży w internecie. Marzec 2025"*, współtworzona przez dr Annę Miotk z Wydziału Dziennikarstwa, Informacji i Bibliologii Uniwersytetu Warszawskiego.**

## Heavy users

Najpierw garść danych. Ponad 85% osób w wieku 7-14 lat korzysta z internetu (2,74 mln). Z kolei grupa użytkowników w przedziale wiekowym 15–18 liczy 1,49 mln. Oznacza to, że ze środowiskiem sieciowym styczność ma niemal cała ich populacja. Dzieci i młodzież wykorzystują komputery osobiste (laptopy, komputery stacjonarne) oraz urządzenia mobilne (w przeważającej mierze smartfony, z których korzystają od wczesnych godzin rannych do ściętej nocy). 91,54% osób z najmłodszej grupy internautów (7–14) przynajmniej raz dziennie łączy się z internetem i spędza tu aż 4h 29 min. Podobne proporcje stosują się do grupy wiekowej 15-18.

Jak wskazują badacze, najmłodsi internauci oraz młodzież są tzw. „heavy userami". Równie istotne jest to, jakie treści budzą największe zainteresowanie młodych ludzi. W grupy 7–14 dwoma szczególnie popularnymi kategoriami tematycznymi są Edukacja oraz Kultura i rozrywka (zwłaszcza portale poświęcone grom komputerowym). Sytuacja wygląda podobnie w przypadku osób w wieku 15–18 lat. Ale popularne są również serwisy z kategorii Erotyka. Jak wynika z raportu, w IV kwartale 2024 r. co drugi niepełnoletni internauta miał kontakt z treściami erotycznymi, na które poświęcał średnio od 10 do 14 min dziennie. *Serwisy z tymi treściami są przeznaczone dla osób dorosłych, ale nie posiadają skutecznej weryfikacji wieku użytkowników* – mówi dr Anna Miotk. – *W praktyce wejść może na nie każdy, o ile kliknie przycisk, że ma skończone 18 lat. Stąd tak duża obecność dzieci w tych serwisach. Wiadomo, dzieci są ciekawe, chcą sprawdzić, o co chodzi. Ale te treści naprawdę nie są przeznaczone dla ich oczu!*

## Dzieci i czas

Inną niepokojącą kwestią jest obecność populacji dzieci w przedziale wiekowym 7-12 w serwisach społecznościowych. Warto podkreślić – w dużej mierze nielegalna. Progiem wiekowym umożliwiającym korzystanie z social mediów jest przecież 13. rok życia. – *Statystycznie 1/3 dzieci w Polsce w wieku 7–12 lat korzysta z TikToka (760 tys.), niewiele mniej z Facebooka (580 tys.), a 1/8 z Instagrama (290 tys.). Jeśli chodzi o komunikatory, Messengera używa 900 tys. przedstawicieli tej grupy wiekowej, a WhatsAppa 700 tys.*,



Fot. Pexels

pisze Jadwiga Przewłocka z firmy Gemius, współautorka raportu. Nikt nie ma już podstaw, by twierdzić, że „dzieci w mediach społecznościowych nie ma", podkreślają badacze.

Kto tak twierdzi lub twierdził? Sądząc po dotychczasowym prawnym „uregulowaniu" tej przestrzeni – niemal wszyscy. Dzieci i młodzież są bardzo aktywną grupą. Tymczasem ich nieuregulowany dostęp do sieci przynosi opłakane skutki. Jak tłumaczy w raporcie Krzysztof Mikulski, prezes Polskich Badań Internetu: – *Przez świadome działania zarządzających platformami społecznościowymi dzieci mają dostęp nie tylko do szkodliwych dla nich treści (o czym świadczy np. popularność serwisów z treściami dla dorosłych na smartfonach najmłodszych użytkowników), lecz także narażone są na mowę nienawiści, nękanie, próby wykorzystywania seksualnego czy nagabywanie przez handlarzy narkotyków. Dostęp do treści tego rodzaju jeszcze nigdy nie był tak łatwy. To skutek braku edukacji i zaniedbań ze strony nas, rodziców, ale przede wszystkim efekt umiejętnego marketingu i lobbingu gigantów technologicznych wśród rządzących oraz zupełnie niezrozumiałe odpuszczenia ochrony bezpieczeństwa najmłodszych przez całą klasę polityczną.*.

## Co działać?

„Nie ma użytkowników – są ludzie", czytamy w raporcie. Stanowi on między innymi apel o społeczną odpowiedzialność za przestrzeń cyfrową. Co zatem powinniśmy zrobić? Przede wszystkim – jak podpowiadają badacze – musimy stworzyć skutecznie działające regulacje prawne, które będą egzekwowane. Istotne jest też m.in. podjęcie przez instytucje publiczne we współpracy ze środowiskiem akademickim i sektorem pozarządowym pomiaru wpływu społecznego wynikającego z doświadczenia przemocy przez dzieci i młodzież w środowisku cyfrowym A także budowa społecznej świadomości wszystkich grup wiekowych.

*Raport powstał dzięki współpracy Fundacji „Instytut Cyfrowego Obywatelstwa", Polskich Badań Internetu, Państwowej Komisji do spraw przeciwdziałania wykorzystaniu seksualnemu małoletnich poniżej lat 15 i Gemiusa. Całość raportu dostępna jest pod adresem: https://cyfroweobywatelstwo.pl/wp-content/uploads/2025/03/RAPORT-INTERNET-DZIECI-2025.pdf

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

eprasa.pl a47be06fd8

# Klimatyczne raje nie istnieją

Na Ziemi nie ma takich regionów, do których można się przeprowadzić, bo nie dotkną ich zmiany klimatu




**We wrześniu 2024 roku** huragan Helene zatopił górskie miasteczko Asheville w Karolinie Północnej, które niegdyś uznano za klimatyczny raj, czyli miejsce mniej narażone na skutki zmian klimatu. W marcu 2025 roku przez cały stan przetoczyły się pożary. Dotarły aż do Myrtle Beach, nadmorskiej miejscowości w Karolinie Południowej. Od morza po góry obie Karoliny borykały się z klęskami żywiołowymi.

Tymczasem mieszkańcy USA tworzą listy miejsc, które rzekomo są odporniejsze na zmiany klimatu. Są położone dalej na północ, co ma gwarantować, że są lepiej izolowane od globalnego ocieplenia, lub też w pobliżu rzek czy jezior, które mogłyby złagodzić skutki suszy. Buffalo w stanie Nowy Jork, Ann Arbor w Michigan, Burlington w Vermont i, rzecz jasna, Asheville.

Jednak to, co przydarzyło się Asheville, pokazuje, że nie ma takiego miejsca w USA i na świecie, które jest zabezpieczone przed niszczącymi skutkami kryzysu klimatycznego. Lokalizacje reklamowane jako mniej narażone na upały, jak Asheville, mogą częściej doświadczać powodzi i intensywnych opadów śniegu. Te położone blisko wody muszą się liczyć ze wzrostem poziomu mórz lub częstszymi powodziami. Wzrost liczby mieszkańców zacznie dodatkowo nadwerężać zasoby wody, finalnie pogarszając sytuację w takich miejscach, podczas gdy reszta kraju będzie nadal doświadczała intensywniejszych pożarów, niszczycielskich huraganów i tornad, długich susz i nasilających się fal upałów. Przed zmianą klimatu nie ma dokąd uciec.

Temperatura na Ziemi rośnie, lody polarne topnieją, a północ USA doświadcza rekordowych letnich upałów. Zimowe przymrozki paraliżują sieć energetyczną w Teksasie i innych regionach Południa. Migracja nie jest szybkim sposobem na kryzys klimatyczny, a już na pewno nie jest rozwiązaniem sprawiedliwym. Musimy uznać, że oprócz ograniczenia użycia paliw kopalnych, najlepszą szansą na przetrwanie jest odpowiednie wzmocnienie i przeobrażenie tej przestrzeni, w której dziś żyjemy.

Przede wszystkim władze wszystkich szczebli muszą w końcu zaakceptować, że zmiana klimatu jest realnym procesem, do którego trzeba się dostosować i zarazem go powstrzymywać. Te dwa podejścia wzajemnie się nie wykluczają – wybór adaptacji, czyli takiego przekształcenia naszego otoczenia, aby stało się odporniejsze na zmiany klimatu, nie oznacza, że przestajemy walczyć z kryzysem.

Być może poza korzystnym położeniem i pogodą, Asheville było postrzegane jako klimatyczny raj także dlatego, że jego władze uznały rzeczywistość. Jeszcze przed nadejściem powodzi miasto zatwierdziło Miejski Plan Działań Proklimatycznych określający cele dotyczące energii odnawialnej, bardziej przyjaznej dla środowiska infrastruktury oraz zmniejszenia produkcji odpadów. Plan zakłada m.in. zwiększenie produkcji energii odnawialnej, w tym wykorzystanie paneli słonecznych do zasilania nieruchomości należących do miasta, oraz przestrzeganie zasad zrównoważonego budownictwa przy nowych inwestycjach i modernizacjach. Jednakże wraz ze zmniejszeniem się powierzchni koron drzew i zarazem wzrostem potrzeb zwiększającej się populacji Asheville stało się wrażliwsze na takie zagrożenia, jak osuwiska. Nie widać końca działań dostosowawczych. Wyzwanie to dotyczy całego stanu, który opracował już nawet własny plan zwiększania odporności na skutki zmiany klimatu.

Czy jednak Karolina Północna zdoła wykorzystać pomoc w postaci funduszy na odbudowę i postawić na zrównoważone środowiskowe inwestycje, zagrożone w wyniku upolitycznienia kwestii zmian klimatu? Zajmujące się tym stanowe instytucje są niedofinansowane, mimo że nowy gubernator Josh Stein podczas kampanii obiecywał przygotowanie stanu na zagrożenia klimatyczne. Nie jest jasne, w jaki sposób wydane przez niego tymczasowe rozporządzenia wykonawcze, dotyczące m.in. mieszkalnictwa tymczasowego oraz odbudowy dróg i mostów, zwiększą poziom adaptacji klimatycznej.

Pewność można mieć co do jednego: pomysł, aby ludzie przeprowadzili się do niektórych miast lub stanów, które wydają się odporniejsze na kryzys klimatyczny, jest głęboko niesprawiedliwy. Średnia cena domu w hrabstwie Washtenaw w stanie Michigan, gdzie znajduje się Ann Arbor, wynosi około 380 tys. dolarów. Pod tym względem jest to drugie najdroższe hrabstwo w całym stanie. Inne są znacznie tańsze, ale niewiele z nich jest przygotowanych lub też przygotowuje się na stały wzrost liczby mieszkańców. Zima



*Ilustracja Martin Gee*

eprasa.pl a47be06fd8

nad Wielkimi Jeziorami staje się coraz krótsza, a problemem stają się nie tylko powodzie, ale też coraz częstsze fale gorąca. Nawet w Buffalo rosną ceny mieszkań.

Podsumowując, dzięki historycznie łagodnej pogodzie, przyjaznemu klimatowi i odpowiedzialnym, przewidującym władzom lokalnym niektóre miejsca w USA faktycznie wydają się odporniejsze na skutki zmian klimatycznych. Jednakże ten kryzys nie zna granic – w zeszłym roku dym z pożarów lasów w Kanadzie dotarł aż Nowego Jorku, rok wcześniej zawisł na długo nad Buffalo. Nawet adaptacja nie rozwiąże więc całkowicie problemu.

Ostatecznie największe znaczenie będzie miało to, jak na kryzys odpowie władza na każdym poziomie. Pojedyncze miasta ani stany nie poradzą sobie same z tym problemem. Jak jednak miasto takie jak Austin w Teksasie – szczególnie wrażliwym na zmiany klimatu – zdoła się zaadoptować do ocieplenia, skoro gubernator i władze Teksasu bagatelizują wyzwania klimatyczne i aktywnie sabotują wysiłki zmierzające do ograniczenia użycia paliw kopalnych? System dostaw wody w Teksasie jest w głębokim kryzysie, a mnóstwo ludzi z tego regionu, podobnie jak w miejscach takich, jak Arizona, zostanie pozostawionych samym sobie, gdy ruszy wielka migracja na północ.

Jak poradzimy sobie jako naród pod rządami administracji, która zaprzecza istnieniu zmian klimatycznych? Która likwiduje ochronę środowiska, bagatelizuje sprawiedliwość środowiskową i promuje wydobycie coraz większej ilości paliw kopalnych?

Idea, że jakiekolwiek miejsce w jakimkolwiek kraju może być bardziej odporne lub elastyczne wobec sił natury o zasięgu globalnym, jest jedynie sprytną kampanią marketingową. Taki przekaz może poprawić humory niektórym ludziom, którzy uwierzą, że w razie czego mogą uciec przed kryzysem klimatycznym. Ale to tylko złudzenie. Cała planeta znalazła się w spirali ocieplenia. Zamiast planować ucieczkę, musimy domagać się przywództwa, które pomoże sfinansować wysiłki adaptacyjne, oczekiwać od liderów, że zmienią plany adaptacyjne w rzeczywistość, i dalej szukać sposobów na uporanie się z tymi czynnikami, które sprawiły, że cała ta dyskusja o rzekomych rajach klimatycznych w ogóle się zaczęła, czyli spalaniem paliw kopalnych oraz destrukcją amerykańskich lasów, terenów rolniczych i innych zasobów. ■

# Pożary zagrażają astronomii

## Szalejący ogień jest niebezpieczny zarówno dla życia ludzi i zwierząt, jak i czystości nieba PETER MCMAHON

**ZESZŁEGO ROKU** wiele osób na całym świecie, w tym ja, z przerażeniem obserwowało, jak pożary pochłaniają niemal jedną trzecią miasta Jasper w kanadyjskiej prowincji Alberta i spopielają około 150 mil kwadratowych otaczającego je Parku Narodowego Jasper. Pomimo że obecnie mieszkam i pracuję w Tucson w stanie Arizona, zniszczenia te wciąż odczuwam jako coś osobistego – Jasper jest częścią rezerwatu ciemnego nieba, który pomagałem stworzyć w kanadyjskich Górach Skalistych, i miastem, w którym wraz z żoną spędziłem niemal dekadę, budując firmę oferującą pokazy gwiazd oraz planetarium.

Katastrofalna kumulacja dwóch pożarów lasów pod koniec lipca spowodowała, że wysokie na 100 m płomienie wyrzucały zwęglone szyszki sosnowe i rozżarzone drobiny daleko od linii ognia. Ogień generował uderzenia piorunów i zstępujące prądy powietrzne, co wzmagało piekielną pożogę.

Około 25 tys. ludzi uciekło, zanim zaatakował ogień; jeden strażak zginął podczas akcji gaśniczej. Jakkolwiek w przeciwieństwie do kilku innych nasza firma przetrwała, nie wyszła bynajmniej bez szwanku – zostały zniszczone m.in. nasze teleskopy. Szacowane roszczenia ubezpieczeniowe za szkody wyrządzone przez pożar w parku narodowym mogą ostatecznie przekroczyć 1 mld dolarów kanadyjskich.

Te katastrofalne wydarzenia są prawdopodobnie zapowiedzią jeszcze większych szkód i perturbacji w przyszłości. W ostatnich latach liczba i intensywność pożarów rośnie i coraz bardziej zagraża możliwościom oglądania i badania nieba. Jeśli szybko nie wynajdziemy skutecznych środków zaradczych, wielkoskalowe pożary mogą okazać się większym problemem dla obserwacji astronomicznych niż zanieczyszczenie światłem. Wiele dobrze znanych widoków kosmosu może, w przenośni, pójść z dymem.

Na szczycie górskim na pustyni Sonoran w Arizonie martwy poczerniały od ognia dąb stoi około metr od budynku z pokojami gościnnymi w Kitt Peak National Observatory, gdzie zarządzam centrum dla odwiedzających. Zwęglone drzewo przypomina, jak było blisko do katastrofy. Uderzenie pioruna w czerwcu 2022 roku wywołało pożar, który przeszedł przez góry Baboquivari, niszcząc cztery budynki i zbliżając się na odległość kilkudziesięciu stóp do niektórych z 22 głównych teleskopów badawczych Kitt Peak.

Kilka dni po tragedii w Jasper zeszłego lata kolejny pożar wymusił przygotowania do ewakuacji na Kitt Peak – brezentowe plandeki były gotowe do przykrycia teleskopów i zabezpieczenia aparatury.

Problem nieustannie się pogłębia. Pożary zniszczyły już kilka dużych teleskopów w australijskim obserwatorium Mount Stromlo. W 2020 roku Sierra Remote Observatories w Kalifornii o mało nie padły ofiarą ognia, który pokrył optykę teleskopów popiołem.

W sezonie pożarów w 2022 roku podczas pokazu nieba dla odwiedzających gości stałem z moimi pracownikami na górnej stacji kolejki linowej Jasper SkyTram, przyglądając się, jak ogień wije się wzdłuż brzegów jeziora Jasper oddalonego o 15 mil. Pomimo że pożar ostatecznie nie dotarł do miasta, jego dym przez wiele tygodni sporadycznie zakłócał nam widoczność nieba w Jasper Planetarium. Bywa, że dym z rozległych pożarów m.in. w Albercie, Kolumbii Brytyjskiej i Kalifornii, przesłania gwiazdy w miejscach oddalonych nawet o tysiące mil.

Meteorolog Alan Rahill, którego Clear Sky Chart jest wypróbowanym narzędziem do planowania obserwacji, w rozmowie ze mną ostatnio ubolewał: „W drugiej połowie tego stulecia nie zobaczymy już błękitnego nieba od marca do grudnia. Bezchmurne noce staną się rzadkością”. Jest jednak nadzieja. Zarówno profesjonalne, jak i amatorskie instytucje astronomiczne znajdują sposoby na ochronę przed pożarami, zarówno w zakresie skutków, jak i przyczyn:

Kitt Peak instaluje specjalistyczne detektory mające zapewnić wczesne ostrzeganie

**Peter McMahon** jest dyrektorem i współwłaścicielem Jasper Planetarium, a także właścicielem i kierownikiem Ontario Planetarium. Obecnie pełni funkcję kierownika operacyjnego centrum dla odwiedzających w Kitt Peak National Observatory w pobliżu Tucson w Arizonie.



eprasa.pl a47be06fd8



Alberta Wildfire Social Media Account/Handout/Anadolu via Getty Images

Dym z pożaru unosi się nad Parkiem Narodowym Jasper w Albercie, Kanada, 24 lipca 2024 roku.

przed uderzeniami piorunów na szczycie oraz współpracuje z miejscowym zespołem, w którego skład wchodzą m.in. strażacy, przyrodnicy i ranczerzy, przygotowując generalny plan przyszłego reagowania kryzysowego.

Lowell Observatory we Flagstaff w Arizonie współpracuje z lokalnymi władzami w zakresie planowanych wypaleń i strategicznych wyrębów przeciwpożarowych w celu ochrony swojego terenu. Griffith Observatory w Los Angeles zmodernizowało systemy przeciwpożarowe i same budynki; podczas pożarów w styczniu zostało wprawdzie zamknięte, lecz nie było bezpośrednio zagrożone.

W Jasper Planetarium, które zostało ponownie otwarte po lipcowym pożarze, dodaliśmy radioteleskop nadający się do prowadzenia obserwacji w warunkach ograniczonej widoczności i pozwalający odwiedzającym na oglądanie na żywo obrazów radiowych odległych galaktyk.

Rozwiązanie zasadniczego problemu będzie jednak wymagało o wiele większego wysiłku niż dostosowanie się do „nowej normy” – większej liczby coraz intensywniejszych pożarów. Bob McDonald, popularyzator nauki, miłośnik astronomii i laureat Orderu Kanady, mówi: „Wzrost liczby pożarów i susz na całym świecie jest oznaką, że zmiany klimatyczne to już nie kwestia przyszłości. One są tu i teraz”.

W swojej najnowszej książce *The Future is Now* McDonald argumentuje, że COVID-owe lockdowny uświadomiły wielu ludziom, że dysponujemy narzędziami do odwrócenia zmian klimatycznych m.in. przez wykorzystywanie energii ze źródeł odnawialnych i wychwytywanie dwutlenku węgla z atmosfery. „Dym jest wyraźnym sygnałem, że nadszedł czas, aby zacząć działać i oczyścić nasze niebo, nie tylko ze względu na astronomię, ale i ludzkie zdrowie” – powiedział.

Czy zaczniemy działać, jeśli kolejne obserwatorium zostanie zniszczone przez pożar? Mam nadzieję, że tak. Czy więcej ludzi zauważy, że niektóre badania astronomiczne nie są już możliwe, ponieważ niebo nad niektórymi teleskopami jest zbyt zanieczyszczone przez dym? Niewykluczone. Obawiam się jednak, że sygnał alarmowy może zostać odebrany zbyt późno, dopiero gdy miłośnicy przyrody spojrzą w letnie niebo pełne popiołu zamiast gwiazd i z niepokojem spytają: „A cóż to się stało?”. ■

# Dzieci i smartfony

Korzystanie ze smartfonów obwinia się o wszelkie możliwe problemy. Kiedy więc rodzice powinni wyposażyć swoje dzieci w te urządzenia?

JACQUELINE NESI

**PROBLEMY ZDROWIA PSYCHICZNEGO.** Kontakt z pornografią. Uzależnienie. Samotność. Przemoc rówieśnicza. Korzystanie ze smartfonów przez nastolatków obciąża się za całe mnóstwo problemów społecznych. Dla rodziców stawka wydaje się niemożliwie wysoka. Dasz dziecku smartfon – ryzykujesz otwarcie puszki Pandory. Wstrzymasz się – ryzykujesz, że zostanie wykluczone przez rówieśników uzbrojonych w nowoczesne technologie.

Kiedy zatem zrobić ten krok? W jakim wieku najlepiej dać dziecku smartfon?

Jako psycholog zajmujący się wpływem technik cyfrowych na zdrowie psychiczne młodzieży i autorka newslettera dla rodziców „Techno Sapiens”, mogę powiedzieć, że to jedno z najczęstszych pytań, jakie zadają rodzice.

A teraz zła wiadomość: nie ma jednego „właściwego” wieku. A dobra? Możemy sięgnąć do badań, aby podjąć możliwie najlepszą decyzję dla swojego dziecka i poczuć się pewniej jako rodzic.

Zacznijmy od podstaw. Gdy 12-latek narzeka, że wszystkie dzieciaki w klasie mają już smartfony – czy ma rację? Zgodnie z ogólnokrajowymi danymi [dla USA – przyp. red.] z badań Common Sense Media, 42% 10-latków deklaruje posiadanie własnego smartfona. W wieku 12 lat ten odsetek wzrasta do 71%, a 14 wynosi już 91%. Oczywiście, dane te różnią się w zależności od środowiska i społeczności, ale stanowią pewną średnią.

Te liczby mówią nam mniej więcej, w jakim wieku inne rodziny dają dzieciom smartfony, ale nie wskazują, jaki wiek jest najlepszy. Aby naprawdę odpowiedzieć na to pytanie, potrzebowalibyśmy badania konkretnego rodzaju, obejmującego dużą grupę dzieci. Przypisalibyśmy losowo niektórym dzieciom smartfony w wieku 10 lat, innym w wieku 11, 12 itd. Następnie obserwowalibyśmy je przez kolejne



eprasa.pl a47be06fd8

lata, by ocenić ich rozwój emocjonalny, poznawczy i społeczny. Na końcu moglibyśmy porównać na przykład dzieci, które dostały telefon w wieku 12 lat, z tymi, które dostały go w wieku 17.

Tyle że taki eksperyment w realnym świecie się nie jest możliwy. Wymagałby w pierwszej kolejności losowego przypisania wieku zakupu smartfona. Tylko wtedy moglibyśmy stwierdzić, czy różnice w wynikach wynikają z wieku, w którym dzieci dostały telefon. Ale prawie żadna rodzina nie zgodziłaby się, by o tak ważnej decyzji decydował przypadek.

Można oczywiście porównać dzieci, które dostały smartfon w wieku 12 lat, z tymi, które dostały go w wieku 17 – ale bez losowego przypisania nie mamy pewności, że te grupy były do siebie porównywalne. Dzieci mogłyby pochodzić z innych środowisk, mieć różny status ekonomiczny albo różnić się dojrzałością emocjonalną i społeczną. To mogą być powody, dla których wyniki obecnych badań są niespójne: niektóre świadczą, że wcześniejszy dostęp do smartfona ma negatywny wpływ na dobrostan, inne nie potwierdzają jakiegokolwiek wpływu.

Nawet gdyby takie badanie udało się przeprowadzić, pojawiłby się kolejny problem: dzieci bardzo się między sobą różnią. Dwunastolatki mogą mieć odmienne potrzeby, preferencje, doświadczenia; różny może być ich poziom rozwoju emocjonalnego i umiejętności społecznych. Nawet jeśli badanie wskazałoby jeden „optymalny" wiek – byłaby to tylko średnia. Nadal wiele dzieci mogłoby w tym wieku nie być gotowych.

Jak więc zdecydować, kiedy dać dziecku smartfon?

Techniki cyfrowe odgrywają kluczową rolę w życiu społecznym nastolatków: 69% z nich twierdzi, że smartfon pomaga im rozwijać zainteresowania, a 80%, że media społecznościowe (zwykle dostępne przez smartfon) pomagają utrzymywać kontakty ze znajomymi. Kiedy młody człowiek prosi o smartfon, powodem może być presja rówieśnicza, ale równie dobrze realne poczucie wykluczenia. Jeśli wszyscy umawiają się przez SMS-y, a twoje dziecko nie ma dostępu do grupowego czatu – naprawdę jest wykluczone.

Do tego dochodzą względy bezpieczeństwa i wygody. Może dziecko samo wraca ze szkoły albo trzeba się z nim umawiać na odbiór z treningu czy od drugiego rodzica?




Ilustracja Malte Müller

**Jacqueline Nesi** jest psycholożką kliniczną, profesorem nadzwyczajnym na Brown University, autorką newslettera „Techno Sapiens" i współzałożycielką Tech Without Stress. Uzyskała stopień doktorski na University of North Carolina w Chapel Hill.

Jednocześnie smartfony niosą ze sobą ryzyko. Wiemy, że mogą rozpraszać dzieci podczas nauki, przerywać bezpośrednie relacje i zakłócać sen. Zdajemy sobie też sprawę, że dają dostęp do całego Internetu – w tym treści, których wolelibyśmy, żeby dzieciom nie udostępniać.

Najlepsze urządzenie dla dziecka może być najprostsze – takie, które spełnia konkretne potrzeby. Może się okazać, że „głupsze urządzenie" – prosty telefon komórkowy, smartfon dla dzieci czy smartwatch – spełni swoją funkcję. Stopniowe wprowadzanie techniki daje więcej okazji, by nauczyć dziecko rozsądnego z niej korzystania: można zacząć od wspólnego rodzinnego tabletu, potem przejść do prostego telefonu, następnie smartfona z kontrolą rodzicielską, a na końcu – do w pełni funkcjonalnego telefonu z mediami społecznościowymi i aplikacjami.

Warto też zauważyć, że łatwiej opóźnić zakup smartfona, gdy inni rodzice robią to samo. Dlatego inicjatywy takie, jak Wait Until 8th (czyli „Poczekaj do ósmej klasy"), które mobilizują społeczności do odwlekania zakupu smartfona dla dzieci, zyskują popularność.

„Gotowość" to trudne słowo w przypadku smartfonów. Czy jakiekolwiek dziecko jest naprawdę gotowe na jedno z najpotężniejszych narzędzi naszych czasów? A czy dorośli są? Ocena gotowości dziecka to rozpoznanie jego mocnych i słabych stron, przemyślenie jego zachowań i przygotowanie się na ważny krok, który wymaga dużego wsparcia z twojej strony – i parę nieuniknionych potknięć.

Badania konsekwentnie pokazują, że sposób, w jaki dzieci reagują na technikę, jest silnie zindywidualizowany – zarówno jeśli chodzi o samo dziecko, jak i konkretną technikę (zjawisko to nazywa się zróżnicowaną podatnością na wpływ mediów).

Jeśli dziecko jest emocjonalnie wrażliwe albo ma trudności społeczne, smartfon może spotęgować te problemy. Jeśli natomiast jest odpowiedzialne, ma dobrą ocenę sytuacji i trzyma się ustalonych zasad – smartfon może nie stanowić żadnego zagrożenia. Warto zwrócić uwagę na wcześniejsze doświadczenia dziecka z techniką – na przykład z tabletem – by przewidzieć jego reakcję.

Bez względu na wiek, jaki wybierzesz – możesz się tak przygotować, aby odnieść sukces. Rozmawiaj z dzieckiem o smartfonach wcześnie i regularnie. Wprowadzaj technikę stopniowo. Ustalcie razem zasady i granice.

Choć nie istnieje jeden idealny wiek na smartfon, może istnieć odpowiedni moment dla waszej rodziny. Zaufaj swojej intuicji – z pewnością zorientujesz się, kiedy ten moment nadejdzie. ■



eprasa.pl a47be06fd8

# SKANER

KOMUNIKACJA ZWIERZĄT

## Rozmowy wielorybów

Ich pieśni podlegają tym samym podstawowym regułom, co ludzki język



**MIMO OGROMNEJ RÓŻNORODNOŚCI** językowej na świecie, we wszystkich ludzkich językach obserwuje się pewne uniwersalne wzorce. Sięgają one głębiej niż gramatyka i składnia – wynikają ze statystycznych prawidłowości, które przewidują, jak często używamy poszczególnych słów i jak długie są zwykle te słowa. Można te wzorce uznać za wbudowane „ograniczniki", które sprawiają, że język pozostaje łatwy do nauczenia i używania.

Teraz naukowcy odkryli, że podobne wzorce pojawiają się także w wokalizacjach wielorybów. Dwa nowe badania wykazały, że ludzie i wieloryby doszli do podobnych rozwiązań w kwestii komunikacji dźwiękowej. „To wzmacnia pogląd, że nie powinniśmy traktować języka ludzkiego jako całkowicie odrębnego zjawiska, lecz raczej zastanawiać się, co łączy go z innymi systemami komunikacji" – mówi Inbal Arnon, psycholożka z Uniwersytetu Hebrajskiego w Jerozolimie i współautorka jednego z badań.

W artykule opublikowanym w „Science" Arnon i jej współpracownicy przeanalizowali pieśni humbaków nagrane w ciągu ośmiu lat w Nowej Kaledonii (Południowy Pacyfik) i odkryli, że ich struktura ściśle odpowiada zasadzie znanej jako prawo Zipfa. To prawo, w odniesieniu do ludzkiego języka, mówi, że częstość słowa (liczba wystąpień słowa w tekście) jest odwrotnie proporcjonalna do jego rangi (najczęstsze słowo ma rangę równą 1, drugie co do częstości rangę równą 2 itd.).

Zanim jednak naukowcy mogli przeanalizować nagrania, musieli najpierw zidentyfikować segmenty dźwiękowe odpowiadające słowom – choć pozbawione znaczenia semantycznego – wśród serii dźwięków przypominających pomruki, wrzaski i jęki. Znaleźli się w sytuacji



eprasa.pl a47be06fd8

**CIERPIENIE ŁĄCZY,** s. 13
**JAK KORZYSTASZ Z WIKIPEDII?,** s. 14
**ZAPACH INWAZJI,** s. 16





**Przypominające słowa sekcje pieśni długopłetwca oceanicznego podlegają takim samym wzorcom, jak występujące w ludzkim języku.**

John Natoli/Getty Images



eprasa.pl a47be06fd8

podobnej do tej, w której znajduje się noworodek. I właśnie na dzieciach postanowili się wzorować. Niemowlę „otrzymuje ciągły sygnał akustyczny — mówi Arnon — i musi odkryć, gdzie zaczynają się słowa."

Strategia niemowlęcia jest prosta: nasłuchuje rzadko występujących połączeń dźwięków w mowie dorosłych. Kiedy takie nietypowe przejście się pojawia, prawdopodobnie oznacza granicę między słowami, bo nietypowe kombinacje rzadko występują wewnątrz jednego słowa.

Gdy badacze podzielili pieśni wielorybów według tych „prawdopodobieństw przejść" – tak jak zrobiłoby to niemowlę – prawo Zipfa pasowało idealnie, a 1000 losowo przemieszanych elementów danych nie zbliżyło się nawet do zgodności, co sugeruje, że uzyskane wyniki nie są dziełem przypadku. „Byliśmy zaskoczeni" – mówi współautorka artykułu Ellen C. Garland, ekspertka ds. pieśni wielorybów z University of St. Andrews w Szkocji. – Istniała szansa odkrycia tych samych struktur, ale czy na to liczyliśmy? Absolutnie nie."

Dlaczego więc podobne zachowania komunikacyjne mogłyby się niezależnie rozwinąć u wielorybów i ludzi, których ostatni wspólny przodek był prawdopodobnie ryjówkowatym ssakiem żyjącym około 100 mln lat temu? Rozkład słów zgodnie z prawem Zipfa najwyraźniej pomaga dzieciom w przyswajaniu języka i niektórzy językoznawcy sądzą, że to właśnie ta łatwość prowadzi do wykształcenia się takiej, a nie innej struktury. „Kiedy coś jest w ten sposób zorganizowane w twoim otoczeniu językowym, łatwiej to przyswoisz" – mówi Simon Kirby, kognitywista z University of Edinburgh i współautor badania.

Innymi słowy, struktura języka może być w dużej mierze efektem sposobu jego przekazywania z pokolenia na pokolenie. Zespół badawczy uznał więc, że prawo Zipfa może występować nie tylko w ludzkim języku, ale także u tych zwierząt, których sekwencyjne sygnały głosowe są „uczone kulturowo" (czyli przekazywane między osobnikami). Do tej grupy należy, jak mówi Kirby, „dziwna, przypadkowa zbieranina gatunków", takich jak ptaki śpiewające, nietoperze, słonie, foki, delfiny i wieloryby.

Według obecnej wiedzy większość innych zwierząt porozumiewających się głosowo – od psów po żaby i ryby – korzysta z sygnałów genetycznie zaprogramowanych, a nie przyswajanych.

Dziś już wiemy, że przynajmniej wieloryby dzielą z nami kluczowy składnik systemu komunikacji, co wpisuje się w rosnące od kilku dekad wśród naukowców przekonanie, że nie jesteśmy aż tak wyjątkowi, jak nam się kiedyś wydawało. Nasze zdolności językowe opierają się na zestawie cech fizycznych i poznawczych, z których wiele występuje także u innych gatunków.

W osobnym artykule opublikowanym w „Science Advances" Mason Youngblood, odbywający staż podoktorski na Stony Brook University, donosi o dowodach na obecność jeszcze dwóch „praw językowych" w wokalizacjach wielorybów. Jedno to prawo zwięzłości, które, zastosowane do ludzkiego języka, mówi, że im częstsze słowo, tym krótsze, i odwrotnie. Według drugiego, prawa Menzeratha, im dłuższa jest jednostka językowa (np. zdanie), tym krótsze są jej składniki (np. frazy).

Youngblood odkrył, że oba te wzorce są szczególnie silne w pieśni humbaków, ale występują także u innych gatunków wielorybów. Te prawa opisują, jak zwierzęta „maksymalizują ilość przekazywanej informacji w możliwie najkrótszym czasie i przy jak najmniejszym nakładzie energii", mówi.

Choć porównania z ludzkim językiem są wyjątkowo kuszące, badacze przestrzegają przed nadinterpretacją. „Pieśń wieloryba to nie język" – podkreśla z przekonaniem Garland. Dźwięki wielorybów z pewnością coś znaczą, jednak większość ekspertów uważa, że nie przypominają one pod względem głębi i złożoności ludzkiego języka. Co najważniejsze – dźwięków humbaka nie da się łączyć w nieskończoną liczbę nowych kombinacji, by wyrazić nowe idee. Cała pieśń coś komunikuje, ale „słowa" w jej obrębie wydają się nie mieć samodzielnego znaczenia. W tym sensie pieśń wieloryba przypomina bardziej muzykę – która również podporządkowuje się prawu Zipfa.

Mimo to podobieństwa są uderzające.

Luke Rendell, biolog z University of St. Andrews, który nie brał udziału w żadnym z badań, uważa, że te odkrycia mogą „sygnalizować coś naprawdę głębokiego, wskazywać, że ewolucja może prowadzić do tych samych rozwiązań – lub być ograniczona do pewnych typów uczenia się".

Mogą więc ujawniać granice i możliwości złożonej komunikacji w ogóle.

Kirby podobnie wysuwa hipotezę, że prawo Zipfa – a niewykluczone, że i inne prawa językowe – może być „rodzajem odcisku palca tych systemów kulturowych", obecnych wszędzie tam, gdzie zwierzęta przekroczyły próg uczenia się przez kulturę.

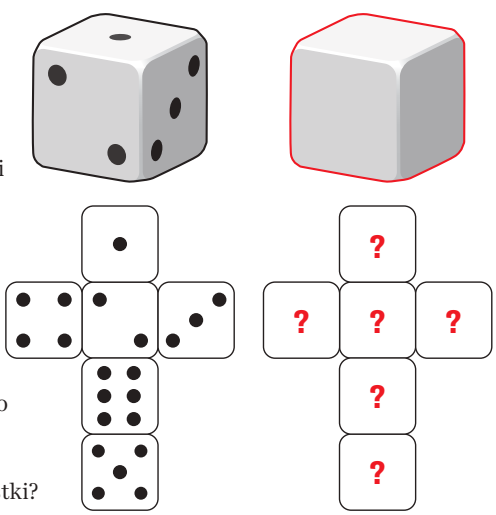
„To prawdopodobnie bardzo podstawowa cecha organizacji systemów poznawczych" – dodaje. *Cody Cottier*

ZAGADKA MATEMATYCZNA

# Projekt kostki

Hans-Karl Eder

**MARIA MIAŁA** do dyspozycji dwie kostki do gry: jedną zwykłą z liczbami oczek 1, 2, 3, 4, 5, 6 oraz drugą całkowicie pustą. Tę drugą oznaczyła w szczególny sposób – taki, by rzucając obiema kostkami naraz, można było uzyskać sumę oczek równą 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 lub 12, przy czym prawdopodobieństwo wyrzucenia każdej z tych liczb było jednakowe. Iloma oczkami Maria oznaczyła każdą ze ścianek drugiej kostki?




*Rozwiązanie zagadki matematycznej na stronie 77*

Spektrum der Wissenschaft



*Grafika Amanda Montañez*

eprasa.pl a47be06fd8

LINGWISTYKA

# Język bólu

## Dźwięk „ał” przekracza granice



**CO POWIEDZIAŁBYŚ,** gdybyś przypadkiem kopnął w futrynę? W zależności od tego, jak bardzo by zabolało, mógłbyś zajęczeć z bólu, zakląć – lub wypowiedzieć bardzo specyficzne słowo, takie jak „ałć!” lub „ała!”.

W wielu językach istnieje słowo oznaczające ból. W języku mandaryńskim jest to *ai-yo*, francuskim *aïe*, a w kilku językach rdzennych Australijczyków *yakayi*. Wszystkie mają dość podobne elementy dźwiękowe. I nie jest to przypadek – jak wynika z badania opublikowanego w „Journal of the Acoustical Society of America”. Naukowcy odkryli, że wykrzykniki związane z bólem zwykle zawierają samogłoskę „ah” (zapisywaną jako [a] w Międzynarodowym Alfabecie Fonetycznym). Może to wskazywać na początki ludzkiego języka.

„W każdym kraju można zaobserwować nadreprezentację [a]” w wykrzyknikach związanych z bólem, mówi jedna z autorek badania dr hab. Katarzyna Pisańska (z Instytutu Psychologii Uniwersytetu Wrocławskiego), która obecnie bada komunikację głosową we French National Centre for Scientific Research (CNRS). „Jest to naprawdę bardzo wyraźny efekt”. Pisańska i jej współpracownicy odkryli również, że [a] dominuje w niewerbalnych, często mimowolnych okrzykach bólu, zwanych wokalizacjami, które wydają ludzie na całym świecie. Ta zbieżność sugeruje, że słowa takie, jak „ała”, mogły zostać ukształtowane przez bardziej pierwotne dźwięki wywołane przez ból, które ludzie artykułowali – zapewne na długo przed rozwojem języka lub mowy.

Lingwistka Maïa Ponsonnet, główna autorka badania, po raz pierwszy dostrzegła podobieństwo między *yakayi* a francuskim *aïe*, studiując rdzenne języki Australii. „Oczywiście, była to tylko taka pierwsza obserwacja – mówi Ponsonnet, która również pracuje w CNRS. – Nie należy wyciągać wniosków na podstawie zaledwie dwóch języków”. Dlatego ona i jej zespół przeszukali słowniki i bazy danych 131 języków świata w poszukiwaniu wykrzykników wyrażających ból, a także dwie inne podstawowe emocje – obrzydzenie i radość. Badanie objęło dziesiątki rodzin językowych Azji, Australii, Ameryki Łacińskiej, Afryki i Europy.

Naukowcy odkryli uderzające statystyczne podobieństwa wykrzykników wyrażających ból w różnych językach. W rzeczywistości dźwięki te były bardziej podobne do siebie w różnych językach niż do innych słów w tym samym języku. Efekt ten, który nie wystąpił w przypadku wykrzykników wyrażających radość lub obrzydzenie, wzmacniała w szczególności jedna kategoria samogłosek: [a]-podobnych, które często łączą się z innymi głoskami, tworząc dźwięki takie, jak „ał”.

„Nieczęsto zdarza się, że hipoteza […] jest testowana na tak dużą skalę, a uzyskany wynik tak jednoznaczny” – komentuje Mark Dingemanse, językoznawca z Radboud University Nijmegen w Holandii, który prowadzi podobne badania nad wykrzyknikami.

Wzorzec ten wskazuje, że słowa, których ludzie używają w odniesieniu do bólu, nie są tak losowe, jak wiele innych słów, lecz zostały prawdopodobnie ukształtowane przez jakiś wspólny czynnik. Czy te podobieństwa mogą pochodzić z pierwotnych, niejęzykowych dźwięków, które automatycznie wydajemy, gdy zostaniemy zranieni? Badania na ten temat są skąpe, więc Ponsonnet nawiązała współpracę z Pisańską, która bada ewolucję komunikacji głosowej u ssaków, aby przeprowadzić kolejny eksperyment. Naukowcy zwerbowali 166 osób mówiących po angielsku, japońsku, hiszpańsku, turecku i mandaryńsku. Poproszono, by badani podali dźwięki, które wydaliby, gdyby odczuwały ból, obrzydzenie lub radość.

Zespół odkrył, że w tych pięciu językach dla każdej emocji wokalizacje zawierały podobne dźwięki samogłoskowe. W przypadku obrzydzenia najczęstszym dźwiękiem było [e] (wymawiane jak „uh”), w przypadku radości było to [i] (wymawiane jak „ee”), a w przypadku bólu znane już [a].

Fakt, że [a] było nadreprezentowane zarówno w pierwotnych wokalizacjach, jak i wykrzyknikowych wyrażeniach związanych z bólem, sugeruje, że te dwa rodzaje wypowiedzi mogą być ze sobą powiązane, uważa Pisańska. Możliwe, że słowa takie, jak „ała” i *yakayi*, zostały ukształtowane przez spontaniczne dźwięki, które ludzie zaczęli wydawać, aby sygnalizować sobie wzajemnie ból lub niepokój.

W przypadku obrzydzenia i radości wyniki badań opowiadają inną historię. Wokalizacje dla tych emocji mogą być podobne na całej planecie, ale związane z nimi wyrażenia wykrzyknikowe są już znacznie bardziej zróżnicowane – być może dlatego, że emocje te są bardziej zależne kulturowo aniżeli ból, sugeruje Pisańska. „Ból to ból, bez względu na to, skąd pochodzisz ⇒

Hiraman/Getty Images



eprasa.pl a47be06fd8

– mówi. – Jego odczuwanie to doświadczenie czysto biologiczne".

Nasza wspólna biologia wpływa na wiele aspektów języka. Naukowcy nieustannie odkrywają przypadki symbolizmu, czy też ikoniczności dźwięku, kiedy forma znaku językowego ma pewien związek z jego znaczeniem. Przypadki te stoją w sprzeczności z obowiązującą przez dziesięciolecia teorią lingwistyczną, według której język to wytwór zasadniczo arbitralny (co oznacza, że na przykład w strukturze lub brzmieniu słowa „ptak" nie ma nic, co sprawiłoby, że pomyślelibyśmy o prawdziwym ptaku).

Jednak ikoniczność ujawnia się powszechnie w całej ludzkiej mowie. Języki migowe, przez długi czas niezauważane przez wielu lingwistów, wykorzystują wiele symboli: w amerykańskim języku migowym osoba tworzy słowo „ptak", używając palca i kciuka do naśladowania otwierania i zamykania ptasiego dzioba. A w językach mówionych termin „onomatopeja" odnosi się do słowa, które naśladuje dźwięk, na przykład „bum" lub „dzyń-dzyń". Niektóre gatunki ptaków, jak kukułka, kwiczoł, gęś gęgawa, otrzymały nazwy, które odzwierciedlają ich nawoływania.

Ale te powiązania między formą a znaczeniem mogą być tak abstrakcyjne, że są prawie niewidoczne, dopóki nie zostaną ujawnione przez naukowców. Istnieje na przykład efekt „buba-kiki" polegający na tym, że ludzie z różnych kultur są bardziej skłonni kojarzyć nic nieznaczące słowo „bouba" z zaokrąglonym kształtem, a „kiki" z kanciastym.

„To właśnie jest piękne w ikoniczności dźwięku i symbolizmie – wszyscy mamy jakieś odczucia z tym związane – mówi Aleksandra Ćwiek, językoznawczyni z Leibniz-Center for General Linguistics w Niemczech. – Widzieć, jak zgodni są pod tym względem ludzie, to coś niesamowitego". W artykule opublikowanym również w „Journal of the Acoustical Society of America" Ćwiek i jej współpracownicy wykazali, że ludzie kojarzą dźwięk „R" z szorstkością, a „L" z gładkością.

„Odkrycie, że niespokrewnione ze sobą języki są tak podobne w niektórych aspektach, uświadamia nam i przypomina o naszym wspólnym człowieczeństwie" – mówi Dingemanse, który w 2013 roku odkrył, że wyrażający wątpliwość wykrzyknik „Hę?" i podobne słowa w innych językach również mogą być uniwersalne. „Bez względu na to, jak bardzo języki się różnią, jednoczą nas, co również jest fascynujące". *Allison Parshall*

PSYCHOLOGIA

# Wikiciekawość

## Jesteś „plotkarzem", „łowcą" czy „tancerzem"?

**WIKIPEDIA OPISUJE CIEKAWOŚĆ** jako „cechę związaną z dociekliwym myśleniem, takim jak eksploracja, badanie i uczenie się, widoczną u ludzi i wielu zwierząt". Ale na tę jedną z głównych motywacji ludzkiego działania składa się wiele różnych elementów – a Wikipedia, jako największa na świecie encyklopedia, pomaga badaczom społecznym w rozłożeniu na czynniki pierwsze definicji ciekawości.

Śledzenie, w jaki sposób użytkownicy Wikipedii poruszają się wśród rozmaitych tematów i gubią w króliczych norach świata Wiki, ujawniło trzy różne typy ludzkiej dociekliwości: „plotkarz", „łowca" i „tancerz".

Plotkarz podąża przez ten zbiór wiedzy zygzakowatą trasą prowadzącą przez wiele często odległych od siebie tematów. Dla kontrastu, łowca koncentruje się na jednym temacie, poruszając się wśród stosunkowo niewielkiej liczby ściśle powiązanych artykułów. Z kolei tancerz krąży pomiędzy odległymi tematycznie stronami, próbując wiedzę syntetyzować i kreować nowe idee. „Ciekawość działa generalnie w ten sposób, że nie ograniczamy się do zebrania informacji, ale staramy się je połączyć w całość" – mówi Dani Bassett, badaczka sieci internetowych z University of Pennsylvania, współautorka badań opublikowanych niedawno w „Science Advances" poświęconych różnym rodzajom ciekawości. „To nie jest tak, że idziemy przez świat, zbierając kawałki informacji i wkładając je do kieszeni niczym kamyki – nowe informacje łączymy z tymi, które już znamy".

Badacze śledzili zachowania ponad 482 tys. osób korzystających z aplikacji mobilnej Wikipedii w 50 krajach lub terytoriach i 14 językach. Analizowali ścieżki, którymi kroczyli użytkownicy, posługując się metodą „sieci wiedzy" powstającej z łączenia pozyskiwanych informacji. Takie podejście pozwala wskazać, jak blisko są powiązane ze sobą tematy wyszukiwane (węzły sieci) w Wikipedii przez daną osobę. Oprócz samego śledzenia połączeń, naukowcy powiązali rodzaje ciekawości z różnymi wskaźnikami, m.in. jakością życia i nierównościami. Do tego celu wykorzystali dane lokalizacyjne.

W krajach o wyższym poziomie wykształcenia obywateli oraz większej równości płci użytkownicy Wikipedii byli częściej plotkarzami. W krajach z niższymi wskaźnikami obu tych zmiennych ludzie przeglądali strony jak łowcy. Bassett przypuszcza, że „w krajach z silnymi strukturami opresyjnymi lub patriarchalnymi produkcja wiedzy może być ograniczona, co popycha ludzi w stronę takiego hiperskupienia". Naukowcy przeanalizowali również tematy zainteresowań, od fizyki po sztuki wizualne, porównując plotkarzy z łowcami (patrz infografika). Wzorce typowe dla tancerzy nie zostały uwzględnione, ponieważ opisano je dopiero niedawno.

Erik Nook, psycholog z Princeton University, docenia „zdumiewająco duży" zakres badań. Zwraca uwagę, że autorzy połączyli wiedzę ekspercką z różnych dziedzin – topologii, psychologii, kognitywistyki, nauki o emocjach, badań klinicznych, socjologii oraz modelowania komputerowego. „Dzięki temu poczynili wiele cennych obserwacji dotyczących ludzkich zachowań" – mówi.

Ziarno, z którego wykiełkowały te badania, zostało zasiane w 2016 roku, kiedy Bassett i jej brat bliźniak, Perry Zurn, profesor filozofii na American University, zauważyli, że wiele badań akademickich zajmowało się kreatywnością, ale stosunkowo mało z nich dotyczyło niezbędnej dla niej cechy – ciekawości. Zurn zanurkował w dwa tysiąclecia zachodniej literatury historycznej i filozoficznej, wynurzając się z koncepcją stylów ciekawości, w tym trzech badanych w najnowszym artykule. Wikipedia stała się dla nich naturalnym laboratorium, w którym postanowili zweryfikować rozróżnienie na plotkarza, łowcę i tancerza, zaczerpnięte z prac wielkich filozofów. Heidegger i Nietzsche byliby bardzo zdziwieni, gdyby zobaczyli, że ich prace zainspirują sieciowych ekspertów od króliczych nor w Wikipedii. *Gary Stix*

„W ciekawości nie ograniczamy się do zebrania informacji, ale staramy się je połączyć."

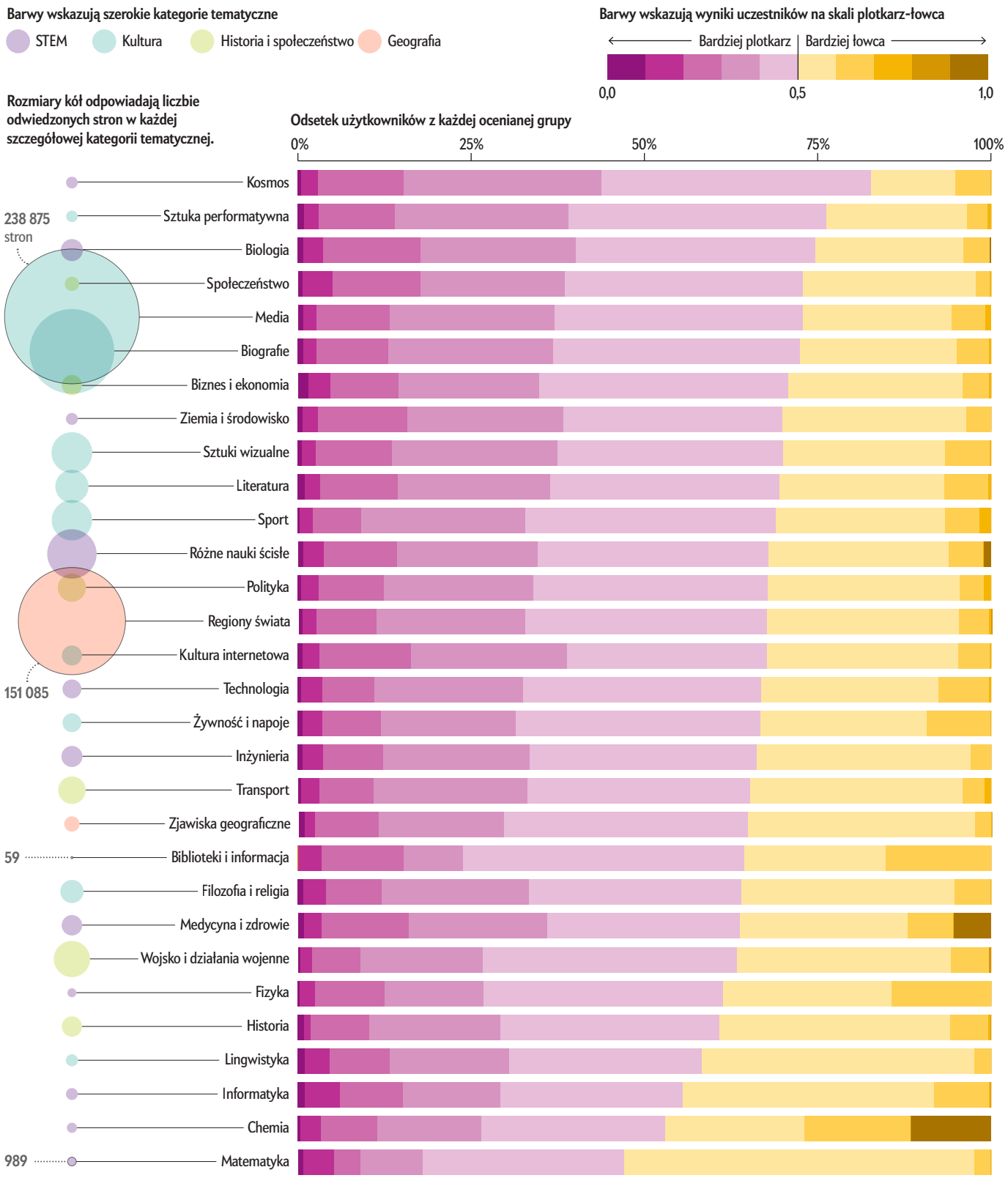
DANI BASSETT, UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA



eprasa.pl a47be06fd8

# Jak różne rodzaje ciekawości wpływają na wyszukiwanie informacji w Wikipedii?

Naukowcy zbadali różne rodzaje ciekawości, śledząc wzorce wyszukiwania w mobilnej aplikacji Wikipedii. Dla każdego uczestnika badań ustalili, czy jako poszukiwacz informacji jest on bardziej „plotkarzem", czy „łowcą". Analiza wskazała wzorce nawiązujące do popularności wyszukiwanych tematów oraz ujawniła korelacje pomiędzy indywidualnym stylem ciekawości a obszarem zainteresowań.




ŹRÓDŁO: „Architectural Styles of Curiosity in Global Wikipedia Mobile App Readership", Dale Zhou i in., „Science Advances", tom 10, nr 43, 25. 10. 2024 *(dane)*

*Grafika Amanda Montañez*



eprasa.pl a47be06fd8



Wytrenowane psy wykrywają inwazyjne pluskwiaki *Lycorma delicatula.*

Angela K. Fuller

ŚRODOWISKO

# Wywęszyć problemy

## Psy odgrywają istotną rolę w zwalczaniu inwazyjnych gatunków

**OD TROPIENIA RZADKICH GATUNKÓW** po wykrywanie kłusowników – psy wspierają nasze działania na rzecz ochrony przyrody na wiele zaskakujących sposobów. Coraz więcej przykładów świadczy, że niezwykłe psie nosy mogą być potężną bronią w walce z gatunkami inwazyjnymi. Szczególnie skuteczne okazują się w walce z jednym wyjątkowo niechcianym w USA przybyszem: inwazyjnym pluskwiakiem równoskrzydłym *Lycorma delicatula*. Owady te, pochodzące z Azji, po raz pierwszy zauważono w Pensylwanii w 2014 roku. Szybko rozprzestrzeniły się na wschód i centrum Stanów Zjednoczonych, stanowiąc duże zagrożenie dla winnic, ponieważ potrafią poważnie uszkadzać krzewy winorośli.

„Gdy rozprzestrzenią się na nowy teren, kluczowe jest szybkie usunięcie ogniska inwazji – mówi Angela K. Fuller, ekolożka z Cornell University. – Ale to oznacza konieczność odnalezienia i zniszczenia złóż jajowych, które z powodu swojej maskującej szarobrązowej barwy są niemal niewidoczne.

W niedawnym badaniu opisanym w „Ecosphere" zespół Fuller porównał skuteczność ludzi i psów w wykrywaniu jaj pluskwiaka w różnych warunkach terenowych. Przez kilka miesięcy badacze szkolili labradora retrievera i owczarka belgijskiego Malinois, ucząc je rozpoznawania zapachu tych jaj, a następnie wysłali psy do pracy w 20 winnicach w Pensylwanii i New Jersey.

W samych winnicach lepiej radzili sobie ludzie, którzy mogli metodycznie przeszukiwać rzędy winorośli. Ale w przyległych, zalesionych terenach to psy były górą – wykryły ponad trzy razy więcej złóż jajowych. Fuller sugeruje, że psy mogą być szczególnie przydatne w przypadku niewielkich infestacji, gdy konieczne jest szybkie przeszukanie dużego obszaru – co dla człowieka byłoby zbyt czasochłonne.

„To bardzo solidne i dobrze przeprowadzone badanie – komentuje Nathaniel Hall, behawiorysta zwierząt z Texas Tech University, który specjalizuje się w psim węchu i nie brał udziału w badaniu. – Może stanowić bazę do szerszych zastosowań." Według Ngaio Richards, treserki psów i ekolożki sądowej z University of Florida oraz organizacji Working Dogs for Conservation, to dziedzina badań – i zastosowań – która szybko się rozwija. „Na całym świecie zespoły psów tropiących włącza się w działania mające na celu odstraszanie, monitorowanie i zwalczanie gatunków inwazyjnych – mówi. – Zarówno owadów i roślin, jak i ryb czy ssaków".

W Ameryce Północnej specjalnie szkolone psy kontrolują łodzie pod kątem obecności inwazyjnych małży, zanim te przedostaną się do nowych zbiorników wodnych.

Testuje się również, czy psy nie nadawałyby się do wykrywania chrząszczy, takich jak koziorogi, a także pstrąga źródlanego i nutrii. W stanie Montana wykrywają inwazyjny urzet barwierski (*Isatis tinctoria*), roślinę zagrażającą w USA rodzimym gatunkom i w pewnych fazach cyklu życia niemal niemożliwą do wykrycia przez ludzi.

„Psy to wyjątkowo skuteczny działający w czasie rzeczywistym detektor – podsumowuje Hall. – Myślę, że ich potencjał w tym zakresie nie został jeszcze w pełni wykorzystany". *Gennaro Tomma*



eprasa.pl a47be06fd8

NAUKA W OBRAZACH

# Magia barw

## Kolor w nauce



**W SWOJEJ NOWEJ KSIĄŻCE** *The Universe in 100 Colors* entuzjaści nauki Tyler Thrasher i Terry Mudge zabierają czytelników na wycieczkę po występujących w różnych dyscyplinach naukowych barwach – od takich, których większość ludzi nigdy nie zobaczy w codziennym życiu, jak czerń prekursorów dopaminy w mózgu, których brak może prowadzić do choroby Parkinsona, po wszechobecne, jak zieleń szkolnej tablicy. Niektóre z nich nazywane są żartobliwie – na przykład tania biała farba rutynowo używana do malowania mieszkań na wynajem to „biel wynajmującego" (landlord white). Jeszcze inne mają głębokie znaczenie – jak brzoskwiniowy odcień pomarańczu, który byłby pierwszym widocznym kolorem Wszechświata, gdyby istnieli już wtedy ludzie, mogący go zobaczyć.

„To opowieść o świetle i wszystkich kreatywnych ścieżkach, które może ono obrać podczas podróży do naszej gałki ocznej" – mówi Mudge, założyciel i dyrektor naukowy sklepu wysyłkowego z pomocami naukowymi Matter. Są też ścieżki, którymi światło nie może podążać – jeden z rozdziałów książki opisuje widoki, których nasz zmysł wzroku nie jest w stanie odebrać, w tym „zakazane" kolory, które otrzymuje się, przetwarzając jednocześnie fale o długości odpowiadającej czerwieni i zieleni.

Powyżej można zobaczyć efekt działania Vantablack, najczarniejszej farby, jaką udało się ludziom dotychczas stworzyć, zawierającej maleńkie nanorurki węglowe, które pochłaniają 99,6% padającego na nie światła. Farba ta została wynaleziona przez pewnego badacza materiałoznawcę, lecz licencję na jej użycie do celów artystycznych ma wyłącznie jeden twórca – z tego powodu autorzy książki musieli cyfrowo przerobić zdjęcie cykady, aby zademonstrować ten efekt na własną rękę.

„Zarówno w sztuce, jak i nauce celem jest poczynienie obserwacji na temat otaczającego nas świata i skonstruowanie na ich podstawie przekazu" – mówi Thrasher, który sam siebie określa jako „szalonego naukowca-artystę". A „jeśli połączymy ze sobą te dwie sfery, sądzę, że zbliżymy się do tego, co wielu ludzi nazywa alchemią".

*Sarah Lewin Frasier*

REKLAMA






Dawny niemiecki atlas nieba pokazuje położenie gwiazdy Betelgezy.

# Cóż znaczy nazwa (gwiazdy)?*

Wobec istnienia miliardów gwiazd w Drodze Mlecznej potrzebujemy pewnej dozy standaryzacji PHIL PLAIT

**BETELGEZA!** Betelgeza! Betelgeza!”

Czyżby wybuchła? Nie? Wszystko z nią porządku.

Ale dlaczego właśnie „Betelgeza”? Wydaje się to cokolwiek dziwną nazwą dla gwiazdy. To dlatego, że jest to zniekształcone tłumaczenie arabskiego wyrażenia yad aljawzā‘, które z grubsza tłumaczy się jako „ręka Oriona” – całkiem adekwatne określenie gwiazdy, która reprezentuje uniesione ramię w tym gwiazdozbiorze.

Wiele nazw gwiazd, których używamy dzisiaj, ma w istocie arabskie korzenie. Aleksandryjski astronom Klaudiusz Ptolemeusz stworzył gwiezdną mapę nieba na potrzeby swojej niezwykle popularnej książki *Mathematike Syntaxis* [Traktat matematyczny], napisanej w języku greckim około 150 roku naszej ery. Została przetłumaczona na język arabski ponad 1000 lat temu i nazwana *Almagest* – co z kolei było przekręconą zarabizowaną wersją greckiego słowa oznaczającego „największy” – a wiele z arabskich nazw gwiazd zostało zachowanych nawet w tłumaczeniach mapy na inne języki. Rigel, Deneb, Aldebaran i kilka innych najjaśniejszych gwiazd na niebie zawdzięcza swoje nazwy takim praktykom starożytnych wydawców.

Inne miały swój początek bardziej jako przydomki, jak na przykład Gwiazda Polarna, nazwana tak ze względu na jej położenie na niebie w pobliżu północnego bieguna niebieskiego, czy Antares, co dosłownie oznacza „rywal Marsa”. Jeszcze inne zostały nazwane na cześć astronomów, którzy je badali, jak Gwiazda Barnarda i Gwiazda van Maanena. Ta metodologia nazewnictwa jest oczywiście daleka od ideału i czasami prowadzi do nieporozumień co do tego, jak daną gwiazdę powinno się faktycznie nazywać.

Można by pomyśleć, że nazwy szybko się wyczerpią, ponieważ istnieje wiele tysięcy gwiazd widocznych w nocy nieuzbrojonym okiem. Jednak mniej niż 1000 gwiazd nadano nazwy własne, zatem nie wydaje się, abyśmy stali w obliczu kryzysu – co jest dobrą wiadomością, ponieważ w Drodze Mlecznej są setki miliardów gwiazd! Problemu nie stanowi samo ich nazywanie, lecz to, aby robić to w sposób konsekwentny.

Różne starożytne kultury nadawały gwiazdom imiona, lecz w miarę jak świat stawał się coraz bardziej skomunikowany, astronomowie próbowali, z różnym powodzeniem, wielu systemów standaryzacji nazewnictwa.

*ciąg dalszy na stronie 20*

**Phil Plait** jest zawodowym astronomem i popularyzatorem nauki mieszkającym w Wirginii. Wydaje *Bad Astronomy Newsletter*. Można go śledzić na Beehiiv.

Illustrata/Getty Images



eprasa.pl a47be06fd8

# Serwis popularnonaukowy Pulsar

**POPULARYZATOR NAUKI 2024**

**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 130 rozmów z najciekawszymi polskimi naukowcami



**PIOTR DURKA:**
AI to czarne lustro

**EWA ŁABNO-FALĘCKA:**
O wspólnej miłości Marii i Alberta





**AGATA CHOMICZEWSKA:**
Reaktor termojądrowy: wyścig już się zaczął

Zaprenumeruj nas:
**projektpulsar.pl**

eprasa.pl a47

*dokończenie ze strony 18*

Jeden z pierwszych, opublikowany w 1603 roku, został wymyślony przez niemieckiego astronoma Johanna Bayera. Określił on każdą gwiazdę według pozornej jasności w danym gwiazdozbiorze, używając greckiej litery i łacińskiej nazwy gwiazdozbioru w dopełniaczu. A zatem, na przykład, najjaśniejszą gwiazdę w Orionie nazwał α Orionis, drugą pod względem jasności β Orionis itd. Istnieją jednak dwa problemy z tym systemem. Po pierwsze, alfabet grecki składa się tylko z 24 liter, co ogranicza liczbę nazw, które można w ten sposób utworzyć. Po drugie, jasność gwiazd może się w czasie zmieniać, co istotnie zaburza ustaloną początkowo kolejność.

Około 100 lat później angielski astronom John Flamsteed wpadł na pomysł używania liczb zamiast liter, co eliminuje jeden z problemów Bayera. Ponadto zamiast wykorzystywać mogącą ulec zmianie jasność gwiazd, oznaczył je według ich pozycji w obrębie gwiazdozbioru, zaczynając od zachodniej krawędzi i posuwając się na wschód. Zgodnie z tym systemem, 1 Orionis nie jest najjaśniejszą gwiazdą w Orionie, lecz tą, która znajduje się najbliżej jego zachodniej krawędzi.

Również to podejście wiąże się z pewnymi problemami. Granice gwiazdozbiorów nie zostały zdefiniowane do czasu ich zatwierdzenia przez Międzynarodową Unię Astronomiczną w 1928 roku, stąd katalog Flamsteeda niekiedy wymieniał gwiazdy jako należące do jednego gwiazdozbioru, podczas gdy w rzeczywistości znajdowały się w innym. Ponadto Flamsteed skatalogował tylko te gwiazdy, które mógł zobaczyć z Anglii, co wykluczyło dużą część południowego nieba, niewidoczną z tej szerokości geograficznej.

Kolejnym był katalog Bonner Durchmusterung oraz jego aktualizacje, skompilowane przez astronomów z obserwatorium w Bonn w Niemczech w drugiej połowie XIX wieku. Był ostatnim wielkim katalogiem powstałym, zanim fotografia zrewolucjonizowała obserwacje astronomiczne. Obejmuje gwiazdy aż do dziewiątej wielkości, sortując je według deklinacji (odpowiednik szerokości geograficznej na sferze niebieskiej). Później pojawił się katalog Henry'ego Drapera z początku XX wieku, nazwany na cześć amerykańskiego astronoma-amatora i astrofotografa. Katalog Drapera zawiera informacje spektroskopowe dotyczące gwiazd, a tym samym więcej szczegółów na temat powiązanych ze sobą cech gwiazd (takich jak temperatura, rozmiar i skład chemiczny).

W miarę jak teleskopy i sprzęt fotograficzny stawały się doskonalsze, dostrzegano coraz słabsze gwiazdy i katalogi stały się znacznie obszerniejsze. Pojawiło się także więcej atrybutów gwiazd do odnotowania, w tym ich fizyczne ruchy na niebie względem siebie nawzajem, które zwykle daje się zauważyć dopiero po wielu latach starannych obserwacji. Pojawiła się również możliwość dokonywania przeglądów całego nieba, ponieważ na półkuli południowej zbudowano większe teleskopy, co wymagało jeszcze obszerniejszych i precyzyjniejszych katalogów. W latach 90. liczby te stały się, wiadomo, astronomiczne. W jednym z projektów, katalogu U.S. Naval Observatory, wykorzystano obserwacje o szerokim polu widzenia zarejestrowane na tysiącach szklanych płyt, aby usystematyzować oszałamiającą liczbę miliarda obiektów uzyskanych z ponad 3 mld obserwacji, uwzględniając gwiazdy tak słabe, jak 21 wielkości gwiazdowej (około milion razy słabsze niż najciemniejsza gwiazda, którą można zobaczyć gołym okiem).

Gdy trwała budowa Kosmicznego Teleskopu Hubble'a, astronomowie zdali sobie sprawę, że do jego prawidłowego wycelowania potrzeba bardzo dokładnej znajomości pozycji i jasności gwiazd. Zespół ze Space Telescope Science Institute stworzył więc Katalog Gwiazd Przewodnich, który obecnie obejmuje prawie miliard gwiazd. Obiekty te są obserwowane przez specjalne czujniki na Hubble'u, które następnie wykorzystują znane pozycje gwiazd do wyznaczenia, gdzie należy wycelować teleskop.

Istnieje jeszcze więcej katalogów, lecz najnowszy i najbardziej kompletny pochodzi z Gaia, misji Europejskiej Agencji Kosmicznej, której celem było zmierzenie jasności, pozycji, ruchów i kolorów gwiazd oraz innych obiektów kosmicznych z fenomenalną dokładnością. Zespół misji Gaia publikuje nowe zestawy danych co kilka lat, w miarę jak coraz dokładniejsze pomiary pozwalają lepiej określić właściwości gwiazd. Najnowsze wydanie zawiera nowe informacje o prawie 2 mld gwiazd Drogi Mlecznej.

Te bardziej nowoczesne zbiory danych (a jest ich zbyt wiele, by dało się je wymienić) zawierają tak wiele gwiazd, że jakakolwiek próba nazwania ich wszystkich byłaby skazana na niepowodzenie. Zazwyczaj identyfikuje się w nich obiekt za pomocą alfanumerycznego oznaczenia łączącego nazwę katalogową z pozycją gwiazdy na sferze niebieskiej; na przykład, można obserwować gwiazdę oznaczoną w Two-Micron All-Sky Survey jako 2MASS J05551028+0724255, co odpowiada współrzędnym 05 godzin, 55 minut i 10,28 sekundy w rektascencji oraz 07 stopni, 24 minuty i 25,5 sekundy w deklinacji. Inna nazwa tej gwiazdy? Betelgeza.

Często zwracają moją uwagę kampanie reklamowe w mediach społecznościowych prowadzone przez rozmaite podejrzane firmy zajmujące się „nazywaniem gwiazd". Firmy te obiecują możliwość nadania gwieździe (czasem wybranej przez klienta) nazwy, która trafi gdzieś do katalogu, będzie używana przez astronomów lub – uwaga – zostanie „złożona w skarbcu". Ale bajer! I żeby było jasne – to czysty nonsens. To targowisko próżności i żaden astronom nigdy nie pozna ani nie użyje nazw gwiazd z tych firm. Wielu z marketerów wyszukuje osoby pogrążone w żałobie, zachęcając je do nazwania gwiazdy imieniem zmarłego bliskiego; uważam takie działania za coś odrażającego. Nie dajcie się nabrać.

W każdym razie problemem jest to, że każda gwiazda może występować pod wieloma imionami, nawet jeśli ograniczymy się do tych formalnych. Naprawdę wieloma. Na przykład nasza stara dobra znajoma Betelgeza ma aż 46 nazw wymienionych w SIMBAD, bazie danych obiektów astronomicznych spoza Układu Słonecznego. Oczywiście, w tym akurat przypadku wszyscy mówią na nią po prostu „Betelgeza", ponieważ jest to jej najbardziej rozpoznawalna nazwa (no i świetnie się kojarzy ze względu na film *Beetlejuice*), lecz w przypadku innych gwiazd używana nazwa może zależeć od tego, przez kogo i jakimi metodami jest obserwowana. Gwiazda mogła zostać odkryta podczas przeglądu nieba w podczerwieni, ale i niezależnie podczas obserwacji na falach radiowych, zatem różni astronomowie będą określać ją różnymi nazwami w zależności od tego, która część widma badają.

Nie przeszkadza mi to zbytnio; daje pewną elastyczność w nazewnictwie, a sprawdzenie, które nazwy odnoszą się do konkretnej gwiazdy, nie jest trudne.

I rzecz jasna, ostatecznie gwiazda pod inną nazwą nie mniej by świeciła.** ■

*„Cóż znaczy nazwa?" – cytat z *Romea i Julii* Williama Szekspira w tłumaczeniu Stanisława Barańczaka

** „Pod inną nazwą nie mniej by pachniało." Ibid.



eprasa.pl a47be06fd8

# POSZERZAMY HORYZONTY




**Już w sprzedaży**

**Od bieżącego wydania także we wszystkich sklepach sieci Lidl.**

Prenumerata cyfrowa:
projektpulsar.pl

Prenumerata papierowa:
sklep.polityka.pl/wiz

Prenumerata także z bezpłatną dostawą do wybranego przez Ciebie

InPost Paczkomat 24/7

eprasa.pl a47be06fd8

# Problem sofy

## Jaka jest największa kanapa, którą można obrócić w rogu korytarza? Po 58 latach w końcu to wiemy

JACK MURTAGH

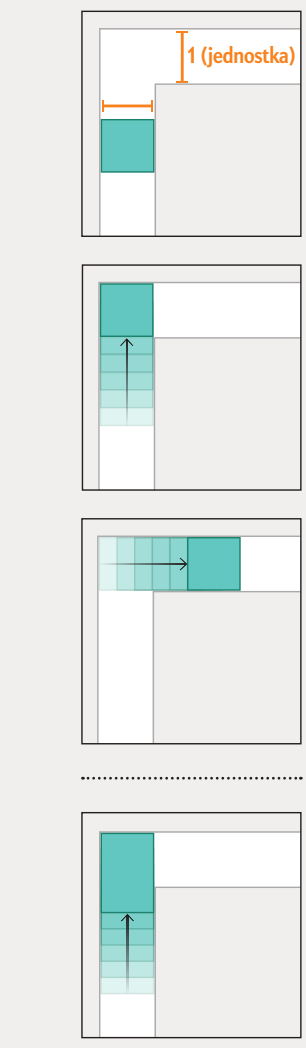
MATEMATYCY wreszcie okazali wsparcie tym wszystkim, którzy, zmagając się z masywną kanapą, próbują ją przepchnąć przez załamanie ciasnego korytarza. Inaczej mówiąc, badacze są bliscy uporania się z geometrycznym „problemem przesunięcia sofy", polegającym na określeniu kształtu figury o największym polu, którą można obrócić w załamującym się pod kątem prostym wąskim korytarzu. Problem prawie 60 lat pozostawał nierozwiązany, ale w listopadzie 2024 roku Jineon Baek, postdok z Yonsei University w Seulu, opublikował online liczący 119 stron artykuł z rozwiązaniem. Nie zostało jeszcze gruntownie zrecenzowane, ale wstępne komentarze kompetentnych matematyków są optymistyczne.

Rozwiązanie to raczej nie będzie pomocne w trakcie przeprowadzki. Warto jednak zauważyć, że choć zaawansowana matematyka staje się coraz bardziej abstrakcyjna, matematycy wykazują szczególne upodobanie do nierozwiązanych problemów bliskich codzienności. Na popularnym forum MathOverflow publikowana jest nawet lista „mało znanych, od dawna nierozstrzygniętych problemów, które każdy może zrozumieć". Problem z sofą zajmuje na niej drugie miejsce. Każde rozwiązanie poszerza jednak naszą wiedzę, a metody zastosowane w przypadku sofy mogą okazać się w przyszłości przydatne do radzenia sobie z kolejnymi zadaniami geometrycznymi.

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

Ściśle opisany po raz pierwszy przez kanadyjskiego matematyka Leo Mosera w 1966 roku problem dotyczy manewrowania sztywnym kształtem (brzegi sofy nie ustępują pod naciskiem) w celu przemieszczenia przez prostokątny załom korytarza. „Sofa" może mieć dowolny kształt, czyli nie musi przypominać prawdziwej kanapy. Zarówno przesuwana figura, jak i korytarz są dwuwymiarowe. Zakładamy też, że sofa jest zbyt ciężka, aby dało się ją podnieść – w grę wchodzi wyłącznie przesuwanie.

Historia problemu ujawnia intensywne próby znalezienia rozwiązania. A zatem: jaki największy kształt uda się przecisnąć przez korytarz? Jeśli każda odnoga korytarza ma jednostkową szerokość




Źródło: "On Moving a Sofa around a Corner", Joseph L. Gerver, „Geometriae Dedicata", tom 42, nr 3; czerwiec 1992 (*odniesienie*)

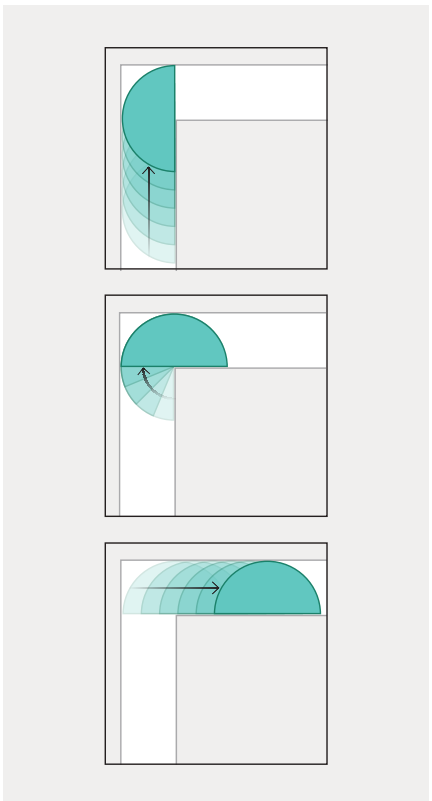


*Ilustracja Thomas Fuchs*



eprasa.pl a47be06fd8

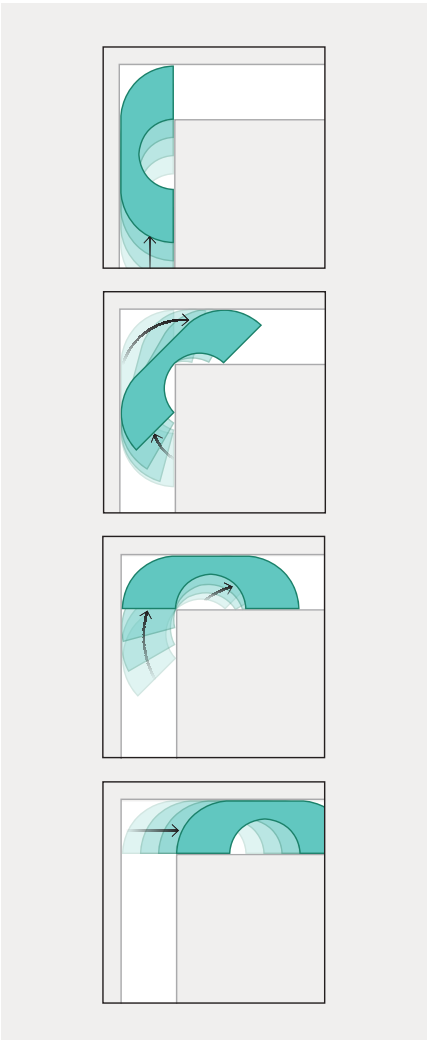
(konkretna jednostka nie jest istotna), przez załom możemy łatwo przesunąć kwadrat o jednostkowym boku. Wydłużenie kwadratu w prostokąt prowadzi do natychmiastowej porażki, ponieważ na obrót brakuje miejsca.



Jednak matematycy zauważyli, że powiększenie kanapy będzie możliwe po zakrzywieniu jej krawędzi. Przykładem jest półkole o średnicy dwóch jednostek. Gdy dociera do załomu, półkolisty brzeg ma wystarczająco dużo miejsca, aby, obracając się, pokonać róg.

Pole półkola równa się $\pi/2$, czyli około 1,571. To znacząca poprawa w porównaniu z kwadratem o jednostkowym polu. Choć kanapa o takim kształcie wyglądałaby jednak w salonie nieco dziwnie.

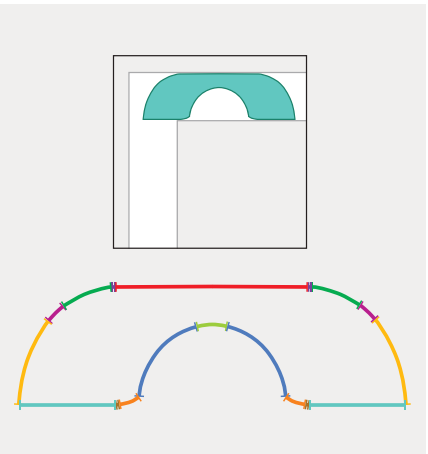
Rozwiązanie problemu przemieszczania sofy wymaga zoptymalizowania nie tylko jej kształtu, ale także drogi, którą ta figura pokonuje. Możliwe są dwa rodzaje ruchu: przesuwanie i obracanie. Kwadratowa kanapa jest tylko przesuwana, natomiast półkole najpierw jest przesuwane, następnie obracane wokół załomu, a w końcu przesuwane drugą odnogą. Jednak obiekty mogą się równocześnie i przesuwać, i obracać. Matematyk Dan Romik z University of California w Davis zauważył, że rozwiązanie zadania powinno optymalizować jednocześnie oba ruchy.



Brytyjski matematyk John Hammersley odkrył w 1968 roku, że rozciągnięcie półkola może dać większą sofę, jeśli wykroić z niej zaokrąglony kawałek, aby poradzić sobie z narożem. Co więcej, sofa Hammersleya, która przypomina kształtem słuchawkę stacjonarnego telefonu, pozwala na hybrydowy ruch posuwisto-obrotowy.

Zoptymalizowanie różnych zmiennych dało sofę o powierzchni $\pi/2 + 2/\pi$, czyli w przybliżeniu 2,2074, a więc dużo więcej w porównaniu z półkolem – to jakby zamienić dwuosobową małą sofkę na obszerną trzyosobową. Jednak na tym postęp zatrzymał się na 24 lata. Następna znacząca poprawa okazała się dotąd ostatnią. W 1992 roku Joseph L. Gerver z Rutgers University zaprezentował arcydzieło matematycznego meblarstwa, uznawane dziś za największą możliwą sofę.

Na pierwszy rzut oka sofa Gervera może wydać się kopią sofy Hammersleya, ale



jest to bardziej skomplikowany obiekt. Gerver utworzył kształt będący połączeniem 18 odrębnych krzywych. Przyglądając mu się bliżej, można dostrzec różnice, zwłaszcza ścięte krawędzie u podstawy zaokrąglonego wycięcia.

Dzieło Gervera ma powierzchnię równą 2,2195 jednostki. Co zaskakujące, względnie prosta sofa Hammersleya jest mniejsza zaledwie o około 0,012. Mimo tak minimalnej różnicy Gerver uważał, że osiągnął maksimum, jednak nie potrafił tego dowieść. I nikomu się to nie udało przez kolejne 32 lata.

W obliczu braku dowodów kilku badaczy zwróciło się ku symulacjom komputerowym, które umożliwiły określenie nowych granicznych wartości powierzchni największej sofy możliwej do przesunięcia przez róg. Baek był jednym z nich, ale – co zaskakujące – jego ostateczne rozwiązanie w ogóle nie wiąże się z symulacjami komputerowymi.

Baek napisał rozprawę doktorską dotyczącą problemu przesunięcia sofy i zawarł w niej kilka nowych spostrzeżeń. W tym samym roku, w którym obronił pracę, połączył wszystkie swoje pomysły, tworząc imponujący dowód, że sofa Gervera jest największą, jaka może pokonać załom korytarza. Rozwiązanie długo nierozstrzygniętego problemu jest marzeniem każdego matematyka, a tym bardziej będącego na wczesnym etapie swojej kariery. Jeśli praca Baeka wytrzyma krytykę, zostanie zapewne zasypany propozycjami objęcia profesury, jeśli oczywiście nie zajmie się… meblarstwem. ■

*Grafika Amanda Montañez*



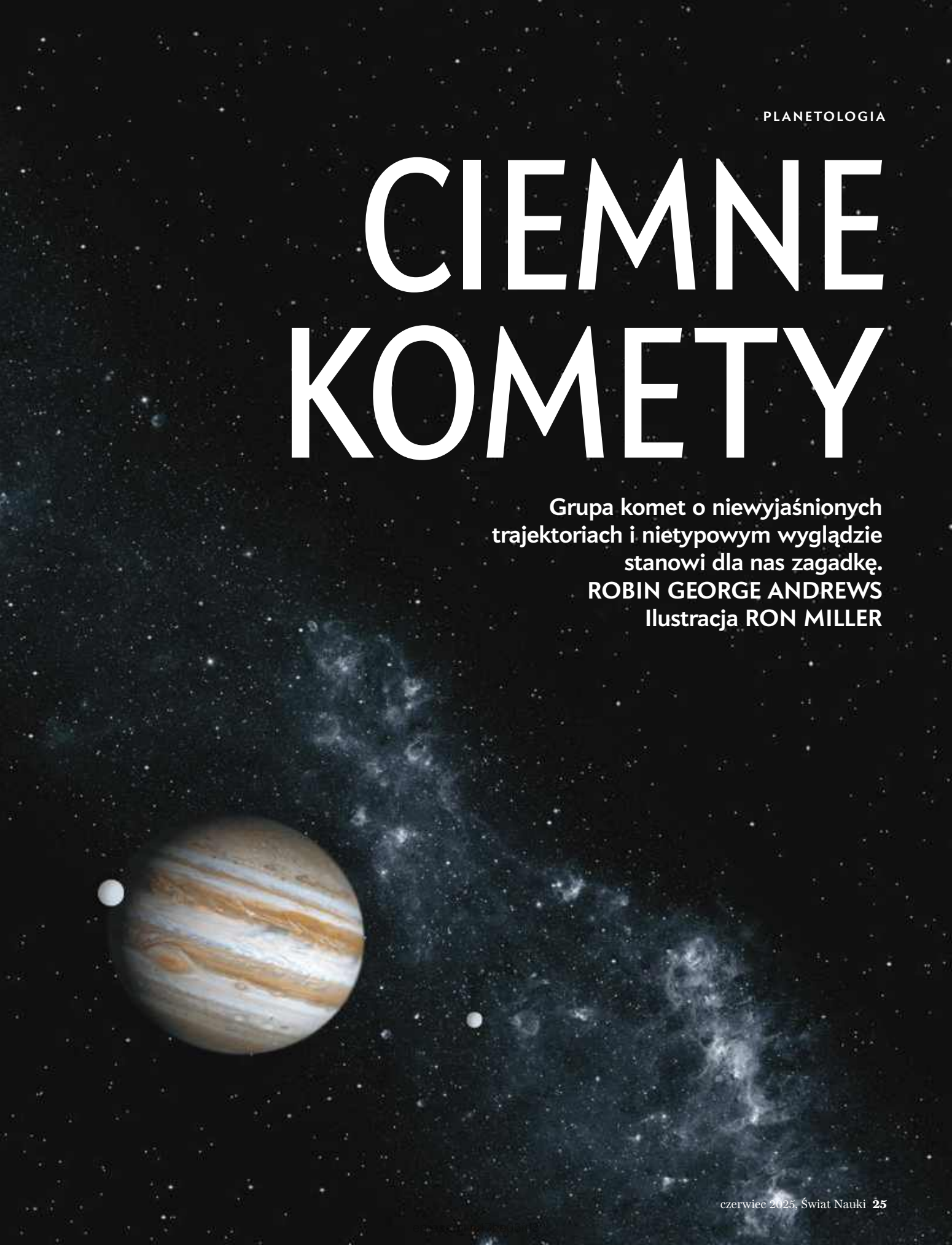
eprasa.pl a47be06fd8



# CIEMNE KOMETY

**Grupa komet o niewyjaśnionych trajektoriach i nietypowym wyglądzie stanowi dla nas zagadkę.**

ROBIN GEORGE ANDREWS
Ilustracja RON MILLER



**DAVIDE FARNOCCHIA, KTÓRY BADA I ŚLEDZI PLANETOIDY,** kilka lat temu zobaczył coś, czego nie potrafił wyjaśnić. Farnocchia pracuje w Centrum Badań Obiektów Bliskich Ziemi NASA w Kalifornii. Korzystając z oprogramowania, które pomógł stworzyć, monitoruje wszystkie znane planetoidy i komety przelatujące w pobliżu naszej planety. Jest kartografem pracującym w czterech wymiarach. „Naszym zadaniem jest przewidywanie ruchów obiektów w przestrzeni kosmicznej – mówi. – Jeśli więc pojawia się coś niezwykłego lub nieoczekiwanego, dla naszej dziedziny oznacza to postęp".

W 2016 roku Franocchia zaobserwował obiekt naprawdę niezwykły: planetoidę o nazwie 2003 RM, która zdawała się wędrować według własnego uznania. Jej orbita wokół Słońca zmieniła się w sposób, którego nie mogły wyjaśnić efekty grawitacyjne. Naukowiec rozważył nawet niewielki wpływ, jaki promienie słoneczne wywierają na skały kosmiczne, ale orbita planetoidy nadal nie pasowała do przewidywań.

„Dzieje się coś dziwnego" – pomyślał wtedy Farnocchia. Ale co? Coś popychało planetoidę, ale nie było żadnych dowodów, że jest to napęd rakietowy. Był równie zdziwiony, jak zachwycony. „Kiedy rzeczy nie zachowują się tak, jak się spodziewamy, mamy do czynienia z czymś ekscytującym".

Farnocchia i jego współpracownicy przez pewien czas zastanawiali się nad poruszającą się autonomicznie planetoidą, nie chcąc robić z tego zbyt wielkiej sensacji. Jednak w 2017 roku, zanim zdołali dojść do konkretnych wniosków, na scenie pojawił się posłaniec z innej gwiazdy. W październiku tego roku po raz pierwszy udało się zaobserwować obiekt międzygwiazdowy, który zanurkował, a następnie oddalił się od naszego Układu Słonecznego. Gdy odlatywał, gwałtownie przyspieszył – i, podobnie jak w przypadku 2003 RM, nie wykryto obecności napędu odpowiedzialnego za to przyspieszenie.

Ów międzygwiazdowy intruz, nazwany 'Oumuamua, stał się wówczas przedmiotem naukowego i medialnego szaleństwa – sugerowano nawet (bez przekonujących dowodów), że był to obcy statek kosmiczny. Niestety, to pandemonium przyćmiło osobliwe podobieństwo tego obiektu do 2003 RM i 13 innych kosmicznych dziwadeł, które od tego czasu naukowcy znaleźli w naszym Układzie Słonecznym.

„Na zdjęciach obiekty te wyglądają jak planetoidy – mówi Farnocchia. – Ale swoim ruchem bardziej przypominają komety". Zachowują się tak, jakby popychały je strumienie utworzone przez lód zamieniający się w parę. Do tej pory nie znaleziono jednak żadnych dowodów na istnienie takich dżetów.

„To nie może być przypadek – mówi Darryl Seligman, planetolog z Michigan State University. – Coś musi wywoływać te przyspieszenia". Ponieważ ich źródło nie jest znane, Seligman nadał 14 niezwykłym obiektom Układu Słonecznego dość chwytliwą nazwę: ciemne komety.

Rozwiązanie zagadki ciemnych komet nie będzie tylko zaspokojeniem astronomicznej ciekawości. Jeśli w Układzie Słonecznym istnieje rodzina tajemniczych komet, to być może dawno temu dostarczyły one wodę do wewnętrznego Układu Słonecznego. „Nie wiemy, skąd wzięły się ziemskie oceany – mówi Seligman. – To jeden z głównych powodów, dla których warto badać komety. Jak się tu znaleźliśmy?" A jeśli obiekty te poruszają się w nieregularny sposób, należy wnikliwie badać trajektorie ich lotów – na wypadek, gdyby któryś z nich chciał zderzyć się z naszą planetą.

„Już same komety są dziwne" – mówi Federica Spoto, badająca dynamikę planetoid w Center for Astrophysics | Harvard & Smithsonian. Niedawna niespodzianka związana z ciemnymi kometami sugeruje, że jest jeszcze więcej komet, których tak naprawdę nie rozumiemy. „Nie wiedzieliśmy, że one są; nie wiedzieliśmy, że Układzie Słonecznym dzieją się takie rzeczy" – komentuje Spoto.

W przeciwieństwie do wielu kosmicznych historii detektywistycznych, ta może szybko zaowocować nowymi odkryciami. Mając do dyspozycji dwa potężne teleskopy, naukowcy liczą na dokładne zbadanie tych dziwnych obiektów i – być może po raz pierwszy – zobaczenie jak komety emitują gaz. A dzięki łutowi szczęścia japoński statek kosmiczny, którego główna misja została już zakończona, zmierza na bliskie

**Robin George Andrews** jest wulkanologiem i pisarzem popularnonaukowym mieszkającym w Londynie. Jego najnowsza książka to *How to Kill an Asteroid* (W. W. Norton, 2024).



eprasa.pl a47be06fd8

spotkanie z ciemną kometą. „Uzyskamy odpowiedzi na pytanie, co się dzieje” – mówi Seligman.

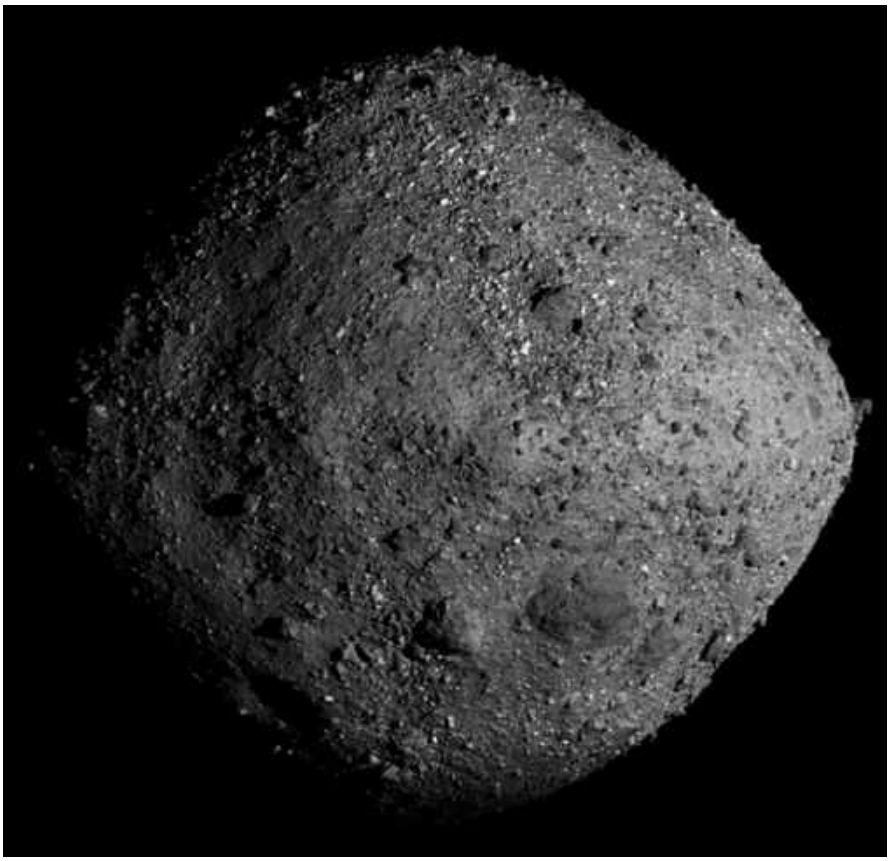
NA RUCHY PLANETOID – skalistych odłamków pozostałych po procesie formowania się Układu Słonecznego – wpływ ma nie tylko przyciąganie grawitacyjne Słońca i planet. Rolę odgrywa również światło słoneczne.

Gdy cząstki światła słonecznego – fotony – uderzają w kosmiczną skałę, wywierają na nią pewien nacisk. Jest to niewielki, ale zauważalny efekt. „Ciśnienie samego światła słonecznego nie jest duże; gdyby tak było, w każdy słoneczny dzień wszystkich by przewracało” – mówi Alan Fitzsimmons, astrofizyk z Queen’s University w Belfaście. Jest jeszcze efekt Jarkowskiego. Powierzchnia słonecznej strony obracającej się planetoidy pochłania fotony promieniowania i ulega podgrzaniu. Gdy rozgrzana powierzchnia przetoczy się na stronę cienia, stygnie, emitując promieniowanie, które działa jak mały, pchający silnik.

W 2016 roku Farnocchia i jego koledzy szukali dowodów na działanie efektu Jarkowskiego w katalogu planetoid bliskich Ziemi. W ich raporcie odnotowano, że kilka z tych planetoid wykazuje przyspieszenia niegrawitacyjne, których nie można wyjaśnić nawet przy uwzględnieniu efektu promieni słonecznych. Astronomowie spodziewali się, że większość z tych detekcji wynika z błędów w obserwacjach i że po korekcie orbity będą wyglądać normalnie.

Ale jedna z planetoid stanowczo odmówiła współpracy. „Z 2003 RM dzieje się coś dziwnego” – mówi Seligman. Obiekt zachowuje się tak, jakby był lodową kometą. Nieregularne ruchy komet zazwyczaj łatwo wytłumaczyć. „Na powierzchni komety znajduje się lód, a gdy kometa dotrze wystarczająco blisko Słońca, zaczyna on sublimować, co daje kometom niewielki impuls” – wyjaśnia Farnocchia.

Wydzielania gazu przez kometę zazwyczaj nie widać; proces ten można obserwować tylko za pomocą specjalnych filtrów umieszczonych na teleskopie. Z kolei pył wyrzucany z komety jest bardzo wyraźny. Nawet kilogram pyłu, którego każde ziarno ma szerokość mniejszą niż jedna tysięczna milimetra, jest łatwy do wykrycia: rozprzestrzenia się w bardzo cienki, ale ekspandujący dysk, który ochoczo rozprasza światło gwiazd. „Pył można dostrzec w każdym zakresie długości fali” – mówi Fitzsimmons.



JAXA

Japońska sonda Hayabusa2 odwiedziła planetoidę Ryugu w 2018 roku. Obecnie trwa jej rozszerzona misja, której celem jest zbadanie kolejnych planetoid, w tym ciemnej komety.

Ale 2003 RM wygląda jak plamka światła. Nie otacza jej gazowo-pyłowa koma, nie ma warkocza. Z daleka wygląda jak zwykła planetoida.

Nie oznacza to jednak, że nie skrywa ona zapasów sublimującego lodu. „Mamy coraz większą świadomość, że planetoidy i komety to końcowe elementy spektrum ciał” – mówi Steve Desch, astrofizyk z Arizona State University. W ciągu ostatnich kilku dekad odkryto hybrydy. Niektóre planetoidy są przesiąknięte w ciekłą wodą i lodem.

Komety lubią przebywać za Neptunem, gdzie różne substancje – woda, amoniak, dwutlenek węgla i tlenek węgla – mogą pozostawać w stanie zamarzniętym. Jednak w jakiś sposób, pomimo, że znajdują się znacznie bliżej ciepłego Słońca, kilka obiektów z komami i warkoczami pyłowymi znaleziono w pasie planetoid między Marsem a Jowiszem, jakby zagubiły się w czasie wakacji. Astronomowie nazywają je kometami pasa głównego.

Jeśliby to wszystko wziąć pod uwagę, nie byłoby niczym zaskakującym, gdyby 2003 RM zewnętrznie przypominała planetoidę, ale od czasu do czasu wykazywała aktywność kometarną. „Problem polega na tym, że nikt nigdy nie zaobserwował żadnej komy ani pyłu” – mówi Fitzsimmons. Seligman, Farnocchia i ich koledzy napisali później artykuł o bajkowym tytule: „The Asteroid That Wanted to Be a Comet” (Planetoida, która chciała być kometą). Przez jakiś czas byli zdezorientowani.

I właśnie wtedy wtargnęła ‘Oumuamua.

9 WRZEŚNIA 2017 ROKU doszło do największego zbliżenia przybysza z odległego świata z żółtawą, dość przeciętną gwiazdą, które nastąpiło wewnątrz orbity małego, pokrytego kraterami, skalistego globu. Przybysza tego, gdy przelatywał zaledwie 24 mln kilometrów od Ziemi, nie dostrzegł nikt z jej prawie 8 mld mieszkańców do 19 października, w kilka dni później.

Niemal natychmiast po tym, jak teleskop na Hawajach wypatrzył ów obiekt, astronomowie z całego świata rzucili się, by go śledzić – i szybko wpadli w zdumienie. Skała ta poruszała się po niezwykle zakrzywionej trajektorii, a zatem nie mogła pochodzić z Układu Słonecznego, lecz



eprasa.pl a47be06fd8

musiała przylecieć spoza niego. Dalsze obserwacje wykazały, że obiekt miał kształt naleśnika lub cygara i był dość błyszczący. Ale społeczność astronomów zdumiał fakt, że podczas opuszczania Układu Słonecznego znacznie przyspieszył – bardziej niż da się wytłumaczyć grawitacyjnym pchnięciem, które otrzymał podczas okrążania Słońca.

Ponieważ obiekt odkryto w trakcie jego ucieczki, astronomowie mieli ograniczony czas na zgromadzenie obserwacji. Początkowo myśleli, że lśniący obiekt, który przyspieszał niegrawitacyjnie, był prawdopodobnie kometą. Jednak przyspieszenie to było znacznie większe, niż można by się spodziewać po typowej komecie. Astronomowie nie znaleźli też żadnych dowodów na odgazowanie lub wyrzut pyłu kometarnego, pomimo podjętych w pośpiechu wysiłków, aby je zaobserwować.

„Wszystkim bardzo przypominało to Spotkanie z Ramą" – mówi Desch, odnosząc się do fantastycznonaukowej powieści Arthura C. Clarke'a z 1973 roku, w której tajemniczy statek kosmiczny w kształcie walca przelatuje przez Układ Słoneczny. Obiekt z 2017 roku nazywano czasem nieformalnie Ramą, zanim oficjalnie nadano mu hawajską nazwę 'Oumuamua, co oznacza „posłańca z daleka przybywającego jako pierwszy".

Z pewnością zabawnie było myśleć o tym obiekcie, z jego dziwnym kształtem i niewidocznym napędem, że jest to obcy statek kosmiczny, ale większość naukowców nie potraktowała tego pomysłu poważnie. Niechlubnym wyjątkiem był astrofizyk z Harvard University, Avi Loeb, który twierdził, że mogła to być pozaziemska sonda zwiadowcza napędzana ciśnieniem promieniowania słonecznego. Nie istnieją jednak żadne przekonujące dowody na poparcie tego twierdzenia, które astronomowie – w tym Desch – wyśmiali. „W przeszłości ludzie nie powoływali się na statki kosmiczne, ale smoki lub wróżki – mówi Olivier Hainaut, astronom z Europejskiego Obserwatorium Południowego. – Co jest bardziej prawdopodobne: nieco dziwna kometa, która w dużym stopniu zachowuje się jak te, które znamy, czy statek kosmiczny?"

Szczerze mówiąc, źródło niegrawitacyjnego przyspieszenia 'Oumuamua podczas jego exodusu pozostaje nieznane. Obiekt na zawsze opuścił nasze galaktyczne sąsiedztwo, a jego nieliczne obserwacje dostarczają jedynie wskazówek, ale nie dają pewności. Niektórzy sugerowali, że był to fragment planety podobnej do Plutona, a musujący lód azotowy nadał mu rakietowe przyspieszenie. Inni zastanawiali się, czy nie była to sublimująca góra lodowa z wodoru.

W 2023 roku Seligman i jego koledzy opublikowali artykuł, w którym spekulowali, że 'Oumuamua może być kometą z lodu wodnego. Być może, gdy kometa zostaje wystawiona na działanie promieniowania kosmicznego, cząsteczki wody rozpadają się na wodór i tlen, które zostają uwięzione w zagłębieniach w zmieniającym kształt lodzie. Skąpany w świetle słonecznym lód uwalnia wodór, rozpędzając lodowatą kometę do zawrotnych prędkości.

Istnieje niewielka szansa, że 'Oumuamua wcale nie zachowywała się jak kometa. Ciśnienie promieniowania słonecznego mogłoby odpychać ją od Słońca, ale byłoby to możliwe tylko wtedy, gdyby obiekt miał bardzo specyficzny kształt: „gigantycznego płatka śniegu" – mówi Seligman – czegoś w rodzaju lodowego żagla o ultraniskiej gęstości. Jego zdaniem najprawdopodobniej jest to jednak dziwna kometa.

„'Oumuamua jest interesująca, ponieważ to pierwszy odkryty obiekt międzygwiazdowy" – mówi Farnocchia, który także szczegółowo ją badał. Ale, co najważniejsze, dla tych, którzy również zastanawiali się nad nietypowymi ruchami 2003 RM, zapaliło się światełko. Oba obiekty poruszały się w sposób podobny do komet, prawdopodobnie dzięki parowaniu lodu, którego nie udało się wykryć. Chociaż niezwykły kształt 'Oumuamua i różnorodność możliwych egzotycznych rodzajów lodu sprawiają, że nie jest on bratem 2003 RM, a tylko jego kuzynem, samo jego istnienie sugeruje, iż w naszym Układzie Słonecznym 2003 RM prawdopodobnie nie jest sam.

Farnocchia i jego zespół szybko przeszukali Układ Słoneczny w poszukiwaniu śladów innych ukrywających się obiektów podobnych do komet. W 2023 roku Seligman, Farnocchia, Hainaut i inni ogłosili kolejne odkrycie – a właściwie aż sześć. Zidentyfikowali pół tuzina obiektów podobnych do 2003 RM, z których każdy wykazuje niedające się wytłumaczyć przyspieszenie niegrawitacyjne, ale w żadnym z nich nie zaobserwowano oznak aktywności kometarnej, mimo że skierowano na nie najbardziej czułe teleskopy na świecie.

Polowanie na następne nie trwało długo: do 2024 roku zespół odkrył siedem kolejnych, zwiększając ich łączną liczbę do 14. I wtedy zrobiło się naprawdę dziwnie.

Tak jak w poprzednich przypadkach, wpływ promieniowania słonecznego na te nowe obiekty nie mógł wyjaśnić ich anomalnych przyspieszeń. I tak jak naukowcy oczekiwali, nie znaleziono oznak pyłu wyrzucanego przez którąkolwiek z tych 14 skał. Inni astronomowie, którzy nie byli zaangażowani w projekt, nie widzą żadnych błędów w analizach przeprowadzonych przez zespół. „Zrobiono naprawdę dobrą robotę – mówi Fitzsimmons. – W tej pracy nie ma przeoczeń".

Pamiętajmy, że pył wyrzucony z powierzchni komety bardzo łatwo zauważyć. To sugeruje, że gdy obiekty te są ogrzewane przez Słońce, a ich lód odparowuje, „emitują jedynie małe obłoczki, jakby ktoś dmuchnął" – mówi Meg Schwamb, planetolożka z Queen's University w Belfaście. Fakt, że nikt nie mógł zobaczyć pyłu, był frustrujący.

W tym momencie Seligman dostrzegł jednak coś niezwykle dziwnego w ciemnych kometach: można je podzielić na dwie odrębne grupy. Członkowie jednej – zewnętrznych ciemnych komet; nazwijmy je zewnętrzniakami (outies) – wydają się silniej odbijać światło i mieć większe rozmiary, rzędu setek metrów. Nazwa bierze się stąd, że przebywają w okolicach Jowisza, czyli blisko zewnętrznego Układu Słonecznego. Ich eliptyczne orbity przypominają nawet orbity komet z rodziny Jowisza; obiekty te okrążają Słońce w czasie krótszym niż 20 lat i pierwotnie pochodziły z Pasa Kuipera – mającego kształt torusa pasma lodowych kul rozciągającego się za orbitą Neptuna. Planetoida 2003 RM jest jednym z takich obiektów.

Następnie mamy wewnętrzne ciemne komety, czyli wnętrzniaki (innies). Są one mniejsze – ich średnica nie przekracza 50 m – i poruszają się po kołowych orbitach w wewnętrznym Układzie Słonecznym. Obiekt o nazwie 1998 KY26, który może mieć zaledwie 10 m średnicy, jest przykładem wnętrzniaka.

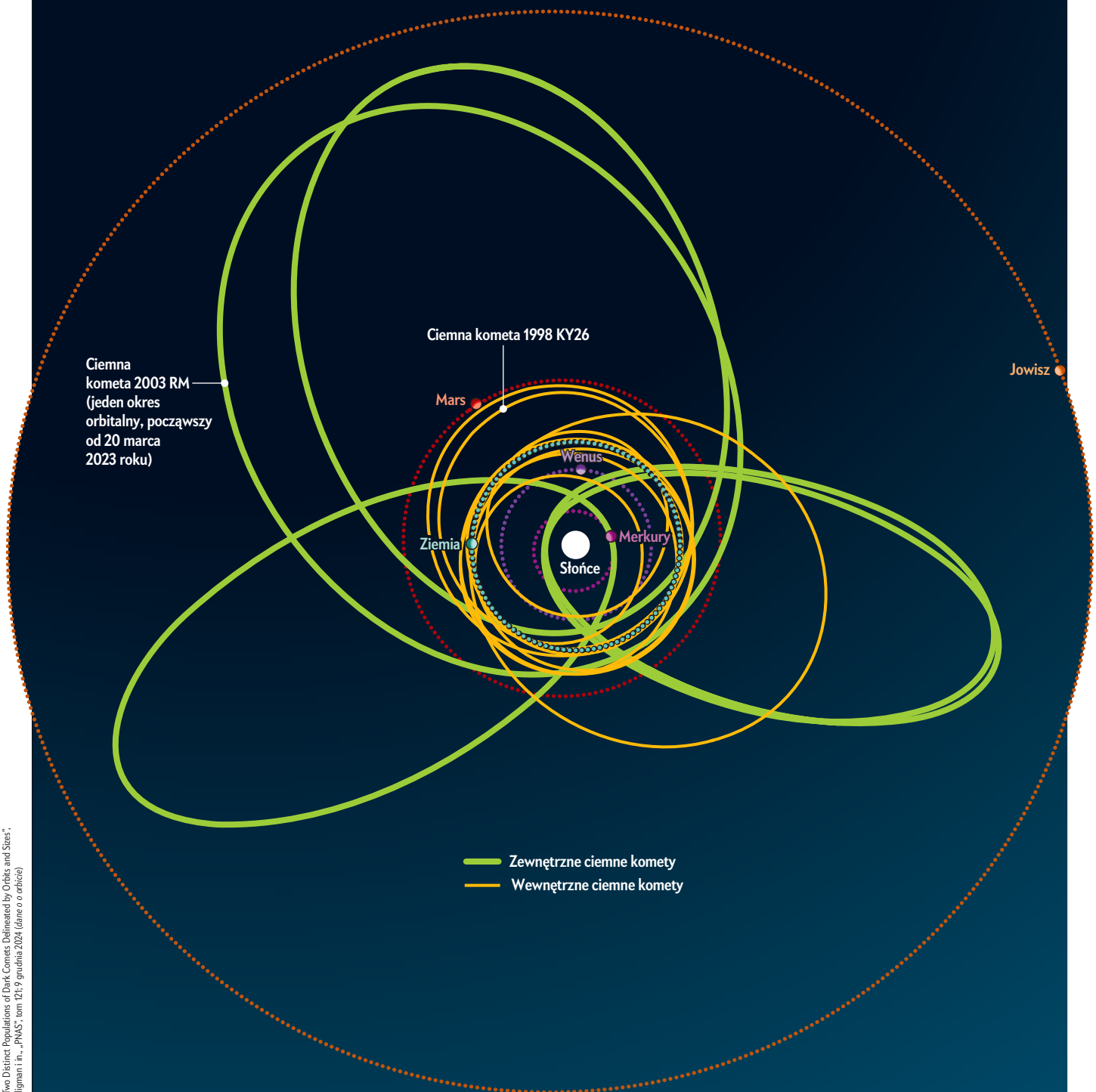
Zespół podejrzewa, że przypadek zewnętrzniaków jest łatwiejszy do wyjaśnienia. Te bardziej błyszczące obiekty o orbitach kometarnych są prawdopodobnie lodowymi kometami o mniejszym – a zatem bardzo trudnym do wykrycia – odgazowywaniu i uwalnianiu pyłu. Jeśli tak, to mogą dostarczyć nowej odpowiedzi na od dawna zadawane pytanie. „Jak umierają komety? – pyta Fitzsimmons. – Wiemy, że niektóre z nich rozpadają się w spektakularny sposób". Szczególnie jeśli postąpią jak Ikar i za bardzo zbliżą się do Słońca.



eprasa.pl a47be06fd8

# Dziwne orbity

**Prawie 10 lat temu** astronomowie zwrócili uwagę na niezwykłe skały kosmiczne: poruszały się jak komety, ale wyglądały jak planetoidy, bez warkoczy z gazu i pyłu, które decydują o ruchu komet. Od tego czasu badacze odkrywali ich coraz więcej i obecnie znamy co najmniej 14 tzw. ciemnych komet. Starając się zrozumieć ich naturę, naukowcy podzielili znaną populację na dwa obozy: „wnętrzniaki", które mają mniej niż 50 m szerokości i poruszają się po kołowych orbitach w wewnętrznym Układzie Słonecznym, oraz „zewnętrzniaki", które są większe i poruszają się po eliptycznych trajektoriach wynoszących je w stronę zewnętrznego Układu Słonecznego.




ŹRÓDŁO: "Two Distinct Populations of Dark Comets Delineated by Orbits and Sizes", Darryl Z. Seligman i in., „PNAS", tom 121: 9 grudnia 2024 (*dane o o orbicie*)

*Grafika Jen Christiansen*



eprasa.pl a47be06fd8

Jednak minimalna aktywność kometarna w zewnętrzniakach przemawia za innym mechanizmem: uduszeniem.

Jeśli w miarę zbliżania się zewnętrzniaka do Słońca parujący lód wodny uwolni w przestrzeń kosmiczną wystarczającą ilość pyłu, jego duża część może opaść z powrotem na lodowe jądro komety. Jeżeli lód będzie stale przysypywany pyłem, będzie coraz bardziej izolowany od promieniowania słonecznego. Po pewnym czasie tylko niewielkie jego fragmenty będą parować i uwalniać w przestrzeń kosmiczną kłęby pyłu. Być może w końcu lód zostanie całkowicie zasłonięty. „Obiekty te okrywają się kocem pyłu i deklarują: »To koniec, rezygnuję z bycia kometą. Teraz chcę być planetoidą«" – mówi Fitzsimmons.

Trudniej jest wyjaśnić wnętrzniaki, dzięki czemu są one bardziej fascynujące. Jedną z zagadek jest to, że spędzają cały swój czas w wewnętrznym Układzie Słonecznym i są wystawione na działanie Słońca, w jaki sposób mógł pozostać na nich lód, który byłby źródłem ich sporadycznych przyspieszeń? „Ale tak naprawdę dziwną sprawą jest ich rozmiar – mówi Fitzsimmons. – Nigdy nie zaobserwowano aktywnego jądra komety o średnicy mniejszej niż kilkaset metrów". Takie małe jądro niezwykle łatwo unicestwić, czy to poprzez rozgrzanie, czy też wirowanie w autodestrukcyjnym pirucecie. A jednak one istnieją.

Seligman nie jest pewien, czy wnętrzniaki i zewnętrzniaki są ze sobą blisko spokrewnione. Jedną z możliwości jest to, że zewnętrzniaki czasami wpadają do wewnętrznego Układu Słonecznego, a wnętrzniaki są ich późną wersją, która zmierza ku śmierci z powodu odwodnienia. Alternatywnie, wnętrzniaki mogą być kometami pasa głównego, które miały komy i warkocze, ale były wypalane przez długi czas aż do prawie całkowitego wysuszenia, przez co nie są w stanie wykazywać normalnej aktywności kometarnej.

Dysponowanie 14 ciemnymi kometami nadającymi się do zbadania jest dobrodziejstwem dla zespołu. Wciąż mamy więcej pytań niż jednoznacznych odpowiedzi, ale już na tym etapie szersze implikacje istnienia ciemnych komet stają się oczywiste.

Z modeli wynika, że jedynie niewielka część wody na Ziemi powstała wewnątrz planety i została wyniesiona na powierzchnię poprzez wulkanizm. Skąd wzięła się reszta? „Narzucającym się kandydatem są komety" – mówi Hainaut. Ale ponieważ komety spędzają większość czasu w Pasie Kuipera lub w znacznie odleglejszym Obłoku Oorta, wydają się być zbyt daleko, aby mogły wykonać to zadanie. Ciemne komety mogą stanowić bliższe źródło. „Bardzo łatwo jest sprowadzić coś z pasa planetoid na Ziemię", mówi Hainaut, a komety z głównego pasa, wraz z wewnętrznymi ciemnymi kometami, z łatwością mogłyby wypełnić tę misję.

Istnienie ciemnych komet może mieć również konsekwencje dla obrony planetarnej, czyli nauki o zapobieganiu zderzeniom niebezpiecznie dużych planetoid i komet z Ziemią. Farnocchia jest członkiem Centrum Badań Obiektów Bliskich Ziemi NASA, a jego główne zadanie polega na znajdowaniu potencjalnie niebezpiecznych planetoid, zanim one znajdą nas – dlatego w interesie jego (i nas wszystkich) jest uzyskanie wiedzy, jak obliczać mniej przewidywalne orbity ciemnych komet.

Innymi słowy, znalezienie dużej planetoidy bliskiej Ziemi, której nikt wcześniej nie zlokalizował, to świetny początek. „Ale jeśli nie wiesz, gdzie ona będzie w przyszłości, nie ma to wielkiego znaczenia" – mówi Seligman.

Farnocchia, weteran obrony planetarnej, nie martwi się tym zbytnio. Automatyczne oprogramowanie, które zostało stworzone w celu wykrywania, a następnie precyzyjnego prognozowania w dalekiej przyszłości ruchów planetoid (i komet) bliskich Ziemi, może jeszcze nie w pełni uwzględniać nowość, jaką są przyspieszenia w stylu ciemnych komet, ale w skali ludzkiego życia „nadal jesteśmy w stanie łączyć kropki", mówi.

PODZIAŁ CIEMNYCH KOMET na dwie grupy, dokonany w 2024 roku, był znaczącym krokiem naprzód, ale polujący na nie naukowcy wciąż w zakłopotaniu marszczą brwi. „Co się dzieje?" – zastanawia się Farnocchia. Czym są te obiekty i dlaczego nie możemy dostrzec wyrzucanego przez nie pyłu?

Chociaż niezwykle zaawansowane teleskopy optyczne dotąd zawodziły badaczy, w ich poszukiwaniach wkrótce będą mogły pomóc dwa inne. Pierwszym z nich jest Obserwatorium Very C. Rubin – gigantyczna szerokokątna kamera cyfrowa, montowana na grzbiecie górskim w Chile. Zostanie ono uruchomione jeszcze w tym roku i w ciągu zaledwie kilku miesięcy odkryje miliony nowych planetoid i mnóstwo komet – niemal na pewno zwiększając znaną populację ciemnych komet i oferując zespołowi więcej takich dziwactw do zbadania.

Drugim jest Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba (James Webb Space Telescope; JWST) – jeśli naukowcom uda się przekonać decydentów, by dali im trochę czasu na jego wykorzystanie. W podczerwieni teleskop może zobaczyć rzeczy, których inne obserwatoria nie widzą – w tym normalnie niewykrywalne odgazowywanie pary wodnej przez komety. „Tak naprawdę JWST jest jedynym teleskopem, którego możemy użyć do zbadania odgazowującej komy" – mówi Aster Taylor, doktorant astrofizyki planetarnej na University of Michigan i miłośnik ciemnych komet.

W 2023 roku JWST po raz pierwszy potwierdził obecność pary wodnej wokół komety pasa głównego. Pył, który prawdopodobnie wylatuje z ciemnych komet, może być nieuchwytny, ale naukowcy mogą wykorzystać JWST do poszukiwania procesów odgazowywania. „Jeśli odkryta zostanie emisja wody, to naprawdę zamknie sprawę" – mówi Fitzsimmons.

Rywalizacja o czas na JWST jest zacięta, a początkowa propozycja zespołu dotycząca badania ciemnych komet została odrzucona. Naukowcy pracują nad nową wersją, „mamy więc nadzieję, że tym razem uda nam się ją zrealizować" – mówi Seligman. Nawet jeśli nie zaobserwuje się żadnego odgazowywania, dzięki teleskopowi kosmicznemu dowiemy się o zawartości minerałów na powierzchniach ciemnych komet, co pozwoli wywnioskować ewentualną obecność lodu.

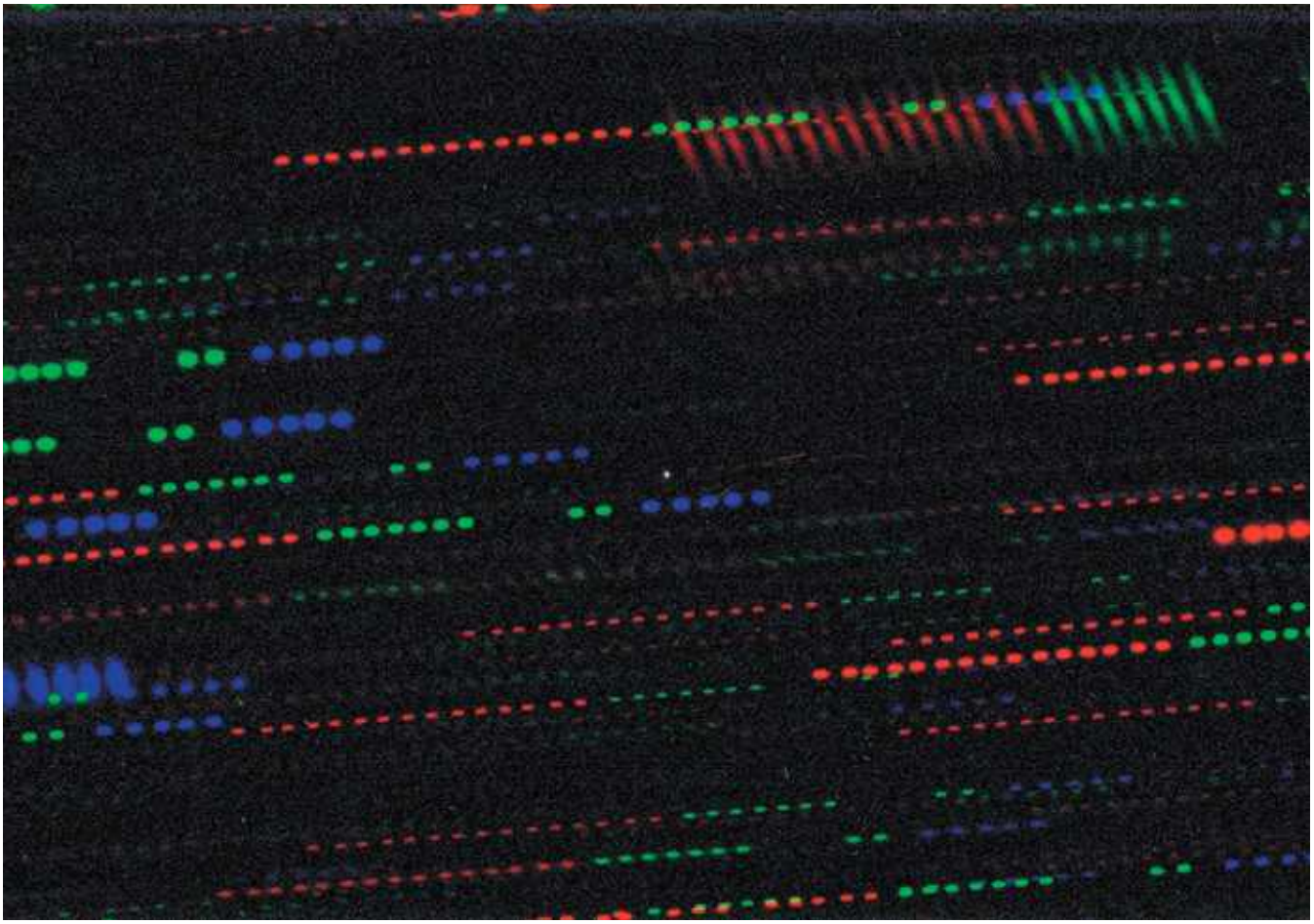
Jednakże tym, co szczególnie ożywia łowców ciemnych komet, jest fakt, że japoński statek kosmiczny jest już w drodze, aby zbliżyć się do jednego z tych obiektów, a kierujący tą misją aż do niedawna nie zdawali sobie z tego sprawy.

Japońska misja Hayabusa2 to jedna z najwspanialszych misji badających planetoidy. Jej celem było odzyskanie nieskażonej próbki z węglowej planetoidy o nazwie Ryugu i przywiezienie jej na Ziemię, aby kosmochemicy mogli stwierdzić, czy dawne planetoidy zawierają elementy budulcowe dla planet i biologii. Misja odniosła sukces przekraczający wszelkie oczekiwania. W 2018 roku dotarła do Ryugu, a w następnym wystrzeliła pocisk, który stworzył krater odsłaniający zakrytą materię pierwotną, po czym zbliżyła się do niej i zebrała część okruchów.

Po bezpiecznym dostarczeniu tego bezcennego skarbu na Ziemię w 2020 roku Hayabusa2 poleciała dalej w kosmos – i rozpoczęła się jej przedłużona misja. Tym razem ma ona związek z obroną planety. Nazwano ją Hayabusa2# (Symbol # to „krzyżyk", jak w notacji muzycznej; tutaj oznacza sondę mającą wykrywać



eprasa.pl a47be06fd8



małe niebezpieczne asteroidy – Small Hazardous Asteroid Reconnaissance Probe). Obecnie kieruje się ku dwóm pobliskim planetoidom, które są mniejsze niż Ryugu, ale i tak mają tak duże rozmiary, że mogą zagrozić Ziemi. W lipcu 2026 roku przeleci obok planetoidy o nazwie Torifune, a w 2031 roku spotka się z dużo mniejszym obiektem – 1998 KY26.

Tak, to jedna z wewnętrznych ciemnych komet. „Jestem zaskoczony" – mówi Yuichi Tsuda, kierownik projektu japońskiej misji Hayabusa2. Skałę wybrano, ponieważ jest mała, wiruje niezwykle szybko i w przeciwieństwie do większych planetoid, które często są stosami gruzu, to tylko pojedynczy odłamek. „Pomyśleliśmy, że warto ją zbadać pod kątem obrony planetarnej" – wyjaśnia Tsuda. Kiedy kilka lat temu wybrano ją jako cel, jego zespół nie miał wcześniej do czynienia z badaniami ciemnych komet.

W 2023 roku, desperacko pragnąc zebrać więcej informacji na temat rosnącej liczby ciemnych komet, Seligman przeszukiwał Internet. Kiedy doszedł do 1998 KY26, jego ekran zalał potok artykułów naukowych. „Gdy to zobaczyłem, pomyślałem: »Nieźle!« – mówi ze śmiechem. – Był to bardzo szczęśliwy przypadek. Dla mnie wisienka na torcie." W końcu ciemna kometa ujrzy światło dzienne.

Tsuda wraz z zespołem wciąż zastanawia się, co należy zrobić, gdy sonda dotrze do 1998 KY26. Może okrążyć ciemną kometę i przeskanować jej powierzchnię, wypatrując lodu i minerałów kometarnych. Można wykorzystać pozostały pocisk, aby stworzyć na niej krater i zbadać jej skład wewnętrzny. Hayabusa2# może nawet zakończyć swoją przedłużoną misję próbą ryzykownego lądowania na szaleńczo wirującej skale.

Niezależnie od ostatecznego wyboru, zespół nie może uwierzyć w swoje szczęście. „Nasi japońscy przyjaciele będą się dobrze bawić" – uważa Hainaut.

Na razie ciemne komety stanowią zagadkę. „Trudno wyjaśnić fakt, że w ogóle istnieją – mówi Fitzsimmons. – Po prostu Matka Natura jest sprytniejsza od nas. I o to właśnie chodzi w astronomii: chcemy się dowiedzieć, jak działa Matka Natura."

**Z NASZEGO ARCHIWUM**

**Polowanie na dziewiątą planetę.** Robin George Andrews; luty 2025.

ESO/K. Meech i in.

Na zdjęciu wykonanym przez Very Large Telescope i Gemini South Telescope, otoczona smugami gwiazd słaba biała kropka (w środku) to 'Oumuamua, międzygwiazdowa planetoida, która powstała poza Układem Słonecznym.

Istnieje szansa, że cała ta praca na niewiele się zda. „A co, jeśli po przeprowadzeniu obserwacji okaże się, że nic nie widać?" – zastanawia się Seligman. Żadnego odgazowywania, żadnego pyłu, ale jest stałe przyspieszenie takie jak w kometach. „Co wtedy zrobimy?" A może do 2031 roku Obserwatorium Rubin odkryje dziesiątki innych ciemnych komet, JWST znajdzie ewidentne dowody na odgazowywanie, inne teleskopy nareszcie zarejestrują charakterystyczne pióropusze pyłu, a ciemna kometa stanie się ostatnim miejscem spoczynku pośród gwiazd sondy Hayabusa2#.

Jest prawdopodobne, że badacze ciemnych komet wkrótce uzyskają odpowiedzi, a nasz Układ Słoneczny stanie się nieco bardziej przewidywalny. „Nie sądzę, żebym był na to emocjonalnie przygotowany – mówi Seligman i wzdycha. – Fajnie jest mieć tajemnice". ■



eprasa.pl a47be06fd8

MATEMATYKA

# Magia kształtów

**Matematycy opisują ich zdaniem najbardziej urokliwe i intrygujące kształty i powierzchnie**

**RACHEL CROWELL**
**Ilustracje VIOLET FRANCES**

Zwykle, myśląc o kształtach, wyobrażamy sobie trójkąt, prostokąt albo nieco bardziej „wyszukane” figury – na przykład romb lub trapez. Tymczasem dla matematyków jest to ogromny wszechświat zadziwiających form – od jednowymiarowych pętli po politopy, czyli uogólnienie wielokątów i wielościanów na dowolną liczbę wymiarów.

Takimi formami są także powierzchnie – zbiory punktów stanowiących granice w przestrzeni 3D – które obejmują obszerny zbiór osobliwych obiektów matematycznych. Na tym placu zabaw matematycy prowadzą eksplorację, dokonują odkryć i stawiają pytania.

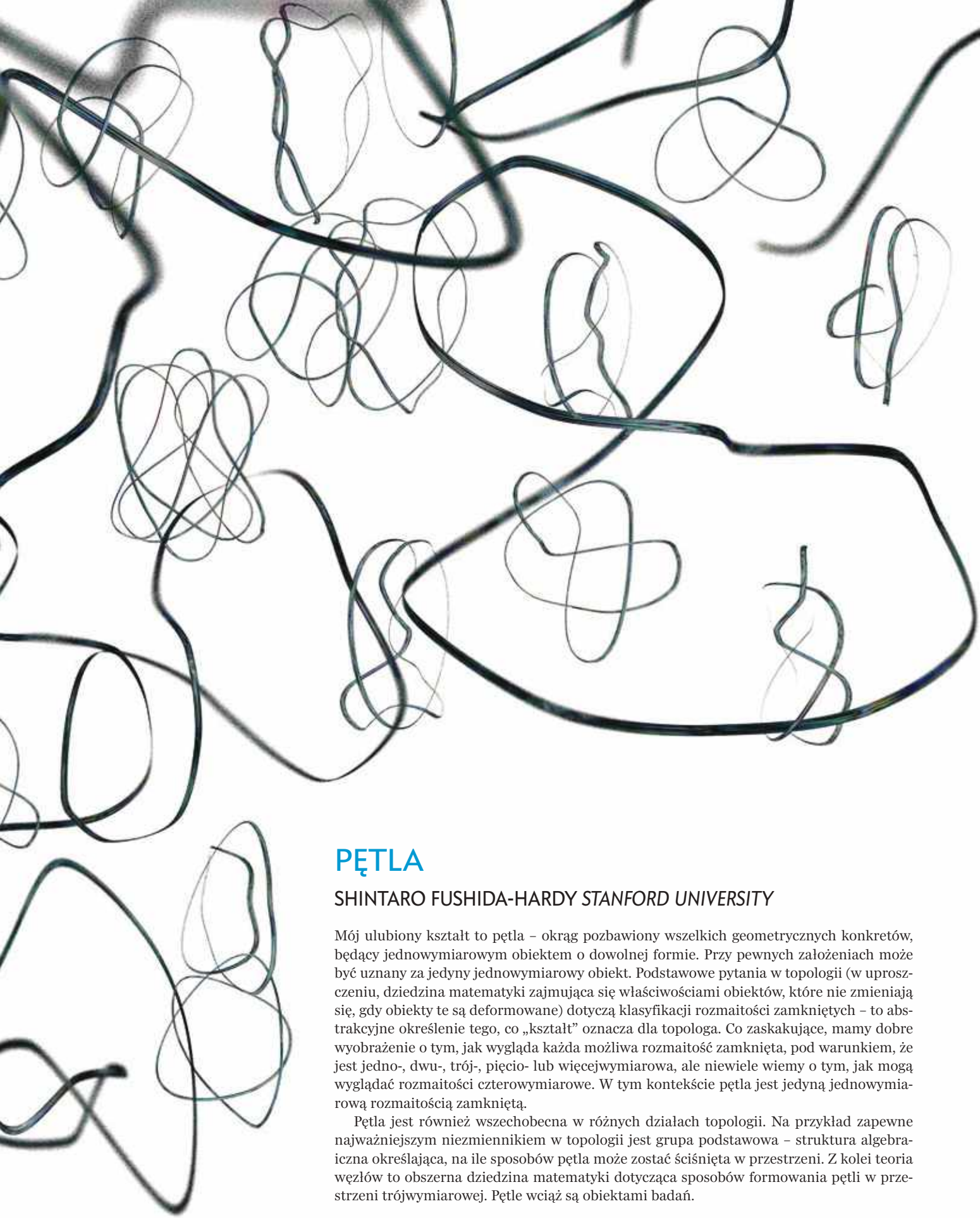
Niektórzy z nich preferują kształty związane z rzeczywistością, takie jak pierścienie boromejskie, kojarzące się z warkoczami, albo permutaedr (wielościan permutacyjny), który jest podstawowym kształtem kryształu zeolitu (materiału stosowanego m.in. w przemyśle). Inni faworyzują bardziej abstrakcyjne opcje, reprezentujące wyższe wymiary i pozornie oderwane od rzeczywistości.

Poprosiliśmy matematyków, aby wybrali swoje ulubione kształty lub powierzchnie i wyjaśnili, dlaczego uważają je za ekscytujące. Poniżej ich zredagowane opinie.

**Rachel Crowell** jest pisarką z Midwestu; zajmuje się nauką, głównie matematyką.



cpiasa.pl a47be06fd8



# PĘTLA

SHINTARO FUSHIDA-HARDY *STANFORD UNIVERSITY*

Mój ulubiony kształt to pętla – okrąg pozbawiony wszelkich geometrycznych konkretów, będący jednowymiarowym obiektem o dowolnej formie. Przy pewnych założeniach może być uznany za jedyny jednowymiarowy obiekt. Podstawowe pytania w topologii (w uproszczeniu, dziedzina matematyki zajmująca się właściwościami obiektów, które nie zmieniają się, gdy obiekty te są deformowane) dotyczą klasyfikacji rozmaitości zamkniętych – to abstrakcyjne określenie tego, co „kształt" oznacza dla topologa. Co zaskakujące, mamy dobre wyobrażenie o tym, jak wygląda każda możliwa rozmaitość zamknięta, pod warunkiem, że jest jedno-, dwu-, trój-, pięcio- lub więcejwymiarowa, ale niewiele wiemy o tym, jak mogą wyglądać rozmaitości czterowymiarowe. W tym kontekście pętla jest jedyną jednowymiarową rozmaitością zamkniętą.

Pętla jest również wszechobecna w różnych działach topologii. Na przykład zapewne najważniejszym niezmiennikiem w topologii jest grupa podstawowa – struktura algebraiczna określająca, na ile sposobów pętla może zostać ściśnięta w przestrzeni. Z kolei teoria węzłów to obszerna dziedzina matematyki dotycząca sposobów formowania pętli w przestrzeni trójwymiarowej. Pętle wciąż są obiektami badań.



eprasa.pl a47be06fd8

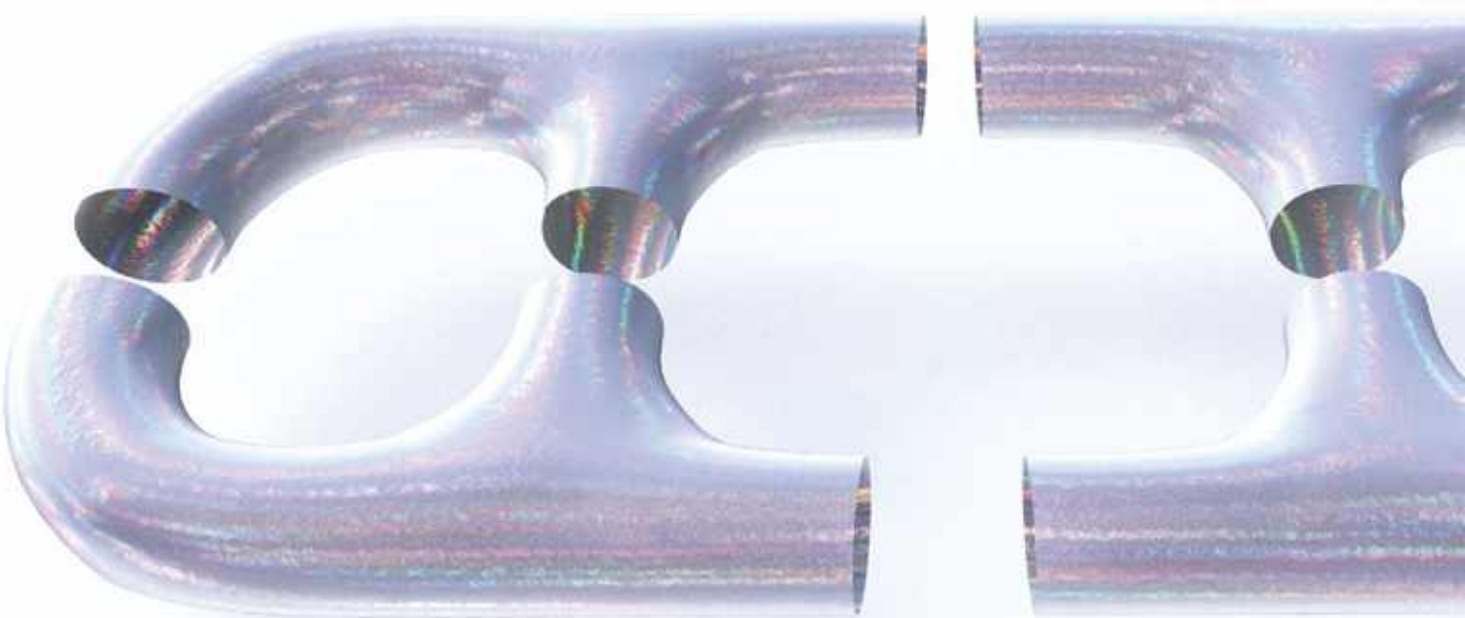
# DOPEŁNIENIE WĘZŁA

HENRY SEGERMAN *OKLAHOMA STATE UNIVERSITY*

Dopełnienie węzła obejmuje wszystko w przestrzeni trójwymiarowej, co nie jest węzłem. To obiekt topologiczny, a deformacja węzła jest równocześnie deformacją jego dopełnienia. Pod koniec lat 70. amerykański matematyk Robert F. Riley ustalił, że dopełnienie węzła ósemkowego, który jest elastycznym obiektem topologicznym, nie jest ściśle topologiczne. Stanowi obiekt geometryczny, a przy tym sztywny w tym sensie, że nie można zmienić jego geometrii – jest ona unikalna.

Riley wykazał, że dopełnienie węzła ósemkowego ma unikalną metrykę hiperboliczną (to określenie odnosi się do hiperboli, krzywej otwartej), a to oznacza, że po uwzględnieniu tej unikalnej metryki sensowne jest pytanie o objętość dopełnienia, która równa jest około 2,03 jednostki hiperbolicznej. Niedługo potem matematyk William Thurston z Princeton University znacznie rozszerzył odkrycie Rileya, wykazując, że właściwie prawie wszystkie węzły mają dopełnienie hiperboliczne. Spośród 352 152 252 węzłów pierwszych z maksymalnie 19 skrzyżowaniami – sklasyfikowanych przez Benjamina A. Burtona z University of Queensland w Australii – tylko 395 nie ma dopełnienia hiperbolicznego.

Określenie węzeł pierwszy wiąże się z liczbami pierwszymi, czyli takimi, które mają tylko dwa dzielniki naturalne – jedynkę i samą siebie. Podobna sytuacja występuje w przypadku węzłów. Węzeł jest pierwszy, jeśli nie jest złożony, czyli nie można go utworzyć, łącząc (sumując) przynajmniej dwa mniejsze węzły. W praktyce zazwyczaj obiektami zainteresowania są tylko węzły pierwsze, ponieważ rozdzielenie węzła złożonego na węzły pierwsze zawsze poprzedza jego analizę.





eprasa.pl a47be06fd8





# HIPERBOLICZNA PARA SPODNI

LAURA MONK *UNIVERSITY OF BRISTOL, ANGLIA*

Mój ulubiony kształt, nad którym często się zastanawiam, bywa nazywany hiperboliczną parą spodni. Jest to powierzchnia o kształcie spodni, co oznacza, że ma trzy składowe brzegowe (w pasie i przy kostkach) oraz genus 0 (brak „uchwytu” – takiego, jak przy kubku). Wyjątkowym czyni ten kształt to, że każdym trzem liczbom $a$, $b$, $c$ można przypisać jedną i tylko jedną hiperboliczną parę spodni o długościach brzegowych $a$, $b$, $c$. Tak więc podobnie jak wiadomo, jak wygląda prostokąt o bokach długości 2 i 3,5, ma sens mówienie o konkretnej hiperbolicznej parze spodni o brzegach na przykład 1, 6 i 2,4.

Można się bawić i zszywać hiperboliczne spodnie. Łącząc dwie pary dżinsów wzdłuż pasa, wypada najpierw zdecydować, czy zapięcia znajdą się naprzeciw siebie, czy brzegi będą względem siebie obrócone – a jeśli tak, to jak duże powinno być to skręcenie; kąt skręcenia oznaczany jest przez tau ($\tau$). Można skonstruować każdą powierzchnię hiperboliczną, zszywając ze sobą hiperboliczne spodnie i opisując całość długościami brzegowymi i kątami skręcenia poszczególnych składników. Dlatego hiperboliczne pary spodni są idealnymi wzorcowymi elementami w geometrii hiperbolicznej.

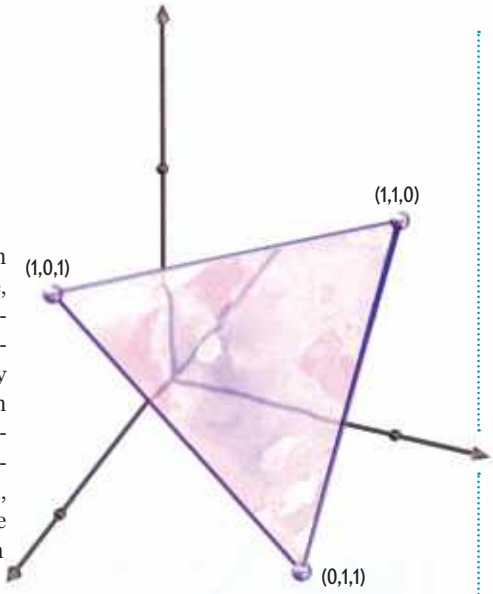


eprasa.pl a47be06fd8

# POLITOPY

ANASTASIA CHAVEZ
*SAINT MARY'S COLLEGE OF CALIFORNIA*

Kształty, do których często wracam w moich badaniach, są zarówno proste, jak i złożone. Proste to te, których dwuwymiarowe wersje poznajemy w szkole: trójkąty, kwadraty, 12-kąty i inne wielokąty wypukłe (wielokąt jest płaskim kształtem utworzonym z odcinków prostych; wielokąt wypukły ma wszystkie kąty wewnętrzne mniejsze od 180°). Stają się złożonymi, gdy rozważa się ich więcejwymiarowe wersje, zwane politopami, i analizuje ich własności matematyczne oraz powiązania między nimi. Na przykład jeśli ktoś próbował zoptymalizować ograniczony układ liniowy (np. w celu minimalizacji czasu potrzebnego na zwrot rowerów elektrycznych do ich wypożyczalni), natknął się na politop. Jeśli można określić matematycznie jakieś położenie za pomocą współrzędnych 0 i 1, to otoczka wypukła punktów o tych współrzędnych (najmniejszy wypukły kształt obejmujący te punkty) stanowi politop. Przykładowo trzyelementowy zbiór podzbiorów o rozmiarze 2 tworzy trzy punkty o współrzędnych (1,1,0), (1,0,1) i (0,1,1), których otoczka




wypukła jest trójkątem w przestrzeni trójwymiarowej. Takie podejście poszerza zakres możliwości analiz matematycznych i wzmacnia powiązania między różnymi dziedzinami matematyki. To, co wydaje się trudne do stwierdzenia w jakiejś dziedzinie, może okazać się łatwiejsze po skorzystaniu z politopów. Właśnie takie relacje między różnymi obszarami matematyki, a także badanie politopów jako samoistnych obiektów, sprawiają, że interesuję się tymi pozornie prostymi, ale w gruncie rzeczy skomplikowanymi kształtami.

# PERMUTAEDR

ANDRES R. VINDAS MELENDEZ
*HARVEY MUDD COLLEGE*

Kształt, który uważam za naprawdę ciekawy, znany jest jako permutaedr lub permutoedr. Jest to symetryczny wypukły politop o wielu specyficznych właściwościach.

Po pierwsze: wypukły kształt oznacza, że gdyby oznaczyć wewnątrz niego dwa dowolne punkty i połączyć je prostą, to linia ta zawsze znalazłaby się wewnątrz tego kształtu.

Po drugie: politop wypukły można sobie wyobrazić jako kształt z płaskimi bokami, który może istnieć w dowolnym wymiarze: zerowymiarowe politopy to punkty, jednowymiarowe – to odcinki, a dwuwymiarowe – to wielokąty. W trzech wymiarach mamy wielościany, a w ogólnym przypadku w dowolnym wymiarze $d$ mamy $d$-politopy. Lubię myśleć o politopach wypukłych w trzech wymiarach jako o efekcie procesu, polegającego na „rzuceniu" w przestrzeń kilku punktów, a następnie owinięciu ich folią tak szczelnie, jak to możliwe. W rezultacie powstaje trójwymiarowy kształt z płaskimi bokami. W dwóch wymiarach punktami mogą być główki wbitych gwoździ owinięte gumką tworzącą wielokąt.

# POWIERZCHNIA POTWÓR Z LOCH NESS

MARISSA KAWEHI KOCHA
*UNIVERSITY OF WISCONSIN–MADISON*

Dla mnie, osoby zajmującej się zawodowo badaniem powierzchni, wybór jednej ulubionej nie jest prosty. W moim środowisku żartobliwie uznaje się za lubianą przez wszystkich tę, której genus wynosi 2 (powierzchnia z dwoma otworami), ponieważ jest to powierzchnia hiperboliczna zamknięta o najniższym genusie, której rysunek pojawia się najczęściej na wykładach. Chociaż powierzchnia z genusem 2 jest pod pewnymi względami wyjątkowa, zdecydowałam się wybrać inną,



Powierzchnia z genusem 2

Powierzchnie potwór z Loch Ness



eprasa.pl a47be06fd8

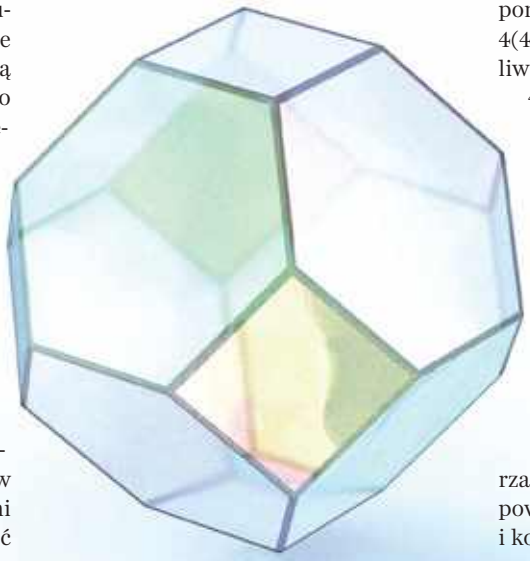
A czym jest permutaedr? Kształt zwany $n$-permutaedrem wiąże się z pojęciem permutacji. Jeśli mamy zbiór liczb {1, 2, 3}, możemy je ustawić w różnej kolejności: (1,2,3), (1,3,2), (2,3,1), … itd. Te różne kolejności zwane są permutacjami. Kształt $n$-permutaedru obejmuje wszystkie możliwe sposoby ustawienia liczb od 1 do $n$ ($n$ – liczba całkowita dodatnia). Może być zdefiniowany jako wypukła otoczka wszystkich permutacji wektora $(1,2,...,n)$.

Gdy $n = 3$, mamy sześć permutacji liczb {1,2,3}, które są wierzchołkami 3-permutaedru. Ważne jest, aby uwzględnić, że 3-permutaedr jest dwuwymiarową figurą umieszczoną w przestrzeni 3D. Wynika to z faktu, że wszystkie permutacje (postrzegane jako punkty w przestrzeni 3D) znajdują się na płaszczyźnie, gdzie $x + y + z = 6$, co powoduje obniżenie wymiaru politopu.

Innym przykładem jest przedstawiony na rysunku 4-permutaedr. Gdy $n$=4, mamy 4!=24 permutacje zbioru {1,2,3,4}, które są wierzchołkami 4-permutaedru – politopu 3D umieszczonego w przestrzeni 4-wymiarowej. Ten politop jest w istocie ściętym ośmiościanem o 14 ścianach (sześć kwadratów i osiem sześciokątów foremnych). Takimi ośmiościanami można szczelnie wypełnić przestrzeń 3D.


## FEDERICO ARDILA-MANTILLA
*SAN FRANCISCO STATE UNIVERSITY*


Ten piękny symetryczny kształt występuje też w naszym otoczeniu. Chemiczka Juliana Velasquez Ochoa z University of Bologna wskazuje, że jest to podstawowy kształt kryształów zeolitu. W San Francisco Exploratorium znajduje się stos identycznych, jasnoczerwonych permutaedrów; bawiąc się nimi, łatwo stwierdzić, że pasują do siebie idealnie, idealnie wypełniając przestrzeń.



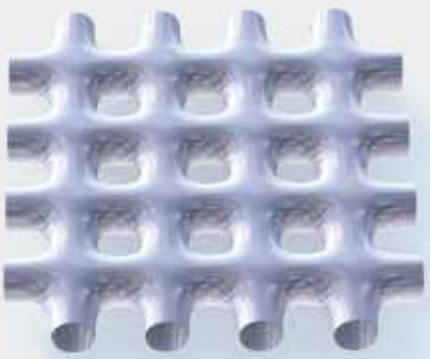
Jak umieścić 24 wierzchołki w przestrzeni, aby utworzyć permutaedr $\Pi_4$? Moim ulubionym sposobem jest umieszczenie ich w przestrzeni czterowymiarowej. Permutacji wierzchołków $\Pi_4$ z liczb 1,2,3,4 jest $4! = 4 \times 3 \times 2 \times 1 = 24$ – (1,2,3,4), (2,1,3,4), … , (4,3,2,1). Objętość permutaedru $\Pi_4$ wynosi $32 = 4^{4-2}\sqrt{4}$; wiemy to, ponieważ $\Pi_4$ jest „cieniem” sześcianu $4(4 - 1)/2 = 6$-wymiarowego, a to umożliwia pocięcie permutaedru $\Pi_4$ na $16 = 4^{4-2}$ identycznych części o objętości $\sqrt{4}$.

Co najciekawsze, te zależności są prawdziwe w każdym wymiarze. Można po prostu podstawić dowolną wartość $n$ zamiast 4. Wierzchołki permutaedru $\Pi_n$ odpowiadają wszystkim możliwym permutacjom $n$ obiektów. Tak więc gdy alfabetycznie układam prace dyplomowe moich 18 studentów kombinatoryki, mam przed sobą $\Pi_{18}$ w przestrzeni 18-wymiarowej.

Lubię permutaedr, ponieważ stwarza możliwość pięknych, efektywnych powiązań między geometrią, algebrą i kombinatoryką.

z przeciwnego końca spektrum, której genus jest nieskończony, zwaną potworem z Loch Ness. Ta powierzchnia jest prawdopodobnie „najprostszą” z nieskończonych, ale jej grupa symetrii topologicznych znana jako grupa klas odwzorowań zawiera każdą policzalną grupę jako podgrupę.

Co więcej, istnieje pełna metryka hiperboliczna na powierzchni potwora z Loch Ness, której grupa izometrii (grupa symetrii geometrycznych) wynosi $G$ wtedy i tylko wtedy, gdy $G$ jest grupą przeliczalną. Tak więc mimo że powierzchnia potwora z Loch Ness może wydawać się względnie prosta w bogatym spektrum powierzchni typu nieskończonego, wiąże się z nią kilka niezwykłych zjawisk, na które wskazali Tarik Aougaba z Haverford College, Priyam Patel z University of Utah i Nicholas G. Vlamis z Queens College w Nowym Jorku w artykule z 2021 roku zatytułowanym „Isometry Groups of Infinite-Genus Hyperbolic Surfaces”.







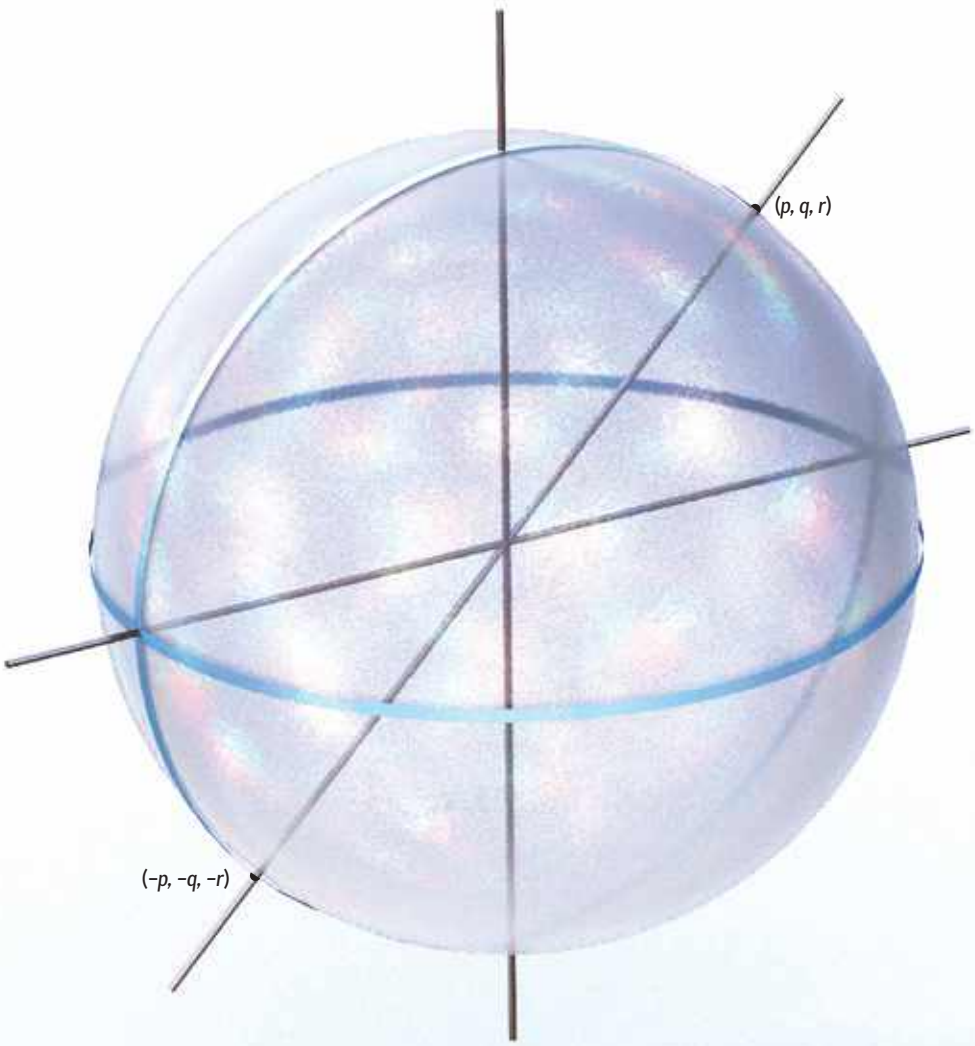
eprasa.pl a47be06fd8

# RZECZYWISTA PRZESTRZEŃ RZUTOWA 2D

KRISTEN HENDRICKS *RUTGERS UNIVERSITY*

Jestem topologiem, więc pasjonuję się wieloma powierzchniami i kształtami, ale prawdopodobnie moją ulubioną powierzchnią rozumianą jako dwuwymiarowa rozmaitość (powierzchnia, która lokalnie ma własności przestrzeni rzeczywistej) jest $\mathbb{RP}^2$, czyli dwuwymiarowa rzeczywista przestrzeń rzutowa. Ogólnie rzecz biorąc, $\mathbb{RP}^n$ jest zbiorem linii przechodzących przez początek (punkt zerowy) w $\mathbb{RP}^{n+1}$. Zatem dla $\mathbb{RP}^2$ mamy wszystkie linie przechodzące przez początek w $\mathbb{RP}^3$ i możemy to traktować tak, jak wszystkie punkty na jednostkowej sferze – z tą różnicą, że jeśli dwa punkty znajdują się dokładnie naprzeciwko siebie, to uznajemy je za jednakowe, ponieważ znajdują się na tej samej linii przechodzącej przez początek. Tę powierzchnię można również przedstawić inaczej, korzystając ze wstęgi Möbiusa (pasek papieru raz skręcony ze sklejonymi końcami) i dysku. Oba te obiekty mają jako granicę lub krawędź okrąg. Jeśli skleimy te dwa okręgi graniczne, otrzymamy dwuwymiarową rzeczywistą przestrzeń rzutową.

Ta powierzchnia jest pierwszym krokiem do ważnej konstrukcji topologicznej, operującej równocześnie zbiorem linii we wszystkich przestrzeniach $\mathbb{R}^n$ dla dowolnego wymiaru $n$ (jest to równoważne zbiorowi linii w $\mathbb{R}^\infty$). Ta przestrzeń, zwana $\mathbb{RP}^\infty$, ma ścisłe powiązania z wieloma ciekawymi aspektami topologii, takimi jak operowanie dość abstrakcyjnymi niezmiennikami algebraicznymi przy mapowaniu w różnych przestrzeniach, badanie pól wektorowych na rozmaitościach i badanie zachowania się prostych symetrii w przestrzeniach.






eprasa.pl a47be06fd8

# 3D ANALOG WĘZŁÓW WSTĘGOWYCH

CHRISTINE RUEY SHAN LEE
*TEXAS STATE UNIVERSITY*

Za szczególnie atrakcyjny uważam trójwymiarowy analog obiektów 4D zwanych węzłami wstęgowymi. Sposób wykonania takich obiektów jest następujący: weź skończony zbiór dysków, natnij w nich szczeliny, a następnie dodaj paski między dyskami, przechodzące przez te szczeliny. Jeśli powstały obiekt będzie miał jeden brzeg, wówczas będzie to dysk wstęgowy, a węzeł 3D, ograniczający taki dysk, jest węzłem wstęgowym. W przestrzeni 4D, którą postrzegamy jako otaczającą przestrzeń 3D, jest wystarczająco dużo miejsca, aby cofnąć konstrukcję i odzyskać dysk (bez szczelin). Dlatego węzeł wstęgowy jest przykładem najprostszego typu węzła w 4D, a proces tworzenia dysku wstęgowego jest sposobem 3D jego konstrukcji. Hipoteza plasterka-wstążki, główny otwarty problem w topologii niskowymiarowej, mówi, że każdy taki prosty węzeł w 4D wywodzi się z dysku wstęgowego. Uważam ten kształt za fascynujący, ponieważ jest to prosta konstrukcja, która leży u podstaw trudnego — i niemożliwego do pełnego zwizualizowania — procesu w przestrzeni 4D. Ponieważ w przestrzeni 4D jest więcej miejsca niż w 3D, zbiór punktów w 4D, który sam w sobie stanowi dysk, może być zbyt skomplikowany, gdy oglądamy jego projekcję w 3D.



# CYKLOIDA

SARAH HART BIRKBECK
*UNIVERSITY OF LONDON*

Najważniejsze koncepcje i obiekty matematyczne mają trzy cechy: są proste do zdefiniowania, mają piękne i zaskakujące właściwości oraz interesujący jest sposób ich uogólnienia. Moim zdaniem warunki te spełnia cykloida.

Ta krzywa jest odpowiedzią na pytanie: jaki kształt wyznacza punkt na obręczy toczącego się po drodze koła? A bardziej matematycznie: jak wygląda droga punktu na obwodzie koła, gdy toczy się ono po prostej? Powstającą w ten sposób krzywą Galileusz nazwał cykloidą. Fascynowało się nią wielu wybitnych matematyków (Marin Mersenne, Pierre de Fermat, René Descartes, Blaise Pascal, Isaac Newton). Jedną z pięknych właściwości cykloidy jest to, że pole pod jej łukiem jest trzy razy większe od pola generującego ją okręgu, a długość łuku jest cztery razy większa od średnicy tego okręgu.

Zaskoczeniem jest obecność cykloidy w innym kontekście. Chodzi o tzw. problem tautochrony, związany z poszukiwaniem takiej krzywej, po której masa punktowa stacza się pod wpływem siły grawitacji do najniższego punktu zawsze w tym samym czasie – niezależnie od punktu startowego na krzywej. Jedyną krzywą, która tak działa, jest odwrócona cykloida.

Podobny jest problem brachistochrony, który można opisać tak: mamy dwa punkty – A i B; jeśli A znajduje się wyżej niż B, to jaki kształt powinna mieć krzywa łącząca te punkty, aby masa punktowa stacała się po niej pod wpływem siły grawitacji w najkrótszym czasie? Odpowiedzią ponownie jest cykloida, a ściślej jej fragment. Interesująca jest także inna cecha związana z kryterium uogólniającym: jaki będzie efekt toczenia okręgu nie po linii, ale po okręgu? Tocząc okrąg na zewnątrz okręgu o tym samym promieniu, otrzymamy kardioidę, która pojawia się także w różnych miejscach – od centralnego regionu zbioru Mandelbrota (zestaw liczb, którego obrazem jest znany fraktal) przez profil dźwiękowy mikrofonu aż po dziwny wzór odbitego światła, pojawiający się na przykład w filiżance z kawą.

A co powstaje, jeśli linię wyznacza punkt na prostej toczącej się po okręgu lub innej krzywej? Wtedy efektem jest tzw. ewolwenta krzywej. Tutaj także cykloida pojawia się jako fenomen: to jedyna krzywa, która jest swoją własną ewolwentą.





eprasa.pl a47be06fd8

# KATENOIDA

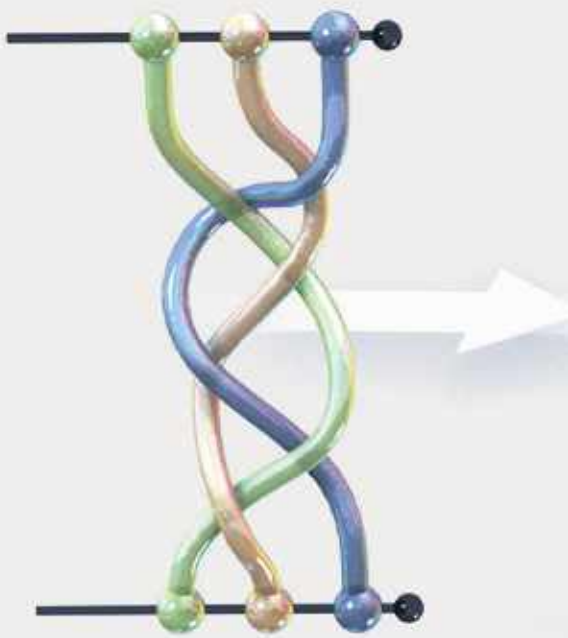
MARIA SORIA CARRO *RUTGERS UNIVERSITY*



Katenoida to fascynująca powierzchnia, która powstaje wtedy, gdy krzywa łańcuchowa (tworzy ją zaczepiony końcami zwisający łańcuch) obraca się wokół osi. Ta powierzchnia intrygowała matematyków ze względu na elegancki kształt i właściwości. Została odkryta w 1744 roku przez szwajcarskiego matematyka Leonharda Eulera, który udowodnił, że katenoida ma najmniejsze pole wśród powierzchni rozpiętych na dwóch okręgach. Ta właściwość jest najlepiej widoczna wtedy, gdy błona mydlana zostanie rozpięta między dwoma pierścieniami kołowymi. Co bardziej wyjątkowe, jest to minimalna powierzchnia obrotowa, jeśli pominąć płaszczyznę.

Od XVIII wieku krzywe łańcuchowe inspirują architektów, ponieważ związany z nimi rozkład sił powoduje, że ich kształt jest idealny jako wzorzec budowy łuków. Łuki łańcuchowe można znaleźć w wielu kościołach, katedrach oraz świeckich arcydziełach architektury. Przykładem jest La Pedrera w Barcelonie, budynek zaprojektowany przez Antonio Gaudiego. Wizjoner Gaudi wykorzystywał naturalną siłę i piękno krzywej łańcuchowej, stosując jej kształt w swoich projektach, aby tworzyć fascynujące estetycznie i użyteczne konstrukcje. Katenoida i krzywa łańcuchowa wciąż inspirują matematyków i architektów połączeniem użyteczności z elegancją.





# PIERŚCIENIE BOROMEJSKIE

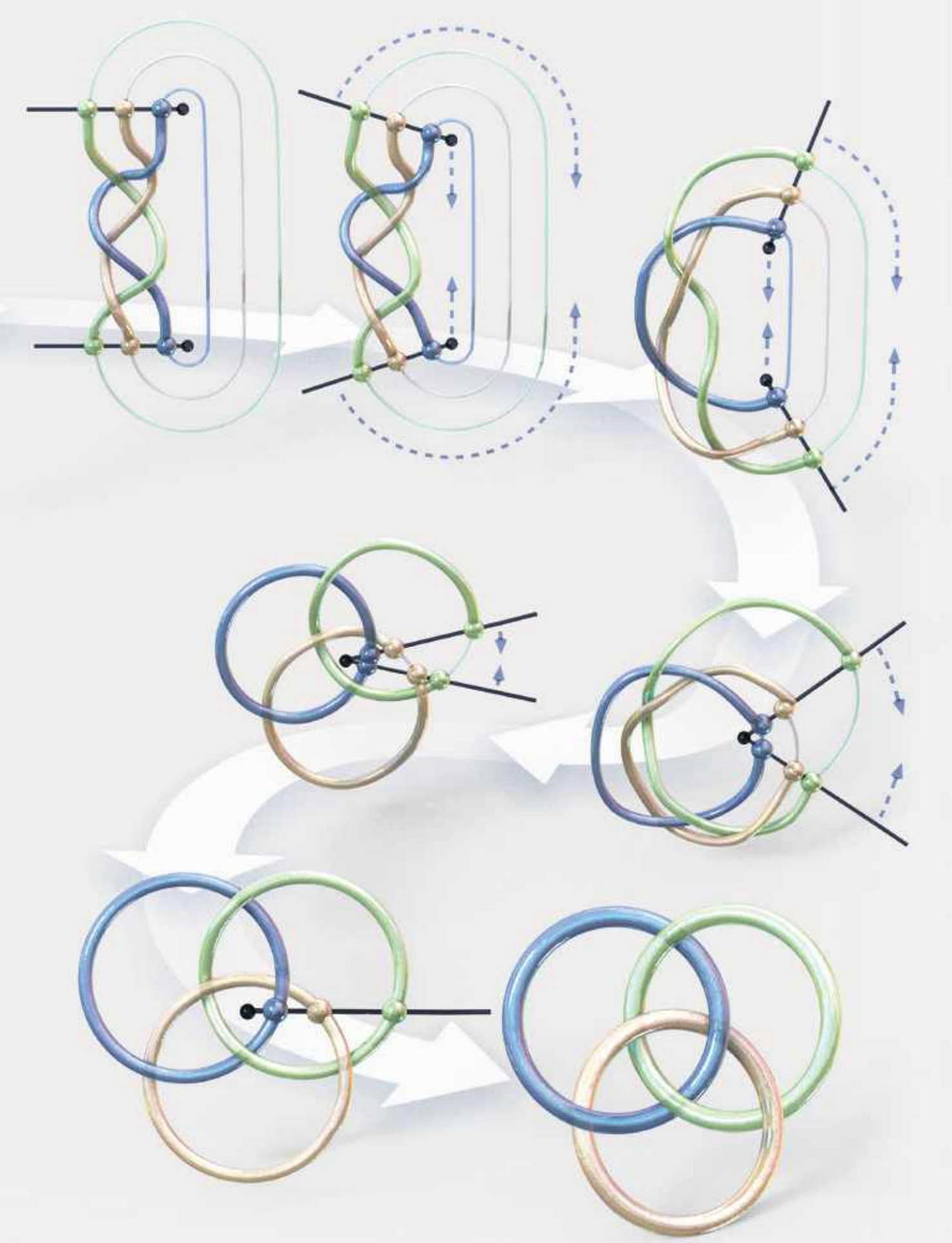
TARA BRENDLE
*UNIVERSITY OF GLASGOW*

Mój ulubiony kształt tworzą pierścienie boromejskie, ponieważ mają wiele pozornie sprzecznych cech. Trzy pierścienie są nierozerwalnie połączone, ale nie łączą się żadne dwa z nich. Są obiektem symetrycznym, ale nie można ich utworzyć z idealnych okręgów. Są piękne i bywają użyteczne.

Pierścienie boromejskie można również postrzegać jako „zamknięty” warkocz. W tym kontekście stanowią one najprostszy nietrywialny przykład tzw. warkocza Brunna, który przestaje być zapleciony, gdy tylko jedno pasmo zostanie wyciągnięte. Jest trudne, ale możliwe, splatanie warkoczy o takiej własności z czterech lub więcej pasm, ale najbardziej znanym jest ten Brunna – standardowy warkocz, z którego wywodzą się pierścienie boromejskie. Moje badania koncentrują się na symetriach powierzchni, a warkocze Brunna mają tu istotne znaczenie – powstają w strukturach algebraicznych, które modelują ruch punktów na płaszczyźnie.



eprasa.pl a47be06fd8





eprasa.pl a47be06fd8





eprasa.pl a47be06fd8

# Nagroda za ciekawość

PSYCHOLOGIA

**Uczeniu się najbardziej sprzyja wyjątkowy stan między wyzwaniem a frustracją**

LYDIA DENWORTH

Ilustracja PETER RYAN



eprasa.pl a47be06fd8

**ŚWIAT JEST PEŁEN CIEKAWYCH RZECZY.** Ale od czego zacząć? Jak wybrać to, co warte uwagi? Co motywuje nas do zdobywania wiedzy?

Pragnienie uczenia się jest w pewnej mierze preferowaniem nowości – tendencją do wyszukiwania nowych informacji i doświadczeń, którymi uzupełniamy to, co już wiemy. Staramy się także zmniejszać niepewność. Informacje warunkują m.in. dostęp do pożywienia, bezpieczeństwo, relacje międzyludzkie. Naukowcy uważają jednak, że czynniki te składają się na bardziej skomplikowaną potrzebę, która może mieć zasadnicze znaczenie dla procesu uczenia się, nawet wtedy – a może zwłaszcza wtedy – gdy nie daje bezpośrednich korzyści. Zaspokajamy po prostu naszą ciekawość.

Często jesteśmy ciekawi w szczególny sposób – chcemy dowiedzieć się więcej o rzeczach, o których już coś niecoś wiemy. „Można myśleć o ciekawości jako o procesie, który kieruje zdobywaniem wiedzy" – mówi neurobiolożka Celeste Kidd z University of California w Berkeley. Wewnętrznie śledzimy, jak pilnie się uczymy lub jakie czynimy postępy, a uczenie przychodzi nam łatwiej i jest przyjemniejsze wtedy, gdy odczuwamy dużą ciekawość. Podążanie za instynktami wydaje się szczególnie satysfakcjonującym sposobem odkrywania świata. „Jeśli zdobycie wiedzy daje nam zadowolenie, uświadamiamy sobie, na czym polega radość uczenia się, co motywuje nas do jego kontynuacji" – mówi psycholog edukacji Kou Murayama z Universität Tübingen w Niemczech.

Kidd i Murayama należą do grona badaczy z dziedzin tak różnych, jak neuronauka, edukacja, psychologia i nauki obliczeniowe. Interesuje ich ciekawość jako taka. Te nowe badania koncentrują się nie tyle na ciekawości, ile na rysie charakteru – który występuje u wielu naukowców i artystów, podobnie jak i zapewne u Ciebie, Czytelniku. Każdy z nas jest zdolny do ciekawości, ale co ją wzbudza i podtrzymuje?

Naukowcy łączą procesy mózgowe, które leżą u podstaw chęci poznania, co generalnie uważamy za ciekawość. Ustalają, w jaki sposób mózg skupia się na rzeczach nowych, radzi sobie z niepewnością, uruchamia sieci gratyfikacyjne i utrwala to, co zapamiętaliśmy. Zaczynają również rozumieć, dlaczego ciekawość rodzi niekiedy bardzo poważne konsekwencje.

Ten rodzaj emocji może wiązać się z zagrożeniami – przysłowie mówi, że ciekawość to pierwszy stopień do piekła – lecz generalnie wydaje się zachęcać do eksploracji w sposób, który sprzyja przetrwaniu. Zbieranie informacji, nawet jeśli jego cel nie jest do końca jasny, pozwala budować dokładniejsze mentalne modele świata, mówi psycholog porównawczy Victor Ajuwon z University of Cambridge, który bada przejawy ciekawości u szczurów, złotych rybek i mątw. „To się przyda w przyszłości" – mówi.

Związek między ciekawością, która pojawia się w określonym momencie, a dłuższymi skalami czasowymi naszego rozwoju i ewolucji, jest nowym podejściem, mówi Pierre-Yves Oudeyer z francuskiego instytutu badawczego Inria w Bordeaux. Wyznaczanie sobie celów wydaje się zwiększać motywację i pozwalać uczeniu się bujnie się rozwijać w wyjątkowym obszarze między wyzwaniem a frustracją. Rosyjski psycholog edukacji Lew Wygotski nazwał to miejsce „strefą najbliższego rozwoju". Ale do niedawna niewiele uwagi poświęcano temu, co może dziać się poznawczo, aby ten wyjątkowy obszar ciekawości był, no właśnie, wyjątkowy.

KAŻDY WIE, CO TO ZNACZY BYĆ CIEKAWYM, i generalnie ciekawość jest uznawana za cechę pozytywną i kojarzona z wewnętrzną motywacją, kreatywnością oraz otwartością umysłu. Wpływowi myśliciele, którzy się nią zajmowali przed laty, uchwycili ważne jej aspekty, które nadal są uważane za prawdziwe. W 1966 roku psycholog Daniel Berlyne uznał, że ciekawość może odnosić się do percepcji, choćby wtedy, gdy zauważamy niezgodność, widzimy na przykład zebrę galopującą wśród koni, i być rozumiana wąsko lub szeroko. W 1994 roku ekonomista behawioralny George Loewenstein wysunął tezę, że ciekawość jest spowodowana potrzebą wypełnienia luki informacyjnej.

Kidd utrzymuje, że zrozumienie, jak działa ciekawość, oznacza zrozumienie, „w jaki sposób ludzie kształtują swoje przekonania na temat świata i jak zmieniają poglądy". Głębsza analiza neuronalnych podstaw i roli ciekawości mogłaby pokazać nauczycielom, jak skuteczniej docierać do uczniów, umożliwić informatykom programowanie systemów sztucznej inteligencji w celu efektywnego uczenia się oraz złagodzić cierpienia w przypadku niektórych zaburzeń psychicznych. Znalezienie sposobu na wzbudzenie ciekawości odnoszącej się do innych rodzajów ludzi i kultur mogłoby nawet uczynić świat przyjazniejszym.

Do tej pory ciekawość nie cieszyła się dużym zainteresowaniem naukowców, ponieważ trudno ją zdefiniować. Czy wszelkie dążenie do poznania wynika z ciekawości? W artykule przeglądowym opublikowanym na początku tego roku Jamie J. Jirout z University of Virginia i jej współpracownicy twierdzą, że ciekawość „musi wynikać z wewnętrznego pragnienia informacji" dla niej samej. Zatem na przykład dziecko pytające, skąd się bierze tęcza, najpewniej kieruje się ciekawością wtedy, gdy właśnie ją zobaczyło na niebie – ale nie wtedy, gdy pytanie to jest spowodowane kartkówką z przyrody następnego dnia (ciekawością nie jest też chęć poznania wyniku biopsji; w tym przypadku raczej w grę wchodzi strach). Chociaż niektórzy naukowcy traktują dążenie do zdobycia informacji jako całość, nie wyodrębniając ciekawości.

Ciekawość może czasami być źródłem niepokoju, a nawet przykrości. Ludzie pragnący poznać na

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



eprasa.pl a47be06fd8

przykład sekret magicznego triku byli skłonni zaakceptować łagodne wstrząsy elektryczne jako cenę szybszego jej zaspokojenia. A zażarte debaty w pubach skłoniły zarząd browaru Guinnessa do stworzenia opatrzonej nazwą firmy księgi rekordów, a następnie rozdania jej pierwszych egzemplarzy w lokalach, aby jak najszybciej rozstrzygnąć przyszłe spory. Czy kiedykolwiek zastanawialiście się, co wspólnego mają ze sobą kompania piwowarska i największy na świecie kłębek sznurka?

Częściej jednak ciekawość odczuwana jest jako coś przyjemnego. Badania pokazują, że z reguły unikamy spoilerów, aby nie stracić radości ze śledzenia na bieżąco przebiegu wypadków. Jeśli przegapiliście Super Bowl bądź finał serialu *Sukcesja*, zapewne zrobiliście wszystko, aby nie dowiedzieć się zbyt wcześnie, co się wydarzyło. W dzisiejszych czasach wszyscy nosimy kolekcje cyfrowych encyklopedii w naszych kieszeniach i trudno nam oprzeć się impulsowi skorzystania z nich, gdy tylko pojawi się jakieś dręczące pytanie. Naukowcy mierzą poczucie, że „mamy coś na końcu języka", które wzmaga ciekawość – oceniają siłę chęci wyszukania odpowiedzi w Google (trafnie określają to poczucie mianem „łagodnej udręki").

Prawdopodobnie jest to oczekiwanie na odpowiedź, która zaspokoi nasz apetyt. Wyższy poziom ciekawości prowadzi do wyższego poziomu aktywności w obszarach takich, jak prążkowie, które uwalnia dopaminę, neuroprzekaźnik najsilniej związany z odczuciem przyjemności. Powiązanie z dopaminą „wydaje się współgrać z ideą, że ciekawość jest wewnętrzną nagrodą, a zatem zdecydowanie stanowi motywator", mówi neurobiolożka poznawcza Jacqueline Gottlieb z Zuckerman Institute na University of Columbia.

Aby ustalić, czy informacja sama w sobie jest nagrodą, neuronaukowcy musieli wykazać, w jaki sposób mózg czyni rozróżnienie pomiędzy nagrodą fizyczną a informacją. Badania nad tym rozpoczęto u małp, pierwszego innego gatunku, w którego przypadku naukowcy, obawiający się antropomorficznej przesady, nabrali pewności, co do realnego charakteru ciekawości. (Neurobiolog Benjamin Hayden z University of Minnesota i jego współpracownicy przeprowadzili eksperyment, w którym małpy otrzymywały wodę jako smakołyk, a naukowcy dali im możliwość dowiedzenia się z wyprzedzeniem, czy tę nagrodę dostaną. Małpy w 80–90% przypadków wybierały tę opcję i były nawet skłonne zrezygnować z dodatkowej gratyfikacji, aby tylko się o tym dowiedzieć.

Myszy zdają się wykazywać podobne tendencje zgodnie z badaniem przeprowadzonym przez psycholożkę Jennifer Bussell, badaczkę na stażu podoktorskim w Zuckerman Institute. Co więcej, zarówno u małp, jak i myszy, neurony w korze oczodołowo-czołowej (orbitofrontal cortex, OFC), która jest zaangażowana we wczesny etap podejmowania decyzji, reagowały inaczej na nagrody w postaci wody oraz na wskazówki – informacje – które zapowiadały otrzymanie nagrody. Neurony OFC kodują szczegóły, takie jak ilość wody, jako niezależne zmienne do późniejszego porównania, jak gdyby surowiec, który posłuży do dokonania wyboru.

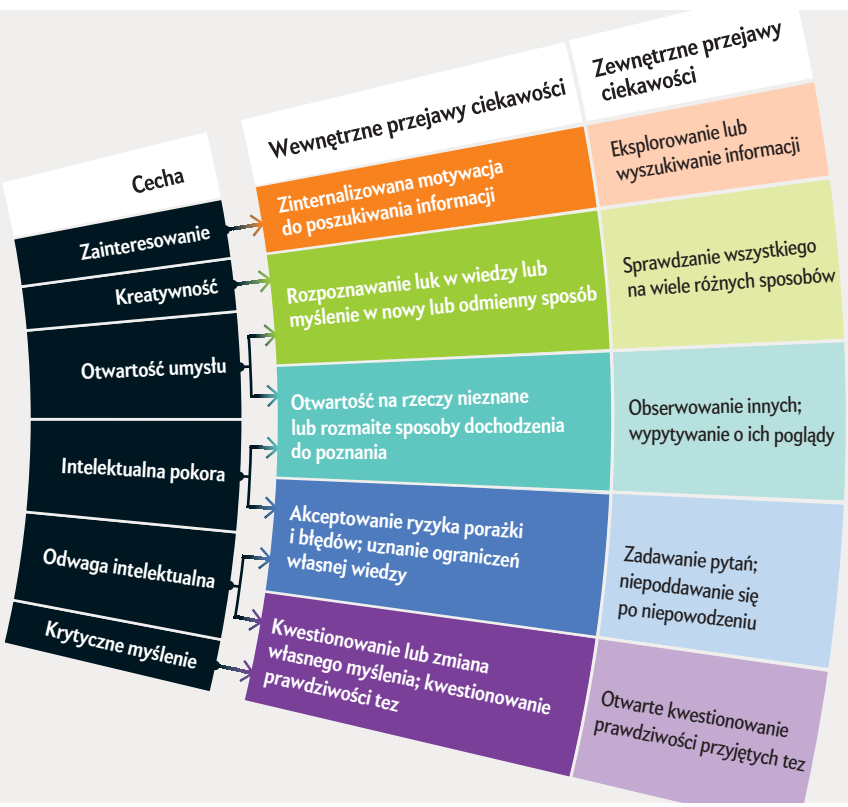
„Przypuszczalnie istnieje ewolucyjnie wykształcony popęd do uczenia się nowych rzeczy i gromadzenia informacji, ponieważ w świecie przyrody w 99% przypadków informacje są dla zwierząt przydatne – mówi Bussell. – Trzeba zachęcić stworzenie do wyjścia z nory, nawet jeśli boi się, że zbliża się drapieżnik". Jeśli mózg zbuduje system, który traktuje zdobywanie informacji i zmniejszanie stopnia niepewności jako satysfakcjonujące, „to w pewnym sensie rozwiązuje problem", mówi Bussell.

Odzwierciedlając ewolucyjne znaczenie ciekawości, proces polegający na pobieraniu surowego materiału zakodowanego przez neurony OFC i integrowaniu dwóch różnych typów gratyfikacji – informacji i nagród fizycznych – odbywa się w małej starej strukturze w śródmózgowiu zwanej uzdeczką boczną, zgodnie z badaniem przeprowadzonym w 2024 roku przez neuronaukowca Ilyę Monosona i innych badaczy z Washington University w St. Louis. Monosow twierdzi, że uzdeczka boczna, która występuje u wielu

## Co uważa się za ciekawość?

**Ciekawość jest trudna** do zdefiniowania, ponieważ pokrywa się z innymi pojęciami. Na przykład pytanie dziecka, dlaczego lampart ma cętki, może przerodzić się w szersze zainteresowanie zwierzętami. I odwrotnie – zainteresowanie zwierzętami może doprowadzić kogoś do zastanowienia się, dlaczego flamingi są różowe. Bycie ciekawym wiąże się również z wieloma cechami pozytywnymi, takimi jak otwartość i odwaga intelektualna.

Naukowcy również uważają, że badania nad ciekawością są trudne, ponieważ trudno się ją obserwuje. Jamie J. Jirout z University of Virginia i jej współpracownicy twierdzą, że ciekawość ma aspekt wewnętrzny, jakim jest pragnienie poznania, oraz zewnętrzny – zachowanie zmierzające do jego zaspokojenia.




„Curiosity in Children across Ages and Contexts", Jamie J. Jirout, Natalie S. Evans, Lisa K. Son, „Nature Reviews Psychology", tom 3; sierpień 2024; stylizacja Jen Christiansen



eprasa.pl a47be06fd8

gatunków, ocenia względną wagę możliwych motywacji. „W codziennym życiu rzadko podejmujemy decyzje albo ze względu na nagrody fizyczne, albo wtórne, czyli na przykład albo wyłącznie pieniądze, albo wyłącznie pozyskanie informacji" – mówi. Zamiast tego mózgi wykonują skomplikowane zadanie polegające na porównywaniu naszych konkretnych potrzeb i naszej ciekawości – czy powinienem teraz iść do łóżka i się wyspać, czy też dokończyć czytanie kryminału – i nadawaniu im względnej wagi.

Inne części mózgu również uczestniczą w zmaganiach z niepewnością. W ramach studium z 2024 roku Gottlieb i jej współpracownicy badali ciekawość percepcyjną, nakazując uczestnikom oglądać zestawy obrazów zwierząt i przedmiotów, takich jak morsy i kapelusze. Mózg wyraźnie odróżnia obiekty ożywione od nieożywionych za pośrednictwem sygnałów neuronalnych, które Gottlieb nazywa odpowiednikiem kodów kreskowych, co naukowcy chcieliby wykorzystać. Obrazy różniły się również pod względem rozpoznawalności – od łatwych do zidentyfikowania do zupełnie tajemniczych. Gdy ludzie byli pewni, na co patrzą, kody kreskowe we wzrokowych obszarach ich mózgów wysyłały jednoznaczne sygnały – ożywione, nieożywione. Ale gdy ludzie nie byli pewni, sygnały lokowały się gdzieś pomiędzy. Natomiast kiedy sygnały z pola widzenia docierały do kory czołowej, gdzie podejmowane są decyzje, wywoływały albo pewność siebie, albo ciekawość. „Im bardziej niepewny był ten wzrokowy obszar części ich mózgu, za tym bardziej zaciekawionych uważali się ludzie" – wyjaśnia Gottlieb.

Ciekawość uruchamia również obwody pamięci, co pozwala lepiej zachowywać nowe informacje. Po przedstawieniu badanym pytań dotyczących ciekawostek – który singiel Beatlesów utrzymał się najdłużej na listach przebojów bądź jakie jest jedyne znane miejsce na Ziemi, gdzie drzewa mają kwadratowe pnie – uczestnicy badania z 2014 roku oceniali swoją ciekawość odpowiedzi (nie martwcie się, ujawnię je wam pod koniec artykułu). Następnie w skanerze funkcjonalnego jądrowego rezonansu magnetycznego musieli odczekać 14 s, aby te odpowiedzi uzyskać. Podczas oczekiwania pokazywano im neutralne obrazy twarzy. Później lepiej pamiętali odpowiedzi na pytania, które wzbudziły ich ciekawość – i, co zaskakujące, częściej przypominali sobie twarze, które były przypisane do tych pytań. Obrazowanie mózgu ujawniło podwyższoną aktywność w hipokampie, głównym miejscu tworzenia wspomnień. Matthias Gruber z Cardiff University w Walii, główny autor tego studium, nazwał ciekawość „wirem", który wciąga nie tylko to, co chcemy wiedzieć, lecz także przypadkowe informacje z otoczenia.

Każdy, kto był celem zadawanych bez końca pytań „dlaczego", wie, że dzieci wykazują ogromną ciekawość. Podstawowe elementy ich ciekawskich obwodów mózgowych wydają się obecne już w najmłodszym wieku. Według Kidda, badanie ciekawości u niemowląt pokazuje, że obwody te są już gotowe do kierowania zdobywaniem wiedzy przez całe życie. Niemowlęta dążą do intensyfikacji procesu uczenia się na podstawie swojego otoczenia i wydają się dostrzegać, że zaskakujące wydarzenia stanowią do tego najlepszą okazję. Wykazują silną preferencję dla wysoce informacyjnych bodźców – ludzka twarz jest atrakcyjniejsza niż ciężarówka-zabawka, a mowa skierowana do niemowlęcia bardziej interesująca niż dźwięki niepochodzące od ludzi. Niemowlęta są również zaintrygowane wszystkim, co nowe.

Nawet dzieci, które nie potrafią jeszcze mówić, są świadome luk w swojej wiedzy. Kidd odkrył, że gdy maluchy nie są czegoś pewne, usiłują się dowiedzieć więcej i zapamiętać to, czego się nauczyły. Gdy czują, że coś zrozumiały, tracą tym zainteresowanie.

W ważnym badaniu z 2012 roku Kidd i jej współpracownicy pokazywali siedmio- i ośmiomiesięcznym niemowlętom animowane scenki z przedmiotami wyskakującymi z pudełek. Użyli urządzenia do śledzenia wzroku, aby zmierzyć, jak długo sceny angażowały uwagę dzieci, i odkryli, że wolały patrzeć na sceny o średnim poziomie złożoności. Te niezbyt przewidywalne i nieco zaskakujące okazały się w sam raz (badacze nazwali to „efektem Złotowłosej"). W artykule z 2022 roku Kidd i jej zespół zaobserwowali tę samą preferencję dla pośredniej złożoności u małp, co sugeruje, że występuje ona powszechnie.

ATRAKCYJNOŚĆ INFORMACJI o pośredniej złożoności – o odpowiednim poziomie intrygi – sprawdza się jako zachęta do uczenia. Wydaje się stymulować do uzupełnienia tego, co już wiemy, w przystępny sposób. Aby przetestować pomysł, że postępy w uczeniu się są częścią układanki ciekawości, Oudeyer wykonał niezwykły krok polegający na wyposażeniu komputerów w ciekawość. „Budowanie maszyn, które są zdolne do ciekawości, jakieś 20 lat temu było ideą egzotyczną" – mówi. Ale może to być efektywny sposób na sprostanie dużym wyzwaniom, może nawet tak wielkim, jak dotarcie pewnego dnia na inną planetę.

Komputery nie są oczywiście ciekawskimi istotami; to maszyny. W 2016 roku, kiedy firma Google DeepMind trafiła na pierwsze strony gazet, zbudowawszy komputer, który pokonał 18-krotnego mistrza świata w chińskiej grze w Go, komputer ten nadal działał na zasadzie wyszukiwania wprowadzonych do niego danych o możliwych ruchach. Jednak w miarę, jak ludzie doskonalili się w budowaniu sztucznej inteligencji, zaczęli zadawać sobie pytanie, czy istnieje lepszy sposób, aby komputery uczyły się skomplikowanych rzeczy. Jedną z odpowiedzi byłoby wyposażenie ich w ciekawość – czyli oprogramowanie, które naśladuje wzorce myślowe stojące za eksploracją opartą na ciekawości. To właśnie zrobili Oudeyer i jego współpracownicy.

Robot Torso ma niebieską głowę, niebieskie ramiona oraz niebieską górną część korpusu przymocowaną do drewnianej podstawy i jest zaprogramowany tak, aby badać otoczenie, w sposób, w jaki robiłoby to dziecko. Uczy się interakcji między obiektami, manipulując nimi. Do podstawy Torso są przymocowane dwa joysticki. Na stoliku do kawy znajduje się okrągła, otoczona światłami arena z piłką tenisową i mniejszym robotem o nazwie Ergo, który wygląda jak masywna lampa na biurko.

W przeciwieństwie do ludzi i zwierząt roboty można zaprogramować tak, aby modelowały zachowanie idealnego agenta i testowały popularne koncepcje dotyczące sposobów eksploracji świata fizycznego. Czy zapamiętujemy błędy w przewidywaniach? Owszem, ale robota zaprogramowanego wyłącznie do tej funkcji rozpraszały jego własne nieistotne dla badania czynności. Czy skupiamy się na nowości bądź niepewności? Owszem, ale brak innych motywacji u maszyn prowadzi do niezorganizowanego zachowania.

TORSO UCZYŁ SIĘ NAJSZYBCIEJ i najefektywniej wtedy, gdy był zaprogramowany na zaspokajanie ciekawości. Robot, który mógł wykonywać określone ruchy i postrzegać swoje otoczenie, miał wprowadzone instrukcje, aby znajdować korelacje między nimi, choć bez konkretnego celu. Miał natomiast szukać okazji do uczenia się i podążać tam, gdzie one wiodą. „Zasadniczo powiedziano mu – twoim jedynym celem jest próba znalezienia celów, w których przypadku masz szansę zrobić jakiekolwiek postępy" – mówi Oudeyer. W rezultacie Torso w procesie zdobywania wiedzy mówi coś w rodzaju: Hmm, to całkiem interesujące, rozwijajmy to. Mamy tu do czynienia z algorytmiczną wersją uczenia się ze wzmocnieniem, czyli ćwiczenia. „Aby się uczyć, dziecko



eprasa.pl a47be06fd8

musi ćwiczyć – mówi Oudeyer. – Co sprawia, że ćwiczy? Jego system motywacyjny. Ciekawość jest jednym z podstawowych składników systemów motywacyjnych, które popychają organizmy do eksploracji świata i uczenia się nowych rzeczy".

Zaprogramowany w ten sposób Torso najpierw poruszał lewą ręką – i to często. Następnie odkrył lewy joystick i przesuwał go do przodu, do tyłu, w lewo i w prawo. W końcu skojarzył poruszanie joystickiem z ruchem Ergo, który z kolei popychał piłkę. Poruszanie piłką zmieniało kolor świateł z niebieskiego poprzez żółty na różowy. Po 15–20 godzinach eksploracji Torso doszedł do tego, jak przemieszczać Ergo w dowolnym kierunku, jak poruszać piłką i jak oświetlać arenę. Ku zaskoczeniu badaczy odkrył nawet, że zasobnik na końcu przypominającego lampę ramienia Ergo może skutecznie ukryć piłkę, co Torso namiętnie powtarzał, wyglądając przy tym niczym naciągacz grający w trzy kubki z tłumem gapiów na chodniku.

Takie eksperymenty są dowodem na zachodzenie dodatniego sprzężenia zwrotnego pomiędzy ciekawością a uczeniem się. „Skoncentruj się na nauce czynności, które nie są ani zbyt łatwe, ani zbyt trudne, takich, w których osiągasz maksymalną poprawę szybkości wykonywania, co stopniowo doprowadzi cię do coraz bardziej skomplikowanych, niemniej możliwych do nauczenia się czynności" – mówi Oudeyer.

Postępy czynione przez Torso idealnie odzwierciedlały trajektorie rozwojowe dzieci uczących się posługiwania narzędziami lub języka. W miarę nieustannego rozwoju mózgu rośnie wyrafinowanie, z jakim podchodzi on do ciekawości. Studium przeprowadzone w 2024 roku z udziałem ponad 100 czterolatków wykazało, że liczył się dla nich postęp dokonywany w uczeniu się, a także nowe rzeczy do eksploracji podczas gry na ekranie dotykowym. Natomiast Gruber odkrył, że w porównaniu z młodszymi dziećmi nastolatki potrafią lepiej przetwarzać konflikt poznawczy (czyli niepewność) i oceniać napływające informacje w obszarach wyższego rzędu kory przedczołowej.

Kidd mówi, że jeśli chodzi o dorosłych, lokujemy się w wyjątkowym miejscu. „Jesteśmy znacznie bardziej zainteresowani oglądaniem kolejnych odcinków serialu, którego bohaterów znamy i fabułę rozumiemy, niż rozpoczynaniem czegoś zupełnie nowego" – mówi. Nawet w badaniach, w których uczestnikom płaci się za to, że wykazują ciekawość, ich mózgi nie są zbyt zainteresowane rzeczami, które wykraczają poza ten obszar mentalnej satysfakcji. Ale gdy badani są głęboko zaangażowani w to, co bywa nazywane stanem przepływu (flow), motywują ich postępy w uczeniu się, ewidentnie podsycając ciekawość.

W ramach eksperymentu z 2021 roku opublikowanego w „Nature Communications" Oudeyer i Gottlieb, którzy często ze sobą współdziałają, oraz ich współpracownicy stworzyli zestaw czterech gier online. W każdej z nich występowały rodziny potworów, które różniły się m.in. rozmiarem, kolorem i liczbą oczu. Cel? Odkryć zasady, które decydują o tym, co lubi jeść każda rodzina. W najłatwiejszej wersji gry zasada był prosta – wysocy lubią pizzę, niscy brokuły. W dwóch kolejnych wersjach reguły były bardziej skomplikowane i trudniejsze do odkrycia, na przykład – wysokie potwory z trojgiem oczu lubią pizzę, a niskie potwory z dwojgiem oczu brokuły. Czwarta gra nie miała żadnych reguł; była czysto losowa i nie sposób było się jej nauczyć.

Pytanie brzmiało, w jaki sposób prawie 400 graczy pokieruje swoim działaniem w celu odkrycia zasad. Czy da się być jednocześnie ciekawym i efektywnym? Prawidłowe domysły opłacają się, a błędy są pouczające, lecz czy ludzie monitorują, czego się nauczyli, i czy wykorzystują te informacje, aby zdecydować, co robić dalej? W tym przypadku faktycznie tak było. Uczestnicy monitorowali zarówno odsetek poprawnych odpowiedzi, jak i swoje postępy w miarę upływu czasu. „Staje się oczywiste, że przede wszystkim powinniśmy cenić sam proces uczenia się" – mówi Gottlieb. Innymi słowy, wysoki stopień pewności liczy się mniej niż przejście od niepewności do pewności. A ciekawość jest tym, co najbardziej przyczynia się do tego przejścia.

Jednak ciekawość jest również zmienna w czasie. Jakkolwiek powszechna mądrość mówi, że ludzie wraz z wiekiem stają się mniej ciekawi, badania pokazują, że trafniejsze jest stwierdzenie, iż ciekawość dostraja się do tego, co ludzie już wiedzą o świecie. Gdy wejdziecie do Luwru, czy bardziej jest prawdopodobne, że przemkniecie przez wszystkie galerie, starając się zobaczyć najpopularniejsze eksponaty? A może wolelibyście się zatracić na parę godzin w jednym skrzydle? Wybór najprawdopodobniej będzie zależał od waszego wieku, mówi Murayama z Tybingi. W eksperymencie przeprowadzonym z udziałem prawie 500 odwiedzających londyńskie Muzeum Nauki, mających od 12 do 79 lat, odkrył on, że młodsi ludzie wybierali szerokie podejście, a starsi węższe, za to głębsze, zapoznając się z większą liczbą faktów dotyczących mniejszej liczby tematów na ekspozycji. „Ludzie starsi mają większą wiedzę, a to wiedza tak naprawdę jest głównym napędem ciekawości".

GDY NAUKOWCY LEPIEJ ZROZUMIEJĄ CIEKAWOŚĆ, być może również będą potrafili lepiej zrozumieć niektóre zaburzenia zdrowia psychicznego, w których odpowiadające za nią obszary nie działają prawidłowo. Na przykład w depresji ciekawość ulega stłumieniu, podczas gdy w zaburzeniach obsesyjno-kompulsywnych pragnienie zmniejszenia niepewności staje się wręcz dojmujące.

Badania te mają bardziej bezpośrednie implikacje dla edukacji szkolnej. Powszechnie wiadomo, że ciekawość wpływa pozytywnie na wyniki nauczania i zadowolenie uczniów. Podejmowanych jest wiele wysiłków, aby wykorzystać nowe odkrycia w celu wzmocnienia obu tych aspektów. W 2024 roku rząd francuski zaczął udostępniać uczniom szkół podstawowych zaopiniowany pozytywnie przez ekspertów program edukacyjny oparty na pracy Oudeyera. Generuje on spersonalizowane pytania na podstawie tego, czego dziecko chce się nauczyć. W porównaniu z materiałami, które nauczyciele tworzyli sami, materiały zaprojektowane przez sztuczną inteligencję prowadzą do efektywniejszego uczenia się i silniejszej motywacji uczniów, ponieważ rozwijają własne zainteresowania dziecka.

Mogą pojawić się również przydatne sposoby na zwiększenie stopnia ciekawości u dorosłych. Kilku badaczy pracuje nad programami opartymi na postępach w uczeniu się, które pomagają ludziom w późniejszym wieku doskonalić zdolność do skupiania się na temacie. Ale każdy może skorzystać z tego wyjątkowego miejsca styku, mówi Kidd. „Już samo uświadomienie sobie, że posiadanie pewnego zasobu wiedzy ułatwia zdobycie kolejnej, może być pomocne" – mówi.

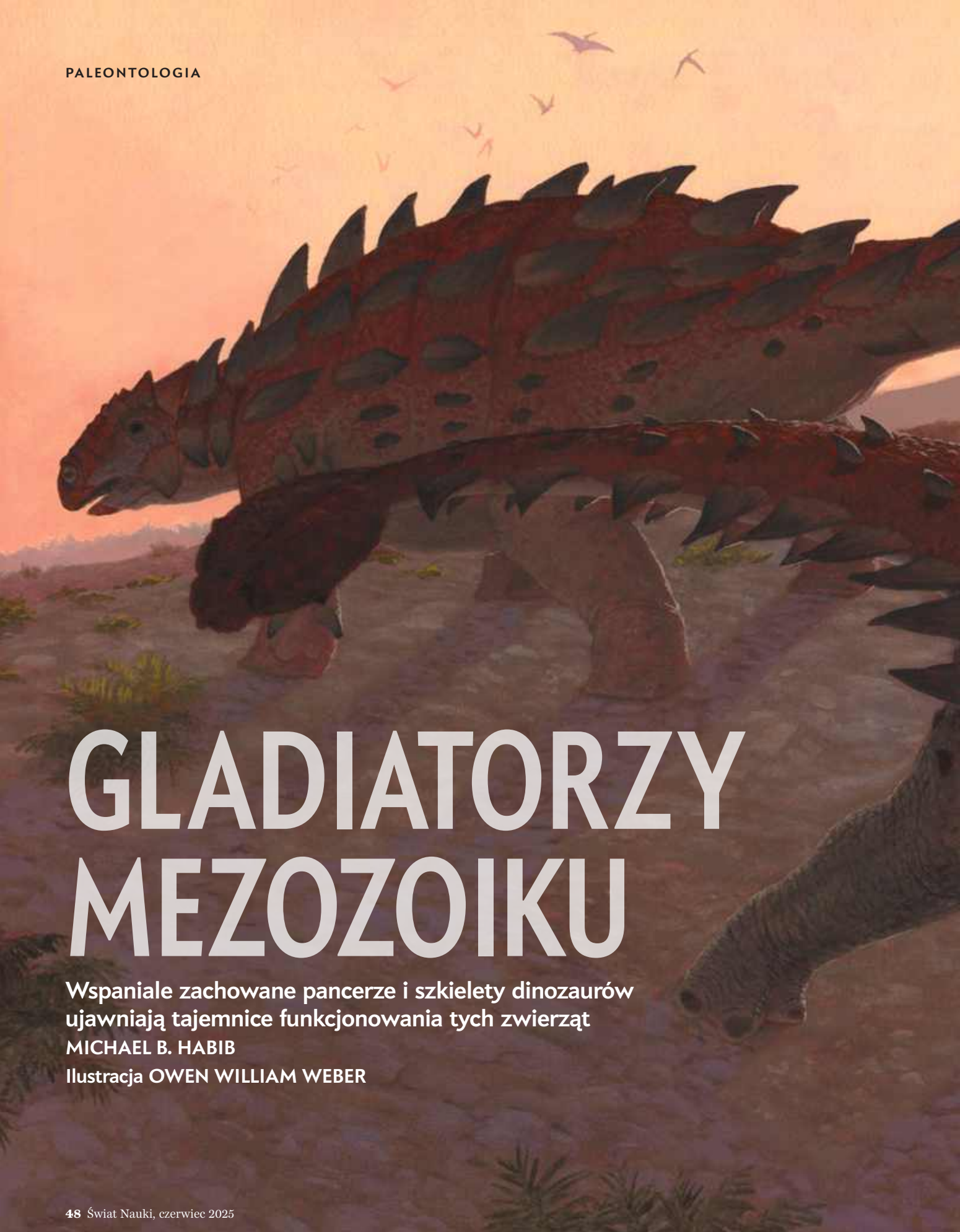
A zrozumienie, że pewność siebie i ciekawość są ze sobą powiązane, prawdopodobnie zwiększyło Państwa zainteresowanie ciekawostkami, którymi ozdobiłem moją opowieść. Być może wiedzieliście, że najpopularniejszym eksponatem w Luwrze jest *Mona Lisa*, a utworem Beatlesów najdłużej utrzymującym się na listach przebojów *Hey Jude*. Podejrzewam jednak, że najbardziej zainteresowały Was owe drzewa o niecodziennych kształtach. Tak, drzewa o kwadratowych pniach naprawdę istnieją – rosną w El Valle de Anton w Panamie. ■

**Z NASZEGO ARCHIWUM**

**Bez spoilerów, proszę!**
Abby Hsiung, Jia-Hou Poh, Scott Huettel i Alison Adcock; październik 2024



eprasa.pl a47be06fd8



# GLADIATORZY MEZOZOIKU

**Wspaniale zachowane pancerze i szkielety dinozaurów ujawniają tajemnice funkcjonowania tych zwierząt**

MICHAEL B. HABIB

Ilustracja OWEN WILLIAM WEBER



eprasa.pl a47be06fd8


eprasa.pl a47be06fd8

**W DINOZAUROWYM PANTEONIE** palmę pierwszeństwa pod względem rozmiarów dzierżyły zauropody, a symbolami potęgi i mocy były tyranozaury. Ale to ceratopsy, ankylozaury i stegozaury stanowiły prawdziwe chodzące zbrojownie. Ich potężne rogi i kolce, masywne płyty na całym ciele i zakończone kostnymi maczugami ogony czyniły od dawna z tych rogatych i pancernych dinozaurów obiekty rozpalające zbiorową wyobraźnię. Na początku XX wieku specjalizujący się w malarskich rekonstrukcjach dawnych zwierząt artysta Charles R. Knight przedstawił jednego z tych rogatych wojowników, roślinożernego triceratopsa, jako godnego przeciwnika mięsożernego tyranozaura, a majestatyczne stegozaury regularnie pojawiają się od roku 1993 w kolejnych filmach spod szyldu *Jurassic Park*. Jednak pomimo naszej nieustającej fascynacji tymi „żywymi czołgami", jak nazwano opancerzone dinozaury, wiele szczegółów anatomii, a nawet przeznaczenia, ich imponujących akcesoriów – wciąż skrywa przed nami liczne tajemnice.

**Michael B. Habib** zajmuje się paleontologią i biomechaniką w Natural History Museum of Los Angeles County i University of California w Los Angeles. Bada anatomię i sposób poruszania się pterozaurów, ptaków i dinozaurów.

Problem wynikał z ubóstwa skamieniałości tych zwierząt i zwykle złego stanu zachowania szczątków, które udawało się znaleźć. Trzeba też pamiętać, że w stanie kopalnym zachowują się jedynie twarde części szkieletowe (kości i zęby), a tylko w skrajnych przypadkach ślady miękkich tkanek. Próbując odtworzyć prawdziwy wygląd opancerzonych dinozaurów na podstawie skąpych dowodów, paleontolodzy przyjęli konserwatywne, jak sądzili, założenie, że całość opancerzenia tych dawno wymarłych olbrzymów stanowiły te właśnie zachowujące się w stanie kopalnym szczątki. Wykonane na tej podstawie rekonstrukcje ukazują istoty bez wątpienia wspaniałe — zaopatrzone w metrowej długości kryzy ceratopsy, stegozaury wymachujące niewiele krótszymi kolcami na ogonach, czy nodozaury najeżone półmetrowymi kostnymi sztyletami w obrębie szyi i pasa barkowego.

W ostatnich latach paleontologowie znaleźli wiele nowych skamieniałości z zachowanymi nieznanymi dotąd elementami anatomii opancerzonych dinozaurów. To nadzwyczajne odkrycia, gdyż pozwalają w nowy sposób spojrzeć na budowę i funkcje pancerzy i uzbrojenia dinozaurów. Dzięki nim przeprowadziliśmy wraz z kolegami analizy tych wszystkich rogów, kolców, płyt i innych elementów ciężko uzbrojonych i opancerzonych dinozaurów. Patrząc na nie świeżym spojrzeniem, widzimy, że cały ten arsenał był nie tylko bardziej imponujący, niż się wydawało, ale też pełnił funkcje, które nie zawsze braliśmy pod uwagę.

Nasze odkrycia opierają się głównie na dwóch niezwykłych skamieniałościach, opisanych po raz pierwszy w roku 2017. Jedna z nich należała do pancernego dinozaura z potężną maczugą na ogonie, którą Victoria Arbour, pracująca obecnie w Royal BC Museum



*Triceratops*, ikona ceratopsów, czyli rogatych dinozaurów, zamieszkiwał zachodnią część Ameryki Północnej od 68 do 66 mln lat temu.

Francois Gohier/Science Source



eprasa.pl a47be06fd8

w Kanadzie, i David Evans z Royal Ontario Museum nazwali *Zuul* ze względu na podobieństwo do potwora z filmu *Ghostbusters* (*Pogromcy duchów*) z roku 1984. Druga skamieniałość pochodziła od nodozaurida – opancerzonego dinozaura znanego z przerażających kolców na barkach. Caleb Brown z Royal Tyrrell Museum w stanie Alberta i jego współpracownicy nazwali to zwierzę *Borealopelta*, co oznacza „tarcza Północy".

Okazy *Zuul* i *Borealopelta* to nieznane dotąd gatunki ankylozaurów, ale szczególna ich wartość polega na nadzwyczajnym stanie zachowania. Można na nich dostrzec nie tylko detale kostnego pancerza, ale nawet towarzyszące im zarysy miękkich tkanek. Dzięki tym skamieniałościom naukowcy mogli po raz pierwszy zaobserwować dokładny skład i budowę pokrywających ciała dinozaurów pancernych elementów.

Jeszcze zanim odkryto *Zuul* i *Borealopelta,* część specjalistów uważała, że główne elementy pancerza kostnego (zwane osteodermami) u takich form jak ankylozaury czy stegozaury zbudowane są z tkanki kostnej otoczonej od góry keratynową powłoką (a więc z tego samego materiału, z którego zbudowane są włosy, paznokcie i rogi). Odkryte niedawno okazy potwierdziły te przypuszczenia, wykazując, że pancerze tych dinozaurów są faktycznie zbudowane z zewnętrznej warstwy keratynowej, podtrzymywanej przez kostne osteodermy.

Co więcej, ta keratynowa powłoka okazuje się o wiele masywniejsza, niż mogłoby się wydawać. Okaz *Borealopelta*, na którym pancerz zachował się najlepiej, pokazuje, że keratynowe osłony mogły powiększać najgrubsze części pancerza o 30–40%. A ponieważ warstwa keratynowa jest na tym okazie częściowo starta, była ona za życia zwierzęcia z pewnością jeszcze grubsza. Po zbadaniu tej skamieniałości jestem przekonany, że ten wzrost grubości mógł być istotnie większy niż 40%.

Odczytanie struktury pancerza zrewolucjonizowało nasze rozumienie tych dinozaurów. Po pierwsze, okazało się, że pancerz ten charakteryzuje się innymi (i bardziej imponującymi) właściwościami, niż wcześniej sądzono. Po drugie, ponieważ większość pancerzy dinozaurów wykazuje wyraźne oznaki połączeń z osłoną keratynową, można sądzić, że stosunek keratyny do kości w pancerzach *Borealopelta* i *Zuul* prawdopodobnie dotyczy również innych dinozaurów o podobnej budowie pancerzy. A to oznacza, że kolce, płyty i rogi wszystkich opancerzonych dinozaurów – od rogatych ceratopsów po zaopatrzone w płyty na grzbiecie stegozaury – były prawdopodobnie o ponad 40% masywniejsze, niż by to wynikało z samych ich szkieletów.

ABY ZROZUMIEĆ NIEZWYKŁE IMPLIKACJE posiadania pancerza składającego się głównie z keratyny, musimy przyjrzeć się właściwościom tego materiału. Kluczowe w tej dyskusji są wytrzymałość (*strength*) i wiązkość (*toughnesss*) materiału. Wytrzymałość to zdolność materiału do opierania się złamaniu pod wpływem deformacji. Jeśli trudno jest złamać w połowie pręt, to oznacza, że jego materiał jest wytrzymały. Wiązkość z kolei to miara zdolności materiału do pochłaniania energii, określająca podatność na pękanie lub złamanie. Jeśli uderzysz w kawałek materiału z dużą siłą i przetrwa on to uderzenie, to oznacza, że jest odporny; jeśli pęknie – kruchy. Często występuje kompromis między tymi dwiema właściwościami. Materiały bardzo wytrzymałe bywają stosunkowo kruche. Weźmy na przykład szkło: jest dość wytrzymałe, ale nawet niewielkie uderzenie może je rozbić. Kruchość szkła wynika z jego małej wiązkości, a nie wytrzymałości.

Z tego punktu widzenia keratyna jest wyjątkowym biologicznym materiałem. W przeciwieństwie do kości, która jest bardzo wytrzymała, ale krucha, keratyna jest umiarkowanie wytrzymała, ale niezwykle odporna na pękanie czy złamanie, dzięki czemu doskonale nadaje się do tworzenia ultrawytrzymałej broni i pancerza.

Rozważmy na przykład keratynowe kolce afrykańskich jeżozwierzy, które mogą śmiertelnie ranić lwy, jeśli te nierozważnie zaatakują te dobrze opancerzone gryzonie. Kości mogą pękać pod wpływem silnego ugryzienia lwa, ale kolce z keratyny pochłaniają energię uderzenia i zachowują swój kształt na tyle dobrze,

## Nie do zdarcia

**Ostatnie odkrycia świadczą,** że kostne płytki, rogi, kryzy, maczugi i kolce opancerzonych dinozaurów były osłonięte grubą warstwą keratyny, a więc tego samego materiału, z którego zbudowane są paznokcie i włosy. Powodowało to zwiększenie rozmiaru tych elementów o co najmniej 40%. Właściwości materiałowe keratyny sprawiają, że jest ona nadzwyczaj plastyczna, zdolna do pochłaniania ogromnych ilości energii uderzeń podczas walk między rywalizującymi zwierzętami. Połączenie wiązkości keratyny z wytrzymałością kostnego rdzenia tworzy pancerz praktycznie niezniszczalny.

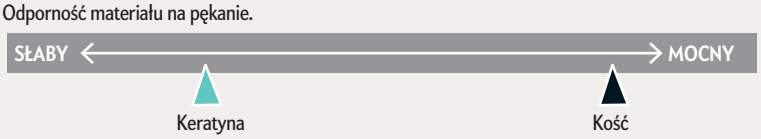



### WYTRZYMAŁOŚĆ VERSUS WIĄZKOŚĆ

By złamać wytrzymały i twardy materiał, potrzeba większej siły, jest on jednak często kruchy – oznacza to, że nie może zaabsorbować dużej ilości energii.

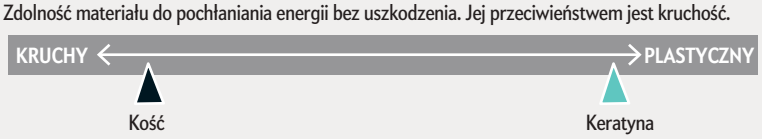
**WYTRZYMAŁOŚĆ**

Odporność materiału na pękanie.




**WIĄZKOŚĆ**

Zdolność materiału do pochłaniania energii bez uszkodzenia. Jej przeciwieństwem jest kruchość.




Kość jest biomateriałem, który jest twardy, ale kruchy. Keratyna jest niezbyt twarda, ale niezwykle plastyczna – jak gęsta guma. Keratynową rurę łatwo zgiąć i rozerwać, wytrzyma jednak nawet silne uderzenie.

*Grafika Jen Christiansen*



eprasa.pl a47be06fd8





eprasa.pl a47be06fd8









Robert Clark

Ten liczący sobie 110 mln lat okaz borealopelty, nodosaur z grupy ankylozaurów ze stanu Alberta w Kanadzie, jest jedną z najlepiej zachowanych skamieniałości dinozaurów, jakie kiedykolwiek znaleziono (*po lewej*). W tym okazie widoczne są nie tylko płytki kostne, czyli osteodermy, które pokrywały ciało (*u góry po prawej*), ale także związana z nimi warstwa keratynowa (*pośrodku, po prawej*). Pancerz zbudowany z połączenia keratyny i kości był co najmniej 20 razy bardziej wytrzymały, niż gdyby składał się z samej kości i mógł wytrzymać uderzenie tak mocne, jak podczas kolizji z szybko jadącym samochodem. Na skamieniałości widać również gruzełkowatą masę, która może być pozostałością po ostatnim posiłku zwierzęcia (*u dołu po prawej*).



eprasa.pl a47be06fd8



Inny pięknie zachowany dinozaur pancerny *Zuul*, żył w Montanie 76 mln lat temu. Skamieniałość obejmuje kompletną czaszkę i zakończony maczugą ogon. Analiza obrażeń na bokach zwierzęcia wskazuje, że zostały one zadane przez maczugę innego zuula.

by służyć jako śmiercionośne włócznie, które jeżozwierz może wbić w pysk i szczęki napastnika.

Jeszcze ciekawszym przykładem w kontekście opancerzonych dinozaurów są rogi współczesnych antylop, owiec i kóz. Barany owcy kanadyjskiej uderzają się nawzajem ciężkimi wyrostkami czaszkowymi, które nie są wykonane wyłącznie z kości, lecz mają grubą warstwę keratyny otaczającą kostny rdzeń. Całkowite właściwości fizyczne rogów tych zwierząt wynikają z połączenia odpornej zewnętrznej warstwy keratyny oraz silnego, lecz bardziej kruchego wnętrza z kości. Taka kombinacja łączy zalety obu materiałów: twarda osłona z keratyny pochłania dużą ilość energii, a sztywny, mocny rdzeń opiera się wyginaniu i złamaniu.

Struktura rogów współczesnych antylop oznacza również, że powierzchnia kontaktowa jest obojętna biologicznie – uszkodzenie keratyny nie powoduje bólu ani krwawienia. Dla porównania, kość jest żywą tkanką o bogatym ukrwieniu i licznych zakończeniach nerwowych. Odsłonięta kość jako pancerz jest ryzykowna – jej uszkodzenie może prowadzić do krwotoków lub silnego bólu.

Z ANALIZY SZKIELETÓW *Zuul* i *Borealopelta* i ich porównania do współczesnych zwierząt wynika, że pancerz dinozaurów nie był z pewnością sztywną i podatną na złamania powłoką kostną. Przeciwnie, był wyjątkowo wytrzymałym kostno-keratynowym kompozytem. Masywna zewnętrzna warstwa keratynowa była przeznaczona do najcięższej pracy – jako powierzchnia pancerza przyjmowała wszelkie uderzenia. Spowodowane przez nie uszkodzenia, również te będące wynikiem brutalnych porachunków, nie wywoływały krwawienia ani bólu. Kostny rdzeń zapewniał odporność i – w odpowiedzi na uderzenia – uzupełniał powstające ubytki keratyny. Efektem był wytrzymały, samonaprawialny pancerz zdolny do do absorbowania dużych ilości energii.

Wraz z Brownem (którego zespół opisał borealopeltę) badamy intensywnie zdolność pochłaniania energii przez tak zbudowane opancerzenie. Jesienią 2024 roku ogłosiłem pierwsze wyniki naszej pracy na dorocznym spotkaniu Society of Vertebrate Paleontology. Ze wstępnych szacunków wynika, że najgrubsze części pancerza borealopelty mogły przyjąć energię porównywalną z tą w zderzeniu z szybko jadącym samochodem. Kompozytowa struktura kości i warstwy keratynowej pancerza tego zwierzęcia zwiększyłaby jego wytrzymałość co najmniej 20 razy w porównaniu z pancerzem zbudowanym z samej tylko kości. Wytrzymałość

## Nowe dinozaury pancerne

**Fakt, że pancerze dinozaurów** pokrywała gruba warstwa keratyny oznacza, że struktury te były trwalsze i wytrzymalsze, niż wcześniej zakładano. Oznacza to również, że dinozaury pancerne były okazalsze – i groźniejsze – niż to przedstawiały dawniejsze rekonstrukcje. Ich rogi, kolce i płyty były grubsze, większe i bardziej rozległe, niż sądzili badacze, i używane do zadawania bardzo ciężkich ciosów.

Wskazówki pochodzące od kopalnych i współczesnych zwierząt sugerują podstawową funkcję pancerzy. Pancerze dinozaurów wydają się, po pierwsze, wytrzymalsze i odporniejsze, niżby to wynikało z konieczności obrony przed drapieżnikami. Po drugie, antylopy i inne współczesne zwierzęta z podobnymi strukturami kostno-keratynowymi na czaszkach używają ich w konfliktach wewnątrzgatunkowych. Dlatego też naukowcy podejrzewają, że pancerze dinozaurów były używane głównie w pojedynkach między członkami tego samego gatunku, którzy rywalizowali o partnerów seksualnych lub terytorium.



eprasa.pl a47be06fd8



Dzięki uprzejmości ROM (Royal Ontario Museum), Toronto, Canada. © ROM

takiego pancerza świetnie sprawdzałaby się w świecie groźnych drapieżników, które – wedle zgodnej opinii specjalistów – dysponowały potężną siłą zgryzu. Pancerz zbudowany głównie z kości, z jedynie cienką powłoką rogową, w konfrontacji z takimi przeciwnikami nie miałby szans na spełnianie swojej funkcji. W takich warunkach posiadanie zewnętrznego „stroju roboczego" w postaci warstwy keratynowej było z pewnością dobrym rozwiązaniem. Inaczej mówiąc, pancerz borealopelty wydaje się mieć wystarczające, wręcz nadmiarowe zabezpieczenia przed atakiem ze strony dużych drapieżników, czego świadectwem jest też niskie i szerokie ciało tego dinozaura. Nie wydaje mi się zresztą, by jakikolwiek drapieżnik mógł poważnie zagrozić tym żywym czołgom i wyrządzić faktyczne szkody ich opancerzeniu.

W 2019 roku nawiązałem współpracę z fizykiem Seamusem Blackleyem i jego zespołem inżynierów z południowej Kalifornii, by przyjrzeć się tym sprawom bliżej. Zaprojektowaliśmy i przeprowadziliśmy dla telewizyjnego programu Canadian Broadcast Channel (CBC) test mechanicznych właściwości pancerza borealopelty. Polegało to na przeciwstawieniu syntetycznej wersji jej pancerza modelowi największego drapieżnika, jakiego mogła spotkać, teropoda z rodzaju *Acrocanthosaurus*. Opracowując odpowiedni model, zwracaliśmy uwagę, by głowa drapieżnika zachowywała właściwe rozmiary i kształty, siłę zgryzu i charakter zębów. W następnym kroku przyjęliśmy najgorszy scenariusz, w którym drapieżnikowi udaje się przeciąć pancerz borealopelty pod ostrym kątem. Mimo że wystawiliśmy w ten sposób pancerz na możliwie największe zagrożenie, a nasz model dotyczył jedynie drobnego fragmentu pancerza, pokazaliśmy, że wytrzymywał cios, a rzeczywiste szkody powstały dopiero po powtórnym uderzeniu dokładnie w to samo miejsce Nigdy nie zbudowaliśmy najmasywniejszych, najsilniej opancerzonych części borealopelty. Nasz model obejmował budzącą mniejszą grozę część pancerza, pokrywającą tylną połowę ciała. Można śmiało założyć, że każda próba ataku drapieżnika na borealopeltę od przodu byłaby daremna, a może wręcz samobójcza. O ile bowiem tył zwierzęcia przykrywała masa zazębiających się

BOREALOPELTA, odkryta w roku 2017, to nieznany dotąd rodzaj nodozaura. Zachowane na tym okazie miękkie tkanki – w tym keratyna i pigmentowana skóra – pozwoliły na szczegółową rekonstrukcję zwierzęcia (*po lewej*). Ten nowy wizerunek, obfitujący w długie kolce i masywne, rogowe płyty, silnie kontrastuje ze skromniejszymi XX-wiecznymi przedstawieniami nodozaurów (*po prawej*).



*Grafika Mark Witton*



eprasa.pl a47be06fd8



Stegozaur, znany z pionowo ustawionych płyt na grzbiecie i kolców na ogonie, żył na zachodzie obecnych Stanów Zjednoczonych i dziesiejszej Portugalii w późnej jurze, od 159 do 144 mln lat temu.

Jon G. Fuller/VWPics/Redux

kostno-keratynowych osteodermów, o tyle przód tego dinozaura (i innych nodozaurów) był po prostu przerażający. Szyję bestii pokrywały ostro zakończone płyty, a z jej barków wystawały potężne kolce, co musiało sprawiać wrażenie wojennej machiny z popularnej gry wideo World of Warcraft.

W trakcie analizy testu dla CBC zacząłem stosować w stosunku do superpancernego obszaru borealopelty rozciągającego się od szyi do pasa barkowego termin wojskowy „kill box". Każdy, kto znalazł się w tej okolicy, gdy borealopelta była rozdrażniona, miał niewielkie szanse na przeżycie. No chyba że... była to inna borealopelta.

PALEONTOLODZY od dawna zastanawiają się nad funkcją opancerzenia dinozaurów: czy służyło jako ochrona przed drapieżnikami, broń do walki z przedstawicielami własnego gatunku, pokaz godowy czy jakaś tego kombinacja? Nasze nowe odkrycia mogą wskazać rozwiązanie. Gdyby się okazało, że pancerz borealopelty był znacząco twardszy, niżby to wynikało z konieczności obrony przed drapieżnikami, można by twierdzić, że to nie strach przed głodnymi dinozaurami był główną przyczyną jego powstania. Próbując wyjaśnić ten zagmatwany problem, warto przyjrzeć się żyjącym współcześnie zwierzętom, które również mogą pochwalić się wymyślnym uzbrojeniem kostno-keratynowym.

W dzisiejszym świecie takie struktury mogą być używane do odpierania ataków drapieżników, ale ich podstawowe funkcje są niemal zawsze związane z walkami godowymi w obrębie gatunku. Te wewnątrzgatunkowe zmagania nieraz są bardzo brutalne. Samce owcy kanadyjskiej trykają się z siłą około 60 razy większą, niż potrzebna by była do roztrzaskania ludzkiej czaszki. I robią tak nie raz, ale wielokrotnie, czasem godzinami. W przypadku jeleni udało się nakręcić scenę, gdy głowa jednego z rywali została dosłownie wbita na poroże drugiego. Nawiasem mówiąc, oręż jeleni składa się z samej kości, bez keratyny, gdyż tkanka kostna dojrzałego poroża jest martwa i nie krwawi w razie uszkodzenia, a jelenie co roku zrzucają poroże.

Wbrew hollywoodzkiej narracji o drapieżnikach walczących z roślinożercami w pojedynkach na śmierć i życie, w rzeczywistości w polowaniach chodzi o pożywienie, a nie o status. Dlatego właśnie większość drapieżników poluje na młode osobniki. Mięsożerca musi

STEGOZAURY rekonstruowano zwykle jako zwierzęta o zielonym ciele, z czerwonymi płytami na grzbiecie i białymi kolcami na ogonie (*po prawej*). Nowa rekonstrukcja (*po lewej*) zainspirowana została ubarwieniem dużych współczesnych ssaków żyjących w gorących i suchych środowiskach, zbliżonych do tych, w których żyły stegozaury. Ubarwienie zwane przeciwcieniowaniem mogło chronić skórę przed promieniowaniem ultrafioletowym i wprowadzać w błąd drapieżniki, a czarne i żółte plamy kierować uwagę na ostre, pokryte keratyną płyty i kolce na ogonie.





eprasa.pl a47be06fd8

jeść, a niekoniecznie udowadniać swą pozycję. Najbardziej spektakularne boje w świecie zwierząt nie toczą się między drapieżnikami i ich ofiarami, a między wyposażonymi w pancerze i groźną broń roślinożercami, którzy walczą o status i dostęp do partnerów seksualnych.

Niewykluczone, że w mezozoiku było podobnie. W badaniu szczątków *Zuul* opublikowanym w 2022 roku Arbour i jej współpracownicy wykazali, że zwierzę doznało wielu silnych urazów po bokach ciała, z czasem zabliźnionych, i że ich charakter odpowiadał uderzeniom maczug na końcach ogonów innego zuula. Co więcej, z analizy okazów młodych nodozaurów wynika, że ich kill boxy rozwijały się powoli i osiągały pełne rozmiary w późniejszym okresie życia – choć przecież ryzyko związane z drapieżnikami było najwyższe właśnie za młodu. Odkrycie to, w połączeniu z „nadmiarowym" opancerzeniem borealopelty, wskazuje, że przynajmniej te najbardziej rozwinięte elementy pancerzy były używane przede wszystkim w walce między rywalami tego samego gatunku. Wydaje się więc uprawnione, by sądzić, że – tak jak dziś – najbardziej skrajne elementy opancerzenia dinozaurów służyły do wewnątrzgatunkowych pojedynków. Fakt, że pancerze te przydawały się też w razie zagrożenia ze strony drapieżników, można uznać w tej sytuacji za bonus.

DZIĘKI DWÓM WYJĄTKOWYM OKAZOM dinozaurów pancernych, *Zuul* i *Borealopelta*, wiemy już, na co zwracać uwagę, aby zidentyfikować gruby pancerz keratynowy u zwierząt kopalnych – i wszędzie widzimy te charakterystyczne znaki. Ślady na silnie ukrwionych płytach stegozaurów czy żłobione powierzchnie rogów triceratopsa wskazują, że grube powłoki keratynowe były powszechne, choć przez długi czas nie zdawaliśmy sobie z tego sprawy.

Warstwa keratynowa nie tylko zmienia właściwości pancerza – zwiększając jego wiązkość przy jednoczesnym zmniejszeniu twardości i wytrzymałości – ale także zasadniczo zmienia wygląd zwierząt. Ta wiedza przyczyniła się do aktualizacji obrazu dinozaurów, o których wyobrażenia stale się zmieniają, począwszy od końca lat 70. W ciągu ostatniego dziesięciolecia paleontolodzy zyskali znacznie dokładniejsze dane na temat wyglądu, chodu i mechanicznych właściwości szkieletu wielu grup dinozaurów. W rezultacie tych analiz przygarbione ceratopsy i włóczące po ziemi ogonami stegozaury, które królowały na rycinach sprzed 100 lat, ustąpiły miejsca bardziej wyprostowanym, umięśnionym zwierzętom z wysoko uniesionymi głowami. A pancerne ankylozaury wyglądają dziś jak niskie, rozłożyste tarany, a nie zwierzęta o kształcie zbliżonym do melona.

Rekonstrukcje tworzone pod wpływem nowych odkryć i przemyśleń ukazują istoty budzące z jednej strony zachwyt, z drugiej grozę. Zwierzęta te były nie tylko uzbrojone po zęby, lecz również przystosowane do władania bronią w najbardziej śmiercionośny sposób. To już nie tkwiące w bezruchu stworzenia z dawnych przedstawień, ale jedne z najniebezpieczniejszych zwierząt mezozoicznego świata, godne podziwu na obrazku, ale przerażająco skuteczne w bezpośredniej walce. Niewiele zwierząt odważyłoby się rzucić wyzwanie tak imponującym bestiom, poza ich równie dobrze wyposażonymi rywalami. Te pancerne dinozaury były gladiatorami swoich czasów, w każdej chwili gotowymi do walki w dążeniu do osiągnięcia wyższego statusu, zdobywaniu partnerów seksualnych i nowych terytoriów. ■

**Z NASZEGO ARCHIWUM**

**Prawdziwe kolory dinozaurów.** Jakob Vinther; kwiecień 2017.

TRICERATOPSY przedstawiano zwykle z chropowatą, pomarszczoną skórą, jak u słonia (*po prawej*). Dowody kopalne świadczą jednak, że oprócz kryzy i rogów wzmocnionych warstwą keratynową, zwierzę to było pokryte łuskami. Ubarwienie triceratopsa jest nieznane, choć – jak większość dinozaurów – przedstawiano go zwykle w brudnozielonkawych odcieniach. Nowa rekonstrukcja (*po lewej*) nawiązuje kolorystycznie do współczesnych czerwonych dzikanów (świń) rzecznych, które – podobnie jak triceratopsy – toczą pojedynki „twarzą w twarz", a także od dużych żółwi i krętorogich.



*Grafika Mark Witton*



eprasa.pl a47be06fd8



eprasa.pl a47be06fd8

# Niedoskonałe piękno

ZDROWIE

**Na farmach prowadzonych według modelu „slow flower” rosną piękne kwiaty – bez szkodliwych dla ludzkiego zdrowia środków ochrony roślin stosowanych na ogromnych zagranicznych plantacjach, dominujących na florystycznym rynku**

MARYN MCKENNA

Zdjęcia JESSE BURKE



eprasa.pl a47be06fd8

**NA NISKIM WZGÓRZU BLISKO WYBRZEŻA MAINE** świeże płatki żonkili ze złotymi i brzoskwiniowymi falbankami drżą na porywistym wietrze. Jest połowa maja, niebo czyste i błękitne, a koronkowe bordowe liście piwonii i młode poskręcane pędy wierzby wyłaniają się spośród czarnej agrowłókniny. Przy ścianach szklarni w plastikowych tackach rosną siewki kosmosów i celozji, eustomy i lwiej paszczy. Trawa jest już soczyście zielona.

Te pachnące, kolorowe kwiaty trafią do ślubnych łuków, dekoracji stołów i bukietów – podstawy dochodowego gospodarstwa i pracowni florystycznej, którą Bo Dennis, 35-letni rolnik, zbudował po zakupie działki kilka lat temu.

„Kiedy ludzie do nas przychodzą, tłumaczymy: to jest to, w czym jesteśmy dobrzy – lokalne kwiaty uprawiane w sposób zrównoważony – mówi i ubrudzonymi błotem rękami chowa kosmyk jasnych włosów pod czapkę. – Czasem trafiają się klienci, którzy chcą tylko hortensje i róże, i to w maju, czyli w czasie, gdy te popularne kwiaty jeszcze w Maine nie kwitną. Odpowiadam wtedy: »Świetnie! Życzę wspaniałej uroczystości. Ale my chyba nie jesteśmy odpowiednim dostawcą.«"

Tego, co uprawia Dennis, nie znajdzie się wśród kwiatów wystawianych przy wejściach do supermarketów lub w kwiaciarniach w centrum miasta – czyli większości miejsc, w których Amerykanie kupują kwiaty. Bukiety tam oferowane pochodzą głównie z krajów równikowych, takich jak Ekwador i Etiopia, gdzie dzięki taniej sile roboczej i minimalnym regulacjom środowiskowym uprawa jest opłacalna. Handel tymi kwiatami to część niezwykle dochodowego międzynarodowego rynku, generującego ponad 25 mld dolarów rocznie, na którym sprzedaje się rośliny sprowadzane z miejsc odległych o tysiące mil.

Jednak pestycydy i inne środki ochrony roślin, których wymaga uprawa na wielką skalę, mogą szkodzić pracownikom farm i ich rodzinom. Jedno z prowadzonych obecnie badań z udziałem dzieci z Ekwadoru, których rodzice pracują na farmach kwiatowych, wykazało u nich deficyty uwagi i koordynacji wzrokowo-ruchowej, szczególnie po okresach intensywnego opryskiwania roślin chemikaliami. Inne badanie dowiodło, że u dzieci kobiet pracujących w regionach, gdzie uprawia się rośliny na kwiaty cięte, występuje więcej niż przeciętnie wad wrodzonych. Ryzyko to dotyczy całego świata – w Belgii na rękawiczkach florystów pracujących z importowanymi kwiatami wykryto niebezpieczne poziomy pestycydów, wystarczające do poparzenia skóry przy braku ochrony. W Holandii natomiast powszechne stosowanie środków przeciwgrzybiczych w uprawach tulipanów przyczyniło się do pojawienia się śmiertelnie niebezpiecznych, opornych na leki grzybów.

Rozwiązaniem przynajmniej części tych problemów stają się małe rodzime farmy, takie jak Dandy Ram Farm Dennisa, usytuowane m.in w Karolinie Północnej czy Utah. Dennis zainteresował się florystyką, ponieważ chciał być finansowo niezależny i dbać o środowisko. Wraz z innymi plantatorami budują nowy, zaskakująco lukratywny model biznesowy – Slow Flower Movement, podobny do ruchu Slow Food Movement, promujący czystszą i bardziej ekologiczną produkcję kwiatów. Celem jest ochrona ekosystemów i tworzenie nowych modeli gospodarczych, i jednoczesne przywrócenie światu piękna – naturalnego, niedoskonałego, zaskakującego.

KWIATY SĄ TAK OBECNE W NASZYM ŻYCIU, że prawie ich nie dostrzegamy – zebrane w owinięte papierem bukiety w każdym markecie, wetknięte w wazoniki na stolikach w niemal każdej kawiarni. Choć tak powszechne, mają też ogromne znaczenie – w wielu kulturach towarzyszą najważniejszym chwilom w ludzkim życiu: ukończeniu szkoły, awansom, ślubom, pogrzebom. Są nieodłącznym elementem katolickich obrzędów, hinduskich świąt, ceremonii składania ofiar w buddyjskich świątyniach czy meksykańskiego Dnia Zmarłych. Nadajemy kwiatom tak wielką rangę, że oczekujemy, iż będą idealne – choć, jak warzywa czy owoce, są nietrwałe, wrażliwe na niekorzystne warunki pogodowe, choroby i rozkład.

I jak każdy produkt podlegają presji tańszej produkcji za granicą. Przenoszenie amerykańskiej produkcji do krajów o mniej rygorystycznych przepisach dotyczących pracy i ochrony środowiska to znany schemat, powtarzający się w przypadku rozmaitych produktów – od mebli przez samochody po żywność. Jednak relokacja produkcji kwiatów nie jest po prostu skutkiem działania mechanizmów globalnej ekonomii – celowo wspierał ją rząd USA w ramach XX-wiecznej wojny z narkotykami.

W latach 90., gdy kokaina płynąca z Ameryki Południowej była głównym celem walki z przemytem narkotyków, prezydent George H. W. Bush zaproponował działania wspierające legalne przedsiębiorstwa w kluczowych regionach jej produkcji. Ustawa z 1991 roku zniosła lub obniżyła cła na tysiące produktów pochodzących z Boliwii, Kolumbii, Ekwadoru i Peru. Znalazły

**Maryn McKenna** jest dziennikarką specjalizującą się w problemach zdrowia publicznego oraz polityki żywnościowej; jest redaktorem współpracującym z „Scientific American" i autorką książki *Big Chicken: The Incredible Story of How Antibiotics Created Modern Agriculture and Changed the Way the World Eats* (National Geographic Books, 2017).



eprasa.pl a47be06fd8



Kwitnące dalie (*poprzednie strony*) uprawiane przez Maine Flower Collective, grupę lokalnych farmerów. Foliowa torebka (*po lewej*) na Dandy Ram Farm w Maine chroni delikatny kwiat przed szkodnikami, pozwalając na rezygnację z chemikaliów.

się na tej liście cięte kwiaty, co dało ich producentom ogromny impuls do rozwoju. Produkcja kwiatów w USA się skurczyła, a rynek importowanych kwiatów gwałtownie wzrósł.

Weźmy na przykład różę, narodowy kwiat Stanów Zjednoczonych. W 2002 roku, według danych Departamentu Rolnictwa, w USA sprzedano 157,2 mln rodzimych róż. Do 2019 roku liczba ta spadła do 17,2 mln. Dochody ze sprzedaży róż uprawianych w kraju również gwałtownie zmalały – z 58,9 mln dolarów w 2002 roku do 13,3 mln w 2019. „Około 25 lat temu mniej więcej 85% kwiatów sprzedawanych w USA pochodziło z krajowych upraw; dziś jest to około 22%" – mówi Camron King, dyrektor generalny organizacji Certified American Grown. Ten spadek to nie tylko strata gospodarcza, ale także – ze względu na emocjonalne znaczenie kwiatów – symboliczna. King odczuwa to szczególnie wtedy, gdy widzi patriotyczne wieńce z czerwonych, białych i niebieskich [barwionych] goździków składane w miejscach pamięci, takich jak Grób Nieznanego Żołnierza. „W Stanach Zjednoczonych nie ma już producentów goździków na skalę komercyjną – zauważa. – Kwiaty, którymi czcimy naszych poległych bohaterów, pochodzą z importu."

Zagranicznym producentom sprzyja kilka globalnych czynników: coraz większe samoloty, łatwość chłodzenia, niskie koszty pracy i tania ziemia. Ale kluczową rolę odgrywa także brak przepisów, które chroniłyby amerykańskich pracowników i konsumentów. „W Kalifornii, a także w wielu innych stanach, obowiązują



eprasa.pl a47be06fd8

bardzo surowe zasady dotyczące pestycydów – mówi Gerardo Spinelli, doradca ds. produkcji z University of California Cooperative Extension San Diego County. – Przestrzeganie tych regulacji jest kosztowne." Natomiast za granicą „takie przepisy nie istnieją lub są znacznie mniej rygorystyczne."

Jose ricardo suárez, lekarz i epidemiolog z University of California w San Diego, dostrzegł zmiany, które przyniosło zniesienie ceł. Jego rodzice, oboje akademicy, pochodzą z Ekwadoru. Rodzina często się przeprowadzała, ale kiedy przebywali w ojczystym kraju rodziców, często odwiedzali położony u podnóża Andów kanton Pedro Moncayo. Suárez pamięta zielony, górzysty krajobraz i to, jak gwałtownie się on zmienił w latach 90.: „Nagle w różnych częściach regionu zaczęły się pojawiać szklarnie".

Ta eksplozja była pierwszym efektem rozwoju florystyki wspieranej przez ustawę z 1991 roku, która sprawiła, że Ekwador stał się trzecim co do wielkości eksporterem kwiatów na świecie. Rynek florystyczny jest obecnie wart miliard dolarów i zapewnia zatrudnienie ponad 100 tys. ludzi. Ekwador specjalizuje się w różach – chłodny górski klimat i stabilne nasłonecznienie sprzyjają produkcji kwiatów o prostych łodygach i dużych pąkach, bardzo pożądanych w eleganckich bukietach. Jednak takie idealne rośliny nie rosną bez pomocy człowieka – muszą być regularnie opryskiwane fungicydami i insektycydami, zwłaszcza środkami z grupy fosforoorganicznych, które zabijają owady, działając na ich układ nerwowy. Kiedy Suárez zdobywał w Quito dyplom lekarza, a następnie pisał w USA doktorat, zaczął się zastanawiać, jaki wpływ te substancje mogą mieć na ludzi mieszkających w pobliżu pól kwiatowych.

W 2008 roku uruchomił projekt ESPINA (Study of Secondary Exposures to Pesticides among Children and Adolescents), którego celem było sprawdzenie, czy dzieci w Pedro Moncayo są narażone na skutki mieszkania w centrum produkcji szklarniowej i pracy ich rodziców na plantacjach kwiatów. „Odkryliśmy, że pracownicy narażeni w miejscu pracy na kontakt z pestycydami przynoszą je do domu na ubraniach, na włosach, na skórze. Mogą też przynosić narzędzia lub stosować te same chemikalia we własnych ogrodach – mówi Suárez. – Badaliśmy również wpływ bliskości domów względem miejsc oprysku. Szklarnie często wydają się zamkniętymi przestrzeniami, ale w rzeczywistości mają okna umożliwiające cyrkulację powietrza, więc pestycydy wydostają się na zewnątrz."

Badanie rozpoczęto od grupy 313 dzieci w wieku od czterech do dziewięciu lat, a później rozszerzono. Około połowa dzieci mieszkała w domach, w których ktoś pracował na plantacji kwiatów. Pobierano próbki krwi i moczu, dzieci przechodziły badania lekarskie, przeprowadzano testy neurologiczne i behawioralne. Pierwsze wyniki opublikowano w roku 2012. Od początku u dzieci z rodzin pracujących na plantacjach badacze zauważyli zmiany, których nie wykazywały dzieci z innych domów – takie jak różnice w poziomie enzymów wpływających na neuroprzekaźniki i świadczące o narażeniu na pestycydy. Późniejsze badania wykazały



również problemy z nauką, depresję, zaburzenia pracy tarczycy i podwyższone ciśnienie krwi. Szczególnie poruszające było odkrycie, że po jednej z największych akcji opryskiwania w roku u dzieci z rodzin związanych z plantacjami miesiącami utrzymywały się problemy z koncentracją, samokontrolą i koordynacją ręka-oko – o ironio, opryski prowadzono w ramach przygotowań do zbiorów kwiatów na Dzień Matki.

W kolejnych latach badacze zwiększyli liczbę uczestników do 554 dzieci i nastolatków, ponownie pobierając próbki krwi i moczu. Każde kolejne badanie potwierdzało ciągłe narażenie na pestycydy, co dowodzi, że problem nie został rozwiązany. „Nie wprowadzono żadnych zmian w przepisach dotyczących stosowania pestycydów" – mówi Suárez. Dodaje, że zainteresowanie polityków tym tematem było zmienne, ale lokalne władze konsekwentnie wspierały zarówno pracowników rolnych, jak i jego badania.



eprasa.pl a47be06fd8



Maine Flower Collective – Kate Del Vecchio (*po lewej*) przyjmuje dostawę. Feeria barw sezonowych kwiatów (*powyżej*) uprawianych przez lokalnych farmerów.

Suárez i jego współpracownicy również starali się coś zmienić. Jego rodzice, lekarz-epidemiolog Jose Suárez-Torres i antropolożka Dolores Lopez Paredes, założyli organizację Fundación Cimas del Ecuador, która pozyskuje międzynarodowe fundusze na wymiany edukacyjne i lokalne inicjatywy. Ponieważ uprawa kwiatów nie dostarcza wartości odżywczych i niemal cała produkcja trafia na eksport, fundacja stworzyła gospodarstwo ekologiczne, w którym ponad 3 tys. nastolatków i młodych dorosłych zostało przeszkolonych w zakresie agroekologii. „Trzeba pracownikom coś zaproponować – mówi Suárez. – Nie można tylko powiedzieć, żeby przestali pracować przy kwiatach."

INNI BADACZE SKUPILI SIĘ na zagrożeniach, jakie sprowadzają na siebie sami pracownicy. Dwie dekady temu epidemiolożka Jinky Leilanie Lu, obecnie profesor badawcza na Uniwersytecie Filipińskim w Manili, udokumentowała występowanie fizycznych i neurologicznych objawów – takich jak dreszcze i gorączka, zawroty oraz bóle głowy – u około jednej trzeciej pracowników zajmujących się przygotowywaniem roztworów pestycydów i ich rozpylaniem na plantacjach kwiatów. W 2009 roku badacze z University of New Mexico i University of Michigan poinformowali o wysokim wskaźniku poronień u kobiet zatrudnionych w ekwadorskim przemyśle kwiatowym. Ryzyko poronienia było u nich 2,6 razy wyższe niż u innych kobiet. Wiele problemów zdrowotnych opisano w 2015 roku w artykule dotyczącym pracowników szklarni kwiatowych w Etiopii. W ciągi 10 lat w tym kraju doszło do gwałtownego rozwoju upraw róż. Dzięki łagodnemu klimatowi i wyżynnym terenom Etiopia w krótkim czasie stała się czwartym co do wielkości eksporterem tych kwiatów na świecie. Badania wykazały, że u wielu pracowników występowały rozmaite problemy skórne, w tym wysypki, a niektórzy cierpieli na przewlekły kaszel i duszność.

W 2017 roku zespół naukowców z Universidad Nacional Autónoma de México wykazał, że w rejonach związanych z florystyką aż 20% dzieci urodzonych przez kobiety pracujące na plantacjach kwiatów lub w ich pobliżu miało wady wrodzone. Dla porównania, w tym samym stanie, wśród kobiet pracujących poza sektorem kwiatowym odsetek ten wynosił 6%. W tym samym roku inny zespół badaczy udokumentował, że u zajmujących się pestycydami pracowników szklarni w dwóch meksykańskich stanach poziomy biomarkerów pestycydów były w moczu wyższe niż u tych, którzy mieli z pestycydami mniejszy kontakt. Rok później w kolejnych badaniach stwierdzono, że u mężczyzn zatrudnionych w meksykańskim przemyśle kwiatowym, często narażonych na działanie pestycydów i fungicydów, występuje podwyższony poziomy cytokin prozapalnych we krwi. Cytokiny to małe białka sygnałowe, które normalnie alarmują układ odpornościowy o infekcji, ale ich nadmiar może prowadzić do przewlekłych chorób.

Występowanie zagrożeń związanych z intensywnym stosowaniem pestycydów na plantacjach kwiatów poza USA nie ogranicza się do samych farm i ich pracowników. W 2016 roku belgijscy naukowcy, zaniepokojeni doniesieniami o chorobach pracowników plantacji, przeprowadzili badania nad zagrożeniami związanymi z kwiatami po ich ścięciu i wysyłce. Kwiaty cięte nie podlegają ścisłym regulacjom, jakie dotyczą żywności. W dwóch badaniach naukowcy testowali bukiety sprzedawane w kwiaciarniach i supermarketach, odkrywając poziomy fungicydów i pestycydów – zwłaszcza na różach – które mogłyby być szkodliwe dla ludzkiego układu nerwowego.

Aby sprawdzić, czy istnieje realne zagrożenie, naukowcy poprosili grupę florystów o noszenie bawełnianych rękawic przez dwa kolejne dni podczas przycinania kwiatów i układania bukietów, a następnie przeanalizowali, co zostało wchłonięte przez tkaninę. Odkryli 111 różnych związków chemicznych stosowanych w rolnictwie, głównie pestycydów i fungicydów, w stężeniach do 1000 razy przewyższających dopuszczalne na produktach spożywczych. Stężenia kilku związków były tak duże, że stanowiły zarówno



eprasa.pl a47be06fd8



W nowej szklarni (*powyżej*) na farmie Dandy Ram rośnie wiele kwitnących roślin, m.in. lwie paszcze i cynie. Wszystkie są uprawiane zgodnie z zasadami organicznego rolnictwa przez Bo Dennisa (*strona obok, po lewej*) i jego partnerkę Catalinę Rodriguez (*po prawej*).

zagrożenie o natychmiastowych, jak i długotrwałych skutkach – mogły powodować oparzenia skóry, podrażnienie oczu, uszkodzenie płodu lub być niebezpieczne dla dzieci karmionych piersią. Badacze zauważyli, że noszenie rękawic podczas pracy oraz unikanie jedzenia i palenia w pobliżu kwiatów mogłoby ograniczyć ryzyko.

Jednak najbardziej alarmującą konkluzją badań było to, że zagrożenie chemikaliami wykorzystywanymi na plantacjach kwiatów może sięgać znacznie dalej. Nie ograniczać się tylko do samych farm, ich pracowników lub florystów – ale wpływać również na osoby, które nie mają żadnego związku z rolnictwem. Na początku lat 2000. grupa holenderskich lekarzy zaczęła dostrzegać niepokojący wzorzec wśród najciężej chorych pacjentów przebywających na oddziałach intensywnej terapii. Osoby o osłabionym układzie odpornościowym, poddawane wielokrotnym kuracjom lekowym, były szczególnie narażone na tzw. infekcje oportunistyczne, wywoływane przez organizmy, które zwykle nie powodują chorób u zdrowych ludzi. Jednym z najbardziej niepokojących patogenów jest grzyb *Aspergillus fumigatus*, który występuje w pryzmach kompostu i rozkładającej się roślinności, uwalniając zarodniki unoszące się później w powietrzu. Zdrowy układ odpornościowy potrafi usunąć te zarodniki z płuc, ale u osób z osłabioną odpornością grzyb osiada na śluzówce i zaczyna się rozmnażać. Prowadzi to do niezwykle groźnej infekcji – inwazyjnej aspergilozy, której ponad 2 mln przypadków rejestruje się rocznie na całym świecie. Do lat 90. niemal zawsze była wyrokiem śmierci, ale pojawiła się nowa klasa leków przeciwgrzybiczych, zwanych azolami, które zaczęły ratować pacjentów.

Jednak w ciągu zaledwie 10 lat od wprowadzenia tych leków sytuacja się odwróciła. Pacjenci na oddziałach intensywnej terapii ponownie zaczęli umierać z powodu inwazyjnej aspergilozy. Kiedy eksperci przyjrzeli się sprawie, odkryli, że grzyb wytworzył oporność na azole i już nie reaguje na leki. W medycynie intensywnej terapii taka oporność jest zjawiskiem dobrze znanym – bakterie czy grzyby mogą stać się oporne po kolejnych rundach leczenia. Jednak w przypadku azolooopornego kropidlaka zaobserwowano coś niezwykłego: infekcje występowały u ludzi, którzy nigdy wcześniej nie przyjmowali azoli, a mimo to grzyby wykazywały identyczny wzór genetyczny oporności, nawet jeśli pacjenci byli hospitalizowani w różnych częściach kraju.



eprasa.pl a47be06fd8





Aby zbadać ten problem, utworzył się nieformalny zespół lekarzy i mikrobiologów. Skoro na azolooporne infekcje cierpieli pacjenci, którzy nigdy nie byli leczeni azolami, grzyby w ich organizmach musiały się zetknąć z antygrzybiczymi środkami najpierw gdzie indziej – i okazja do takiej ekspozycji musiała być w Holandii powszechna, skoro oporność wystąpiła w wielu miejscach niemal jednocześnie.

Rozwiązaniem zagadki okazały się kwiaty – słynne tulipany oraz inne rośliny cebulowe, takie jak lilie, hiacynty i czosnki ozdobne, w których produkcji Holandia wiedzie prym na rynku światowym. W tym samym czasie gdy medycyna korzystała z nowej klasy leków azolowych, w rolnictwie zaczęto stosować fungicydy oparte na identycznej strukturze chemicznej. Cebulki roślin sadzone w Holandii, uprawiane do momentu kwitnienia, następnie zbierane i wysyłane na cały świat, zanurzano w azolach lub spryskiwano tymi fungicydami, aby je zabezpieczyć. Te powszechnie aplikowane środki chemiczne dostały się do kropidlaka *Aspergillus fumigatus* w kompostowanych odpadach roślinnych. Zarodniki grzyba, który zyskał oporność na azole, wdychali ludzie i zapadali na nieuleczalną chorobę.

Poprzez mechanizmy, które nie zostały jeszcze w pełni poznane – ewolucję równoległą, międzynarodowy handel roślinami i cebulkami, a może przenoszenie zarodników przez wiatr – śmiercionośny, oporny na azole *Aspergillus* rozprzestrzenił się na cały świat. Jest to ciągłe zagrożenie, jak twierdzi Paul Verweij, szef mikrobiologii medycznej w Radboud University Medical Center w południowej Holandii, który jako jeden z pierwszych naukowców zidentyfikował ten problem. „Częstość jego występowania jest dość stabilna; nie zmniejsza się" – mówi.

Do tej pory nie ma dowodów na to, że międzynarodowy handel kwiatami stanowi zagrożenie dla zwykłych konsumentów kupujących bukiety w supermarketach. Pacjenci, którzy zachorowali lub zmarli po ekspozycji na opornego kropidlaka, zwykle już wcześniej byli osłabieni chorobą, a pracownicy plantacji kwiatowych narażeni na działanie grzyba ze względu na swoją pracę. Jednak bez poważnych zmian w masowej uprawie kwiatów te zagrożenia będą się utrzymywać.

W Stanach Zjednoczonych jest znacznie mniej prawdopodobne, aby mali producenci kwiatów stwarzali zagrożenie dla swoich pracowników lub lokalnych społeczności. Tacy przedsiębiorcy nie dysponują ogromnymi powierzchniami upraw ani sprzętem do obsadzenia tysięcy akrów ziemi identycznymi roślinami, które mogłyby zostać zdziesiątkowane przez pojedynczą chorobę lub szkodnika. Nie są też zmuszani kontraktami do wyprodukowania tysięcy roślin o idealnie prostych łodygach, aby kwiaty te trafiły na rynek na przykład na Walentynki czy koniec roku szkolnego. Właśnie takie czynniki sprawiają, że przemysłowa produkcja kwiatów często prowadzi do intensywnego stosowania agrochemikaliów.

„Rynek zasadniczo podzielił się na dwa sektory" – mówi John Dole, profesor nauk ogrodniczych na North Carolina State University i doradca Association of Specialty Cut Flower Growers (Stowarzyszenie Producentów Wyjątkowych Kwiatów Ciętych). („Specialty" oznacza tu mniej popularne kwiaty, sprzedawane nieco na obrzeżach rynku zdominowanego przez róże, chryzantemy i goździki). „Mamy bardzo dużych międzynarodowych producentów, którzy wysyłają swoje kwiaty głównie przez Miami. Koncentrują się oni na taniej produkcji i dostarczają kwiaty przede wszystkim do dużych sieci handlowych, czyli supermarketów i dużych hurtowni. Większość amerykańskich hodowców nie konkuruje bezpośrednio z Kolumbią czy Ekwadorem, ponieważ uprawiają zupełnie inne gatunki kwiatów".

Zarówno z powodu osobistych preferencji, jak i chęci wyróżnienia się na rynku, wielu małych hodowców kwiatów stosuje zasady upraw ekologicznych, na przykład nie używają sztucznych nawozów ani pestycydów, choć rzadko ich uprawy przechodzą kilkuletni proces certyfikacji USDA Organic (certyfikat nadawany przez Departament Rolnictwa Stanów Zjednoczonych). „Uzyskanie tego certyfikatu jest kosztowne, więc wielu rolników po prostu zapewnia, że uprawia rośliny odpowiedzialnie i w sposób zrównoważony – wyjaśnia Val Schirmer, prezeska Association of Specialty Cut Flower Growers i współzałożycielka farmy Three Toads Farm



eprasa.pl a47be06fd8



Dennis (*powyżej*) na polu dalii; każdy kwiat jest osłonięty foliową torebką, chroniącą go przed atakiem niszczących owadów. Osobny budynek (*po prawej*) służy za studio florystyczne.

w centrum Kentucky. – Większość naszych hodowców nie chce stosować pestycydów. Znacznie chętniej wykorzystują naturalnych sprzymierzeńców, takich jak pożyteczne owady, i dbają o zachowanie odpowiedniego siedliska dla ptaków". (Zamiast certyfikacji USDA, niektórzy hodowcy wybierają Certified Naturally Grown – alternatywny system oparty na wzajemnej ocenie małych gospodarstw, który dopuszcza uprawę kwiatów, dla których nie ma dostępnych ekologicznych nasion.)

Niestosowanie pestycydów i fungicydów, używanych na dużych farmach, sprawia, że praca jest bezpieczniejsza zarówno dla pracowników, jak i właścicieli, a badania przeprowadzone na ekologicznych lub zrównoważonych farmach kwiatowych potwierdzają, że uprawy te są zdrowsze dla środowiska i pomagają zachować różnorodność mikrobiologiczną gleby. „Takie gospodarstwa dobrze działają, częściowo dlatego, że naśladują naturę – mówi Dole. – W zróżnicowanych uprawach występuje wiele szkodników, ale również mnóstwo pożytecznych owadów, które je zwalczają".

Wszystkie te zalety nie miałyby znaczenia, gdyby małe gospodarstwa nie mogły sprzedać swoich produktów. „Kiedy zaczynałam ten biznes, pakowałam kwiaty na tył pickupa, jechałam do kwiaciarni, a tam z punktu odmawiano mi ich zakupu – wspomina Kate Swift, właścicielka Cedar Farm Wholesale w Dolinie Hudson w stanie Nowy Jork, firmy działającej od 1997 roku. – Uważano, że jakość kwiatów pochodzących z lokalnych upraw jest gorsza. Tak silnie import wpłynął na myślenie kupujących".

Jednak już w 2014 roku analiza USDA wykazała, że dla większości małych amerykańskich farm (o powierzchni poniżej 10 akrów) florystyka stała się najbardziej dochodową działalnością, generując większy dochód na akr niż hodowla bydła, trzody chlewnej i drobiu czy też uprawa warzyw lub owoców. W 2024 roku w badaniu National Gardening Association aż dwóch na trzech ankietowanych zadeklarowało, że woli kupować lokalne kwiaty, aby wspierać rodzinne gospodarstwa i utrzymywać miejsca pracy w rolnictwie w swoich regionach.

Mali producenci kwiatów najpierw znajdowali klientów na targach i wśród uczestników programów rolnictwa wspieranego przez społeczność



eprasa.pl a47be06fd8



(community-supported agriculture, CSA), potem zaczęli sprzedawać swoje produkty lokalnym kwiaciarniom, a ostatecznie nawiązali współpracę z restauracjami i organizatorami imprez, którym mogli oferować kwiaty po wyższej cenie. Niektórzy, jak Dandy Ram, z hodowców kwiatów przekształcili się w farmerów-florystów, łącząc uprawę kwiatów z ich kreatywnym wykorzystaniem.

Aby to osiągnąć, musieli przekonać swoich klientów do nowej estetyki – kompozycji mniej idealnych, bardziej naturalnych, bujnych, z kwiatów niekiedy zbyt delikatnych, by przetrwały tygodnie w chłodni, ale za to niepowtarzalnych, pachnących. „Próbuję przekonać innych florystów, że warto przestawić się na lokalnie uprawiane unikalne rośliny – mówi Stacy Brenner, senator stanu Maine i współwłaścicielka Broadturn Farm w Scarborough w stanie Maine. – Zachęcam ich, by myśleli bardziej o kształcie i kolorze, a mniej o konkretnych gatunkach. Przekonuję, że da się uzyskać pożądany efekt, wykorzystując lokalne rośliny".

Jeśli przypomina to zmiany w produkcji żywności pod koniec XX wieku – odchodzenie od konwencjonalnego rolnictwa na rzecz zrównoważonego i regeneracyjnego, opartego na uprawie tradycyjnych odmian warzyw i hodowli starych ras zwierząt – to skojarzenie jest trafne. Debra Prinzing pracowała jako dziennikarka piszącą o architekturze i wnętrzach do ekskluzywnych magazynów, gdy zaczęła się zastanawiać nad pochodzeniem kwiatów. Międzynarodowy ruch Slow Food wystartował 20 lat wcześniej, a w Stanach Zjednoczonych aktywiści zaczęli właśnie promować kupowanie wyłącznie lokalnie uprawianej żywności. W 2007 roku powieściopisarka Barbara Kingsolver opublikowała bestsellerową książkę *Animal, Vegetable, Miracle*, w której opisała, jak przeprowadziła się z rodziną w Appalachy, by żyć z własnej ziemi. W tym samym roku redakcja „New Oxford American Dictionary" uznała „locavore" (określenie osoby spożywającej lokalne produkty) za słowo roku.

Prinzing mieszka w Seattle, gdzie zimą dni są krótkie. A jednak w tej wilgotnej, ponurej porze roku w lokalnych supermarketach oferowano owinięte w celofan bukiety kolorowych kwiatów, wyglądających jak świeżo zerwane latem w ogrodzie. Ten kontrast był uderzający. W 2012 roku Prinzing napisała *The 50 Mile Bouquet*, książkę wspierającą lokalną produkcję kwiatów, a rok później *Slow Flowers* – w nawiązaniu do ruchu *slow food* – będącą manifestem poparcia lokalnej florystyki. W 2014 roku założyła organizację Slow Flowers Society i opracowała przewodnik, który pomaga konsumentom znaleźć lokalnych florystów i producentów. Obecnie organizacja ta liczy 750 członków. „Jeśli ktoś zwraca uwagę na to, skąd pochodzi jego jedzenie, będzie miał podobne podejście do kwiatów" – mówi Prinzing, określając ruch Slow Flowers jako próbę „zredefiniowania piękna i życia zgodnie z porami roku – co jest także istotą koncepcji *slow food*. Jeśli żyjesz zgodnie z rytmem natury, godzisz się, że nie masz dostępu do wszystkiego przez 24 godziny na dobę, siedem dni w tygodniu, 365 dni w roku".

KORZYŚCI WYNIKAJĄCE Z ROZWOJU ruchu slow flowers w Stanach Zjednoczonych nie ograniczają się do bezpośredniego wsparcia farm. Oferowanie innych kwiatów niż tylko importowane kreuje rynek, na którym takie produkty i taka wizja gospodarki mogą odnaleźć swoje miejsce.

W słoneczne wiosenne popołudnie furgonetki podjeżdżają pod niski, biały drewniany budynek na farmie Crystal Spring w Brunswick (Maine) – historycznej posiadłości, do której drogę wskazuje szyld w kształcie wielkiej nadgryzionej marchewki. Kierowcy wyładowują wiadra wypełnione kwiatami owiniętymi w papier: delikatne konwalie i lśniące różowe serduszka, wytworne błękitne czarnuszki, gładkie i papuzie tulipany w odcieniach fioletu i żółci, gałęzie bzu, buka, brzoskwini i jabłoni – oraz dziesiątki innych kwiatów w różnych kolorach i formach. To kwiaty z lokalnych farm. Wewnątrz szopy pracownicy sortują towar i wkładają do wiader, dopasowując do zamówień rozpisanych na 24 kartkach przypiętych do drewnianych ścian. Zamówienia pochodzą od florystów, którzy złożyli je kilka dni wcześniej za pośrednictwem platformy internetowej Maine Flower Collective – założonej w 2023 roku spółdzielni, która pośredniczy pomiędzy


**Z ARCHIWUM**

**Blooms Away: The Real Price of Flowers.** Carolyn Whelan; ScientificAmerican.com, 12 lutego, 2009. ScientificAmerican.com/archive




eprasa.pl a47be06fd8

lokalnymi producentami i kwiaciarzami, co ułatwia handlową wymianę.

Zanim powstała spółdzielnia, najbliższy hurtowy rynek kwiatowy znajdował się w odległym o dwa stany i ponad 200 km na południe Chelsea w stanie Massachusetts, wbity pomiędzy zatkane słynnymi bostońskimi korkami ulice. „Był kiedyś taki rynek w Bangore, ale zamknięto go lata temu – mówi Sofia Oliver, menedżerka spółdzielni, naciągając na uszy włóczkową czapkę, by chronić się przed zimnym rześkim powietrzem. – Myślę, że to częściowo dlatego tak wielu producentów i kupujących zaczęło współpracować przy powołaniu do życia tej spółdzielni".

Każdego tygodnia lokalni producenci – w to majowe popołudnie 41 – na prywatnej internetowej platformie kolektywu publikują listę gotowych do sprzedaży kwiatów. Floryści przeglądają ofertę i składają zamówienia. Następnego ranka furgonetki spółdzielni wyruszają w obejmujące cały stan długie trasy, zbierając świeżo ścięte kwiaty i dostarczając je do magazynu. Po posegregowaniu towaru i przyporządkowaniu poszczególnym zamówieniom bukiety trafiają do chłodni, a następnego dnia są dostarczane do klientów. Tak tworzy się sieć sprzedaży, kupna i współpracy, która spaja społeczność i gospodarkę regionu.

Nowe możliwości ekonomiczne, jakie niosą ze sobą małe farmy kwiatowe, obejmują cały kraj. Weźmy Utah, gdzie liczba farm kwiatowych wzrosła z 18 w 2018 roku do 199 w 2023. Florystyka pasuje do lokalnych norm kulturowych, ponieważ pozwala kobietom na prowadzenie biznesów z własnego domu. „Wiele kobiet prowadzi gospodarstwa domowe i opiekuje się członkami rodziny – mówi Melanie Stock, profesor nadzwyczajna i specjalistka ds. rozwoju rolnictwa z Utah State University. – Kwiaty to produkt premium o wysokiej wartości. Kobiety są przedsiębiorcze, więc znajdują niewielkie działki i przekształcają je w dochodowy biznes. Pomaga to rodzinom wyjść z kryzysu bezrobocia, nie generując dodatkowych kosztów związanych z opieką nad dziećmi".

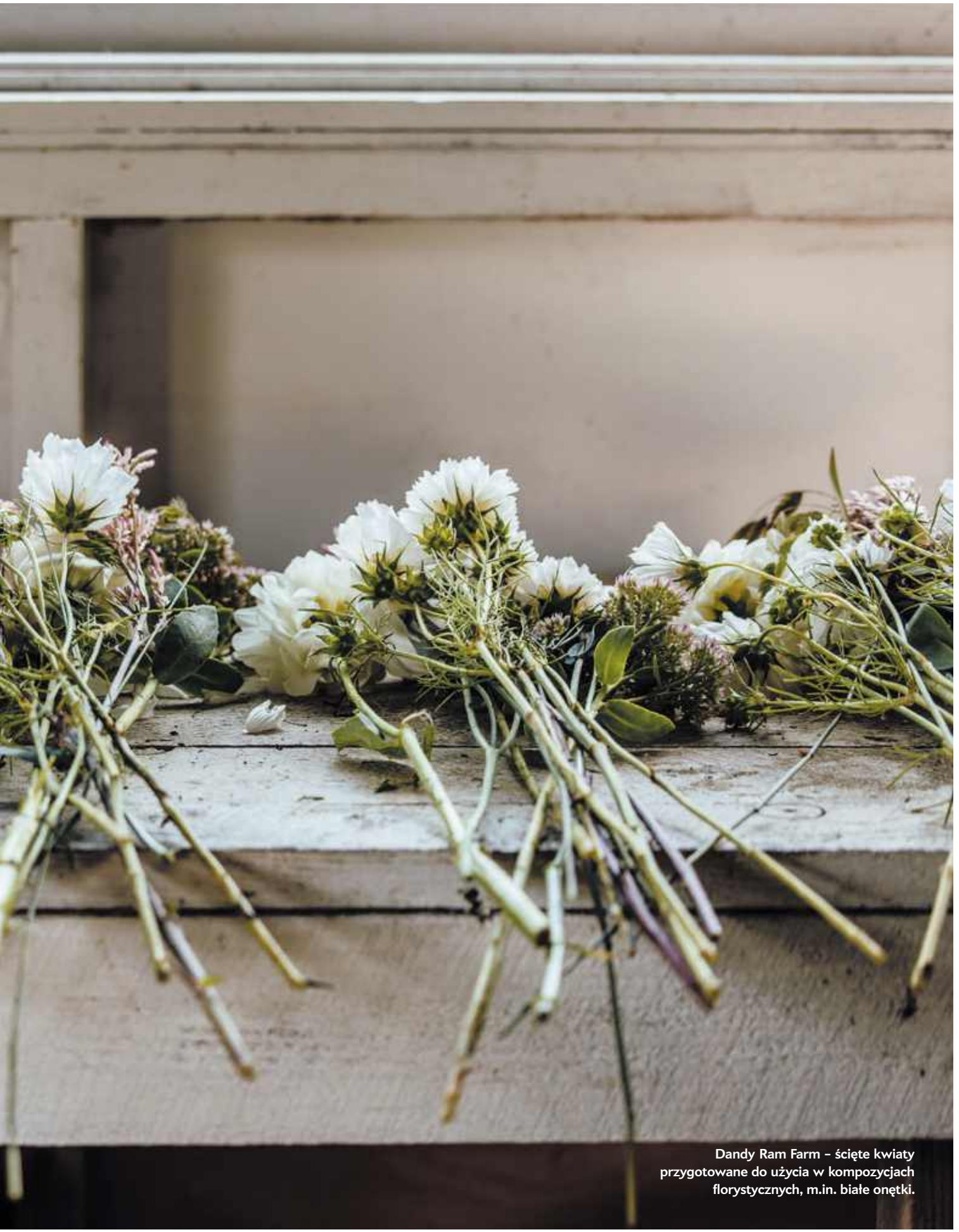
W najlepszej swojej wersji produkcja kwiatów pozwala rolnikom dzielić się z innymi szansami, które sami dla siebie stworzyli. Dennis, właściciel farmy Dandy Ram, upatruje w tym ruchu możliwość włączenia większej liczby osób LGBTQ+ do rolnictwa. Wraz ze swoją partnerką wydzielili część ziemi, by wydzierżawić ją nowym, queerowym rolnikom – tworząc inkubator przedsiębiorczości dla tych, którzy jeszcze nie mogą pozwolić sobie na własne gospodarstwo. „Jednym z głównych powodów, dla których nadal uprawiam ziemię, jest budowanie społeczności – mówi. – Dzielimy się ziemią z kilkoma osobami, które uczą się uprawy roślin".

To właśnie tworzenie społeczności – w równym stopniu jak same kwiaty – sprawia, że świat staje się piękniejszy. Dla farmerów uprawiających kwiaty szczególnie poruszające jest to, że te inwestycje w przyszłość wyrastają z czegoś tak ulotnego. „Może wyglądać to bardzo *glamour* w social mediach, jednak to wciąż ciężka praca – mówi Oliver. – Ale kwiaty są tego warte. To jak pokarm dla duszy. Zaspokajają głębszą potrzebę. Niektórzy mogą je uważać za zbędny luksus, ale one przynoszą ludziom radość". ■





eprasa.pl a47be06fd8



**Dandy Ram Farm – ścięte kwiaty przygotowane do użycia w kompozycjach florystycznych, m.in. białe onętki.**

eprasa.pl a47be06fd8



# Chrapanie u dzieci

## Leczenie u młodych ludzi zaburzeń oddychania podczas snu poprawia ich zachowanie i zmniejsza problemy społeczne

LYDIA DENWORTH

**Warkoty lub świsty** wydawane przez ludzi, którzy chrapią, są dobrze znanym problemem dla tych, którzy śpią obok. Gdy mówimy o chrapaniu, na myśl od razu przychodzą mężczyźni w średnim wieku oraz osoby z nadwagą, ponieważ to u nich najczęściej występuje bezdech senny, często wywoływany przez okresowe zapadanie się dróg oddechowych, co prowadzi do nasilonego chrapania. Jednak najnowsze badania nad dziećmi i kobietami w ciąży wykazały, że nawet lekkie chrapanie może negatywnie wpływać na zdrowie, zachowania i jakość życia.

„Wiemy, że zaburzenia oddychania i snu mogą prowadzić do rozlicznych konsekwencji fizjologicznych – mówi Susan Redline, pulmonolożka i epidemiolożka z Brigham and Women's Hospital w Bostonie. – Zaburzenia te dotyczą większej liczby osób niż jawny bezdech. Nie powinniśmy ich lekceważyć".

Niemal każdy od czasu do czasu chrapie. Czynnikiem wyzwalającym mogą być alergie albo infekcje dróg oddechowych. Kiedy górne drogi oddechowe, z tyłu gardła, zwężają się, powoduje to wibracje tkanek w tej okolicy, co skutkuje znajomym burczeniem. Niepokojące jest, jeśli ktoś regularnie chrapie przez trzy lub więcej nocy tygodniowo, zwłaszcza jeśli towarzyszą temu inne objawy, jak nadciśnienie bez wyraźnego powodu.

Do kategorii zaburzeń oddychania podczas snu należą przerwy w oddychaniu, występujące przy bezdechu (apnea), spłycony oddech (hypopnea), chrapanie bez bezdechów i mniej nasilony problem, nazywany ograniczeniem przepływu, kiedy występuje zwężenie dróg oddechowych, ale nie ma odgłosów chrapania. Standardowym miernikiem nasilenia tych zaburzeń jest wskaźnik bezdechów i spłyconych oddechów (apnea-hypopnea index, AHI), który liczbę przerw w oddychaniu i związane z nimi spadki poziomu tlenu w ciągu jednej godziny. Prawidłowy poziom u osoby dorosłej to najwyżej cztery przerwy. Ponad 30 oznacza poważne zaburzenie. U dzieci 10 przerw można uznać za umiarkowanie nasilony problem.

Okazuje się jednak, że w tej grupie wskaźnik AHI nie zawsze pozwala trafnie przewidywać negatywne skutki. W badaniu opisanym w 2023 roku w „Journal of the American Medical Association" obserwowano 458 dzieci w wieku od trzech do 12 lat z łagodnymi zaburzeniami oddychania podczas snu – wskaźnik AHI od zera do trzech. Połowa z nich była wcześnie objęta leczeniem polegającym na usunięciu migdałków, co długo stanowiło najczęstszą metodę stosowaną u dzieci w przypadku chrapania, ponieważ migdałki mogą rosnąć szybciej niż młode drogi oddechowe i prowadzić do obturacji. Drugą połowę „uważnie obserwowano". Po 12 miesiącach nie ujawniły się różnice w funkcjach poznawczych między dwiema grupami, jednak u dzieci poddanych zabiegom chirurgicznym obserwowano poprawę w zakresie problematycznych zachowań, takich jak zaburzenia uwagi, a także socjalizacji i panowania nad emocjami. Także ich rodzice zgłaszali, że są lepiej wyspani i poprawiła się jakość ich życia. Ponadto u tych dzieci obniżyło się ciśnienie krwi, natomiast w drugiej grupie wzrosło, chociaż u żadnego z uczestników badania nie przekraczało normy. U dorosłych, którzy chrapią, występuje podwyższone ryzyko nadciśnienia.

„Wartość tego badania polega na tym, że uwzględniono w nim dzieci, które niekoniecznie byłyby objęte leczeniem" ze względu na niewielkie nasilenie zaburzeń, mówi pulmonolog dziecięcy Ignacio Tapia z Miller School of Medicine na University of Miami. Te dzieci „zyskują na wczesnym leczeniu".

W dwóch ostatnich publikacjach, w których wykorzystano dane dotyczące niemal 12 tys. dzieci objętych trwającym nadal badaniem Adolescent Brain Cognitive Development, otolaryngolog dziecięcy Amal Isaiah ze School of Medicine na University of Maryland wraz ze współpracownikami również podali, że nawykowe chrapanie (zgłaszane u około 700 dzieci) wiązało się z problemami behawioralnymi, takimi jak niezdolność do przestrzegania zasad lub nawiązywania przyjaźni.

Isaiah nie obserwował zaburzeń funkcji poznawczych u dzieci, które chrapały, jednak jego zespół stwierdził utratę komórek w obrębie kory przedczołowej. Jest to ta część mózgu, która bierze udział w kontroli zachowań. „Kora przedczołowa jest wrażliwa na niedotlenienie – mówi Isaiah. – Ten obszar rozwija się stopniowo przez cały okres dzieciństwa. Jeśli dodatkowo narazimy go na stres, na przykład na skutek chrapania, u niektórych dzieci kompensacja ze strony mózgu może nie wystarczyć".

Jeśli chodzi o ciążę, to w badaniu z 2022 roku objęto

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



*Ilustracja Jay Bendt*

eprasa.pl a47be06fd8

badaniami snu niemal 2000 ciężarnych kobiet. Ponad połowę z nich zbadano ponownie po dwóch i siedmiu latach. W przypadku uczestniczek ze wskaźnikiem AHI powyżej pięciu stwierdzono ponad trzykrotnie zwiększone ryzyko nadciśnienia oraz dwukrotnie wyższe ryzyko zaburzeń określanych mianem zespołu metabolicznego. Z kolei w badaniu z 2024 roku u kobiet ciężarnych z ograniczonym przepływem występowało podwyższone ryzyko powikłań, m.ni. stanu przedrzucawkowego.

Redline podejrzewa, że zaburzenia oddychania podczas snu, nawet bez występowania bezdechów, zwiększają obciążenie organizmu i nadmiernie pobudzają tę część układu nerwowego, która pomaga regulować pracę narządów, m.in. serca i płuc.

Z tego względu psycholog snu Ariel Williamson z University of Oregon wskazuje, że rozsądnie byłoby zwracać uwagę nie tylko na chrapanie, ale też na inne aspekty snu, takie jak czas jego trwania i zmienność, które również wiązano z funkcjonowaniem emocjonalnym i behawioralnym u dzieci oraz problemami poznawczymi u dorosłych. „Chrapanie może być przyczyną tych problemów – mówi – ale mogą to też być inne zaburzenia snu".

Na szczęście istnieją metody leczenia zarówno dzieci, jak i dorosłych. Badania kliniczne wskazują, że u dzieci w przypadkach nawet łagodnego chrapania może dać korzyści usunięcie migdałków. U dorosłych, a także u nielicznych dzieci, pierwszym wyborem w leczeniu bezdechu, a także chrapania, są maski CPAP (continuous positive airway pressure, stałe dodatnie ciśnienie powietrza w drogach oddechowych), utrzymujące drożność dróg oddechowych. Niektórzy ludzie nie tolerują jednak masek CPAP. W tym przypadku może również zadziałać leczenie chirurgiczne z wykorzystaniem stymulacji nerwu podjęzykowego przez wszczepione urządzenie. Innym rozwiązaniem są aparaty wewnątrzustne, na przykład wysuwający żuchwę – indywidualnie wykonywana nakładka na zęby, która utrzymuje otwarte drogi oddechowe bez przeprowadzania zabiegu chirurgicznego albo stosowania CPAP. Innym pacjentom pomagają akcesoria do „terapii pozycyjnej", sprzyjające spaniu na boku.

Utrata wagi i zwiększenie aktywności fizycznej poprawiają jakość snu niezależnie od wieku. Zaś w redukcji chrapania może pomóc dieta przeciwzapalna – na przykład zawierająca więcej kwasów tłuszczowych omega. ■



# Doświadczenie a koncentracja

## Praktyka wzmacnia naszą zdolność do głębokiego skupienia

HANNA POIKONEN

**PRZYPOMNIJ SOBIE,** kiedy ostatnio się skupiałeś uwagę, rozwiązując trudne zadanie. Aby rozgryźć matematyczną łamigłówkę lub zdecydować o kolejnym ruchu w szachach, rozważałeś zapewne różne strategie. Odpowiedź stopniowo zaczynała się wyłaniać, liczby i symbole układać w logiczny ciąg. W pewnym momencie mogło ci się nawet wydać, że problem sam się rozwiązał na „tablicy" twojego umysłu.

W niedawnych badaniach przeanalizowałam wraz ze swoim zespołem mechanizmy neuronalne stojące za takim doświadczeniem. Chcieliśmy zrozumieć, co dzieje się w mózgu, gdy człowiek angażuje się w abstrakcyjny i wymagający proces myślowy. W tym celu zaprojektowaliśmy badanie związane z matematyką.

Myślenie matematyczne opiera się na starej ewolucyjnie sieci neuronalnej w obszarze ciemieniowym, w górnej i centralnej części zewnętrznej kory mózgowej. Ta sieć pomaga przetwarzać informacje o przestrzeni, czasie i liczbach. We wcześniejszych badaniach nad neurokognicją matematyczną skupiano się na tym, co dzieje się w mózgu podczas rozwiązywania problemów, które zajmują zaledwie kilka sekund. Badania te pomogły wyjaśnić aktywność mózgu wspierającą skupienie uwagi oraz pamięć roboczą – specjalny rodzaj pamięci krótkotrwałej, który pozwala przechowywać liczby i szczegóły.

W naszym badaniu wykorzystaliśmy bardziej złożone zadania matematyczne. Przypominają one skomplikowane problemy, z którymi matematycy mierzą się na co dzień. Odkryliśmy, że osoby z większym doświadczeniem matematycznym podczas rozwiązywania trudnych zadań wchodzą w specjalny stan głębokiego skupienia. Zrozumienie tego stanu mogłoby w przyszłości pomóc naukowcom lepiej zrozumieć potęgę koncentracji, a także potencjalne zagrożenia związane z nagminną rezygnacją z samodzielnego rozwiązywania problemów i wykorzystywaniem do tego celu sztucznej inteligencji.

W eksperymencie uczestniczyło 22 studentów – zarówno studiów licencjackich, jak i magisterskich kierunków

**Hanna Poikonen** jest starszą badaczką i wykładowczynią ETH Zurich. Zajmuje się badaniem funkcji mózgu leżących u podstaw profesjonalizmu m.in. u matematyków, tancerzy i muzyków.

*Ilustracja Thomas Fuchs*



eprasa.pl a47be06fd8

ścisłych lub technicznych. Porównaliśmy ich wyniki z wynikami 22 studentów kierunków, na których na rozumowanie ilościowe kładzie się niewielki nacisk, takich jak fizjoterapia czy sztuki piękne. Określiliśmy iloraz inteligencji (IQ) werbalnej, przestrzennej i numerycznej każdego z uczestników, a także poziom ich lęku przed matematyką.

Studenci oglądali prezentacje krok po kroku wyjaśniające, jak rozwiązać kilka trudnych problemów matematycznych. W trakcie demonstracji nosili czepki z elektrodami, które umożliwiały śledzenie aktywności elektrycznej ich mózgów. Po każdej prezentacji raportowali, czy zrozumieli materiał oraz jak bardzo czuli się zaangażowani. Zachęcaliśmy ich do uważnego obejrzenia prezentacji, informując, że później będą musieli wyjaśnić problem.

Odkryliśmy, że osoby z większym doświadczeniem matematycznym wykazywały znacząco inną aktywność mózgu niż pozostałe. Na przykład studenci kierunków niezwiązanych z matematyką wykazywali bardziej złożoną aktywność w korze przedczołowej – obszarze mózgu zaangażowanym w różnorodne wysiłki poznawcze. Może to wskazywać, że musieli włożyć dużo wysiłku w zrozumienie kolejnych kroków skomplikowanych wywodów matematycznych.

Jednak szczególnie interesujące było badanie osób, które regularnie angażowały się w rozumowanie ilościowe. Odkryliśmy znaczącą aktywność łączącą obszary czołowe i ciemieniowe ich mózgów. Te obszary wykazywały wzorce aktywności nazywane falami delta – bardzo wolnymi falami elektrycznymi, które zazwyczaj kojarzone są z głębokim snem. Oczywiście ci uczestnicy byli w pełni przytomni i zaabsorbowani zadaniem – co więc działo się w ich mózgach?

Najnowsze badania świadczą, że te „senne" fale delta mogą odgrywać kluczową rolę w procesach poznawczych wspierających głęboką wewnętrzną koncentrację oraz transfer informacji między odległymi regionami mózgu. Na przykład niektóre badania wykazały, że u doświadczonych medytujących pojawiają się podobne fale delta podczas medytacji. Być może wzorce aktywności mózgu podczas medytacji, rozwiązywania problemów matematycznych i snu są podobne, ponieważ w każdym z tych przypadków mózg musi tłumić zbędne myśli, aby skoncentrować się na zadaniu.

Podejrzewamy, że fale delta, które zaobserwowaliśmy, mogą odgrywać główną rolę wtedy, gdy ludzie angażują się w złożone i kontekstowe rozwiązywanie problemów. Na przykład odkryliśmy, że tancerze i muzycy wykazują podobne fale delta podczas oglądania tańca lub słuchania muzyki, co wskazuje, że angażowanie sieci mózgowych w ten sposób może być użyteczne w wielu zadaniach wymagających koncentracji. Najprawdopodobniej wtedy, gdy osoby z dużym doświadczeniem w danej dziedzinie głęboko angażują się w swoje zadania, pojawiają się te same wolne fale delta, nawet jeśli konkretne sieci mózgowe się różnią. Niewykluczone też, że ten stan intensywnej koncentracji może być uniwersalny: rozwinięcie tego sposobu myślenia w jednej dziedzinie – czy to podczas rozwiązywania równań trygonometrycznych, czy gry na skrzypcach – może pomóc w innych obszarach.

Chociaż nasze eksperymenty dotyczyły studentów, a nie na przykład wybitnych matematyków czy laureatów Nagrody Nobla, różnice w aktywności mózgu, które zaobserwowaliśmy, są świadectwem potęgi praktyki w zdobywaniu umiejętności. Nasi uczestnicy nie różnili się znacząco pod względem IQ czy poziomu lęku przed matematyką, a jednak powtarzanie i świadoma nauka uczyniły niektórych z nich mistrzami rozumowania ilościowego.

Odkrycia te wskazują również na kompromisy, które warto rozważyć – szczególnie w czasach, gdy sztuczna inteligencja i inne podobne jej narzędzia oferują kuszące ułatwienia w rozwiązywaniu problemów. Za każdym razem, gdy wyręczamy się kalkulatoem lub prosimy o streszczenie eseju ChatGPT, tracimy okazję do doskonalenia własnych umiejętności i praktykowania głębokiej koncentracji. Narzędzia te mogą poprawiać naszą skuteczność, ale pozornie „nieefektywna" praca, którą samodzielnie wykonujemy, może być równie cenna.

Gdy patrzymy, jak ludzie gorączkowo przeskakują między zadaniami i jak chętnie zlecają ich rozwiązywanie sztucznej inteligencji, nasuwa się pytanie: co stanie się z naszą kreatywnością i zdolnością do rozwiązywania złożonych problemów, jeśli oduczymy się korzystania z głębokiej koncentracji? A możliwe, że teraz bardziej niż kiedykolwiek będziemy potrzebować takiego trybu myślenia, aby sprostać coraz trudniejszym wyzwaniom technicznym, środowiskowym i politycznym. ■



# Co kryje się za znakiem +?

## Burzliwa historia symboli matematycznych

MAX SPRINGER

**W HISTORII BYŁO** wiele konfliktów, ale nie brak ich także w nauce. Do bardziej znaczących, jednak zwykle w historii nauki pomijanych, należy batalia o znak równości, czyli =. Te dwa równoległe odcinki były źródłem poważnego sporu między europejskimi matematykami w połowie XVI wieku, a konflikt ten jest tylko jednym z wielu mało znanych podobnych kontrowersji. Na przykład od wieków trwa debata na temat tego, kto wprowadził symbol zera. W książce *The Language of Mathematics: The Stories behind the Symbols* (Princeton University Press, 2025) matematyk Raúl Rojas omawia wiele przykładów skomplikowanej i czasem zagadkowej historii symboliki matematycznej.

Przez lata konkurujące gremia rozważały przyjęcie różnych notacji w wielu dziedzinach matematyki. Rojas prowadzi nas przez historię matematycznej symboliki, ukazując jej ewolucję jako wynik kulturowych, filozoficznychi i praktycznych aspektów, wynikających z potrzeb społecznych.

„Scientific American" rozmawiał z Rojasem o tej chronologii, głęboko angażującej społeczność matematyczną oraz o indywidualnościach wpływających na kształtowanie języka matematycznego, który dziś uważamy za oczywisty.

Poniżej przedstawiamy zredagowany zapis rozmowy.

**Co zainspirowało Cię do napisania książki o historiach związanych z symbolami matematycznymi?**

Pracuję jako wykładowca od 1977 roku i w tym czasie zauważyłem, że studenci często wykazują zainteresowanie historią matematyki. W trakcie nauki algebry liniowej lub rachunku różniczkowego i całkowego ważne jest także przekazanie informacji o twórcach i genezie tych koncepcji. Zapoczątkowałem seminaria na temat historii notacji matematycznej



eprasa.pl a47be06fd8



i zlecałem zadania polegające na opisaniu historii jednego konkretnego symbolu. Zauważyłem wiele razy, że studenci, którzy zasypiają na moich wykładach, nagle się budzą i wydają zainteresowani, gdy obok abstrakcyjnych symboli pojawia się jakaś ludzka historia.

**W książce piszesz także o symbolach, które ostatecznie nie zostały uznane za standardowe, i dziś nie są w użyciu. Jak rozstrzygano decyzje o wyborze?**

Jedną z interesujących rzeczy w historii notacji matematycznej jest jej regionalna zmienność na przestrzeni wieków. We Włoszech istniał jeden rodzaj notacji, w Niemczech, Wielkiej Brytanii i Francji inny. Wraz z pojawieniem się druku doszło do konfrontacji różnych propozycji. Pojawia się więc pytanie: jak doszło do ich ujednolicenia?

Dobrym przykładem jest symbol równości =. Ta relacja była początkowo wyrażana głównie słowami. Później we Francji Kartezjusz zaczął stosować obrócony symbol Byka (α), a w Niemczech Gottfried Wilhelm Leibniz używał znaku w kształcie klina. Jednak przed Kartezjuszem i Leibnizem walijski matematyk Robert Recorde stosował znak równości, którego używamy dzisiaj, choć był on nieco dłuższy. Dochodziło więc często do swego rodzaju matematycznej bitwy o symbole, o wyniku której rozstrzygała ich popularność. Godną uwagi konkurencją była ta między parami znaków: + i –, a literami *p* i *m*, preferowanymi we Włoszech. Ostatecznie znaki plus i minus stały się uniwersalne, podobnie jak angielski symbol równości, ale dopiero po dziesięcioleciach rywalizacji, której wynik wyznaczyło ich rozpowszechnienie.

**Czy istnieje jakiś szczególny symbol w historii matematyki, który znacząco wpłynął na sposób myślenia o abstrakcyjnych koncepcjach?**

Istnieje jeden symbol, który ma wyjątkowo długą i nie w pełni wyjaśnioną historię: 0. Wiemy, że z jego namiastki korzystali Babilończycy, tzn. nie pisali 0, ale używając systemu sześćdziesiątkowego po prostu pozostawiali puste miejsce tam, gdzie dziś postawilibyśmy 0. To naturalny sposób: skoro nie ma nic, to nie trzeba nic pisać.

Później, w wyniku podbojów Aleksandra Wielkiego, Grecy zaszczepili system pozycyjny w Indiach, gdzie zapewne po raz pierwszy pojawił się znak 0. Istnieje przyjacielska rywalizacja między antropologami: co kilka lat któryś z nich znajduje starszą inskrypcję z zerem. To fascynujące, że historia tego powszechnie używanego prostego symbolu obejmuje tysiące lat.

**Opisujesz kwantyfikator „dla wszystkich" (∀) autorstwa Gerharda Gentzena jako „kubistyczną łzę pod okiem, którą mógłby namalować Picasso". Jaka historia wiąże się z tym symbolem?**

Życie Gentzena uważam za niezwykle tragiczne. Był genialnym matematykiem, który, podobnie jak wielu innych w nazistowskich Niemczech, już w 1933 roku wstąpił do Sturmabteilung, mimo że nikt go to tego nie zmuszał, a następnie w 1937 poszedł na kompromis z reżimem. Chociaż nigdy nie był politykiem, został członkiem partii nazistowskiej. Później dołączył do SS — najbardziej przestępczego ramienia reżimu Hitlera – i uczestniczył w pracach nad pociskiem rakietowym V-2. Był bardzo pochłonięty swoją pracą. Zapisał się do nazistów tylko po to, by awansować. Po wojnie nie wyrażał skruchy, twierdząc z uporem, że ani nie był żołnierzem, ani nie robił nic złego. Był jednak w czasie okupacji niemieckiej wykładowcą na niemieckim Deutsche Karls-Universität, przemianowanym następnie na Frontuniversität w Pradze. Po wojnie nie zbiegł, został pojmany; zmarł z głodu i chorób w więzieniu.

Nie ma usprawiedliwienia dla jego postępowania, ale jego krótkie życie (niespełna 36 lat) pozostaje tragiczne od początku do końca – zwłaszcza, jeśli uwzględnić, co mógłby osiągnąć, gdyby obrał inną drogę. Za prostym symbolem, odwróconym A, kryje się więc poruszająca historia.

**Czego, Twoim zdaniem, czytelnicy – zwłaszcza ci niezwiązani z matematyką – mogą nauczyć się z Twojej książki?**

Ważne jest, aby zrozumieć, że matematyka – podobnie jak wiele nauk społecznych i polityka – jest procesem historycznym. Nie powstała kompletna i skończona dzięki pracy jednego uczonego; ma historię kulturową obejmującą setki lat – od zapatrzenia w niebo do gapienia się w ekran komputera. W szkole uczymy się dodawania i mnożenia, ale nie poznajemy pochodzenia i historii symboli. Ta wielka historia pozostaje nieopowiedziana. To ogromna szkoda, ponieważ ekscytacja płynąca z uprawiania matematyki bierze się z m.in. poczucia, że buduje się na fundamencie stworzonym przez fascynujących ludzi na przestrzeni tysięcy lat. ■

**Max Springer** jest doktorantem matematyki stosowanej na University of Maryland; w 2024 roku był stypendystą AAAS Mass Media w „Scientific American".

*Ilustracja Shideh Ghandeharizadeh*



eprasa.pl a47be06fd8

# Z Hamiltonem...

po kropkach

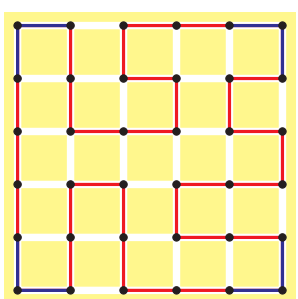
MAREK PENSZKO

**JAK POWSTAJE NOWY RODZAJ** logicznej łamigłówki diagramowej? Odpowiedzi osób wymyślających takie zadania różniłyby się zapewne w szczegółach, ale ogólnie byłyby zgodne z następującym schematem.

Na początku mamy zbiór elementów (cyfr, liter, figur itp.) tworzących jakiś układ – jeden z wielu możliwych. Ułożenie łamigłówki polega na wybraniu takich informacji o tym układzie oraz/lub wskazaniu takich jego fragmentów, których ujawnienie – w sytuacji, gdy pozostała część układu zostanie „ukryta" – umożliwi rekonstrukcję całości. Idealnym przykładem takich powiązań jest popularne od kilkunastu lat sudoku, w którym informacje dotyczą sposobu rozmieszczenia 81 cyfr w diagramie, a ujawnionymi fragmentami – podpowiedziami są niektóre cyfry.

Rodzaj elementów stanowi podstawę klasyfikacji zadań. Sudoku jest rodzajem w ramach rodziny łamigłówek logicznych, które polegają na wpisywaniu cyfr. Z kolei rodzaje sudoku, których są dziesiątki, stanowią – na podobieństwo systematyki organizmów – jego „gatunki".

Inna rodzina obejmuje zadania, których elementami są odcinki tworzące linię łamaną. Do jednego z rodzajów w ramach tej rodziny należą łamigłówki z cyklem, czyli linią łamaną zamkniętą. Rekonstrukcja przebiegu tej linii jest w nich celem, natomiast różne są informacje umożliwiające osiągnięcie celu. Tym razem mowa będzie o najpospolitszym „gatunku" – korzystającym z kwadratowego pokratkowanego diagramu, czyli fragmentu siatki kwadratowej, na której łamaną tworzą poziome i pionowe odcinki, pokrywające się z bokami kratek. Ściślej, chodzi o „podgatunek", w którym łamana zalicza, jak w przykładzie (*rys. 1*), wszystkie węzły siatki, ale **każdy tylko raz**. Takie łamigłówki zwane są hamiltonowskimi, bo jeśli zbiór punktów połączony jest linią zamkniętą, goszczącą tylko raz w każdym punkcie, to taka linia zwana jest cyklem Hamiltona, a punkty i linia łącznie – grafem Hamiltona.

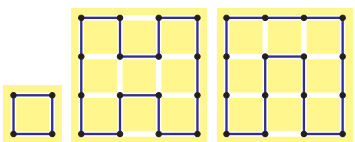


Rys. 1

* * *

Wstępny problem, dotyczący wszystkich zadań hamiltonowskich, polega na ustaleniu możliwej liczby cykli (a więc rozwiązań) dla kwadratowych układów złożonych z $n^2$ punktów (węzłów siatki kwadratowej), czyli $n \times n$. Ściślej, chodzi o całkiem różne cykle, tzn. z pominięciem obrotów i odbić (ten problem obliczeniowy stanowi od dawna temat prac naukowych). Ograniczenie do kwadratu wynika z faktu, że jest to typowy format łamigłówek diagramowych. Ponieważ warunkiem istnienia cyklu jest parzyste $n$, więc praktycznie rozpatrywane są układy $2n \times 2n$, dla $n$=1, 2, 3, ... . Można sprytnie dowieść, że parzystość jest konieczna. Wystarczy oznaczyć punkty siatki dwoma kolorami jak szachownicę i zauważyć, że na cyklicznej drodze różne kolory występują na przemian – a tak nie będzie przy nieparzystej liczbie punktów.

Liczenie cykli jest trywialne dla $n$=1 i 2 (jeden cykl i dwa – *rys. 2*). Dalej ich liczba bardzo szybko rośnie, ale dokładny wzór określający tę „szybkość" nie jest znany. Cykl na rys. 1 jest jednym ze 149 możliwych dla $n$=3 (układ 6×6). Dla $n$=4, czyli układu 64 punktów (8×8), pojawia się ponad pół miliona cykli. Jest więc w czym wybierać, jeśli chodzi o liczbę możliwych rozwiązań, zwłaszcza że diagramy 8×8 i 10×10 są typowe dla łamigłówek; dla tego większego formatu asortyment rozwiązań przekracza 58 mld (dla sudoku to „tylko" niespełna 5,5 mld).

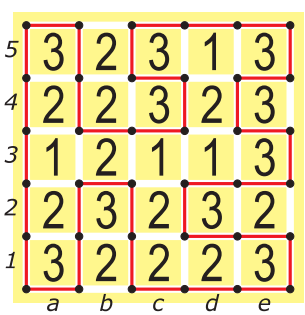


Rys. 2

* * *

Pokropka, czyli najbardziej znana „zapętlona" łamigłówka, była tematem *Umysłu giętkiego* przed dekadą. Wprawdzie pętla nie jest w niej cyklem Hamiltona, a ściślej – nie musi być, ale można ją hamiltonowską uczynić, dodając w instrukcji warunek, aby taką była.

Zabawmy się w autora zadania i załóżmy, że rozwiązaniem hamiltonowskiej pokropki ma być linia z rys. 1. Podpowiedziami umożliwiającymi rozwiązanie powinny być umieszczone w niektórych kratkach cyfry z zakresu od 0 do 3. Każda cyfra oznacza, ile boków danej kratki musi być odcinkami łamanej. Na rys. 3 cyfry znajdują się we wszystkich kratkach, a celem jest usunięcie jak największej ich liczby tak, aby pozostałe utworzyły łamigłówkę z jednym rozwiązaniem, czyli jednoznacznym przebiegiem łamanej – takim, jak na rys. 3.




Rys. 3

Hamiltonowski warunek jest dodatkową informacją, umożliwiającą ujawnienie większej liczby elementów. Inaczej mówiąc, wzbogacony zostaje sposób rozwiązywania, który wiąże się z niektórymi układami cyfr. Podstawą jest wniosek wynikający z faktu, że powstaje cykl, co w zwykłej wersji oznacza, że z każdej kropki powinny wychodzić albo dwa odcinki, albo żaden. W wersji hamiltonowskiej natomiast zawsze muszą wychodzić dwa. Zatem jeśli na części diagramu układ cyfr byłby na przykład taki jak na rys. 4a, to zwykła wersja pozwalałaby tylko na oznaczenie fragmentów cyklu takich, jak na rys. 4b, a hamiltonowska – jak na rys. 4c. Poza tym już na początku można oznaczyć odcinki pętli w rogach diagramu (*niebieskie na rys. 1*) – i wiadomo, które końce tych fragmentów powinny zostać ze sobą połączone. Połączeniami są na rys. 1 cztery czerwone fragmenty łamanej.

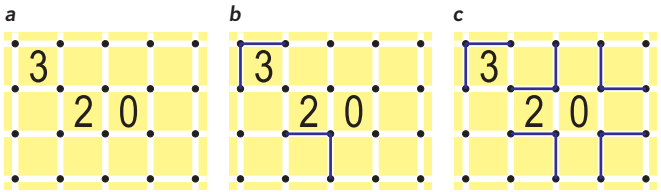
Czy w związku z tym pozostawienie tylko czterech cyfr – po jednej w sąsiedztwie każdego z tych

**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".



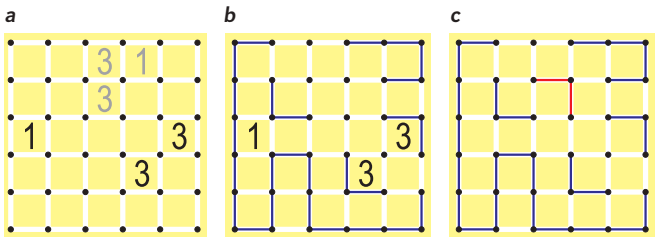
*Ilustracje Marek Penszko*

eprasa.pl a47be06fd8




Rys. 4

fragmentów – zapewniłoby jednoznaczny ich przebieg, a zatem utworzenie łamigłówki z jednym rozwiązaniem?




Rys. 5

Z tym problemem próbowali uporać się rozwiązujący to zadanie zamieszczone pod koniec marca br. w *Łamiblogu*. Korzystano oczywiście głównie z metody prób i błędów. Okazało się, że wystarczy pozostawić cztery cyfry – na przykład trzy czarne i dowolną z trzech szarych na rys. 5a (nie każdy z czterech czerwonych fragmentów łączących na rys. 1 jest tu „obsługiwany" przez inną cyfrę – dwie trójki są przy prawym fragmencie, a przy dolnym nie ma żadnej cyfry). Można więc utworzyć przynajmniej trzy różniące się nieznacznie łamigłówki z czterema cyframi i jednym rozwiązaniem – wszystkie łatwe, a to skłania do prób ograniczenia liczby ujawnionych cyfr do trzech.

Niestety, trzy cyfry nie wystarczą. Czy to znaczy, że aby dowolna hamiltonowska pokropka 6×6 (36 kropek) miała tylko jedno rozwiązanie, musi mieć ujawnione przynajmniej cztery cyfry (minimalną liczbę elementów gwarantujących jedno rozwiązanie brytyjski matematyk John Nelder nazwał zbiorem krytycznym)? Na to wygląda, bo diagram zadania 6×6 z trzema cyframi nie jest znany – ale pewności nie ma. Zagadnienie minimum informacji można uogólnić na diagramy $2n \times 2n$ dla dowolnego $n$. Warto przypomnieć, że zbiorem krytycznym w sudoku jest 17 cyfr, tzn. każde klasyczne sudoku z mniej niż 17 ujawnionymi cyframi ma więcej niż jedno rozwiązanie.

* * *

Jeśli na rys. 5a usuniemy wszystkie szare cyfry, to pozostałe trzy umożliwią jednoznaczne oznaczenie sporej części pętli (*niebieskie na rys. 5b*), ale dalszy przebieg linii może być różny: taka 3-cyfrowa pokropka ma w sumie 5 rozwiązań. Gdyby natomiast z rys. 5b usunąć także trzy czarne cyfry, a dodać czerwony fragment, wtedy powstałby inny rodzaj pokropki znany pod różnymi nazwami, z których trafną wydaje się „cyklopka" (zbitka cyklu z kropką i zabawne skojarzenie z jednookim mitycznym olbrzymem).

Jak widać w cyklopce, w przeciwieństwie do pokropki, zamiast podpowiedzi pośrednich, czyli liczb, ujawnione są bezpośrednio fragmenty pętli. Rozwiązywanie polega tylko na ich

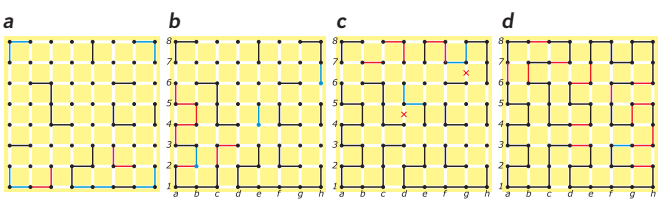
REKLAMA




eprasa.pl a47be06fd8

łączeniu, więc strategia cyklopki wydaje się nieco uboższa, ale oczywiście nie tak prosta, jak w przypadku zadania na rys. 5c, gdzie względna łączna długość ujawnionych fragmentów stanowi prawie połowę całej długości łamanej, podczas gdy w typowych zadaniach z reguły nieznacznie przekracza 10%. Ponadto strategia bywa pod pewnymi względami bogatsza, bo możliwe jest ujawnianie fragmentów o takim kształcie, który nie pojawi się dzięki cyfrom w pokropce. Elementy tej strategii prześledzimy na przykładzie.

Zadanie (diagram 8×8, 64 kropki) tworzą czarne linie na rys. 6a (12,5% całej długości cyklu). Kolorowe to dwuetapowy początek rozwiązywania, polegający na korzystaniu z podstawowej strategii zwanej dwójkową, czyli oznaczaniu odcinków wychodzących z kropek, z których wyprowadzenie pary odcinków jest jednoznaczne. W pierwszym etapie rysowane są niebieskie odcinki, a po nich w drugim etapie – czerwone. Przed kolejnym etapem zaczerniamy wszystkie kolorowe odcinki, tworząc jakby nowe zadanie (*czarne linie na rys. 6b*). Teraz można zastosować tzw. strategię trójkową do każdego z trzech niebieskich punktów (b2, e4, h6). Z każdego z tych punktów należy wyprowadzić dwa z trzech możliwych odcinków, ale w każdym przypadku jedna para prowadzi do błędu. Punktu b2 nie można obsłużyć parą łączącą a2 z c2, bo połączenie to zamyka obwód, a zatem musi pojawić się odcinek b2-b3. Przy punkcie e4 należy wykluczyć połączenie d4-e4-e3, bo to eliminuje z cyklu punkt d3, czyli należy oznaczyć odcinek e4-e5. Natomiast połączenie g6-h6-h5 powoduje zamknięcie pętelki łączeniem f5-g5-g4 – a to wymusza odcinek h6-h7. W tym etapie pojawiają się więc na rys. 6b trzy niebieskie odcinki, co z kolei umożliwia zastosowanie strategii dwójkowej do punktów c3 i b4, potem strategii jedynkowej (jedno możliwe połączenie) dające odcinki a2-b2 i a3-a4 i znowu dwójkowej do punktu a5. Efektami tej serii operacji są czerwone odcinki na rys. 6b.



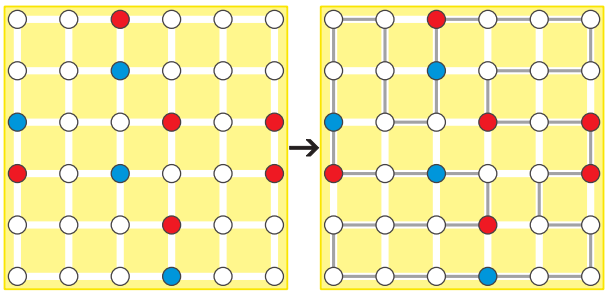

Rys. 6

Po zaczernieniu utworzonych odcinków nowy czarny układ (*rys. 6c*) wymaga zastosowania bardziej dalekosiężnej strategii wykluczającej. Niemożliwe są dwa połączenia przekreślone czerwonym krzyżykiem, ponieważ: g6-g7 prowadzi do pojawienia się pętelki (kratki) fg-45, a d4-d5 odcina drugie połączenie punktowi d3 lub e4. To zaś wymusza najpierw niebieskie, a potem czerwone linie na rys. 6c.

Teraz pełne zaczernienie (*rys. 6d*) ujawnia blisko 43% długości całego cyklu, ale w układzie nie da się już skorzystać bezpośrednio z którejś z dotąd stosowanych strategii. Logika wymaga spostrzegawczości: należy zauważyć, że odcinek e3-f3 uniemożliwiałby włączenie w cykl jednego z trzech punktów – d3, d4 lub e4. Stąd na rys. 6d musi pojawić się niebieski odcinek f3-g3, a po nim następuje seria czerwonych, z wykorzystaniem jedynkowej lub dwójkowej strategii, aż do pełnego rozwiązania.

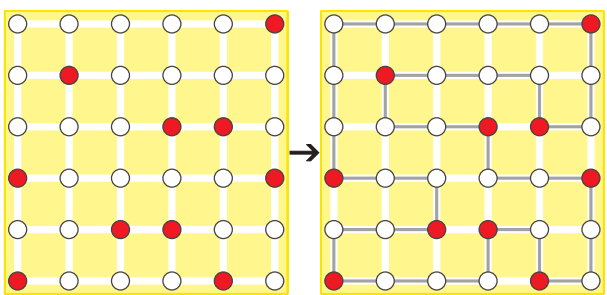
* * *

Często stosowanym kluczem do rozwiązywania hamiltonowskich łamigłówek jest zachowanie się linii w kropkach. W tym



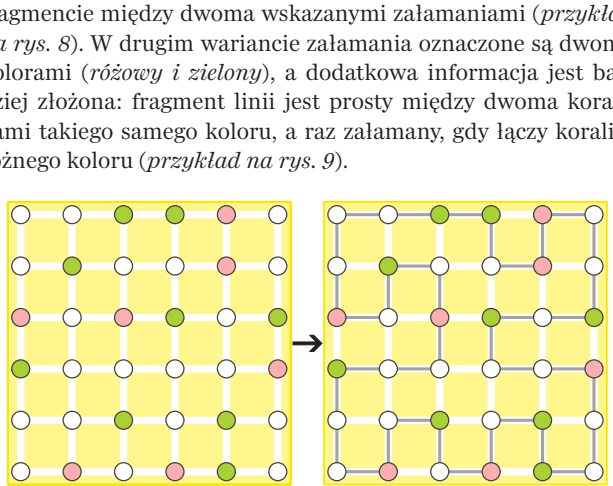
Rys. 7

przypadku ze względów formalnych wygodnie jest powiększyć kropki, zmieniając je w „koraliki". Możliwości są dwie: albo linia załamuje się w koraliku, albo nie. Wskazanie, co się dzieje w każdym koraliku, nie ma oczywiście sensu – byłoby nadmiarem informacji. Ma sens natomiast wtedy, gdy takie wskazania dotyczą wybranych koralików. Tak właśnie jest w zadaniach zwanych holenderską pętlą. Prosty przykład na rys. 7: w czerwonych koralikach linia załamuje się, w niebieskich nie zmienia kierunku, a białe nie podlegają żadnym „rygorom". Tu także pojawia się problem zbioru krytycznego: czy liczba kolorowych koralików na rys. 7 jest najmniejszą, zapewniającą jedno rozwiązanie?. Okazuje się, że nie. Można bez utraty jednoznaczności „wybielić" niektóre z nich; przynajmniej trzy.



Rys. 8

Kilka rodzajów hamiltonowskich zadań można uznać za warianty holenderskiej pętli. W jednym z nich oznaczane są tylko załamania (*czerwony*) oraz podana jest dodatkowa informacja: linia załamuje się także w jednym i tylko jednym koraliku na fragmencie między dwoma wskazanymi załamaniami (*przykład na rys. 8*). W drugim wariancie załamania oznaczone są dwoma kolorami (*różowy i zielony*), a dodatkowa informacja jest bardziej złożona: fragment linii jest prosty między dwoma koralikami takiego samego koloru, a raz załamany, gdy łączy koraliki różnego koloru (*przykład na rys. 9*).



Rys. 9



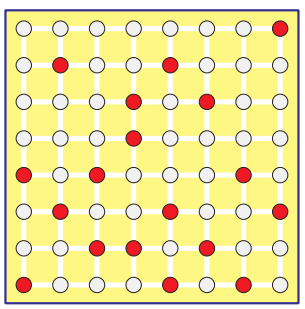
eprasa.pl a47be06fd8

W innych hamiltonowskich łamigłówkach reguły bywają bardziej skomplikowane. Przykładem są zadania konkursowe 3 i 4.

## ZADANIA

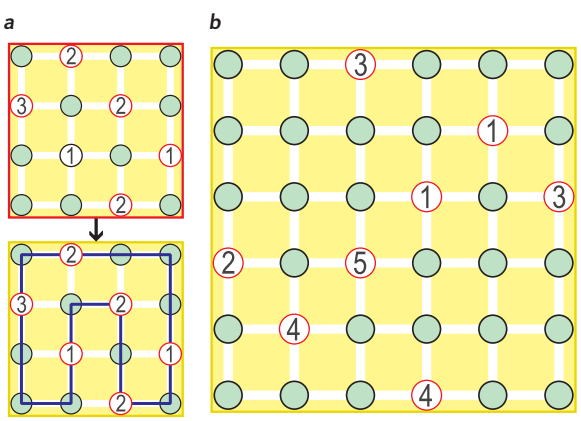
**1.** Pozostawienie tylko czterech z 25 cyfr na rys. 3 tworzy hamiltonowską pokropkę z jednym rozwiązaniem (*czerwona linia*). Na rys. 5a podane są trzy przykłady otrzymanej w ten sposób łamigłówki – w każdym z nich trzy czarne cyfry nie zmieniają miejsca, a uzupełnia je jedna z trzech szarych. Proszę znaleźć inny przykład pokropki hamiltonowskiej z czterema cyframi, utworzony w ten sam sposób, czyli przez usunięcie 21 cyfr z rys. 3. Jednak w przykładzie żadna z czterech pozostawionych cyfr nie może być trójką, a pokropka powinna mieć oczywiście jedno rozwiązanie. W rozwiązaniu wystarczy podać współrzędne pozostawionych cyfr (*wg oznaczeń na rys. 3*).

**2.** Zadanie (*rys. 10*) jest wariantem holenderskiej pętli opisanej w artykule i zilustrowanej przykładem (*rys. 8*). Jako rozwiązanie wystarczy podać, ile razy załamuje się pętla w koralikach przy brzegach diagramu.



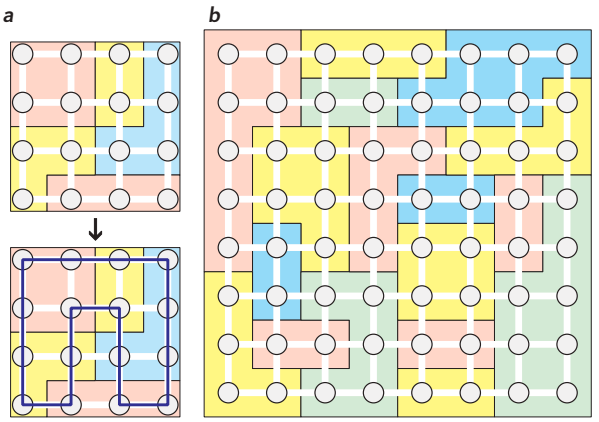
Rys. 10

**3.** Proszę oznaczyć na rys. 11b przechodzący białymi korytarzami przez wszystkie koraliki cykl Hamiltona, który będzie spełniał następujący warunek: fragment cyklu między dwoma liczbami powinien załamywać się w tylu koralikach, ile wynosi różnica tych liczb (*przykład na rys. 11a*). Jako rozwiązanie wystarczy podać ogólną liczbę załamań cyklu.



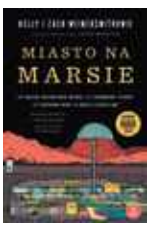

Rys. 11

**4.** Cykl Hamiltona, który należy wyznaczyć na koralikach (*rys. 12b*) powinien **dwukrotnie** gościć w każdym kolorowym obszarze – jak w przykładzie (*rys. 12a*), czyli wszystkich koralików w żadnym z tych obszarów nie wolno zaliczyć jednym przejściem – trzeba dwoma. Jako rozwiązanie wystarczy podać ogólną liczbę załamań cyklu.




Rys. 12

*Rozwiązania prosimy nadsyłać do 30 czerwca 2025 roku pocztą elektroniczną (*redakcja@swiatnauki.pl*), wpisując w temacie e-maila hasło* ***UG 06/25****. Spośród autorów poprawnych rozwiązań przynajmniej dwóch zadań wyłonimy pięciu zwycięzców i nagrodzimy ich książką Kelly i Zacha Weinersmithów* Miasto na Marsie *ufundowaną przez Wydawnictwo Insignis. Warunkiem udziału w konkursie jest zamieszczenie w e-mailu z odpowiedzią oświadczenia:*




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

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

### ROZWIĄZANIA ZADAŃ Z NUMERU KWIETNIOWEGO

**1.** 8, 36, 64 (trzy potęgi tworzące ciąg arytmetyczny rosnący, których suma jest najmniejsza).

**2.** 3969, 27, 9 (trzy potęgi tworzące ciąg malejący, w którym druga jest sumą cyfr pierwszej, a trzecia sumą cyfr drugiej).

**3.** Potęga między liczbami bliźniaczymi musi być parzystym kwadratem $q^2$, czyli liczba bliźniacza o 1 od niej mniejsza jest iloczynem $(q-1)(q+1)$, a ten jest liczbą pierwszą tylko dla $q=2$, zatem potęga między liczbami bliźniaczymi $q^2=4$.

**4.** Najmniejszą sumą liczb $m+k$, dla której potęga $m^k$ jest $n$-cyfrowa, a potęga $m^{k+1}$ nie jest ani $n$-cyfrowa, ani $(n+1)$-cyfrowa, jest 20 (np. $m=15$, $k=5$; $15^5=759\,375$, $15^6=11\,390\,625$).

**5.** Jeden z ośmiu możliwych tercetów: 64, 961, 1000 (potęgi 2-, 3- i 4-cyfrowa, dające sumę 2025).

Za poprawne rozwiązanie przynajmniej trzech zadań książkę popularnonaukową otrzymują: Zbigniew Kapusta z Banina, Daniel Kłobuszewski z Warszawy, Kamil Koc z Zielonki, Tomasz Kusiak z Węgrzców Wielkich i Krzysztof Szeruga z Wrocławia.

### Rozwiązanie zagadki matematycznej ze strony 12

Ścianki kostki oznaczone są oczkami w liczbie: 0, 0, 0, 6, 6, 6 (czyli trzy ścianki pozostają puste). Przy takich oznaczeniach istnieją dokładnie trzy możliwości wyrzucenia dwiema kośćmi każdej sumy od 1 do 12, a więc prawdopodobieństwo jest dla każdej sumy jednakowe i wynosi 3/36 = 1/12.



eprasa.pl a47be06fd8

# Zagadka długowieczności

## Dlaczego niektóre gatunki żyją dłużej od innych?

Tekst CLARA MOSKOWITZ | Grafika MARK BELAN

**PEWNE GATUNKI WYDAJĄ SIĘ ŻYĆ SZYBKO I UMIERAĆ MŁODO.** Inne „jakby się nie starzały”, mówi João Pedro de Magalhães, biolog molekularny z University w Birmingham w Anglii. Jest on liderem projektu Human Ageing Genomic Resources, który prowadzi bazę danych AnAge dotyczącą maksymalnej długości życia zwierząt. Niektóre gatunki żółwi, ryb i salamander, na przykład, w miarę upływu lat nie wykazują żadnych oznak degeneracji ani starzenia się. Gdyby nie padły ofiarą drapieżników, wypadków lub chorób zakaźnych, mogłyby, jak mówi Magalhães, żyć niezwykle długo.

„To biologiczna zagadka, dlaczego niektóre gatunki starzeją się szybciej od innych — stwierdza Magalhães. – Wciąż słabo rozumiemy mechanizmy starzenia.”

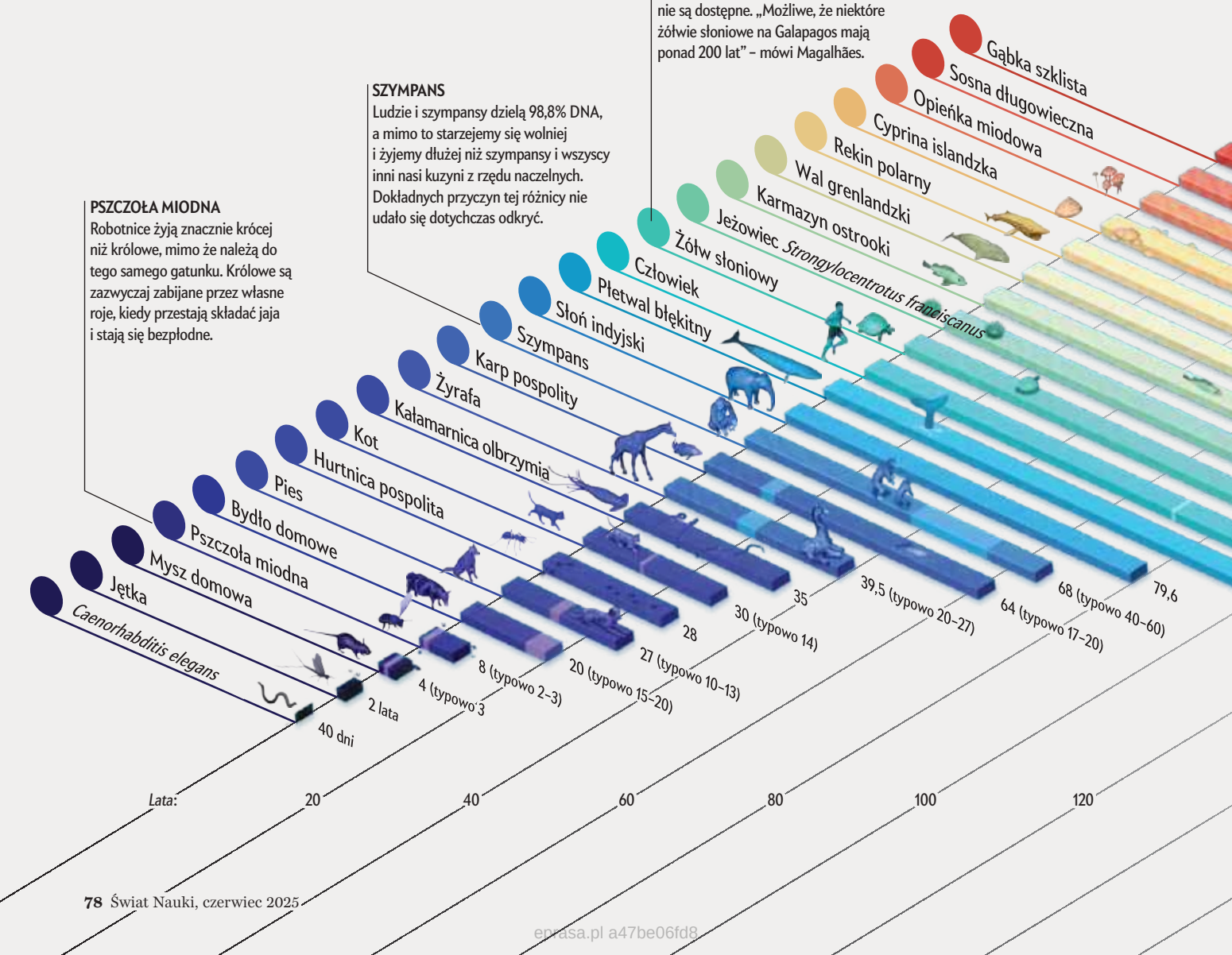
Gatunki, które są bardziej narażone na drapieżnictwo, zwykle ewoluują w kierunku szybkiego wzrostu i osiągania dojrzałości płciowej w młodym wieku. Inne organizmy, które nie muszą wcześnie się rozmnażać, mogą starzeć się wolniej: choćby rekiny polarne (będące na szczycie łańcucha pokarmowego) mogą potrzebować aż 150 lat, by osiągnąć dojrzałość płciową.

Uważa się, że o długości życia decydują m.in. mutacje DNA – gatunki długowieczne mają zwykle lepiej rozwinięte systemy naprawy DNA, co pomaga im chronić się przed rakiem. Krótkowieczne stworzenia, takie jak myszy, nie mają takich zdolności, ponieważ na wolności, zanim nowotwory staną się problemem, często są zabijane przez drapieżniki, Jednak myszy hodowane w laboratoriach wykazują bardzo wysokie wskaźniki zachorowania na raka. ■

**ŻÓŁW SŁONIOWY**
Oficjalnie udokumentowana długość życia tego stworzenia wynosi 177 lat, ale to po prostu maksymalny wynik, jaki zmierzono, ponieważ wcześniejsze dane nie są dostępne. „Możliwe, że niektóre żółwie słoniowe na Galapagos mają ponad 200 lat” – mówi Magalhães.

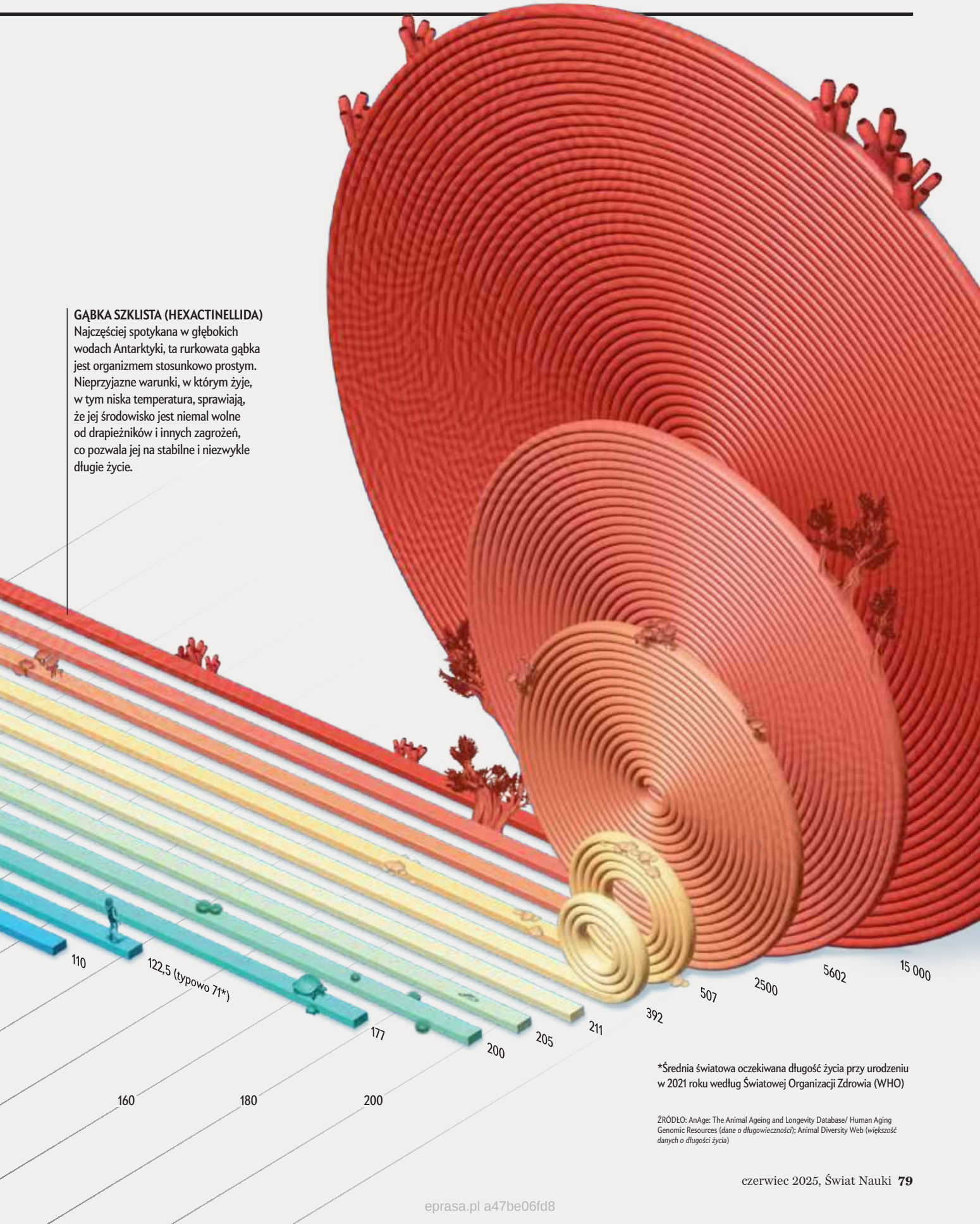
**SZYMPANS**
Ludzie i szympansy dzielą 98,8% DNA, a mimo to starzejemy się wolniej i żyjemy dłużej niż szympansy i wszyscy inni nasi kuzyni z rzędu naczelnych. Dokładnych przyczyn tej różnicy nie udało się dotychczas odkryć.

**PSZCZOŁA MIODNA**
Robotnice żyją znacznie krócej niż królowe, mimo że należą do tego samego gatunku. Królowe są zazwyczaj zabijane przez własne roje, kiedy przestają składać jaja i stają się bezpłodne.






epnasa.pl a47be06fd8




**GĄBKA SZKLISTA (HEXACTINELLIDA)**
Najczęściej spotykana w głębokich wodach Antarktyki, ta rurkowata gąbka jest organizmem stosunkowo prostym. Nieprzyjazne warunki, w którym żyje, w tym niska temperatura, sprawiają, że jej środowisko jest niemal wolne od drapieżników i innych zagrożeń, co pozwala jej na stabilne i niezwykle długie życie.

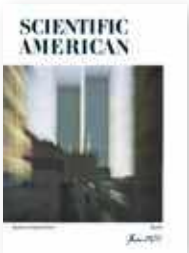
*Średnia światowa oczekiwana długość życia przy urodzeniu w 2021 roku według Światowej Organizacji Zdrowia (WHO)

ŹRÓDŁO: AnAge: The Animal Ageing and Longevity Database/ Human Aging Genomic Resources (*dane o długowieczności*); Animal Diversity Web (*większość danych o długości życia*)



eprasa.pl a47be06fd8

# 50, 100 i 150 lat temu




## NIEWOLNICTWO U MRÓWEK A SAMODESTRUKCJA

**1975** „Instytucja niewolnictwa nie występuje wyłącznie u ludzkich społeczeństw. Co najmniej 35 gatunków mrówek w pewnym stopniu polega na pracy niewolniczej. Techniki, za których pomocą napadają one inne mrówcze kolonie, by wzmocnić swoją siłę roboczą, należą do najbardziej wyrafinowanych zachowań w świecie owadów. Większość gatunków praktykujących niewolnictwo jest tak wyspecjalizowana w roli najeźdźców, że pozbawiona swoich niewolników ginie z głodu. Razem te gatunki przedstawiają ewolucyjny ciąg, który zaczyna się od okazjonalnych najazdów kolonii prowadzących niezależny tryb życia, przechodzi przez stadium rozwiniętych społeczeństw wojowników i kończy na takim poziomie degeneracji, że robotnice nie potrafią już nawet same przeprowadzić najazdu.

— Edward O. Wilson”

## REKORDOWA SERIA TORNAD

„Wiosną i wczesnym latem tornada najczęściej występują na obszarze między Zatoką Meksykańską a Jeziorem Ontario. 3 kwietnia zeszłego roku warunki były sprzyjające. Pierwsze tornado uderzyło o 13:10. Do godziny 5:20 następnego dnia rano przez tereny wiejskie i miasta – od Laurel w stanie Missisipi po Windsor w Ontario – przeszło łącznie 148 tornad, zabijając 315 osób i raniąc 5484. Pod względem rozmiaru i liczby burz była to rekordowa seria tornad wśród dotychczas odnotowanych. Zaraz po katastrofie Theodore Fujita z University of Chicago i jego współpracownicy zorganizowali badania terenowe. Ustalili, że 74% ludzi spośród ofiar śmiertelnych zginęło w budynkach, 17% w przyczepach kempingowych, 6% w samochodach, a 3% w drodze do schronienia.”

W 1971 roku Theodore Fujita i Allen Pearson opracowali skalę Fujity-Pearsona, opisującą intensywność tornad – od 0 (prędkość wiatru poniżej 117 km/h) do 5 (od 420 do 512 km/h).




## NIE NUDŹ SIĘ, KUP MIKROSKOP

**1925** „Problem z wakacjami polega na tym, że bywają zbyt... nudne. Niewiele jest doświadczeń gorszych niż sytuacja, gdy ktoś przebywa na wsi lub nad morzem, ma 24 godziny do zagospodarowania i nic interesującego do zrobienia. Zaradzić nudzie może nauka. Na łonie natury zawsze znajdzie się okazja do prawdziwej naukowej zabawy. W tym numerze opisujemy ciekawe rzeczy, które można zobaczyć tam, gdzie są skały, potoki czy wzgórza. Tłumaczymy też niektóre sekrety chmur. Kolejnym dobrym sposobem na urozmaicenie wakacji jest badanie błota. Na dnie wolno płynących strumieni, małych słodkowodnych stawów, a nawet wypełnionych wodą rowów kryje się bogaty, fascynujący świat mikroskopijnych organizmów. Nauka nazywa je jednokomórkowcami, pierwotniakami, plechowcami i innymi trudnymi terminami. Nie zobaczysz ich gołym okiem – ale za równowartość jednego weekendowego pobytu w umiarkowanie modnym kurorcie możesz kupić mikroskop. A z nim odkryjesz niesamowity świat mieszkańców błota.”



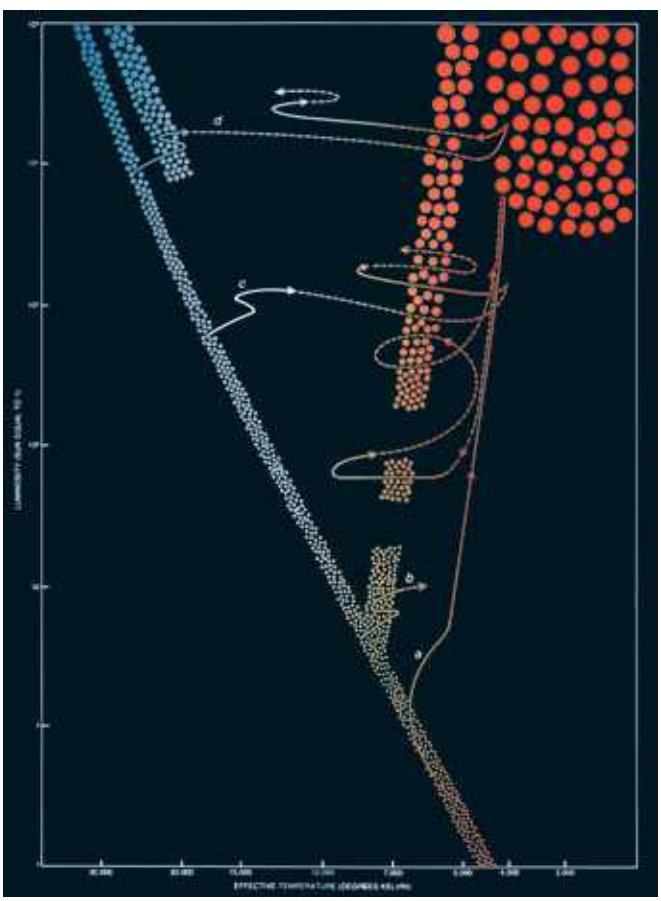
## BIAŁE MRÓWKI ZNISZCZYŁY WYSPĘ ŚWIĘTEJ HELENY

**1875** „Białe mrówki zostały sprowadzone na wyspę Świętej Heleny [na południowym Atlantyku] w 1840 roku wraz z drewnem pochodzącym z jednego ze statków niewolniczych. Pan M’Lachlan zidentyfikował ten gatunek jako *Termes tenuis*, charakterystyczny dla Ameryki Południowej. Zniszczenia, jakich dokonały te owady, są wręcz niewiarygodne – wygląda na to, że stopniowo zrujnowały całe Jamestown. Została przez nie zjedzona znaczna część zbiorów biblioteki publicznej, zwłaszcza literatury teologicznej – destrukcji uległy wnętrza książek, mimo że ich okładki z zewnątrz wyglądały na nienaruszone.”

Dziś owady te znane są pod nazwą *Heterotermes tenuis* – termity podziemne.

## GOTOWANIE NA GAZIE

„Pan B. Giles z Blackheath w Anglii wynalazł kuchenkę gazową. Twierdzi, że przyrządza na niej nawet najdelikatniejsze potrawy i że nie mają one choćby śladowego posmaku produktów spalania gazu.”

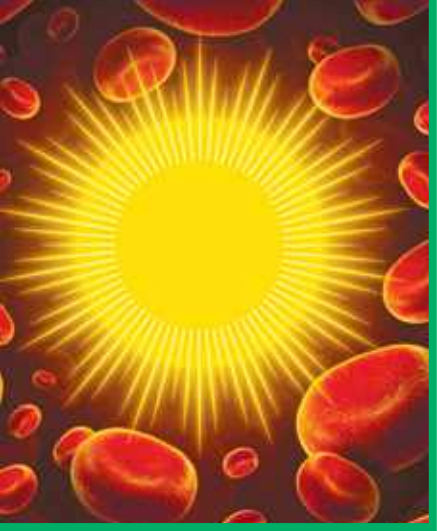


**1975, Klasyfikacja gwiazd:** „Na diagramie Hertzsprunga-Russella kolory i rozmiary kropek przedstawiają widoczne barwy i przybliżone względne rozmiary gwiazd. Większość zwykłych gwiazd znajduje się na ciągu głównym lub w jego pobliżu – od górnego lewego do dolnego prawego rogu wykresu. Im gwiazda masywniejsza, tym wyżej się znajduje. Gwiazdy pulsujące są rozmieszczone zupełnie inaczej – od górnego prawego rogu podążają w dół w stronę ciągu głównego. Gwiazdy osiągają obszary niestabilności, podążając ścieżkami ewolucyjnymi (*strzałki*) przez całe swoje życie.”

„Scientific American”, tom 232, nr 6, czerwiec 1975



eprasa.pl a47be06fd8







# ŚWIAT NAUKI

POLSKA EDYCJA

# SCIENTIFIC AMERICAN

## W NUMERZE LIPCOWYM

Światło słoneczne może wzmocnić nasz układ odpornościowy i zmniejszyć ryzyko niektórych chorób. Odkrycia te zaczęły się od spostrzeżenia, że schorzenia takie, jak stwardnienie rozsiane, występują rzadziej w strefach tropikalnych. Eksperymenty wykazały, że promieniowanie ultrafioletowe o długościach fali, dla których nie występuje ryzyko raka skóry, może pomagać w leczeniu zaburzeń związanych z nadaktywnością układu odpornościowego. O tym w kolejnym numerze,

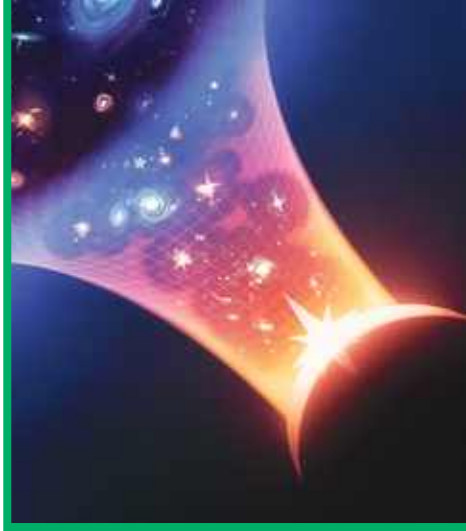
**a ponadto:**

Zobaczyć początki Wszechświata
Walka o arktyczny lód
Destrukcyjne kwantowe bąble
Ewolucja człowieka trwa
Społeczne życie mitochondriów

***Prócz tego:***

Ćwiczenia ulepszą mikrobiom
Czy obcy zdołają nas dostrzec?
Małpie rozmowy na migi
Mężczyźni bardziej romantyczni od kobiet?
Elektryczne wyładowania a życie
Matematyka dzianin
Domowy test płodności

**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 25 czerwca**

eprasa.pl a47be06fd8

UNIWERSYTET WARSZAWSKI

KOLEGIUM MIĘDZYWYDZIAŁOWYCH INDYWIDUALNYCH STUDIÓW MATEMATYCZNO-PRZYRODNICZYCH

MISMaP

# STUDIUJ INTERDYSCYPLINARNIE!

## W UNIWERSYTECIE WARSZAWSKIM

### OPIEKA TUTORA

### INDYWIDUALNY PROGRAM STUDIÓW MIĘDZYOBSZAROWYCH

### DO WYBORU PRZEDMIOTY Z NAUK

**ŚCISŁYCH**

ASTRONOMIA
CHEMIA
CHEMIA MEDYCZNA
FIZYKA
INFORMATYKA
MATEMATYKA
BIOFIZYKA

**PRZYRODNICZYCH**

BIOLOGIA
BIOTECHNOLOGIA
GEOGRAFIA
GEOLOGIA
POSZUKIWAWCZA
GEOLOGIA STOSOWANA
OCHRONA ŚRODOWISKA

**SPOŁECZNYCH**

GOSPODARKA PRZESTRZENNA
PSYCHOLOGIA
SOCJOLOGIA

**HUMANISTYCZNYCH**

BIOETYKA
FILOZOFIA
KOGNITYWISTYKA
PHILOSOPHY
(INTERNATIONAL STUDIES IN PHILOSOPHY)

TEL.: 22 55 43 550 | 22 55 43 551 | 22 55 43 552

WWW.MISMaP.UW.EDU.PL

eprasa.pl a47be06fd8