ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
swiatnauki.pl • projektpulsar.pl

SCIENTIFIC AMERICAN

Lipiec 2025 nr 7 (407)
Cena 16 zł 99 gr (w tym 8% VAT)

Ruszają kopalnie na dnie mórz

Ludzie wciąż ewoluują

Marihuana a nastoletni mózg

Słońce leczy

Promieniowanie UV reguluje działanie układu odpornościowego. I nie chodzi tu wcale o witaminę D

ASTRONOMIA
Szansa na poznanie początków Wszechświata

ŚWIAT NAUKI 7/2025
INDEKS 378194
ISSN 0867-6380
07>

eprasa.pl 4ccaeb0d35



KUP TERAZ

Letnie **łamanie głowy!**

Zagadki logiczne, liczbowe, słowne
i wiedzowe – każdy znajdzie coś dla siebie!

Do kupienia w punktach sprzedaży oraz na sklep.polityka.pl

eprasa.pl 4ccacbcd35

POLSKA EDYCJA
ŚWIAT NAUKI
SCIENTIFIC AMERICAN

LIPIEC 2025
NUMER 7 (407)

MEDYCYNA
28 CZY SŁOŃCE LECZY?
Słońce łagodzi choroby autoimmunologiczne, takie jak stwardnienie rozsiane i cukrzyca typu 1. Teraz naukowcy próbują przekuć to odkrycie w terapię.
ROWAN JACOBSEN

KOSMOLOGIA
38 KOSMICZNY ŚWIT
Eksperymenty prowadzone za pomocą teleskopów nowej generacji mogą sięgnąć do najwcześniejszych epok historii Wszechświata.
REBECCA BOYLE

POCHODZENIE CZŁOWIEKA
46 NASZA EWOLUCJA TRWA
Badania genetyczne dostarczają coraz więcej dowodów, że – wbrew powszechnej opinii – w naszym gatunku zaszły w niedawnej przeszłości ewolucyjnej głębokie zmiany przystosowawcze.
KERMIT PATTISON

SUROWCE NATURALNE
54 RUSZAJĄ KOPALNIE NA DNIE MORZA
Właściciele kontrowersyjnej licencji górniczej rozpoczęli wydobywanie cennych metali z dna oceanu.
WILLEM MARX

ŚRODOWISKO NATURALNE
64 SKAŁY, ROLNICTWO I KLIMAT
Rozsypywanie pokruszonego kamienia na polach uprawnych to niedrogi sposób na usuwanie CO_2 z powietrza i równoczesne zwiększenie plonów. Jednak wiąże się ze znaczną ekspansją górnictwa.
DOUGLAS FOX

TAYLOR ROADES

eprasa.pl 4ccacbcd35

ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
SCIENTIFIC AMERICAN

LIPIEC 2025
NUMER 7 (407)

6 WOKÓŁ NAUKI
Zgonom z przegrzania mogą zapobiec odpowiednie przepisy
REDAKCJA „SCIENTIFIC AMERICAN”

7 FORUM
W obronie niewinności
DAVID GURNEY I JAMES R. MAYER

10 SKANER
Jak matka z córką ◆ Mrówcze zasady ruchu ◆ Magnetyczny zmysł ◆ Skrobiowy plaster ◆ Ratujmy wodorosty ◆ Wiek Księżyca ◆ Językowe strategie

20 ZDROWIE
Ćwiczenia a mikrobiom
LYDIA DENWORTH

21 METRUM
Życie w kolorze
E. M. TEICHMAN

22 SIŁA MYŚLI
Ukryte koszty
ANGELICA PUZIO FERRARA I DYLAN VERGARA

23 MATEMATYKA
Głosowanie nad zmianą wartości π
JACK MURTAGH

26 WSZECHŚWIAT
Co widzą kosmici
PHIL PLAIT

72 SZTUKA RODZICIELSTWA
Marihuana a psychozy u nastolatków
CARRIE E. BEARDEN

74 UMYSŁ GIĘTKI
Dekarchia arytmetyczna
MAREK PENSZKO

78 FAKTOGRAF
Wzburzone wody
CLARA MOSKOWITZ, JEN CHRISTIANSEN, DANIEL P. HUFFMAN

80 ARCHIWUM
Nauka jest ważna ◆ Trafić w cel ◆ Badanie pola magnetycznego ◆ Ulatujące pieniądze ◆ Trujący dymek ◆ Morscy gladiatorzy



6
Pete Ryan


26
Scott Brundage


72
Malte Müller

OKŁADKA



Światło słoneczne pozytywnie wpływa na nasz układ odpornościowy i zmniejszać 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 może pomagać w leczeniu zaburzeń związanych z nadaktywnością układu odpornościowego.

Ilustracja Taylor Callery

Polska wersja okładki Jolanta Kotas

eprasa.pl 4ccacbcd35

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 punktach sprzedaży



InPost

Jak to działa?

- Podczas zakupu wybierasz swój ulubiony InPost Paczkomat.
- 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 4ccacbcd35

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

Szanowni Państwo,

nikt nie ma wątpliwości, że od Słońca zależy istnienie ludzkości. Wiemy też, że jego promieniowanie wpływa na zdrowie każdego człowieka – zarówno pozytywnie, jak i negatywnie. Od razu przychodzi tu na myśl choćby synteza witaminy D, sezonowa depresja, ale też starzenie się skóry, czerniak. Wydawałoby się, że w tym zakresie nic nowego już nie da się odkryć. To pochopne stwierdzenie – najprawdopodobniej czeka nas prawdziwa rewolucja. Okazuje się, że promieniowanie UV będące częścią światła słonecznego może regulować funkcjonowanie naszego układu odpornościowego, zapobiegając chorobom autoimmunologicznym, a także je lecząc. Naukowcy opracowują już terapie takich chorób, jak coraz częściej występujące stwardnienie rozsiane czy cukrzyca typu 1 – metodami tańszymi i skuteczniejszymi od obecnie stosowanych (*s. 28*).

Naukowcy zgadzają się, co do tego, że Wszechświat rozpoczął się od Wielkiego Wybuchu. Ale co działo się potem? To nie są łatwe badania, ale dzięki nowym instrumentom wiele zagadek prawdopodobnie uda się rozwiązać (*s. 38*).

Niedawno jeszcze sądzono, że dobór naturalny, m.in. z powodu rozwoju cywilizacji, w przypadku człowieka od kilku tysięcy lat praktycznie już nie działa, a nasza obecna różnorodność genetyczna jest raczej skutkiem migracji. Najnowsze odkrycia z zakresu genetyki świadczą, że nie jest to prawda (*s. 46*)

Rozpoczyna się eksploatacja oceanicznego dna. Zapotrzebowanie na niezbędne do produkcji urządzeń elektronicznych i samochodów elektrycznych metale nieustannie rośnie, a ich podwodne złoża są według szacunków bardzo bogate. Wydobycie tych minerałów wiąże się jednak z wieloma zagrożeniami dla środowiska, a także dla lokalnych społeczności. Podmorskie kopalnie pilnie wymagają ścisłych regulacji (*s. 54*).

Rolnicy postrzegają niejednokrotnie działania służące ochronie klimatu jako zagrożenie, jednocześnie to właśnie skutki zmiany klimatu (susze, nagłe powodzie) zagrażają rolnictwu. Jak pogodzić doraźne interesy z zabezpieczeniem przyszłości? Jednym ze sposobów jest rozsypywanie na polach rozkruszonych skał, co pozwala wyłapywać z atmosfery dwutlenek węgla, a zarazem podnosić plony.

Życzę 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 4ccacbcd35

Robotyczna romantyczność

– czyli emocjonalne relacje z chatbotami w perspektywie etyki

Bez konfliktów, zdrad i nieporozumień. Emocjonalny związek ze sztuczną inteligencją może wydawać się sielanką. Główny problem polega na tym, że taki związek to fikcja. Czy zawsze należy ją potępiać? Między innymi na to pytanie odpowiedzi poszukiwała dr Emilia Kaczmarek z Wydziału Filozofii Uniwersytetu Warszawskiego.

Potomstwo ELIZY

„Efekt Elizy" to zjawisko znane od lat 60. Tą nazwą, pochodzącą od stworzonego przez Josepha Weizenbauma chatbota ELIZA, określono ludzką tendencję do antropomorfizowania maszyn. *Byłem zaskoczony, widząc, jak szybko i jak głęboko ludzie... angażują się emocjonalnie w relację z komputerem*, komentował jego konstruktor. Obecnie, w dobie błyskawicznego rozwoju technologii opartych na sztucznej inteligencji, tendencja do antropomorfizowania maszyn znacznie się nasiliła. Coraz częściej wchodzimy też z nimi w związki emocjonalne. W sieci z łatwością znajdziemy liczne aplikacje oferujące możliwość wejścia w relację z „napędzanym" sztuczną inteligencją przyjacielem, partnerem lub kumplem w formie botów głosowych, chatbotów lub robotów społecznych, ale także hologramów AI lub awatarów AI w rzeczywistości wirtualnej.



Fot. Pexels

Czy to problem marginalny? Okazuje się, że nie. W USA niemal ¼ ściągniętych rocznie* aplikacji typu chatbot powiązana była właśnie z obszarem relacji towarzyskich. Również w ciągu roku 11 śledzonych przez Mozilla Foundation takich aplikacji zostało pobranych 100 milionów razy. Dlatego, jak zauważa dr Emilia Kaczmarek z Wydziału Filozofii UW, istotne jest rozważenie etycznych implikacji ludzkich emocjonalnych związków ze sztuczną inteligencją.

Pocieszające złudzenia

Wyobraźmy sobie kobietę rozmawiającą ze swoim chatbotem AI. Patrzy na swój smartfon i mówi: „Wreszcie jestem przez kogoś rozumiana". Wyobraźmy sobie mężczyznę spoglądającego w oczy swojego seks-robota. Robot szepcze: „Pragnę cię". „Wreszcie jestem pożądany", myśli mężczyzna. Czy ci ludzie oszukują samych siebie? Czy jest coś moralnie złego w tego rodzaju samooszukiwaniu?, zapytuje badaczka. A przede wszystkim – co to znaczy: samooszukiwać się? Czy jesteśmy do tego zdolni? Czy możemy być jednocześnie oszustem i jego ofiarą?

Relacja emocjonalna z botem pozostaje jednostronnie nieautentyczna. Nawet jeśli człowiek naprawdę przywiązał się do swojego kompana AI, to „uczucia" bota są symulowane, nie prawdziwe. Człowiek, który pozwala się oczarować symulowanemu uwielbieniu ze strony AI, może dzięki temu czuć się mniej samotnym. Może ulegać pocieszającym złudzeniom. Jednak – czy mamy moralny obowiązek żyć w prawdzie? Czy – przy założeniu, że nasze zachowanie nikomu nie szkodzi – nadal jesteśmy do tego zobligowani?

Potępiać?

Jak zauważa dr Kaczmarek, obowiązek, by starać nie mylić się, co do otaczającego świata i siebie samych, może być uzasadniony przynajmniej na dwa sposoby: instrumentalnie oraz autotelicznie. Co do pierwszego: jak rozpoznać np. to, co powinniśmy w danej sytuacji zrobić, jeśli kieruje nami myślenie życzeniowe? Drugi sposób uzasadniania polega na odwoływaniu się do wartości autentyczności – samej w sobie. Oznacza to, że przywiązujemy dużą wagę do bycia uczciwymi wobec siebie i do unikania konformizmu.

Jednak, jak stwierdza badaczka: – *Jest to trudne wyzwanie, ponieważ ludzie jako podmioty moralne nie są w pełni transparentni wobec siebie. Możemy nawet nigdy nie być absolutnie pewni, jakie są nasze prawdziwe motywy, intencje i pragnienia.* Czy zatem samooszukiwanie się można uznać za etycznie naganne? To zależy. – *Potencjalna naganność może być proporcjonalna do autonomii osoby oraz jej kompetencji poznawczych, społecznych i emocjonalnych. Ponadto, moralnie ważne jest rozważenie, dlaczego ktoś oszukuje samego siebie i jakie byłyby prawdopodobne konsekwencje takiego samooszukiwania*, zaznacza dr Kaczmarek, kładąc przy tym nacisk na to, że etyczny wymóg unikania samooszukiwania nie przekłada się prosto na przypisywanie za to winy innym.

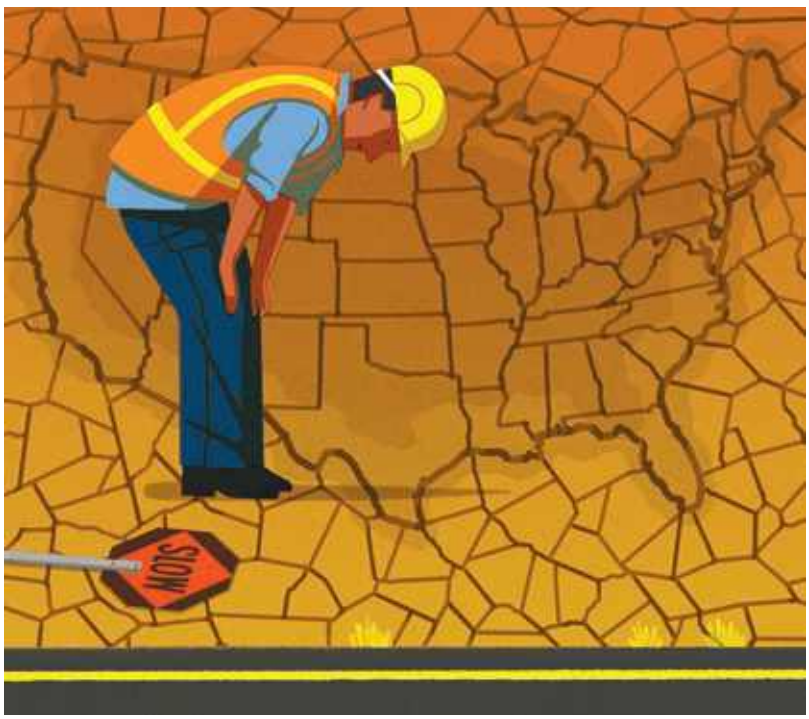
Artykuł ten jest częścią cyklu poświęconego wynikom badań realizowanych przez naukowców Uniwersytetu Warszawskiego.

* Dane z 2023 roku.

eprasa.pl 4ccacbcd35

Zgonom z przegrzania mogą zapobiec odpowiednie przepisy

Ekstremalne, wydłużające się fale upałów stają się w USA coraz częstsze, ale rząd reaguje na ten fakt niespiesznie



EKSTREMALNE UPAŁY są najgroźniejszym zjawiskiem pogodowym w USA, powodującym setki, a nawet tysiące zgonów każdego roku. Dostępne dane są niemal na pewno niedoszacowane, ponieważ skrajnie wysoka temperatura powietrza nie zawsze jest uwzględniana jako przyczyna śmierci w aktach zgonu. Potrzeba ochrony ludzi staje się oczywista i pilna, gdyż w wyniku zmiany klimatu upały przychodzą coraz częściej, trwają dłużej i są coraz intensywniejsze.

Przeciwdziałanie temu zagrożeniu wymaga rozwiązań systemowych, od powstrzymywania zmian klimatu po walkę z nierównościami – jedni bowiem mogą się ochłodzić, innych zaś na to nie stać. Istnieją jednak sensowne środki zaradcze, które powinny wprowadzić zarówno firmy, jak i władze, aby zapobiec chorobom i zgonom z powodu gorąca.

Ekstremalny upał może powodować znużenie cieplne (objawy to mdłości, zawroty głowy i skurcze mięśni), udar cieplny (wzrost temperatury wewnętrznej organizmu, często powyżej 40°C, co grozi uszkodzeniem narządów), a nawet śmierć. Szczególnie narażone są osoby starsze, cierpiące na niektóre schorzenia lub przyjmujące określone leki, a także ludzie pracujący fizycznie na zewnątrz. Ci ostatni mogą być w szczególnie trudnej sytuacji, ponieważ oprócz ciepła płynącego z otoczenia temperaturę ich organizmu podnosi dodatkowo wysiłek fizyczny.

Według danych federalnego urzędu U.S. Bureau of Labor Statistics z powodu upałów w latach 1992–2022 odnotowano średnio 34 zgony pracowników rocznie. Zarejestrowano też średnio 3389 urazów i chorób rocznie skutkujących nieobecnością w pracy (dane za lata 2011–2022). Analiza roszczeń z tytułu odszkodowań pracowniczych w Kalifornii wykazała, że takich chorób i urazów mogło tam być od trzech do sześciu razy więcej, niż wskazują dane federalne z tego stanu.

Kilka stanów, m.in. Kalifornia i Oregon, wprowadziło dla pracowników fizycznych zasadę „woda, odpoczynek, cień” – ludzie pracujący na zewnątrz muszą mieć stały dostęp do wody pitnej, odpowiednio długie i częste przerwy na odpoczynek, najlepiej w klimatyzowanych pomieszczeniach, a przynajmniej w cieniu, by organizm mógł się ochłodzić i zregenerować. Naukowe podstawy tych działań są oczywiste, a wprowadzone przepisy okazały się skuteczne.

Jednak taka fragmentaryczna legislacja stanowa pozostawia wiele osób bez ochrony. Naukowcy i decydenci lobbują na rzecz wprowadzenia federalnego standardu ustalanego przez Occupational Safety and Health Administration (OSHA) od czasu powstania tej agencji, czyli od lat 70. W końcu w 2024 roku OSHA zaproponowała przepisy, zgodnie z którymi pracownik miałby dostęp do wody pitnej oraz przerwę na odpoczynek w chłodnym miejscu, a pracodawca musiałby przeprowadzić szkolenie z zakresu bezpieczeństwa pracy podczas upałów dla nowych i powracających pracowników. Tak jak w przypadku wielu innych propozycji zmian zgłoszonych pod koniec prezydentury Bidena, los tej propozycji zależeć będzie od tego, czy administracja Trumpa uzna bezpieczeństwo Amerykanów za priorytet.

Obecna administracja powinna wdrożyć to rozporządzenie i zapewnić odpowiednią obsadę w OSHA w celu jego egzekwowania, ponieważ nie tylko zapobiegnie ono wielu zgonom, ale też poprawi wydajność produkcji. Badania pokazują, że długotrwałe przebywanie w upale pogarsza koncentrację, koordynację i decyzyjność. Jeśli chcemy, by ludzie optymalnie wykonywali swoje obowiązki, powinniśmy zapewnić im niezbędną ochronę.

Niektóre firmy sprzeciwiają się takim przepisom, argumentując, że wiążą się one z dodatkowymi kosztami, a ludzie powinni sami zadbać o siebie, jak twierdziła jedna z farm przemysłowych w Oregonie po śmierci pracownika, zanim stan wprowadził prawo o bezpieczeństwie pracy podczas upałów. A przecież środki zaradcze są stosunkowo tanie. Ponadto udary cieplne pojawiają się niespodziewanie, a wielu pracowników fizycznych rezygnuje z dobrowolnych przerw na odpoczynek czy picie, ponieważ boją się, że pracodawca uzna ich za mało wydajnych.

Obowiązujące przepisy stanowe i proponowany standard OSHA dają firmom

Ilustracja Pete Ryan

eprasa.pl 4ccacbcd35

elastyczność: w gospodarstwie rolnym bardziej odpowiednie będą mobilne punkty uzupełniania płynów i strefy chłodzenia, natomiast przedsiębiorstwa gazowe i naftowe mogą wyznaczyć stałe zacienione strefy dla pracowników. Celem jest zapewnienie bezpieczeństwa ludziom, a nie nakładanie sztywnych obciążeń na firmy.

Z tego powodu w interesie firm, zwłaszcza działających w wielu stanach, jest lobbowanie za tym, aby administracja wprowadziła takie przepisy na szczeblu federalnym. Wtedy pracodawcy uniknęliby konieczności dostosowywania działań do mozaiki wymagań z różnych regionów.

W 2015 roku Kalifornia wzmocniła przepisy dotyczące ochrony pracowników, co przyniosło pozytywną zmianę. Część sukcesu wynikała z lepszej egzekucji prawa. To kolejny argument za ustanowieniem federalnego standardu bezpieczeństwa: jasny i jednolity przepis znacznie uprościłby OSHA kontrolę. Obecnie na mocy ogólnej reguły zwanej General Duty Clause rządowa agencja musi za każdym razem dostosowywać listę weryfikowanych kryteriów do konkretnego pracodawcy.

Jeśli jednak administracja Trumpa nie wprowadzi prawa federalnego, stany muszą być gotowe do samodzielnego działania w celu ochrony pracowników. Nie trzeba wymyślać koła na nowo — proponowane regulacje OSHA oraz przepisy przyjęte w takich stanach, jak Kalifornia i Oregon, można łatwo zaadaptować w nowych miejscach.

Co więcej, stany takie jak Teksas i Floryda, które zakazały samorządom lokalnym wprowadzania regulacji dotyczących bezpieczeństwa pracy podczas upałów, muszą zmienić ten kurs. W Teksasie i na całym Południowym Wschodzie liczba dni z bardzo wysokimi temperaturami i wilgotnością powietrza rośnie bardzo szybko, co oznacza, że pracownicy są tam chronieni przed upałami tylko wtedy, gdy mają szczęście pracować dla firmy, która dobrowolnie wdraża odpowiednie środki bezpieczeństwa. Zadaniem rządu jest ochrona ludzi, a nie tylko biznesu.

Zapewnienie dostępu do podstawowych środków zapewniających ochronę przed upałami jest niedrogim sposobem na wzmocnienie bezpieczeństwa pracowników i zarazem przynosi korzyści ekonomiczne. Jak mówi Sharon Block, profesor prawa pracy z Harvard Law School: „To nie tylko przyzwoitość, ale i mądrość.” ■

W obronie niewinności

Kryminalistyczna genealogia genetyczna powinna częściej pomagać niesłusznie skazanym

DAVID GURNEY I JAMES R. MAYER

OD 1989 ROKU 3615 osób skazanych za przestępstwa w USA zostało oczyszczonych z zarzutów i zwolnionych po unieważnieniu wyroku. Testy DNA przeprowadzone po skazaniu odegrały rolę w 606 z tych spraw. Bracia Robert i David Bintz dołączyli do tego grona we wrześniu ubiegłego roku, gdy kryminalistyczna genealogia genetyczna (investigative genetic genealogy, IGG) – opierająca się na danych genealogicznych i genetycznych w celu odtworzenia drzew rodowych – pomogła ujawnić prawdziwego sprawcę zbrodni z 1987 roku, za którą zostali niesłusznie skazani. Pod wieloma względami ich przypadki są typowe dla innych błędnych wyroków: podstawowymi dowodami przeciwko nim były fałszywe przyznania się do winy oraz zeznania więziennych informatorów. Ich historia wyróżnia się jednak ze względu na metodę śledczą, która okazała się kluczowa dla ich uniewinnienia.

Bracia Bintz są dopiero trzecią i czwartą osobą oczyszczoną z zarzutów dzięki IGG. Chociaż ta rewolucyjna technika śledcza od momentu jej wprowadzenia w 2018 roku była wykorzystywana głównie do identyfikacji ludzkich szczątków oraz sprawców brutalnych przestępstw, podwójne uniewinnienie braci Bintz pokazuje, że może również służyć jako narzędzie wymiaru sprawiedliwości. Powinny ją stosować również inne organizacje zajmujące się pomyłkami sądowymi. Sprawa braci Bintz jest także dowodem na potrzebę reformy prawa, która usunęłaby przejawy niesprawiedliwego potraktowania przez system karny, zwłaszcza wobec osób uznanych za niewinne po odsiedzeniu wyroku.

Sandra Lison – matka dwójki dzieci pracująca jako barmanka w restauracji Good Times Tavern w Green Bay w stanie Wisconsin – zaginęła 3 sierpnia 1987 roku. Następnego ranka jej ciało znaleźli turyści w pobliskim lesie. Została uduszona, a policja odnotowała obecność nasienia, które okazało się zgodne z DNA pozyskanym z plam krwi na sukience Lison. Przez 11 lat śledczym nie udawało się zidentyfikować podejrzanego.

W 1998 roku, gdy David Bintz przebywał w więzieniu za inne przestępstwo, jego współwięzień zeznał, że David we śnie wygłaszał obciążające go stwierdzenia na temat Lison. Informator (i inni więźniowie) twierdzili, że David wskazał także swojego brata Roberta jako sprawcę. Podczas przesłuchania David potwierdził te wypowiedzi, jednocześnie zaprzeczając swojemu udziałowi w zbrodni. Funkcjonariusze przejrzeli notatki z pierwszego śledztwa i odkryli, że David i Robert kupowali piwo u Lison w noc jej zaginięcia i byli niezadowoleni z różnicy w cenie pomiędzy skrzynką piw a czterema sześciopakami. Dzięki domniemanym zeznaniom Davida i temu motywowi bracia stanęli przed sądem oskarżeni o zamordowanie Lison.

Prokuratorzy oskarżający braci Bintz wiedzieli, że jedyne dowody DNA, jakie zebrano w tej sprawie, pochodzące z nasienia i krwi ofiary, wykluczały Roberta i Davida. Twierdzili więc, że obie próbki nie mają związku ze śmiercią Lison. Pomimo braku jakichkolwiek dowodów materialnych łączących obu braci z miejscem zbrodni zostali oni uznani za winnych i skazani na dożywocie.

W 2019 roku organizacja Great North Innocence Project (GNIP) zajęła się sprawą Roberta Bintza, w przekonaniu, że dowody DNA pochodząc z miejsca zbrodni stanowią klucz do jego uniewinnienia — i do wytropienia prawdziwego sprawcy.

Rok wcześniej metoda IGG trafiła na pierwsze strony gazet, ponieważ pomogła w zidentyfikowaniu Josepha Jamesa DeAngelo jako „zabójcę z Golden State” oraz w rozpoznaniu Marcii King jako „dziewczyny w skórzanym ponczo” – ofiary mordu z 1981 roku. GNIP zaczęła się uważnie przyglądać IGG po uniewinnieniu w 2019 roku Christophera Tappa, który odsiedział 20 lat za

David Gurney jest pracownikiem naukowym Ramapo College i dyrektorem Investigative Genetic Genealogy Center.

James R. Mayer jest dyrektorem ds. prawnych Great North Innocence Project.

eprasa.pl 4ccacbcd35

niepopełnione morderstwo, i dostrzegła jej potencjał w sprawie braci Bintz.

We współpracy z firmą Bode Technology GNIP został opracowany zaawansowany profil genetyczny na podstawie dowodów kryminalistycznych. Profil wprowadzono do dwóch publicznych baz genealogii genetycznej — FamilyTreeDNA i GEDmatch, których użytkownicy mogą udostępniać swoje dane DNA na potrzeby poszukiwania osób. Część z nich wyraziła zgodę na porównywanie ich danych z profilami pochodzącymi z miejsc zbrodni oraz pobranymi z niezidentyfikowanych szczątków ludzkich.

Latem 2023 roku GNIP poprosiła o kontynuowanie prac ośrodek Investigative Genetic Genealogy Center działający przy Ramapo College. Utworzono go w 2022 roku właśnie po to, by stosować w nim IGG w weryfikowaniu pomyłek sądowych. W ciągu zaledwie dwóch dni mała grupa pracowników i studentów podczas inauguracyjnego spotkania „IGG Bootcamp" odtworzyła drzewo rodowe osoby, która 36 lat wcześniej pozostawiła swoje DNA na miejscu zbrodni w Green Bay. Zidentyfikowano trzech braci, których profile idealnie pasowały do dowodów genetycznych i genealogicznych. Jeden z tych braci zwracał szczególną uwagę: William Hendricks, skazany wcześniej za gwałt i zwolniony z więzienia siedem miesięcy przed zamordowaniem Lison.

Podwójne uniewinnienie braci Bintz ze stanu Wisconsin pokazuje przydatność genealogii genetycznej jako narzędzia wymiaru sprawiedliwości.

Hendricks zmarł w szpitalu psychiatrycznym w 2000 roku. Latem 2024 jego ciało ekshumowano, a Bode Technology opracowała profil genetyczny na podstawie próbek pobranych z jego szczątków. Porównanie z dowodami kryminalistycznymi dało jednoznaczny wynik: to William Hendricks pozostawił krew i nasienie na ciele Lison. Śledczy w Wisconsin ponownie przeanalizowali dowody i odkryli, że odciski palców na pustej skrzynce po cygarach znalezionej za ladą w „Good Times Tavern" także należały do Hendricksa.

Od tego momentu nie było już wątpliwości, kto zgwałcił i zamordował Lison. We wrześniu ubiegłego roku prokuratura stanu Wisconsin razem z GNIP i Wisconsin Innocence Project (organizacją reprezentującą Davida) wystąpiła o zwolnienie i uniewinnienie braci Bintz. W ciągu kilku dni wyszli na wolność.

Istnieje wiele podobnych spraw, które IGG mogłaby pomóc rozwiązać, ale wątpliwości dotyczące tej metody spowalniają jej częstsze stosowanie. Sceptycyzm wobec nowych technik kryminalistycznych jest zrozumiały, jednakże większość pytań dotyczących IGG doczekała się odpowiedzi. Dziś jest już wielu specjalistów i zespołów znających się na IGG, którzy stosują rygorystyczne procedury i zasady. Stowarzyszenie Investigative Genetic Genealogy Accreditation Board wdrożyło standardy i opracowało kodeks etyczny. Wkrótce zaproponuje też zdawanie odpowiedniego egzaminu oraz utworzy rejestr osób, które go zdały i spełniły pozostałe wymagania stawiane przez organizację.

Braciom Bintz nie będzie łatwo. W przeciwieństwie do ludzi wychodzących z więzienia po odbyciu całego wyroku, ci niespodziewanie uniewinnieni nie mają dostępu do żadnych usług ułatwiających powrót do społeczeństwa. Za ćwierć wieku spędzone za kratkami Robert i David otrzymają od stanu Wisconsin zaledwie po 25 tys. dolarów — tyle przewiduje stanowy limit odszkodowań. Innocence Project rekomenduje, i tak jest w wielu stanach, wypłatę odszkodowania w wysokości 70 tys. dolarów za każdy rok odsiadki.

Zachęcamy adwokatów walczących o uwolnienie z więzień osób niewinnych, by sięgali po IGG, i apelujemy do władz stanu Wisconsin, by wyciągnęły wnioski z tej lekcji i zmieniły przepisy o odszkodowaniach, dostosowując je do rekomendacji Innocence Project. ■



Klaus Ohlenschlaeger/Alamy Stock Photo

eprasa.pl 4ccacbcd35

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 140 rozmów z najciekawszymi polskimi naukowcami



EDYTA WOŹNIAK:
Teledetekcja,
czyli między granicami
fizyki i wyobraźni

ROBERT FIRMHOFER:
Gambit Kopernika,
czyli ucieczka
z placu zabaw



MARTA WRZOSEK:
Grzyby potrzebują adwokata



Zaprenumeruj nas:
projektpulsar.pl

eprasa.pl 4ccacbcd35

SKANER

ETOLOGIA

Małpia komunikacja

Gest porozumienia między matką a córką pozwala poznać sekrety kontaktowania się szympansów

DOTARCIE DO CENTRUM Parku Narodowego Kibale w Ugandzie, gdzie na terytorium szympansów znajduje się mały obóz badawczy, zabiera godzinę jazdy wyboistą drogą. Gęste leśne pnącza oplatają wiekowe drzewa, a równikowe zachody słońca rozpalają niebo, sawanny, jeziora i zamglone szczyty górskie jaskrawym złotem i ognistą czerwienią. Obecnym tu prymatologom poranki schodzą na studiowaniu tras wędrówek szympansów minionego dnia, rozmieszczenia owocujących drzew oraz nasłuchiwaniu odgłosów lasu. Małpi zgiełk zaczyna się wcześnie od niskich pohukiwań w koronach drzew. Zdarzają się dni, gdy szympansy pojawiają się blisko; częściej jednak badacze szukają ich całymi godzinami, przemierzając siatką wydeptanych ścieżek zamieszkiwany przez szympansy obszar zwany Ngogo, zajmujący powierzchnię 35 km^2.

Pewnego dnia w 2019 roku naukowcy zauważyli coś dziwnego: Lindsay, prawie dwuletnia szympansica, sięgnęła ręką zza pleców swojej matki Beryl, zasłaniając jej oko – jedyne, na które starsza szympansica widziała. Początkowo wydawało się to zabawą, ale później naukowcy zauważyli, że Beryl, która ostrożnie poruszała się po zaroślach, robiąc okazjonalne przerwy, za każdym razem tak samo reagowała na gest córki – robiła krok do przodu. Po dłuższym czasie gest „ręka-na-oko" stał się świadomym sygnałem między córką i matką: „ruszajmy!".

To, co mogło zacząć się jako prosta, spontaniczna próba zwrócenia na siebie uwagi matki poprzez zasłonięcie jej i tak już ograniczonego pola widzenia – z czasem nabrało wspólnego znaczenia podobnego do sekretnego uścisku dłoni lub porozumiewawczego żartu. Badacze szympansów z Ngogo zaczynają zdawać sobie sprawę, że takie zachowania nie są przypadkowymi dziwactwami, ale częścią obszernego tematu, dotyczącego sposobu nabywania i przekazywania przez małpy elementów kultury.

„W publikacjach naukowych dotąd nie było opisów takiego gestu" – mówi prymatolog Bas van Boekholt z Universität Zürich, kierujący badaniami opisanymi ostatnio w „Animal Cognition" mającymi na celu rozszyfrowanie znaczenia gestów. W roku 2022 podczas swojego drugiego pobytu w Ngogo van Boekholt po raz pierwszy zauważył zachowanie Lindsay, polegające na kładzeniu ręki na oku, gdy przeglądał materiał wideo swojego asystenta. „Unikalne gesty ssaków naczelnych (pomijając oczywiście człowieka) udokumentowano wcześniej tylko w niewoli. Brak było przekonujących dowodów, że występują także na wolności" – dodaje van Boekholt.

Van Boekholt był ciekaw, czy ktoś z pozostałych badaczy zaobserwował u innych małp gest wykonywany przez Lindsay. Isabelle Clark, bioantropolog z University of Texas w Austin, potwierdziła, że w 2019 roku kilka osób mówiło jej o zauważeniu takiego zachowania. Zaintrygowało ją to, ponieważ, jak wyjaśnia, „taki gest nie należy do typowych zachowań szympansów; mówiąc obrazowo, nie ma go w naszym słowniku ich gestów".

W celu doprecyzowania wyników naukowcy przeanalizowali 179 nagrań wideo z Lindsay i Beryl, na których było 21 przypadków zagadkowego gestu wykonanego przez Lindsay. Wiadomo, że młode szympansy bawią się, gdy matka niesie je na swoim grzbiecie, i naukowców interesowało, czy w trakcie zabawy Lindsay przypadkowo zasłoniła oko matki. Zebrane materiały sugerowały jednak coś innego, czego do tej pory jeszcze nigdy nie zaobserwowano.

Zespół van Boekholta pieczołowicie przejrzał też ponad tysiąc klipów z tuzinem innych par szympansów (matki i dziecka) z Ngogo; trafiono tylko na trzy przypadki wykonania przez szympansy badanego gestu. Zawsze były to jednak unikalne ruchy bez oznak intencjonalności, jak w interakcjach Lindsay i Beryl. „Teraz możemy być pewni, że w tym przypadku mamy do czynienia z gestem idiosynkratycznym, czyli celowym i wyjątkowym. To ekscytujące." – uważa van Boekholt.



KEVIN C. LEE

eprasa.pl 4ccacbcd35

MRÓWEK SPOSÓB NA KORKI, s. 12
MAGNETYCZNE RYTMY, s. 13
KIEDY NARODZIŁ SIĘ KSIĘŻYC?, s. 16



Szympansica Lindsay i jej matka Beryl wypracowały specyficzny sygnał, który zaintrygował naukowców.

Clark, która specjalizuje się w badaniu rozwoju zachowań społecznych u młodych i nastoletnich szympansów, mówi, że występują u nich podstawowe elementy komunikacji symbolicznej – zdolności, która pozwala ludziom tworzyć niezliczone o różnych znaczeniach – a gesty Lindsay i podobne mogą być podstawą komunikacji zbliżonej do ludzkiej. „Istnieje wiele teorii na temat rozwoju gestów u małp człekokształtnych — mówi van Boekholt. – Śledzenie tego typu zachowań oraz rozwoju

eprasa.pl 4ccacbcd35

podobnych gestów daje wskazówki dotyczące ewolucji języka i komunikacji".

Naukowcy zauważają, że jeśli gest ręka-na-oko występuje w innych społecznościach szympansów, może mieć tam inne znaczenie. Cat Hobaiter, prymatolog z University of St. Andrews w Szkocji, przestrzega przed wyciąganiem ogólnych wniosków na podstawie zachowania, choćby najbardziej ekscytującego naukowców, jednej grupy szympansów: „To tak, jakby próbować opisać ludzką cywilizację po odwiedzeniu tylko Paryża, Szanghaju lub Auckland". Podobnie jak zwyczaje i tradycje różnią się w różnych ludzkich kulturach, tak może się znacznie różnić sens gestów szympansów. Sygnał uspokojenia w jednej grupie może oznaczać coś odmiennego lub w ogóle być bez znaczenia w innej.

Według Hobaiter pojawienie się gestu Lindsay sugeruje, że małpy człekokształtne – podobnie jak ludzie – są zdolne tworzyć sygnały o specyficznym zastosowaniu. Ostrzega ona też przed nadmiernym podkreślaniem wyjątkowości kosztem szerszego wglądu: im bardziej poznajemy kultury małp człekokształtnych, tym większą głębię w nich widzimy. Szympansy zwyczajne i bonobo mają prawie 99% DNA wspólnego z ludźmi. Ich tradycje, społeczne przystosowanie i komunikacja ujawniają kontinuum, a nie ostry podział między ludźmi a innymi człekokształtnymi.

Obecnie van Boekholt ponownie obserwuje w Ugandzie matkę i córkę. Lindsay jest już duża i chodzi samodzielnie, ale nadal trzyma się matki. I nadal wykonuje kluczowy gest. Naukowiec podejrzewa, że Beryl jest w ciąży i ciekawi go, czy potencjalne przyszłe rodzeństwo Lindsay przejmie jej gest i uczyni go rodzinną tradycją. Jeśli grupowe uczenie się jest faktem, to ów gest zapewne się utrzyma.

„Każdy rodzic zwierzęcego noworodka rozumie własny język, w którym kontaktuje się ze swoim dzieckiem; dla innych osobników jest on niezrozumiały. Gest Lindsay oznacza występowanie takiego zjawiska na wolności" – wyjaśnia van Boekholt. Logicznie rzecz biorąc, zasłanianie przez Lindsay pola widzenia matce wydaje się sprzeczne z intuicją – czymś, czego nie chciałaby robić, co mogłoby być raczej irytujące dla matki. „Jednak z jakiegoś powodu taki gest nabrał zrozumiałego dla obu wyjątkowego znaczenia i jest to po prostu fascynujące" – uważa van Boekholt.

Avery Schuyler Nunn

INŻYNIERIA RUCHU

Spieszmy się powoli

Bierzmy przykład z mrówek, a unikniemy korków

Z SAMOLOTU samochody sunące po autostradzie wyglądają jak mrówki. Jednak prawdziwe mrówki – w przeciwieństwie do aut – potrafią uniknąć udręki korków i nagłego hamowania. Naukowcy badają teraz strategie współpracy tych owadów, by opracować dla autonomicznych samochodów systemy, które nie będą się blokować.

Swobodny przepływ samochodów staje się niestabilny wraz ze wzrostem ich liczby na autostradzie. Przy kilkunastu pojazdach na kilometr na jednym pasie wystarczy, że jeden kierowca naciśnie hamulec, by spowodować zator, który utrzyma się przez dłuższy czas. „To jak przejście fazowe", podobne do przejścia cieczy w ciało stałe, mówi Katsuhiro Nishinari, fizyk matematyczny z Uniwersytetu Tokijskiego, który bada te zjawiska.

Wcześniejsze badania Nishinariego wykazały, że mrówki zbierające pożywienie potrafią utrzymać płynność ruchu nawet przy dużym zagęszczeniu. W czym tkwi sekret? W niedawnym badaniu opublikowanym w „Transportation Research Interdisciplinary Perspectives" naukowcy obserwowali mrówki *Ochetellus* na ścieżkach żerowania i analizowali ich ruch za pomocą modeli inżynierii ruchu.

Okazało się, że mrówki unikają korków, ponieważ poruszają się w grupach liczących od trzech do 20 osobników, ze stałą prędkością, z zachowaniem odpowiednich odstępów i nie przyspieszając, by wyprzedzić towarzyszy.

Ludzie w godzinach szczytu raczej nie stosują tych zasad. „Maksymalizujemy indywidualne korzyści, co powoduje, że w pewnym momencie zaczyna tworzyć się korek" – mówi współautor badania Nicola Pugno, specjalista od inżynierii zrównoważonego rozwoju z Università degli Studi di Trento we Włoszech. Jednak autonomiczne pojazdy, jeśli kiedyś staną się powszechne, mogłyby być zaprogramowane tak, by ze sobą współpracować.

W jednej z wizji przyszłości autonomiczne samochody mogłyby wymieniać informacje z pobliskimi pojazdami, by zoptymalizować ruch – na przykład poprzez utrzymywanie stałej prędkości i odstępów albo rezygnację z wyprzedzania.

Taki system pojazdów przypominałby zachowanie wędrujących mrówek, które koordynują się za pomocą zapachu. „Nie ma przywódcy", ale mimo to organizacja wyłania się sama, mówi Noa Pinter-Wollman, badaczka zachowania mrówek z University od California w Los Angeles. Zarówno w ruchu mrówek, jak i pojazdów taki zdecentralizowany system może być „bardzo, bardzo odporny" – dodaje Nishinari. (Ani Nishinari, ani Pinter-Wollman nie brali udziału w nowym badaniu).

Nie można jednak zapominać, że mrówki potrafią robić rzeczy, których samochody – nawet autonomiczne – nie mogą, zauważa Pinter-Wollman. Mrówki mogą tworzyć ścieżki tak szerokie, jakich potrzebują, podczas gdy kierowcy są ograniczeni do pasów autostrady. Owady czasami blokują się w tunelach, ale wtedy „zaczynają iść po suficie", mówi. Co więcej, w przeciwieństwie do aut, mrówki nie wpadają w kolizje – mogą po prostu przejść jedna po drugiej.

Dzisiejsi kierowcy powinni nauczyć się od mrówek przynajmniej jednej rzeczy, by unikać korków, mówi Nishinari: nie należy jechać zbyt blisko poprzedzającego pojazdu. Zachowanie odstępu pozwala „zaabsorbować" falę hamowania w gęstym ruchu, która w przeciwnym razie mogłaby przerodzić się w pełnowymiarowy „fantomowy" korek bez wyraźnej przyczyny. „Zapewnić płynność ruchu może po prostu trzymanie dystansu" – mówi.

Allison Parsha



Fabio Di Biase/Getty Images

eprasa.pl 4ccacbcd35

BIOLOGIA

Żółwi taniec

Mapy magnetyczne pomagają żółwiom odnaleźć miejsca żerowania



foryouinf/Getty Images

NA MŁODE ŻÓŁWIE MORSKIE z gatunku *Caretta caretta* smakowity kalmar działa jak kula dyskotekowa. Gdy tylko wyczują pożywienie – lub nawet podejrzewają, że może być gdzieś w pobliżu – zaczynają entuzjastyczny taniec. Kierują głowy ku powierzchni wody, otwierają pyski i machają przednimi płetwami, wykonując ruchy przypominające pływanie na pieska. Niekiedy zaś wirują niczym bąk.

Badacze wykorzystali ostatnio to charakterystyczne zachowanie, aby sprawdzić, czy żółwie karetta potrafią rozpoznać specyficzne sygnatury pola magnetycznego miejsc, w których żerowały w przeszłości. Wyniki opublikowane w czasopiśmie „Nature" pokazują, że te pełne temperamentu gady tańczą, gdy natrafią na strukturę magnetyczną, która kojarzy im się z pożywieniem.

Według głównej autorki pracy Kayli M. Goforth, biolożki morskiej z Texas A&M University, wyniki pokazują, że żółwie karetta potrafią zapamiętywać parametry pola magnetycznego w poszczególnych miejscach. Dane te pomagają im stworzyć mapę magnetyczną podobną do nawigacji GPS, twierdzi badaczka.

Żółwie karetta i inne gatunki żółwi morskich słyną z dalekich migracji, podczas których przemierzają tysiące kilometrów, zapamiętując, skąd wyruszyły. Wiele z nich wraca co roku do konkretnych miejsc żerowania, a samice często składają jaja na tych samych plażach, na których się wykluły.

Naukowcy od dziesięcioleci wiedzą, że żółwie morskie wykorzystują pole magnetyczne Ziemi do orientacji, jak gdyby miały wbudowany kompas magnetyczny. Jednak powrót do określonego miejsca wymaga znajomości nie tylko kierunku podróży, lecz także dokładnych jego współrzędnych. Niektórzy naukowcy wysunęli hipotezę, że żółwie morskie mogą nauczyć się konkretnych współrzędnych magnetycznych terenów żerowania i plaż lęgowych, być może wyczuwając takie parametry, jak natężenie pola magnetycznego.

Aby zweryfikować tę koncepcję, Goforth i jej współpracownicy zebrali kilka żółwi karetta bezpośrednio po wylęgu na jednej z wysp u wybrzeży Karoliny Północnej (następnego lata wypuszczono je na wolność). W laboratorium żółwie umieszczono w wiadrach podłączonych do układu cewek magnetycznych; przepływ prądu elektrycznego przez ten układ wytwarzał pole magnetyczne w wiadrze. Naukowcy skalibrowali te pola tak, aby odpowiadały rozkładowi w różnych lokalizacjach wzdłuż wschodniego wybrzeża, jak Zatoka Meksykańska lub linia brzegowa stanu Maine.

Każdy młody żółw karetta został wystawiony na działanie dwóch różnych pól magnetycznych. W ciągu dwumiesięcznego okresu warunkowania żółwie spędzały tyle samo czasu w każdym polu, natomiast pokarm otrzymywały tylko w jednym z nich. Następnie, podczas eksperymentalnych prób trwających kilka kolejnych dni, zespół odtworzył oba pola magnetyczne, lecz tym razem nie karmił żółwi.

Naukowcy odkryli, że nawet bez pokarmu żółwie tańczyły, gdy miały do czynienia ze strukturą magnetyczną skojarzoną z poprzednimi karmieniami. Reakcja ta potwierdza tezę, że zwierzęta te potrafią zapamiętać współrzędne magnetyczne miejsc żerowania. Podobną zdolność zaobserwowano u łososi podczas ich wędrówek do oceanicznych żerowisk i z powrotem. (Jeśli chodzi o powód, dla którego żółwie tańczą, Goforth twierdzi, że „bardzo się ekscytują, gdy dostają pożywienie".)

Naukowcy ponownie przetestowali żółwie po kilku miesiącach bez ponownego wystawienia ich na działanie dwóch pól magnetycznych, aby ustalić, czy zapamiętały te współrzędne na dłuższy czas. Okazało się, że zwierzęta nadal tańczyły, gdy tylko napotkały strukturę magnetyczną skojarzoną z pożywieniem.

Według Goforth żółwie te prawdopodobnie pamiętają współrzędne geomagnetyczne przez kilka lat, a nawet dziesięcioleci. „W warunkach naturalnych zachowują informacje o miejscach żerowania od momentu wyklucia się z jaj do osiągnięcia dorosłości, czyli przez 20 lat" – mówi.

Biolożka morska Jeanette Wyneken, która zajmuje się żółwiami morskimi na Florida Atlantic University i nie brała udziału w tych nowych badaniach, twierdzi, że zdolność do zapamiętywania współrzędnych geomagnetycznych uwydatnia, jak ważne są źródła pożywienia dla żółwi w okresie ich rozwoju. „Dla młodych żółwi morskich bardzo ważne jest, aby jak najszybciej urosnąć ponad rozmiar pyska drapieżników" – mówi. Żółwie „muszą skutecznie znajdować pożywienie, aby utrzymać się przy życiu i zwiększyć swoje szanse na przetrwanie".

Goforth i jej współpracownicy chcieli również ustalić, czy zdolności żółwi morskich do mapowania pola magnetycznego są powiązane z ich wewnętrznym kompasem magnetycznym. Badacze przeprowadzili analogiczne eksperymenty, lecz z wykorzystaniem fal radiowych, które zakłócały zdolność zwierząt do orientacji za pomocą pól magnetycznych. Odkryli, że żółwie pomimo to rozpoznawały określone współrzędne magnetyczne.

Wyniki tych badań świadczą, że żółwie morskie mają dwa odrębne zmysły wykrywające pola magnetyczne – jeden do wyczuwania kierunku, a drugi rejestrujący inne ich parametry. Wcześniejsze badania wykazały, że niektóre ptaki śpiewające i traszki również dysponują podwójnym systemem magnetorecepcji. Ponieważ ptaki i płazy są jedynie daleko spokrewnione z żółwiami morskimi, Goforth i inni członkowie jej zespołu uważają, że kompasy i mapy magnetyczne mogą być wspólnymi elementami w zestawie akcesoriów podróżnych kręgowców. *Jack Tamisiea*

eprasa.pl 4ccacbcd35

INŻYNIERIA MATERIAŁOWA

Mąka na rany

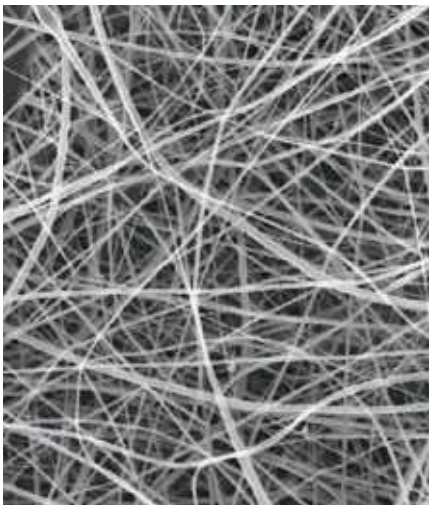
Najcieńszy na świecie makaron może być dobrym opatrunkiem

NAJCIEŃSZY dotąd stworzony makaron – nazwijmy go „nanotini" – ma średnicę około 372 nm i składa się tylko z dwóch składników: mąki i kwasu mrówkowego. Ten drugi, żrący związek chemiczny, wydzielany m.in. przez rozdrażnione mrówki, był przyczyną, dla której badacz Adam Clancy najpierw „makaron" powąchał, zanim go spróbował.

Zazwyczaj spożywanie produktów zakonserwowanych kwasem mrówkowym się odradza, ponieważ już jedna ich łyżka może być śmiertelna. Jednak Clancy, chemik z University College London, polegał na swojej wiedzy o progu wyczuwalności zapachu – najniższym stężeniu, przy którym ludzki nos wykrywa jakąś substancję. Uznał, że jeśli gotowy produkt nie pachnie, to jest w zasadzie wolny od kwasu. Zadowolony, skosztował więc nanotini. „Wiem, że nie powinno się na sobie eksperymentować, ale stworzyłem najcieńszy makaron na świecie – mówi Clancy. – Nie potrafiłem się oprzeć".

On i jego współautorzy, którzy niedawno opublikowali przepis na nanotini w „Nanoscale Advances", nie planują jednak włączyć go do menu – badają nanowłókna skrobiowe pod kątem ich potencjalnego zastosowania w nowoczesnych opatrunkach. Mata z tych włókien ma pory, przez które może przenikać woda, które jednak są zbyt małe dla bakterii, co czyni takie maty idealnym materiałem na opatrunki, mówi Clancy.

Idealne opatrunki to nie tylko bariery ochronne – powinny także przyspieszać gojenie ran, dodaje Mohsen Alishahi, doktorant z Cornell University, który bada opatrunki z nanowłókien skrobiowych (ale nie był zaangażowany w projekt nanotini). „Wykorzystanie naturalnych materiałów, takich jak skrobia, może przyspieszyć proces gojenia ran" – mówi Alishahi. Skrobia pobudza komórki wokół rany do wzrostu, ponieważ jej włókna przypominają mikroskopową strukturę organizmu, znaną jako macierz zewnątrzkomórkowa. Dodatkową zaletą skrobi jest jej powszechność – występuje we wszystkich zielonych roślinach i jest jednym z najczęściej spotykanych związków organicznych na Ziemi.



Dotychczasowe nanowłókna były tworzone z oczyszczonej skrobi kukurydzianej, ryżowej lub pszennej, ale Clancy twierdzi, że po raz pierwszy udało się je uzyskać z użyciem zwykłej mąki. Najpierw naukowcy potraktowali mąkę kwasem, rozplątując skrobiowe łańcuchy, co pozwoliło rozciągnąć cząsteczki w cieniutkie nitki.

Następnie, w procesie precyzyjnego podgrzewania i schładzania, przygotowali skrobię do przędzenia. To właśnie ten etap jest najbardziej intrygujący, mówi Greg Ziegler, naukowiec z Pennsylvania State University, który bada nanowłókna skrobiowe jako potencjalne rusztowanie dla hodowanego mięsa (nie brał udziału w badaniu Clancy'ego). Mimo zanieczyszczeń w mące sklepowej roztwór miał odpowiednią lepkość do przędzenia, mówi Ziegler.

Typowy makaron powstaje przez krojenie ciasta lub przeciskanie go przez otwory nadające kształt. W tym jednak przypadku naukowcy użyli techniki elektroprzędzenia. W wyniku przyłożenia napięcia elektrycznego strumień cieczy jest wyrzucany poziomo z dyszy przędzalniczej (na przykład igły do iniekcji) i przyciągany do uziemionej metalowej płytki kilka centymetrów dalej. Kwas szybko wyparowuje i skrobiowe łańcuchy tworzą cienkie włókna, których grubość była zbyt mała, aby dało się je dostrzec gołym okiem. Widoczne są jedynie powstałe z nagromadzonych na płytce włókien maty, które na pierwszy rzut oka przypominają kremowy papier pergaminowy – jednak zamiast włókien celulozowych tworzy je wyjątkowo drobny makaron. A smak? „Przydałoby się trochę przypraw" – przyznaje Clancy.

Ben Guarino

OCEANOLOGIA

Oceaniczne tętnice

Czy wodorosty przetrwają w cieplejszym klimacie?

PODCZAS swobodnego nurkowania, którego celem było fotografowanie lasów wodorostów wzdłuż brzegów Kalifornii, doświadczyłem na sobie krańca życia – tej ulotnej natury pojedynczego oddechu, ograniczeń własnych płuc. Lasy wodorostów również mają swój próg wytrzymałości. Te olbrzymie podwodne dżungle, rozwijające się w złociste wstęgi unoszone przez pływy morskie, wydychają tlen podtrzymujący życie, pochłaniają węgiel, dają schronienie innym organizmom, chronią wybrzeża i stanowią fundament wielu morskich ekosystemów. Jednakże fale upałów, choroby powodujące zagładę rozgwiazd, spadek populacji wydr morskich oraz eksplozja jeżowców zdziesiątkowały zarośla wodorostów wzdłuż brzegów Ameryki Północnej, pozostawiając pod powierzchnią wody bezludne krajobrazy: pozbawione życia skalne grzędy i progi, jeśli nie liczyć jeżowców pożerających wodorosty. W niektórych miejscach w ciągu zaledwie 10 lat zniknęło ponad 90% takich wodorostów. Rdzenni mieszkańcy tych terenów, którzy doskonale rozumieją znaczenie tych podwodnych zagajników jako azylów dla zwierząt, określają wodorosty „tętnicami oceanu" przynoszącymi życie z prądami morskimi. Teraz jednak ta ich funkcja słabnie.

Mimo to naukowcy patrzą na lasy wodorostowe nie tylko jak na ofiarę zmian klimatu, lecz także jak na ocaleńców. „Zanurzenie się w las wodorostów jest jak zapadnięcie w sen – mówi Sara T. Gonzalez z Woods Hole Oceanographic Institution. – Zostawmy jednak na boku magię wodorostów – to co naprawdę motywuje mnie do badań, to ich podwójne znaczenie, jako kluczowego siedliska dla ryb i bezkręgowców oraz jako cenionego przez ludzi surowca."

Zespół Gonzalez koncentruje się na niezwykłej odporności zapisanej w DNA wielkich wodorostów. W niedawnym badaniu opublikowanym w „Journal of Applied Phycology" naukowcy zidentyfikowali szczepy listownicy cukrowej (*Saccharina latissima*) z naturalnymi adaptacjami genetycznymi, które pozwalają przetrwać wzrost temperatury oceanów. Krzyżując

Beatrice Britton/Adam Clancy

eprasa.pl 4ccacbcd35



Avery Schuyler Nunn

gametofity tolerujące wysoką temperaturę – są to mikroskopijni prekursorzy dorosłych wodorostów, jak również innych glonów i roślin – z różnych gatunków, uzyskali organizmy, które doskonale radziły sobie w warunkach stresu cieplnego. Ponieważ gametofity odgrywają kluczową rolę w rozmnażaniu wodorostów, a odporność zdaje się przechodzić na potomstwo, osiągnięcie to może przyczynić się zarówno do przywracania dzikich lasów wodorostów, jak i do rozwoju ich hodowli.

Implikacje wykraczają poza jeden gatunek. W oceanach całego świata – od mglistych brzegów północno-zachodniego Pacyfiku po szalone wiry wokół Tasmanii – lasy wodorostów znikają, ale zarazem w ich własnych komórkach może się znajdować plan ocalenia. „Wszystkie wodorosty mają taki sam cykl życiowy" – tłumaczy Gonzalez, więc ta wiedza – o odpornych na stres termiczny liniach rozwojowych i zarodnikach – powinna się rozprzestrzeniać. Każde nowe odkrycie przybliża naukowców do uratowania lasów wodorostowych nie w jednym, ale w wielu morzach, i przywrócenia podwodnych gęstwin, które znów tchnęłyby życie w oceaniczne prądy przybrzeżne.

Avery Schuyler Nunn

eprasa.pl 4ccacbcd35

PLANETOLOGIA

Księżycowy lifting

Stopienie powierzchni Księżyca w dalekiej przeszłości może wyjaśnić tajemnicę czasu jego powstania



Javier Zayas Photography/Getty Images

KSIĘŻYC jest najbliższym sąsiadem Ziemi w kosmosie i jedynym ciałem pozaziemskim, które odwiedzili ludzie. Jednak naukowcy wciąż nie są pewni, kiedy obiekt wielkości Marsa uderzył w młodą Ziemię, doprowadzając do uformowania się naszego naturalnego satelity z odłamków powstałych w tej kolizji. Na podstawie próbek skał księżycowych szacuje się, że zdarzenie to miało miejsce 4,35 mld lat temu, ale modele formowania się planet i obecność fragmentów cyrkonu na powierzchni Księżyca świadczą, iż miało to miejsce co najmniej 4,51 mld lat temu.

Nowa praca opublikowana w „Nature" proponuje sposób wyjaśnienia tej 150-milionowej luki. Z modelowania komputerowego i analizy wcześniejszych badań wynika, że próbki skał sprzed 4,35 mld lat mogą pochodzić nie z okresu formowania się Księżyca, ale z późniejszego zdarzenia, w którym Księżyc przez pewien czas uległ podgrzaniu, co doprowadziło do stopienia jego powierzchni, a następnie krystalizacji.

Eliptyczna orbita Księżyca powoli oddala się od Ziemi. Gdy Księżyc się porusza, jest ściskany i rozciągany przez ziemską grawitację, co skutkuje tzw. grzaniem pływowym – jedno z nich najprawdopodobniej miało miejsce 4,35 mld lat temu. Jak mówi główny autor badania Francis Nimmo, planetolog z University of California w Santa Cruz, ten młody Księżyc wyglądałby podobnie do księżyca Jowisza – Io. „Na całej jego powierzchni znajdowałyby się wulkany". To wydarzenie zatarłoby również księżycowe baseny uderzeniowe utworzone przez upadki meteorytów, których naukowcy używają do szacowania wieku.

Nimmo wyjaśnia, że różnica 150 mln lat ma duże znaczenie dla naukowców,

NEURONAUKA

Sztuczna drzemka

Elektryczna stymulacja rozstraja mózg – z dobrym skutkiem

A GDYBY DAŁO SIĘ uzyskać korzyści z „drzemki mocy" (power nap) – lepszą pamięć i percepcję oraz szybsze uczenie się – bez faktycznego snu?

Nowe badania opublikowane w „Science" świadczą, że to możliwe. Naukowcy wykazali, że u makaków krótka drzemka (bez fazy REM) poprawiała wyniki w zadaniu wizualno-percepcyjnym. Następnie ten sam efekt udało się im osiągnąć elektryczną stymulacją mózgu u czuwających małp, naśladując aktywność mózgu podczas snu – czyli wywołując coś w rodzaju „sztucznej drzemki".

Zespół nauczył pięć małp rozwiązywania zadania wizualnego, polegającego na określaniu orientacji obrazów i testował zwierzęta dwa razy – z półgodzinną przerwą pomiędzy próbami. W tym czasie małpy albo spały (w fazie snu bez REM), albo tylko odpoczywały. Te, które naprawdę zasnęły, wypadły znacznie lepiej w drugim podejściu. Badacze monitorowali aktywność tysięcy neuronów w trzech obszarach mózgu: dwóch związanych z widzeniem i jednym odpowiedzialnym za podejmowanie decyzji. Ku zaskoczeniu badaczy, aktywność neuronów po drzemce była mniej zsynchronizowana niż przed nią – mimo że sam sen polega właśnie na zsynchronizowanym działaniu neuronów.

„Sen synchronizuje neurony, ale po nim ta synchronizacja spada. To zaskakujące" – mówi Valentin Dragoi z Rice University, główny autor badania. Co więcej, im większy był spadek synchronizacji, tym lepsze wykonanie zadania – co sugeruje, że neurony działające bardziej niezależnie wspierają poznanie.



Ilustracja Thomas Fuchs

eprasa.pl 4ccacbcd35

zwłaszcza jeśli chodzi o poznanie historii początków Ziemi. „Księżyc oddala się od naszej planety, a tempo, w jakim to się dzieje, zależy od tego, jaka kiedyś była Ziemia” – mówi. „Czy była skalista? A może płynna? Czy miała ocean i atmosferę?” Dla przykładu, na bardzo młodej Ziemi prawdopodobnie nie było oceanu – w przeciwnym razie zbyt szybko odepchnęłaby Księżyc. Dla takich obliczeń kluczowe znaczenie ma czas formowania się Księżyca, a bardziej złożone modele grzania pływowego i związanej z tym mineralogii mogą pomóc w pogłębieniu naszej wiedzy na ten temat.

„Żadne dotychczasowe analizy nie uwzględniły wszystkich dostępnych dowodów w sposób kompleksowy – mówi Yoshinori Miyazaki, geofizyk z California Institute of Technology, który nie brał udziału w badaniu. – Ta praca daje lepszy wgląd w kwestię rozbieżności między różnymi oszacowaniami wieku”.

Obecne hipotezy dotyczące czasu powstania Ziemi i Księżyca, które określają tę datę na 30–150 mln lat po narodzinach Słońca, oferują bardzo różne scenariusze formowania się planet. „Rozstrzygnięcie tych kwestii jest niezbędne do stworzenia spójnego obrazu historii Układu Słonecznego” – mówi Miyazaki. *Payal Dhar*

Ponieważ w trakcie snu u małp dominowały fale mózgowe typu delta (niskiej częstotliwości, związane z podtrzymywaniem pamięci), naukowcy zastanawiali się, czy to one odpowiadają za ten efekt. W kolejnym eksperymencie zamiast pozwalać małpom zasnąć, pobudzali ich mózg delikatnym impulsem elektrycznym o częstotliwości fal delta. Efekt? Taka sama poprawa wydajności i podobne spadki synchronizacji.

Jak więc widać, można częściowo zastąpić sen stymulacją mózgu. Badacze uważają, że takie rezultaty da się uzyskać również u ludzi. „To przekonujące dowody na to, że pobudzanie mózgu falami delta w stanie czuwania może dawać takie korzyści, jak płynące ze snu” – mówi Sara Mednick z University of California w Irvine, która bada wpływ drzemek na zdolności poznawcze.

Na razie naukowcy używali elektrod wszczepionych w mózgi małp, ale – jak zapowiada Dragoi – chcą wkrótce przetestować nieinwazyjne metody u ludzi cierpiących na zaburzenia snu. Planują też badać inne zmysły, funkcje poznawcze i rejony mózgu. „Które obszary najsilniej wpływają na konkretne zadania? Na razie nie wiadomo” – dodaje. *Simom Makin*

BIOLOGIA

Żaba jak kaczka

Skakanie po wodzie małej rzekotki



Dzięki uprzejmości Jake'a Socha (*na górze*)

JEŚLI RZUCIĆ PŁASKI KAMIEŃ w stronę stawu pod odpowiednim kątem, czyli „puścić kaczkę”, zacznie się on odbijać od powierzchni wody. Rzekotki z gatunku świerszczka północna (*Acris crepitans*) mierzące ledwie kilka centymetrów, zdają się poruszać po wodzie bardzo w podobny, niemal przeczący fizyce sposób.

Jednak gdy Talia Weiss, ówczesna doktorantka inżynierii na Virginia Tech, nagrała te skoki szybką kamerą, zobaczyła coś zupełnie innego. „Ruch jest tak szybki, że gołym okiem nie sposób dostrzec, co się naprawdę dzieje” – mówi.

W badaniu opublikowanym niedawno w „Journal of Experimental Biology”, Weiss i jej współautorzy sfilmowali te rzekotki z szybkością niemal 500 klatek na sekundę, ustawiając kamerę równolegle do powierzchni wody. Kiedy odtworzyli nagrania w zwolnionym tempie, odkryli, że żaby nie odbijają się od wody samymi tylko stopami – jak to wcześniej opisywano – lecz wykonują serię skoków, odbijając się brzuchem. Na ułamek sekundy się zanurzają, po czym odpychają się z powrotem w górę.

Zamiast „biec” po wodzie jak jaszczurki bazyliszki, rzekotki poruszały się trochę jak delfiny: zanurzały się i natychmiast wyskakiwały w górę. Według Weiss, ich tylne nogi są zbyt wolne, by pozwolić na prawdziwe odbijanie się od powierzchni. „Żeby odbijać się od wody, trzeba mieć nogi od razu przygotowane do kolejnego odepchnięcia w momencie kontaktu z wodą – tłumaczy. – A te żaby w ogóle się do lądowania nie przygotowują.” Po prostu robią brzuchem „plask”. Nie podciągają nóg wystarczająco szybko, by od razu wykonać kolejny skok z powierzchni.

Jasmine Nirody, biofizyczka z University of Chicago, niezwiązana z badaniem, dodaje, że szybkie ruchy zwierząt potrafią być bardzo złudne, a dzięki tym nagraniom w końcu wiemy, co te płazy tak naprawdę robią. Jeśli dokładnie przeanalizujemy ten ruch, może uda się go wykorzystać przy projektowaniu inspirowanych naturą robotów. „Teraz przynajmniej wiemy, czego szukać” – dodaje.

Rohini Subrahmanyam



Grafika Brown Bird Design

eprasa.pl 4ccacbcd35



© 2002 MBARI

NAUKA W OBRAZACH

Oceaniczna enigma

Naukowcom udało się zidentyfikować tajemniczego mięczaka

CAŁKOWITA CIEMNOŚĆ. Miażdżące ciśnienie. Lodowaty chłód. „Obszar północnego Pacyfiku, głębokość od około 1000 do 4000 m – to jedno z najmniej przyjaznych miejsc na Ziemi. Ale nie przeszkodziło to pewnemu delikatnemu, zagadkowemu mięczakowi w zadomowieniu się w tej nieprzyjaznej przestrzeni.

Przez ponad 20 lat naukowcy z kalifornijskiego Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI) od czasu do czasu natrafiali na to przezroczyste stworzenie, mierzące około 13 cm i obdarzone dziwaczną mieszanką cech. Jego „twarz" otacza przerośnięty kaptur, który służy mu zarówno do chwytania ofiar, jak i do poruszania się przez ruch odrzutowy – niczym meduza. Jego „ogon" jest zakończony frędzlami przypominającymi macki, z których jedną zwierzę morze odrzucić w razie zagrożenia. A gdy zostanie dotknięte, jego kaptur i ogon rozbłyskują niebieskozielonymi punktami, niczym podwodne planetarium.

Teraz naukowcy ustalili, że ten głębinowy dziwak to ślimak nagoskrzelny – ale tak niezwykły, że badacze zaproponowali utworzenie dla niego całkowicie nowej rodziny w obrębie tego rzędu. W artykule opublikowanym w czasopiśmie „Deep Sea Research, Part I: Oceanographic Research Papers", opisali go pod nazwą *Bathydevius caudactylus*. To pierwszy znany gatunek nagoskrzelnego, który żyje nie przy dnie morskim ani tuż pod powierzchnią, lecz swobodnie unosi się w toni.

Stanowi wyjątkową mieszankę cech charakterystycznych dla innych ślimaków nagoskrzelnych – mówi współautor badania i biolog morski z MBARI, Steven Haddock.

Haddock był obecny przy pierwszej obserwacji tego mięczaka, w 2000 roku, podczas eksploracji oceanu z użyciem zdalnie sterowanego pojazdu podwodnego. „Wszyscy zgadywaliśmy, co to w ogóle może być" – wspomina.

W ciągu kolejnych dwóch dekad badacze zaobserwowali ponad 100 osobników *B. caudactylus* i część z nich przebadali w warunkach laboratoryjnych. Analizy genetyczne wykazały, że zwierzę to najprawdopodobniej wywodzi się z linii, która bardzo dawno temu oddzieliła się od pozostałych ślimaków nagoskrzelnych – i choć ma z nimi pewne cechy wspólne, to jego zaskakująca „kolekcja" przystosowań wyewoluowała niezależnie. „Podobne cechy mogą wykształcać się wielokrotnie, ale zobaczyć taki przypadek u tak wyjątkowego organizmu i to w warunkach zupełnie innych niż te, w których żyją inne nagoskrzelne, to coś naprawdę niesamowitego – mówi Jessica Goodheart, badaczka mięczaków z American Museum of Natural History w Nowym Jorku. – Może to oznaczać, że takie cechy mogą powstawać znacznie łatwiej, niż przypuszczaliśmy." *Jude Coleman*

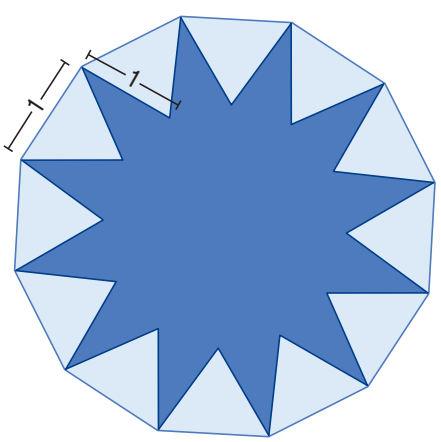
ZAGADKA MATEMATYCZNA

Mierzenie gwiazdy

Heinrich Hemme

BOK 12-kąta foremnego i bok wpisanej weń 12-ramiennej gwiazdy mają taką samą długość równą 1. Jakie jest pole powierzchni gwiazdy?

Rozwiązanie na stronie 76



Spektrum der Wissenschaft

eprasa.pl 4ccacbcd35

PSYCHOLINGWISTYKA

Język w umyśle

Gramatyka wpływa na sposób, w jaki myślimy

ZROZUMIENIE pozornie prostego zdania, takiego jak „I read this article yesterday” („Przeczytałem ten artykuł wczoraj”), wymaga w rzeczywistości zaawansowanych procesów pojęciowych: podmiot („ja”) wykonał czynność („przeczytałem”) na obiekcie („artykuł”) w określonym czasie („wczoraj”). Jednak ludzki mózg rutynowo radzi z tym sobie niemal natychmiast, opierając się na zasadach gramatycznych danego języka, twierdzi językoznawczyni Andrea E. Martin z Instytutu Psycholingwistyki im. Maxa Plancka w Holandii. Zespół Martin odkrył, że ludzki mózg dostosowuje się do fundamentalnych różnic gramatycznych między językami poprzez modyfikowanie sposobu przetwarzania każdego zdania.

W niedawnym badaniu opisanym w „PLOS Biology” badacze zaobserwowali zmiany w falach mózgowych uczestników mówiących po niderlandzku, którzy słuchali audiobooka w tym języku. Aby zobrazować te zmiany, naukowcy mierzyli, jak dużo nowych „przewidywań” słów mających się pojawić jako następne w zdaniu generuje mózg. Następnie przetestowano to podejście, porównując je z trzema różnymi strategiami analizy składniowej lub, inaczej mówiąc – z modelami lingwistycznymi ilustrującymi, jak mózg buduje informacje w miarę upływu czasu.

Poprzednie badania oparte na języku angielskim i przeprowadzone w podobny sposób wskazały jako dominujący model, w którym słuchacze „czekają i obserwują”, jak kończy się każda fraza w zdaniu, zanim je w całości zinterpretują. Jednak niderlandzkojęzyczni uczestnicy badania, którym kierowała Martin, wykazywali wyraźne skłonności do stosowania modelu silnie predykcyjnego – przewidywania i kończenia każdej frazy w swoim umyśle, zanim jeszcze została wypowiedziana. (Trzeci model, w którym słuchacze czekają, aż usłyszą wszystkie elementy zdania, zanim zinterpretują choćby jedną jego część, jest rzadko stosowany w obu językach.)

W strukturze języka niderlandzkiego czasowniki pojawiają się pod koniec zdania, a nie bezpośrednio po podmiocie, jak ma to miejsce w języku angielskim, wyjaśnia główny autor badania Cas W. Coopmans, doktorant na Wydziale Psychologii New York University. „Na przykład angielskie zdanie »I ate a cookie with chocolate« [Zjadłem ciastko z czekoladą.] w języku niderlandzkim brzmiałoby »I the cookie with chocolate ate« [Ja ciastko z czekoladą zjadłem.], co oznacza, że trzeba długo czekać na pojawienie się czasownika – mówi Coopmans. – Zapewne dla umysłu trwa to nierealistycznie długo, więc podczas przetwarzania zdania stosuje on model predykcyjny.”

Żadna strategia analizy składniowej nie jest zasadniczo „lepsza czy gorsza”, dodaje Coopmans. „Po prostu okazuje się, że dana metoda lepiej odpowiada specyfice przetwarzanego języka. Jak widać, jesteśmy dość elastyczni pod tym względem i możemy przetwarzać jeden język inaczej niż inny tylko dlatego, że różnią się one właściwościami.” Wyniki badań potwierdzają potrzebę uwzględniania większej różnorodności przy tworzeniu modeli lingwistycznych, twierdzi Jixing Li, językoznawczyni z City University Hong Kong, która nie była zaangażowana w nowe badania. Jej własne analizy pokazywały, w jaki sposób różne obszary mózgu uaktywniają się podczas przetwarzania zdań w języku angielskim lub chińskim z powodu ich odmiennych właściwości lingwistycznych. Jeśli takie badania byłyby prowadzone wyłącznie wśród neurotypowych anglojęzycznych osób dorosłych, wówczas – jak twierdzi – zostałyby przeoczone kluczowe różnice w przetwarzaniu. Li podkreśla, że to ograniczenie podważa sen stosowania modeli mających przedstawiać realistyczny obraz myślenia opartego na języku.

„Zróżnicowanie uczestników badań dotyczących przetwarzania języka przez mózg pomoże nam uchwycić na wiele rożnych sposobów to, jak mózg rozumie strukturalne znaczenie języka czy też jego społeczną użyteczność – mówi Martin. – Mózg skrywa przed nami jeszcze mnóstwo wiele tajemnic.” *Gayoung Lee*

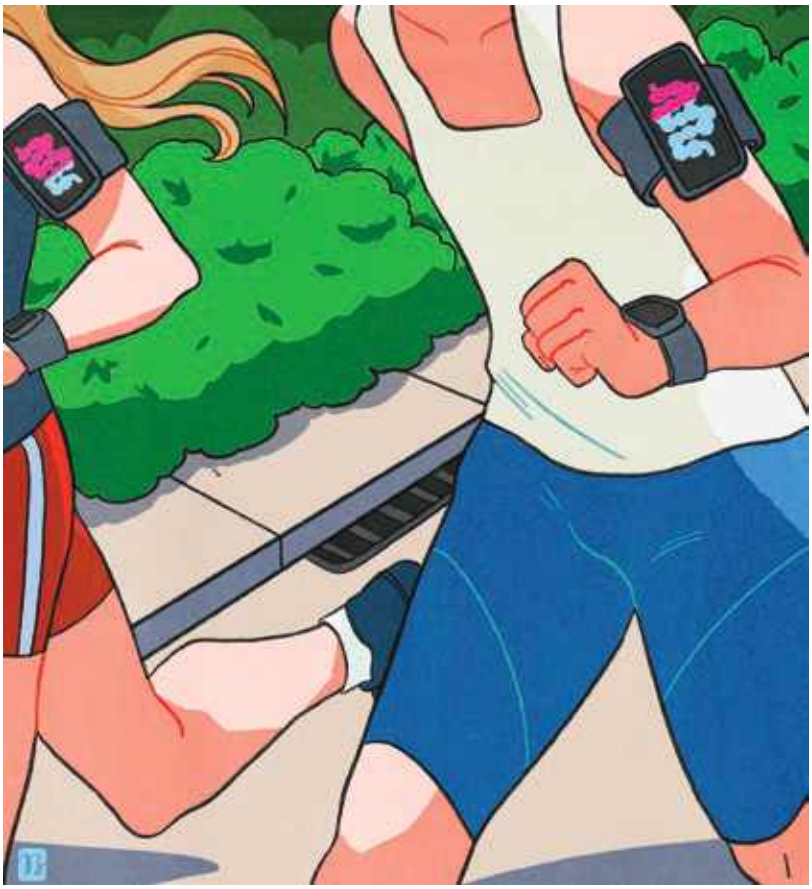
Różnice lingwistyczne w strukturach gramatycznych

W psycholingwistyce naukowcy opracowali różne modele opisujące, jak mózg akumuluje informacje w miarę słuchania zdania. Niektórzy badacze, w tym Cas W. Coopmans i Jixing Li, są zwolennikami hipotezy, że osoby mówiące różnymi językami stosują różne podejścia do przetwarzania zdań wynikające z różnych reguł gramatycznych dyktujących kolejność słów.



Grafika Ripley Cleghorn

eprasa.pl 4ccacbcd35



Ćwiczenia a mikrobiom

Trening sprzyja drobnoustrojom w jelitach, a to działa korzystnie na całe ciało LYDIA DENWORTH

Pomysł, że nasze treningi miałyby wpływać na tzw. mikrobiom – miliardy mikroorganizmów żyjących w naszych jelitach, w tym bakterie i wirusy, które wspomagają nasz układ odpornościowy, metabolizm, trawienie i inne kluczowe funkcje naszych organizmów – nie jest oczywisty. W każdym razie nie tak, jak zależność między dietą a mikrobiomem. Mamy jednak coraz więcej dowodów, że ćwiczenia aerobowe, na przykład bieganie, mogą poprawiać stan zdrowia mikroorganizmów jelitowych, co z kolei korzystnie wpływa na ogólny stan naszego zdrowia. Wstępne obserwacje wskazują, że zależność ta jest dwukierunkowa: zdrowy mikrobiom jelitowy wydaje się poprawiać kondycję fizyczną.

„Jelita kojarzą nam się z dietą i probiotykami" – mówi Sara Campbell, specjalistka fizjologii aktywności fizycznej z Rutgers University, zajmująca się głównie mikrobiomem jelit. Jednak obecnie wielu naukowców „zwraca uwagę na fakt, że ćwiczenia mogą działać korzystnie na jelita" – mówi.

„Zdrowy" mikrobiom oznacza zwykle dużą ilość i różnorodność bakterii w jelitach. Ćwiczenia fizyczne wydają się wpływać na oba te parametry. Mikroorganizmy jelitowe zawodowych sportowców są bardziej zróżnicowane w porównaniu z mikrobiomami osób nieaktywnych lub uprawiających sport rekreacyjnie. Dla zdrowia ważniejsze jest jednak to, „co właściwie robią te mikroorganizmy" – mówi Jacob Allen, specjalista fizjologii aktywności fizycznej z University of Illinois Urbana-Champaign.

Ważną obserwacją jest na przykład fakt, że ćwiczenia aerobowe zwiększają aktywność bakterii wytwarzających krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe, kluczowe dla wspomagania procesów fizjologicznych. Większość cząsteczek kwasów tłuszczowych zbudowanych jest z 16 lub 18 atomów węgla. Krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe, zgodnie z nazwą, mają ich zaledwie od jednego do sześciu.

Jak się okazuje, szczególnie ważny dla korelacji pomiędzy ćwiczeniami a stanem jelit jest kwas masłowy. Dostarcza on energię do różnych tkanek, m.in. komórek nabłonkowych wyścielających jelita, i może redukować stan zapalny oraz poprawiać zdolność komórek do wychwytywania insuliny. Nasze ciała w naturalny sposób wytwarzają niewielkie ilości kwasu masłowego, w większości jest on jednak syntetyzowany przez mikroorganizmy, a tę produkcję nasilają ćwiczenia aerobowe. Zależność pomiędzy ćwiczeniami siłowymi a poziomem kwasu masłowego rzadko była oceniana w badaniach, a wyniki nie były jednoznaczne.

Związek pomiędzy ćwiczeniami fizycznymi a stanem jelit jeszcze 15 lat temu nie zaprzątał uwagi naukowców. Marc Cook, specjalista immunologii wysiłku fizycznego, studiował wtedy na Urbana-Champaign. Wiedział, że ćwiczenia łagodzą objawy chorób zapalnych jelit, szczególnie wrzodziejącego zapalenia jelit. Jednak naukowcy nie rozumieli, dlaczego tak się dzieje. Cook rozpoczął badania na myszach i stwierdził, że bieganie w kołowrotku chroniło je przed mysią wersją zapalenia okrężnicy. Ponadto ilość korzystnych bakterii w wyściółce jelita grubego gryzoni wzrastała siedmiokrotnie.

W badaniu przeprowadzonym w 2018 roku Allen, Cook (obecnie pracujący na North Carolina A&T State University) i inni naukowcy po raz pierwszy zbadali wpływ ćwiczeń na zdrowie jelit w badaniu interwencyjnym z udziałem ludzi. Badaniem tym objęto dwie grupy osób prowadzących siedzący tryb życia, zarówno szczupłych, jak i otyłych, które ćwiczyły na bieżni lub na rowerach. Wszyscy zaczynali od umiarkowanie intensywnych treningów trzy razy w tygodniu, dochodząc do trwających godzinę sesji ćwiczeń o wysokiej intensywności.

Po sześciu tygodniach u wszystkich uczestników stwierdzano wzrost poziomu kwasu masłowego i dwóch innych krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych – octowego i propionowego. Doszło u nich również do oczekiwanych korzyści związanych z ćwiczeniami fizycznymi, takich jak zmniejszenie masy tłuszczowej i poprawa wydolności

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

Ilustracja Jay Bendt

eprasa.pl 4ccacbcd35

krążeniowo-oddechowej. Wszystkie te efekty były bardziej nasilone u osób szczupłych, czego badacze jeszcze nie zdołali wytłumaczyć. Po kolejnych sześciu tygodniach, w których trakcie wszyscy zaprzestali ćwiczeń, liczba mikroorganizmów w jelitach wróciła do wartości wyjściowych, a korzyści zdrowotne uległy osłabieniu.

Badacze nie stwierdzili jednoznacznie, które efekty ćwiczeń można bezpośrednio przypisać mikroorganizmom, a nie innym zmianom związanym z aktywnością fizyczną. Różnica w środowisku jelitowym jest jednak jasno widoczna. „Wiemy, że podczas ćwiczeń dochodzi do pewnego wzrostu ilości krwi w mięśniach kosztem przewodu pokarmowego" – mówi Allen. To powoduje niewielki spadek poziomu tlenu w tkankach jelit. W przewodzie pokarmowym obserwuje się także zmiany pH i temperatury. Każda z tych zmian może wpływać na przeżywalność mikroorganizmów.

Badania z udziałem ludzi utrudnia ogromna zmienność mikrobiomu pomiędzy poszczególnymi osobami i grupami. Naukowcy próbują teraz określić, jakie czynniki wpływają na różnice w reakcjach. Campbell bada zmienność w zależności od płci. Cook analizuje wpływ bakterii wytwarzających krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe u osób czarnoskórych, u których często występuje nadciśnienie. W badaniu pilotażowym zidentyfikował wraz ze swoimi współpracownikami bakterie związane z nadciśnieniem u czarnych sportowców. Jego zespół ma nadzieję na określenie, które z nich mogą stanowić cel interwencji terapeutycznych.

Jeśli chodzi o wpływ mikroorganizmów na wydolność fizyczną, większość danych pochodzi z badań na myszach. Zwierzęta, u których zastosowano antybiotyki w celu eliminacji mikrobiomu, są mniej aktywne fizycznie niż te o zdrowym mikrobiomie i szybciej się męczą. Badania wykazały ponadto, że nienaruszona mikrobiota w jelitach przyczynia się do silniejszego rozwoju mięśni.

Trwające badania nie zmieniają standardowych zaleceń dotyczących ćwiczeń fizycznych, zgodnie z którymi ludzie powinni poświęcać tygodniowo co najmniej 150 min na umiarkowany wysiłek fizyczny. Dołączają natomiast kolejny argument za taką aktywnością, a w przyszłości może wyjaśnią, skąd wynikają różnice w reakcji na ćwiczenia. Niewykluczone, że kiedyś będzie nawet możliwe takie zadziałanie na mikrobiom, aby lepiej reagował na czas spędzany na siłowni. ■



ŻYCIE W KOLORZE

W mgnieniu oka
krajobraz zakwitł feerią olśniewających barw,
gdzie wcześniej panowały tylko zielenie
i odcienie ziemi.

To było nagłe przebudzenie nowej estetyki;
nasi „ryjówkopodobni" przodkowie, i wszystkie stworzenia,
szybko nauczyli się widzieć i zachwycać
paletą, jakiej świat dotąd nie znał.

To była światowa rewolucja techniki i zachwytu,
która z impetem przerwała
ewolucyjną
równowagę.

Wiedza, jak tworzyć śmiałe kolory,
dała roślinom kwiatowym ogromną przewagę
nad innymi roślinami.
Mogły teraz wizualnie przyciągać uwagę zwierząt
w sposób prosty i potężny
i tak zawładnęły skrzydłami i nogami, by niosły ich pyłek.
Rośliny kwiatowe szybko zdominowały królestwo roślin.
Dziś 90 procent gatunków roślin to okrytonasienne.

Kwiaty kojarzymy z samą naturą;
ale rośliny kwiatowe to nowicjusze;
to świeży pomysł.
Przez 97 procent istnienia Ziemi nie było kwiatów.
Przez 96 procent istnienia życia nie było kwiatów.
Przez 89 procent istnienia roślin nie było kwiatów.
Świeży pomysł.

Zwierzęta wybierają partnerów według własnego poczucia piękna
i tak wszyscy stworzyliśmy siebie na obraz naszej własnej urody.
Zaraz po estetycznej rewolucji wywołanej śmiałymi barwami kwiatów,
małe, żyjące na drzewach dinozaury,
niezbyt przejmujące się maskowaniem,
spojrzały na te kolory –
i z nimi poleciały.

E. M. Teichman jest architektem pracującym w Sea Bright w stanie New Jersey. W niedziele, gdy broń milknie [w wielu stanach USA, w tym w Pensylwanii, obowiązuje zakaz polowań w niedziele – przyp. red.], przemierza wzgórza wschodniej Pensylwanii w poszukiwaniu wierszy.

Ilustracja Masha Foya

eprasa.pl 4ccacbcd35



Ukryte koszty

Kiedy mężczyźni cierpią z powodu izolacji społecznej, kobiety też mogą płacić za to wysoką cenę ANGELICA PUZIO FERRARA I DYLAN VERGARA

MĘŻCZYŹNI MAJĄ PROBLEM – przynajmniej tak sugeruje wiele prasowych nagłówków. W porównaniu z kobietami rzadziej deklarują, że mają bliskich, wspierających przyjaciół. Zdecydowanie nie dorównują również pod względem osiągnięć edukacyjnych na poziomie wyższym. Statystyki samobójstw także ukazują nierównowagę między płciami: kobiety wprawdzie częściej podejmują próby samobójcze, ale to mężczyźni znacznie częściej umierają w ich wyniku.

Problemy te – oraz inne powiązane z nimi kwestie – stają się priorytetem dla największych światowych fundacji filantropijnych. Jednak w debacie publicznej z reguły są traktowane jako odrębne, niezwiązane z kobietami. A przecież jeśli mężczyźni mają kłopoty, kobiety również.

W naszych badaniach zajęliśmy się jednym z kluczowych elementów tej układanki – stanem bliskich relacji mężczyzn. Postawiliśmy hipotezę, że osłabienie ich społecznych więzi może prowadzić do zwiększonego obciążenia emocjonalnego kobiet z ich otoczenia. Nasze badania łączą różne wątki z psychologii i socjologii: trudności mężczyzn w budowaniu wspierających sieci społecznych, dominującą rolę kobiet w podtrzymywaniu tych struktur, a także nierówności w rozkładzie „pracy emocjonalnej" w życiu prywatnym.

W ostatnim stuleciu w wielu krajach zachodnich ludzie żyją w większej niż wcześniej izolacji – i choć dotyka to wszystkich, to mężczyźni są szczególnie narażeni. Najbardziej w krajach, gdzie ceni się indywidualizm. Największe ryzyko występuje u starszych mężczyzn, ale problem dotyczy również młodszych: niemal dwóch na trzech młodych Amerykanów twierdzi, że nikt ich naprawdę dobrze nie zna. Prawie połowa Brytyjczyków przyznaje, że nie może zwierzyć się z problemów swoim przyjaciołom. Dane z dużych badań reprezentatywnych dla populacji USA wskazują, że w ciągu ostatnich 30 lat znacząco wzrosła liczba osób deklarujących brak bliskich przyjaciół — szczególnie wśród panów.

Innymi słowy: wielu mężczyzn nie ma przyjaciół, na których mogliby polegać. Ale to tylko część obrazu. Socjolodzy wykazali, że sieci społeczne mężczyzn są bardziej uzależnione od relacji romantycznych niż w przypadku kobiet. W parach heteroseksualnych to mężczyźni zwykle opierają się emocjonalnie wyłącznie na partnerce. Kobiety częściej wskazują przyjaciół lub członków rodziny jako osoby, do których zwracają się w trudnych chwilach.

Taki wzorzec obserwowano przez dekady, głównie wśród starszych białych dorosłych. Jednak wyniki nowszych badań świadczą, że trend ten utrzymuje się również w bardziej zróżnicowanych grupach wiekowych i kulturowych. Skutki są widoczne szczególnie po zakończeniu romantycznych relacji: sieci społeczne mężczyzn z reguły gwałtownie się kurczą, podczas gdy kobiece pozostają nienaruszone. Ta nierównowaga to dowód, że emocjonalne fundamenty mężczyzn są w dużej mierze budowane przez kobiety.

Nie każdy mężczyzna w takim samym stopniu polega na kobietach w kwestii wsparcia – niektórzy są bardziej zagrożeni niż inni. Istotnym czynnikiem różnicującym mogą być przekonania kulturowe na temat męskości. We współczesnym świecie Zachodu męskość nadal kojarzy się z emocjonalnym chłodem, przekonaniem, że wszelkie „słabości" należy za wszelką cenę tłumić, oraz skrajną niezależnością – ideą, że mężczyzna nie potrzebuje pomocy, zwłaszcza od innych mężczyzn.

Psychologowie wykazali, że tych, którzy silnie identyfikują się z tymi normami, charakteryzuje gorsze zdrowie psychiczne i fizyczne – oraz rzadsze nawiązywanie bliskich przyjaźni.

Ugruntowane normy męskości wpływają nie tylko na to, jak mężczyźni odnoszą się do innych mężczyzn. Socjolodzy od dawna dokumentują, że to kobiety w większym stopniu wykonują emocjonalną i organizacyjną pracę potrzebną do utrzymania harmonii w rodzinie. To kobiety – częściej niż mężczyźni – pamiętają o urodzinach, planują spotkania i dbają o samopoczucie bliskich. Już w latach 80. socjolożka Carolyn Rosenthal nazwała ten rodzaj pracy „kinkeepingiem" (dbałość o relacje rodzinne).

Nawiązując do tego określenia, autorzy niniejszej teorii proponują nowe pojęcie: „mankeeping" – czyli pracę, jaką kobiety wykonują, by podtrzymać społeczne więzi mężczyzn, które zaczęły się rwać.

Nasza teoria składa się z kilku elementów. Opierając się na wcześniejszych badaniach, podejrzewamy, że mężczyźni,

Angelica Puzio odbywa staż podoktorski w Clayman Institute for Gender Research na Stanford University i jest stypendystką wizytującą London School of Economics and Political Science. Bada wpływ norm płciowych na rozwój człowieka.

Dylan Vergara jest studentem na Stanford University – studiów licencjackich w zakresie nauk politycznych i magisterskich z socjologii. Pracuje jako asystent w Clayman Institute for Gender Research.

Ilustracja Christine Roesch

eprasa.pl 4ccacbcd35

którzy trzymają się sztywnych norm męskości, są wybitnie podatni na ten mechanizm. Kobiety z kolei często podejmują niewidzialny wysiłek: inicjują i aranżują kontakty towarzyskie dla swoich partnerów, zachęcają ich do spotkań z innymi ludźmi. Podejrzewamy jednak również, że mankeeping realnie obciąża kobiety — zarówno czasowo, jak i emocjonalnie.

Są już na to pewne dowody. W jednym z badań nad kanadyjskimi parami nieżyjący już socjolog Barry Wellman wykazał, że kobiety ułatwiały mężczyznom kontakty towarzyskie z innymi mężczyznami kosztem własnych relacji i czasu dla siebie. Nowsze badania psychologiczne pokazują, że kobiety, które nadmiernie koncentrują się na potrzebach partnerów, częściej doświadczają gorszego samopoczucia, niezadowolenia z relacji oraz ograniczenia autonomii.

Sądzimy, że mankeeping to swoisty układ: kobiety decydują się na ten wysiłek świadomie, czasem kosztem siebie, by zminimalizować negatywne skutki izolacji społecznej mężczyzn — dla samych mężczyzn, dla ich relacji z kobietami i dla rodzin jako całości.

W przyszłości chcemy dalej badać to zjawisko. Kluczowe pytania to m.in.: Gdzie mankeeping występuje najczęściej i co to mówi o danych społecznościach? Czy kobiety, które otrzymują mniej wsparcia w relacjach z mężczyznami, rzeczywiście są bardziej przeciążone? A czy te, których związki z mężczyznami mają charakter bardziej partnerski i wzajemnie wspierający, są bardziej zadowolone z życia?

Mankeeping zasługuje na uwagę z dwóch powodów. Po pierwsze, nazwanie tej niewidzialnej pracy pozwala badaczom skuteczniej analizować to zjawisko i jego skutki. Po drugie, kobiety, zwłaszcza te, które doświadczają tego obciążenia, mogą dzięki jego zdefiniowaniu nadać mu większą wagę i widoczność. Już teraz różne środowiska akademickie i aktywistyczne podchwytują ten temat, tworząc lokalne określenia – jak „cargamigas" po hiszpańsku czy „marigarderie" po francusku. Nazwanie form nierówności to pierwszy krok do ich eliminacji.

Powstają też inicjatywy, które dają mężczyznom przestrzeń do budowania relacji i otwartości emocjonalnej – jak choćby *Men's Circle* czy *Beyond Equality*. Ich celem nie jest reaktywacja zamkniętych „klubów dla chłopców", ale stworzenie sieci wsparcia, które przełamują, szkodliwe wzorce męskich zachowań. ■

Głosowanie nad zmianą wartości π

Jak próbowano prawnie usankcjonować błędną liczbę π

JACK MURTAGH

PROBLEM KWADRATURY KOŁA wprawiał matematyków w zakłopotanie przez ponad 2000 lat. W tym czasie profesjonaliści i amatorzy opublikowali tysiące błędnych dowodów, które ich zdaniem stanowiły rozwiązanie problemu. Takie daremne próby stanowią naturalne przeszkody na drodze rozwoju matematyki. Są usuwane, gdy inni znajdują błędy we wnioskowaniu albo gdy założenia lub argumenty okazują się kuriozalne lub bezzasadne. Jednak w przypadku kwadratury koła żaden błędny dowód nie ustępował bez rozgłosu. Doszło do tego, że pewien matematyk musiał udzielać korepetycji senatorom stanowym, pojawiały się kpiny w mediach i było o krok od prawnego zatwierdzenia niewłaściwej wartości liczby π.

Oto problem, którym zajmowały się rzesze osób, począwszy od starożytnych greckich matematyków: skonstruuj kwadrat o takim samym polu, jak pole danego koła, używając tylko cyrkla i linijki. Cyrkiel pozwala wyznaczać dwa punkty i rysować okrąg, którego środek znajduje się w jednym punkcie i który przechodzi przez drugi punkt. Linijka służy do rysowania linii prostych, ale nie ma na niej podziałki umożliwiającej mierzenie. Grecy preferowali dowody geometryczne i kładli szczególny nacisk na umiejętność konstruowania obiektów za pomocą podstawowych przyborów – cyrkla i linijki.

Zadanie wydaje się proste, ale rozwiązanie pozostaje zaskakująco nieuchwytne. W 1894 roku lekarz i matematyk amator Edward J. Goodwin uważał, że je znalazł. Był tak dumny ze swojego odkrycia, że w 1897 roku postanowił usankcjonować dowód prawem, sporządzając projekt ustawy, która miała obowiązywać w jego macierzystym stanie Indiana. Pozwoliłoby to korzystać stanowym instytucjom z dowodu bez płacenia tantiem. Przynajmniej trzy kwestie powinny skłonić organ prawodawczy do traktowania Goodwina ze sceptycyzmem. Nie ma przepisów dotyczących prawnego uznawania twierdzeń matematycznych ani pobierania za nie tantiem, a ponadto rzekomy dowód był nonsensem. Zawierał m.in. stwierdzenie, że π, czyli stosunek obwodu koła do jego średnicy, wynosi 3,2, a nie powszechnie przyjęte 3,14159... Jednak jakieś dziwne niedopatrzenie sprawiło, że Izba Reprezentantów Indiany przyjęła projekt ustawy jednomyślnie.

Później politycy bronili się, twierdząc, że zostali zdezorientowani treścią ustawy; przerzucali odpowiedzialność na Komisję ds. Edukacji. Przeprowadzono trzy formalne czytania ustawy przed głosowaniem. Goodwinowi udało się również opublikować swoją pracę w cieszącym się bardzo dobrą reputacją czasopiśmie „American Mathematical Monthly". Zapewne dlatego wydawał się wiarygodny, mimo że czasopismo miało wówczas zwyczaj bezkrytycznego publikowania artykułów opatrzonych tagiem „na prośbę autora". Być może Izba Reprezentantów chciała, by problem rozstrzygnął senat. Niezależnie od tych osobliwych perypetii próba rozwiązania przez Goodwina problemu kwadratury koła była od początku skazana na porażkę, bowiem kilkanaście lat wcześniej, w roku 1882, niemiecki matematyk Ferdinand von Lindemann udowodnił, że jest to niemożliwe. Co więcej, dowód Lindemanna wyjaśnia, dlaczego tak wiele błędnych rozwiązań problemu opiera się na błędnych wartościach liczby π.

Aby to zrozumieć, rozważmy koło o promieniu równym 1. Jego pole $A = \pi r^2$ wynosi π. Bok kwadratu powinien mieć więc długość $\sqrt{\pi}$, aby jego pole było równe polu koła. Tak więc wielka starożytna zagadka geometryczna sprowadza się do następującego pytania: czy dysponując jednostkowym odcinkiem, można narysować odcinek o długości równej dokładnie $\sqrt{\pi}$, używając tylko cyrkla i linijki? Potem utworzenie kwadratu jest już bardzo łatwe. Rzesze matematyków zmagały się z tym problemem i chociaż nikt go

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).

eprasa.pl 4ccacbcd35

nie rozwiązał, poczyniono znaczne postępy, zanim do akcji wkroczył Lindemann. Ustalono, że możliwa jest tylko konstrukcja odcinków określonej długości. Co osobliwe, skonstruowanie linii o danej długości za pomocą cyrkla i linijki uda się wyłącznie wtedy, gdy długość tę można wyrazić, korzystając z liczb całkowitych za pomocą operacji dodawania, odejmowania, mnożenia, dzielenia i pierwiastkowania (tylko pierwiastek kwadratowy). Tak więc dwa proste przybory Greków wystarczą do skonstruowania niektórych bardzo skomplikowanych liczb, na przykład takiej:

$$\sqrt{3/8} \times \sqrt{2/\sqrt{13/15}}$$

Jednak nie umożliwią skonstruowania stosunkowo prostych liczb, jak choćby pierwiastka sześciennego z 2, ponieważ nie ma sposobu, aby wyrazić tę liczbę tylko z użyciem pięciu dozwolonych działań.

Lindemann udowodnił, że π jest liczbą przestępną. Oznacza to, że nie da się jej utworzyć, nie tylko skorzystawszy z dozwolonych działań, ale także z wielu innych, na przykład pierwiastków wyższego stopnia. Lindemann skorzystał z wcześniejszych prac francuskiego matematyka Charles'a Hermite'a, który wykazał przestępność innej znanej stałej – liczby Eulera e=2,71828.... Choć liczba pi wiąże się z prostą figurą, nie sposób jej wyrazić prostym językiem algebry. Ponieważ π, podobnie jak $\sqrt{\pi}$ nie są długościami możliwymi do skonstruowania, więc problemu kwadratury koła nie uda się rozwiązać. Określenie „kwadratura koła" weszło nawet do języka potocznego jako synonim czegoś nie do rozwiązania.

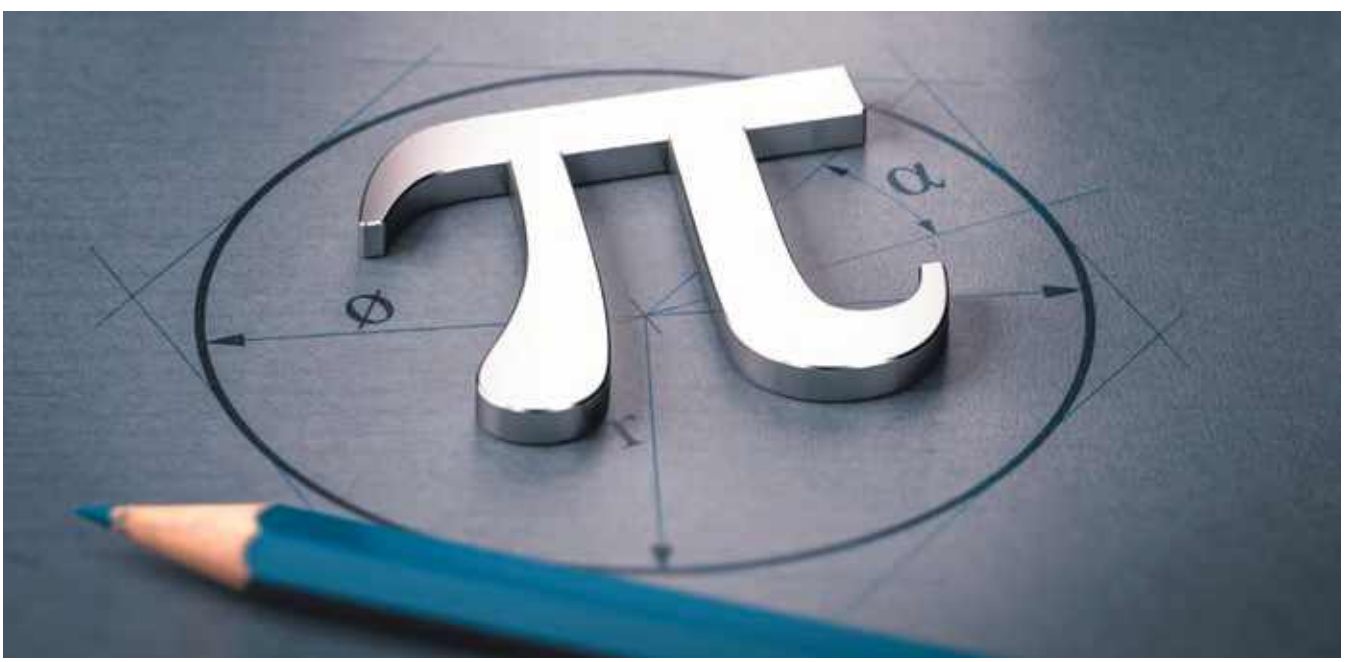
W roku 1897 w „Chicago Tribune" napisano, że „koło, które pojawiło się w Ohio, zmieni swoje proporcje, gdy tylko znajdzie się w Indianie".

Te spostrzeżenia wyjaśniają również, dlaczego Goodwin mógł pozornie osiągnąć nieosiągalne, zakładając, że π jest równe 3,2. Taką liczbę można zapisać jako 16/5, a więc korzystając z liczb całkowitych i dzielenia. Podstawiając tę zgrabną liczbę wymierną w miejsce π, Goodwin ominął podstawową trudność problemu. Oczywiście nikt w rządzie stanowym Indiany w 1897 roku o tym nie wiedział. Po przejściu przez izbę stanową bez żadnego głosu sprzeciwu ustawa trafiła do senatu bez podważania jej aspektu matematycznego. Przypadkowo w izbie stanowej pojawił się wówczas profesor matematyki na Purdue University Clarence A. Waldo, który zamierzał lobbować w sprawie budżetu dla swojej uczelni i usłyszał dyskusję na temat propozycji ustawy Goodwina. Przerażony przebiegiem wydarzeń postanowił utrącić ustawę. Zaczął edukować senatorów w zakresie geometrii z nadzieją zakończenia farsy. Podczas debaty wsparci przez Waldo senatorowie dodatkowo poczuli presję ze strony mediów, bo agencje informacyjne zaczęły przedstawiać całą historię w niekorzystnym świetle.

Szczególnie sarkastyczna była opinia zamieszczona w „Chicago Tribune":

„Natychmiastowym skutkiem tej zmiany będzie nadanie wszystkim kołom, gdy znajdą się w Indianie, większych obwodów lub mniejszych średnic. Koło w Illinois lub koło, które pojawiło się w Ohio, zmieni swoje proporcje, gdy tylko znajdzie się w Indianie... П, choć jest proste jako 3,2, powinno być wolne od jakichkolwiek zawiłości, więc jeśli nadal będzie krnąbrne, legislatura bez wątpienia natychmiast obetnie mu kolejną cyfrę i zrobi z niego 3."

Senat Indiany nie zagłosował za odrzuceniem ustawy. Senatorowie zgodzili się jednak na jej odroczenie na czas nieokreślony. Gdyby nie matematyk, który znalazł się w odpowiednim miejscu we właściwym czasie, mogliby zostać wkręceni w kółko. ■



Olivier Le Moal/Getty Images

eprasa.pl 4ccacbcd35

OJCZYZNA DON KICHOTA



KUP TERAZ

W sprzedaży

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

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

eprasa.pl 4ccacbcd35



Co widzą kosmici

Czy istoty pozaziemskie są w stanie wykryć naszą cywilizację?

PHIL PLAIT

DO TEJ PORY ASTRONOMOWIE ODKRYLI prawie 6000 planet pozasłonecznych – światów krążących wokół gwiazd innych niż nasze Słońce. Jeśli ta liczba wydaje wam się absurdalnie duża, to przygotujcie się na coś więcej – ekstrapolacja tej liczby wskazuje, że w samej Galaktyce mogą istnieć setki miliardów planet. Część z nich będzie podobna do Ziemi, chociaż w tej chwili nie wiemy, jaka. Jednak przy tak ogromnej liczbie nawet niewielki procent globów o warunkach zbliżonych do ziemskich może oznaczać dużą liczbę planet zdolnych do podtrzymania życia.

Dlatego większość naukowców poważnie traktuje ideę życia na innych światach. Życie na Ziemi powstało dość szybko – praktycznie zaraz po jej ostygnięciu wystarczająco, aby na jej powierzchni mogły utrzymać się oceany w stanie ciekłym – co świadczy, że w sprzyjających okolicznościach łatwo dochodzi do jego narodzin. Natomiast czas pojawienia się trudno definiowalnych cech wyższego rzędu, takich jak rozumność i rozwój techniczny, jest kwestią odrębną i w większości niewychodzącą poza spekulacje (jakkolwiek przeprowadzono w tym zakresie kilka interesujących badań). Załóżmy jednak, że w tej chwili gdzieś w Drodze Mlecznej istnieją rozumne istoty pozaziemskie i cywilizacje techniczne. Czy byłyby one w stanie nas w ogóle zauważyć?

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

Jeśli sformułować to pytanie w najbardziej ogólnym sensie, odpowiedź na nie jest pozytywna. Mam na myśli to, że nie ma fizycznego powodu, dla którego nie dałoby się zbudować olbrzymiego teleskopu, znacznie większego niż którykolwiek z obecnie istniejących, który potrafiłby dać szczegółowy obraz planety oddalonej o wiele lat świetlnych. Zadanie to pod względem inżynieryjnym mogłoby nastręczać znacznych trudności, lecz nie jest technicznie niewykonalne. Wtedy wystarczyłoby na przykład rozpoznać światła aglomeracji miejskich w nocy, aby potwierdzić istnienie kosmitów – czyli ludzi, ponieważ wówczas to my bylibyśmy kosmitami.

W istocie może to być nawet łatwiejsze. Znacznie mniejszy teleskop nie musiałby rozróżniać szczegółów planety; wystarczyłoby obserwować ją tak dokładnie, aby stwierdzić, jak staje się to jaśniejsza, to ciemniejsza, w miarę jak miasta nocą pojawiają się i znikają z pola widzenia. A ów „mniejszy" teleskop musiałby być, powiedzmy, jedynie „absurdalnie ogromny", ale nie „przytłaczająco ogromny".

Przyczyną, dla której warto się nad tym zastanowić, jest to, że odwraca to schemat tego, o co zwykle się pyta, czyli czy potrafilibyśmy wykryć kosmitów przy naszym obecnym poziomie techniki. Nie znamy ich stopnia zaawansowania, ale znamy swój własny, zatem logiczne jest przyjęcie, że ich technika jest równoważna naszej, a następnie zadanie pytania, z jakiej odległości mogliby nas dostrzec.

Zasadniczo jest to zadanie skrajnie trudne. Kosmos jest ogromny, a ogromne odległości sprawiają, że nawet najpotężniejsze cywilizacje mogą skrywać się przed naszym wzrokiem. Możemy jednak wykorzystać własną cywilizację jako wzorzec i cofnąć się w czasie, aby oszacować zasięg możliwości podsłuchania naszego hałaśliwego małego świata przez istoty pozaziemskie dysponujące podobną techniką.

Zespół astronomów pod kierownictwem Sofii Sheikh z SETI Institute przeprowadził obliczenia dotyczące tej kwestii i opublikował swoje wyniki w „Astronomical Journal". („SETI" oznacza „Search for ExtraTerrestrial Intelligence", czyli „poszukiwania pozaziemskich istot rozumnych"). Badacze przeanalizowali różne metody wykrywania naszych tzw. technosygnatur i odkryli, że odpowiedź – co nie jest zaskoczeniem – zależy od tego, której konkretnej technosygnatury mogłaby

Ilustracja Scott Brundage

eprasa.pl 4ccacbcd35

wypatrywać pozaziemska cywilizacja. Wiele z tych idei było już wcześniej badanych z osobna, lecz w tej najnowszej analizie rozpatruje się je zbiorczo i spójnie, dając nową perspektywę.

Jednym z przykładów technosygnatury jest komunikacja radiowa. Od swoich początków w połowie XX wieku SETI koncentruje się na wykrywaniu sztucznych sygnałów radiowych z kosmosu. Fale radiowe są łatwe do wytworzenia i wykrycia, a ponadto przemieszczają się w przestrzeni międzygwiazdowej z prędkością światła, ulegając jedynie minimalnemu tłumieniu przez gaz i pył. To sprawia, że radio jest niemal idealnym medium komunikacji w skali galaktycznej. Astronomowie podzielili sygnały radiowe na cztery kategorie – pierwsza to ukierunkowane, lecz pojedyncze transmisje w przestrzeń kosmiczną, wiadomości typu „hej, jesteśmy tutaj"; druga to sygnały przesyłane przez cały czas do naszych sond planetarnych w dalekim kosmosie, które kontynuują podróż w głąb galaktyki; trzecia to sygnały wsyłane nieustannie we wszystkich kierunkach, takie jak emisje „wyciekające" z masztów bazowych telefonii komórkowej, a także stacji radiowych i telewizyjnych; czwarta to sygnały pochodzące z różnych kosmicznych artefaktów, takie jak sygnały niskiej mocy służące do komunikowania się sond międzyplanetarnych z Ziemią.

Sygnały należące do pierwszej kategorii można wykryć z największej odległości, ponieważ wymagana do ich transmisji moc jest najwyższa. Sheikh i jej współpracownicy szacują, że fale te można wykryć z imponującej odległości aż 12 tys. lat świetlnych od Ziemi! Jest to maksymalna odległość, lecz w obszarze wyznaczonym przez ten promień znajduje się kilka miliardów gwiazd. Jeśli chcemy powiadomić innych o naszym istnieniu, prawdopodobnie jest to najlepszy sposób.

Inne metody nie są równie efektywne. W przypadku drugiej kategorii maksymalna odległość wynosi zaledwie około 65 lat świetlnych, co nadal obejmuje tysiące gwiazd. Trzecia kategoria sięga zaledwie czterech lat świetlnych, czyli maksymalnie do najbliższej gwiazdy od Słońca. (Gwiazda ta, Proxima Centauri, znajduje się w odległości 4,25 roku świetlnego). Czwarta kategoria, która obejmuje sygnały z naszych statków kosmicznych, takich jak sonda *Voyager 1*, ma zasięg wykrywalności wynoszący nieco poniżej jednego roku świetlnego. Zaskoczyło mnie to, jeśli wziąć pod uwagę, jak małą moc ma obecnie ten sygnał, gdy znajduje się ona „tylko" około 25 mld km od Ziemi. Nadajnik *Voyagera 1* ma moc 23 W – gdy sygnał dociera do naszej planety jego mioc jest mniejsza od jednej kwintylionowej (10^{18}) części wata.

Ewidentnie radio będzie metodą wybieraną przez kosmitów wypatrujących nas na Ziemi. Ale są też inne sygnatury.

Jednym ze skutków istnienia naszej współczesnej cywilizacji jest ślad w atmosferze. Oprócz dwutlenku węgla przemysł i inne źródła antropogeniczne emitują do atmosfery wiele różnych substancji chemicznych. Zmiana klimatu naszej planety jest sama w sobie czymś niekorzystnym, niemniej stanowi ślad wykrywalny z kosmosu. Byłby on najłatwiejszy do zauważenia dla obserwatorów międzygwiazdowych znajdujących się w płaszczyźnie ekliptyki Układu Słonecznego, czyli płaszczyzny zawierającej okołosłoneczną orbitę Ziemi. Z tej perspektywy widzieliby oni naszą planetę przechodzącą raz w roku bezpośrednio przed naszą gwiazdą – Słońcem, nieznacznie osłabiając jego światło. Zjawisko to, zwane tranzytem, jest na razie efektywniejszą metodą odkrywania egzoplanet.

Tranzyty takie mogą być również wykorzystywane do zdalnej analizy atmosfery danego globu. Gdy światło gwiazdy (lub, w naszym przypadku, światło Słońca) przechodzi przez górną warstwę atmosfery planety, znajdujące się w niej cząsteczki pochłaniają określone długości fal świetlnych, tworząc coś w rodzaju odcisku palca, który można zmierzyć. Metodę tę stosujemy już obecnie do badania niektórych tranzytujących egzoplanet za pomocą James Webb Space Telescope (JWST). Proponowane przyszłe teleskopy, takie jak budowane przez NASA Habitable Worlds Observatory, mają skanować atmosfery dziesiątek potencjalnie podobnych do Ziemi egzoplanet, które mogą istnieć wokół pobliskich gwiazd (nawet jeśli ich tranzyt nie jest bezpośrednio widoczny z naszego Układu Słonecznego).

W swoich obserwacjach astronomowie z SETI Institute skupili się na zdalnym wykrywaniu dwutlenku azotu, NO_2, charakterystycznego produktu ubocznego spalania paliw kopalnych. Biorąc pod uwagę obecny poziom zanieczyszczenia powietrza, stwierdzili, że sygnaturę tę da się wykryć z odległości 5,7 roku świetlnego. Bliżej znajduje się jedynie układ Alpha Centauri, co zmniejsza prawdopodobieństwo zauważenia nas przez kosmitów. Niemniej już sama możliwość przeprowadzenia tego rodzaju poszukiwań jest imponującym osiągnięciem technicznym.

Większość technosygnatur innego typu nie jest aż tak pomocna. Klon JWST ulokowany mniej więcej na wysokości orbity Neptuna byłby w stanie wykryć podczerwone promieniowanie cieplne emanujące z naszych miast, lecz dalej ślad ten ginie. W odległości około 100 razy większej optyczny blask świateł ziemskich aglomeracji zanika całkowicie – to znacznie lepszy wynik, lecz wciąż nie sięga nawet najbliższej Słońca gwiazdy.

Lasery są łatwiejsze do wykrycia i są już testowane przez NASA oraz Europejską Agencję Kosmiczną do komunikacji satelitarnej w kosmosie. Jednak przy rozsądnych założeniach wiązka skupionego światła lasera pozostaje zbyt słaba, aby dało się ją wykryć z odległości nieco poniżej sześciu lat świetlnych, co jest odległością mniejszą niż do Gwiazdy Barnarda, drugiego najbliższego nam układu gwiezdnego. Najgorszą opcją jest wypatrywanie naszych pozaziemskich artefaktów technicznych. Na przykład roje sztucznych satelitów Ziemi nieznacznie zmieniają ilość światła słonecznego blokowanego przez naszą planetę podczas tranzytu, lecz nie tak, aby dało się to wykryć nawet z Marsa. Wystarczy powiedzieć, że gdyby kosmici byli wystarczająco blisko, aby dostrzec takie rzeczy, mieliby inne, znacznie łatwiejsze sposoby do dyspozycji.

Wszystkie te liczby należy przyjmować z zastrzeżeniem, że istoty pozaziemskie nie są bardziej zaawansowane technicznie niż my. Założenie to może być nazbyt konserwatywne, ponieważ w końcu my sami stajemy się coraz bardziej zaawansowani. Budujemy coraz większe teleskopy, ograniczone jedynie budżetem i prawami fizyki, cały czas odkrywając i udoskonalając nowe sposoby badania kosmosu, takie jak detekcja neutrin i fal grawitacyjnych. Tym, co nazywamy „współczesną" astronomią, zajmujemy się dopiero od jakichś 100 lat i trudno przewidzieć, gdzie będziemy za 100 lat od chwili obecnej.

Nasza Galaktyka istnieje od miliardów lat. Nikt nie wie, kto jeszcze ją zamieszkuje i jakich środków technicznych używa do jej badania. Odwrócenie perspektywy naszych poszukiwań kosmitów – spojrzenie z zewnątrz ku nam – może okazać się najlepszym sposobem, by dowiedzieć się tego, jak się przedstawia prawda. ■

eprasa.pl 4ccacbcd35

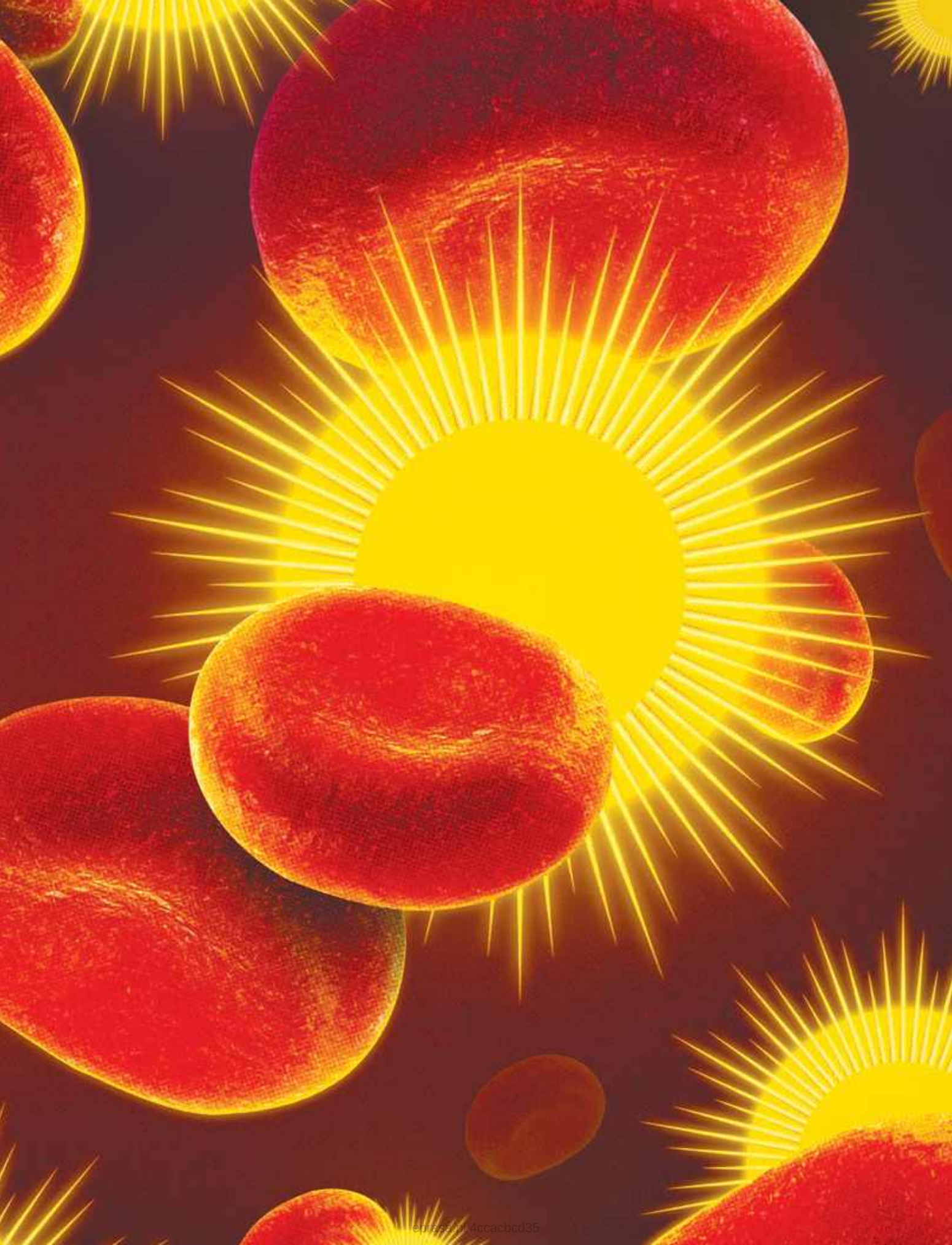


CZY SŁOŃCE LECZY?

Słońce łagodzi choroby autoimmunologiczne, takie jak stwardnienie rozsiane i cukrzyca typu 1. Teraz naukowcy próbują przekuć to odkrycie w terapię

ROWAN JACOBSEN | Ilustracja TAYLOR CALLERY
Zdjęcia ALYSSA SCHUKAR

eprasa.pl #ccache135



KAŻDEGO RANKA KATHY REAGAN YOUNG w swoim domu w Virginia Beach bierze prysznic, wyciera się ręcznikiem, zakłada ochronne okulary i staje w odległości około 25 cm od lampy wielkości niewielkiego grzejnika. Naciska przycisk, a świetlówki zaczynają świecić upiornym, fioletowym światłem. Każdą stronę ciała wystawia na działanie promieniowania ultrafioletowego przez cztery minuty. Potem zaczyna dzień.

To, że może być to zwyczajny dzień, jest czymś niezwykłym. W 2008 roku u Young zdiagnozowano stwardnienie rozsiane (*sclerosis multiplex*, SM) – poważną chorobę, w której układ odpornościowy organizmu atakuje osłonki mielinowe nerwów, stopniowo je niszcząc. Objawy zaczynają się od osłabienia, skurczów, problemów z widzeniem i mową, silnego zmęczenia oraz – jak to nazywa Young – „mgły poznawczej", czyli przewlekłego, łagodnego upośledzenia funkcji umysłowych. Nasilenia objawów mogą prowadzić do czasowej utraty kontroli nad ciałem, a nawet paraliżu. Young, aktywistka działająca na rzecz osób z SM i twórczyni popularnego podcastu, przeszła przez wiele takich epizodów. Ale sytuacja się zmieniła, gdy pojawiła się w jej życiu pewna lampa.

Specjalne lampy emitujące promieniowanie ultrafioletowe (UV), ograniczone do bezpiecznego pasma niewiązanego z ryzykiem raka skóry, od lat stosuje się w leczeniu łuszczycy. Young dostała receptę od lekarza, a urządzenie dostarczyła firma Cytokind, producent sprzętu medycznego, który testuje jego zastosowanie w leczeniu SM i innych chorób autoimmunologicznych, prosząc pacjentów o opinie. Young przetestowała urządzenie i przesłała swoje uwagi: należy aparat zmniejszyć i sprawić, by łatwiej mieścił się w dłoni – ponieważ SM powoduje drętwienie rąk – a także dodać funkcję przypomnień, by pokonać „mgłę poznawczą". I, po kilku miesiącach korzystania z lampy, ku swojemu zaskoczeniu, zauważyła, że zniknęło chroniczne zmęczenie.

Przez lata kilka razy w ciągu dnia musiała się zdrzemnąć – ale to się skończyło. Mówi o tym jako o swoim „odrodzeniu zasilanym promieniami UV". „Byłam na spotkaniu i ktoś powiedział, że jestem pełna energii – wspomina Young. – I dopiero wtedy to do mnie dotarło. Dwa dni później moja córka spytała, co nowego biorę. Myślę, że dla wszystkich było niespodzianką, że tak szybko i zdecydowanie to zadziałało". Wskaźnik aktywności choroby SM (Multiple Sclerosis Disease Activity, MSDA) – oparty na poziomach kluczowych cząsteczek zapalnych we krwi – wyniósł u Young 1 na 10, czyli był najlepszy możliwy. Utrzymuje się na tym poziomie już od ponad roku. Choć SM nadal daje o sobie znać bólem i mrowieniem, to powrót sił witalnych sprawia, że wszystko stało się łatwiejsze do zniesienia. „To niesamowite – mówi Young – Kiedyś, gdy przyjaciele mnie gdzieś zapraszali, najpierw się zgadzałam, ale zawsze odwoływałam, bo byłam wykończona. Teraz to się zmieniło".

Young jest jedną z pierwszych osób w USA testujących fototerapię UV jako metodę leczenia SM – i możliwe, że to początek rewolucji w terapii światłem chorób autoimmunologicznych. Takie schorzenia – jak SM czy cukrzyca typu 1 – pojawiają się wtedy, gdy układ odpornościowy zaczyna niszczyć własne komórki i narządy. Szacuje się, że choroby autoimmunologiczne dotykają ponad 350 mln ludzi na całym świecie. Dotychczas brakowało ich skutecznych terapii.

Choć na razie przeprowadzono tylko kilka badań klinicznych nad światłem UV w leczeniu SM, wyniki wielu analiz wskazują, że promieniowanie to – będące najbardziej energetyczną częścią światła słonecznego docierającego na Ziemię – potrafi zaskakująco skutecznie uspokajać nadpobudliwy układ odpornościowy. Nowe badania dają nadzieję, że terapia UV pomoże również w innych powszechnie występujących schorzeniach autoimmunologicznych, takich jak cukrzyca typu 1, reumatoidalne zapalenie stawów, choroba Crohna czy wrzodziejące zapalenie jelita grubego. Wszystkie te choroby są częstsze u osób, które mają mały kontakt ze słońcem – podobnie jak alzheimer i choroby układu krążenia, które także mogą mieć związek z układem odpornościowym i stanem zapalnym.

Teraz naukowcy próbują odkryć, jak dokładnie promienie UV zmieniają działanie układu odpornościowego. Badają, jak cząsteczki w skórze – takie jak

Rowan Jacobsen jest dziennikarzem i autorem kilku książek, w tym *Wild Chocolate* (Bloomsbury, 2024). Napisał artykuł o tym, że mózg nie jest potrzebny do rozwiązywania problemów [„Świat Nauki" 04/24]. Na X @rowanjacobsen

eprasa.pl 4ccacbcd35

kwas urokanowy czy lumisterol – reagują na światło i uruchamiają sygnały, które docierają do wszystkich narządów. Zwolennicy leczenia promieniowaniem UV twierdzą, że te badania mogą doprowadzić do stworzenia przełomowego leku – czegoś w rodzaju Ozempiku dla autoimmunologii.

Inni naukowcy są ostrożniejsi, ale zgadzają się, że odkryto coś istotnego. „Fototerapia UV ma potencjał – mówi dr Annette Langer-Gould, neurolog i badaczka SM z Kaiser Permanente w Los Angeles. – Ale potrzebujemy więcej badań, większych prób klinicznych i lepszego zrozumienia mechanizmu działania tej terapii".

Taka wiedza mogłaby również rozwiązać zagadkę, która nurtuje badaczy od ponad wieku: dlaczego ludzie żyjący w miejscach z mniejszym nasłonecznieniem częściej chorują?

DROGA, KTÓRA DOPROWADZIŁA do odkrycia korzystnych efektów promieniowania UV, zaczęła się od potwierdzenia jego zagrożeń. W 1974 roku badaczka Margaret L. Kripke – późniejsza założycielka wydziału immunologii w MD Anderson Cancer Center w Teksasie – wykazała, że można wywołać nowotwory skóry u myszy za pomocą światła UV. Ale te same guzy nie rosły, gdy przeszczepiano je innym myszom – ich układ odpornościowy szybko się ich pozbywał. Gdy jednak Kripke osłabiała odporność nowej myszy lekami, guzy zaczynały rosnąć. „To był klucz!" – wspominała.

Dlaczego więc guz rósł w ciele pierwszej myszy? Czy promieniowanie UV, które go wywołało, jednocześnie tłumiło odpowiedź immunologiczną? Seria eksperymentów wykazała, że promieniowanie UV ma podwójny efekt – uszkadza DNA i sprzyja mutacjom, ale jednocześnie osłabia zdolność układu odpornościowego do wykrywania i eliminowania komórek rakowych. To był przełom w zrozumieniu, jak rozwija się rak skóry – ale ewolucyjnie wydawało się to bez sensu. Dlaczego organizm miałby osłabiać odporność wobec tak powszechnego zagrożenia?

Okazuje się, że komórki odpornościowe skóry musiały balansować na cienkiej granicy. Skóra – jako pierwsza linia kontaktu ze światem – nieustannie doświadcza stresorów: gorąca, zimna, ran, ukąszeń, ataku drobnoustrojów. Przez miliony lat nasi przodkowie żyli pod tropikalnym słońcem – a promieniowanie UV było codziennością. „To ogromne wyzwanie dla organizmu – mówi Prue Hart, immunolog z Kids Research Institute w Australii, która bada wpływ światła słonecznego na odporność od ponad 30 lat. – To najważniejszy bodziec środowiskowy, z jakim musimy sobie radzić. Ewoluowaliśmy, by go tolerować".

Gdyby jednak układ odpornościowy reagował na każdy promień słońca jak na zagrożenie, mówi Hart, żylibyśmy w stanie permanentnego zapalenia, z wysypkami, pokrzywkami i innymi chorobami skóry. Nauczył się więc powściągać swoją reakcję.

W czasach prehistorycznych miało to sens – uszkodzenia były niewielkie, skóra się regenerowała, życie toczyło się dalej. Dziś, kiedy żyjemy wystarczająco długo, by nowotwory miały czas się rozwinąć, ceną tej strategii bywa rak skóry. Interesującym potwierdzeniem tej teorii są wielopostaciowe osutki świetlne (polymorphic light eruption, PLE) – schorzenie, w którym układ odpornościowy nie reaguje tłumieniem na promieniowanie słoneczne. Pacjenci z PLE dostają swędzących wysypek, ale rzadziej zapadają na raka skóry.

„Światło UV łagodzi stany zapalne w skórze, układzie nerwowym, trzustce i jelitach. Jego potencjał nie został jeszcze w pełni wykorzystany."
– Prue Hart, Kids Research Institute Australia

Odkrycie, że światło UV tak silnie wpływa na odporność, dało początek nowej dziedzinie: fotoimmunologii. Początkowo badacze, jak Kripke, skupiali się na negatywnym wpływie osłabienia odporności. Szybko jednak zauważyli też korzyści. Na przykład w końcu udało się wyjaśnić, dlaczego lekarze od wieków donosili, że słońce łagodzi objawy łuszczycy – choroby skóry, w której układ odpornościowy atakuje własne komórki naskórka. Światło UV – słoneczne lub z lampy – łagodzi stan zapalny i poprawia stan skóry.

Co ciekawe, efekt ten nie ogranicza się do miejsca naświetlania. Naświetlanie jednej zmienionej chorobowo części ciała potrafi złagodzić objawy w innych miejscach. Jeszcze dziwniejsze: osoby z łuszczycą często cierpią też na inne choroby autoimmunologiczne – i fototerapia niekiedy łagodzi również te objawy.

Gdy fotoimmunolodzy zaczęli głębiej badać przyczyny tej zależności, zaczęli się zastanawiać, czy reakcja organizmu na światło UV nie sięga głębiej niż tylko skóry. W laboratorium naświetlali myszy promieniowaniem UV i obserwowali, jak ich układ odpornościowy przechodzi w stan przeciwzapalny. U myszy cierpiących na choroby autoimmunologiczne zauważono poprawę stanu zdrowia. Naukowcy zaczęli wymieniać się spostrzeżeniami z epidemiologami, którzy dokumentowali oznaki tego samego zjawiska u ludzi.

OD PONAD STULECIA badacze zauważają, że wiele chorób – zwłaszcza autoimmunologicznych i sercowo-naczyniowych – występuje z różną częstością w zależności od szerokości geograficznej. Gdy uwzględni się zmienne zakłócające, takie jak dieta, aktywność fizyczna czy status społeczno-ekonomiczny, okazuje się, że zachorowalność rośnie wraz z oddaleniem od równika. Tłumaczono to różnie – klimatem, dietą, promieniowaniem kosmicznym, występowaniem jakiejś substancji w wodzie – ale żadna z hipotez nie pasowała.

W 1940 roku lekarz z Medical College of Virginia, Frank Apperly, wykazał, że stany USA i prowincje Kanady otrzymujące więcej promieniowania słonecznego notowały co prawda wyższą śmiertelność z powodu raka skóry, ale niższą ogólną śmiertelność nowotworową. Wiadomo było, że rak skóry jest wywoływany przez promieniowanie słoneczne, jednak Apperly

eprasa.pl 4ccacbcd35

zasugerował, że słońce może też w jakiś sposób chronić przed nowotworami wewnętrznymi. Nie wiedział jeszcze jak, ale w 1980 roku dwaj epidemiolodzy z Johns Hopkins University – bracia Frank i Cedric Garland – analizując mapy zachorowalności na raka, przygotowane w ramach rządowej „wojny z rakiem", zauważyli silny gradient północ-południe w przypadku raka jelita grubego. W przełomowym artykule opublikowanym w „International Journal of Epidemiology" zaproponowali, że za to zjawisko odpowiada witamina D.

Do tego momentu witamina D była znana głównie jako mikroskładnik zapobiegający krzywicy. Powstaje w skórze pod wpływem światła słonecznego i pomaga dostarczać wapń do kości, czyniąc je odporniejszymi na złamania. Bracia Garland zasugerowali, że jej rola może być znacznie większa – i rzeczywiście, gdziekolwiek naukowcy zaczynali się przyglądać, tam odkrywali odwrotną korelację między poziomem witaminy D a ryzykiem dziesiątek chorób: raka piersi, nadciśnienia, cukrzycy, zawału serca, udaru, demencji, depresji czy wielu schorzeń autoimmunologicznych.

Tak rozpoczęła się era witaminy D. Lekarze na całym świecie zaczęli zalecać suplementację tego „cudownego leku" – i do dziś zalecają ją osobom z poważnym niedoborem. Jednak – jak ostatnio opisywano w tym czasopiśmie [„Świat Nauki", nr 02/24] – rygorystyczne badania kliniczne wykazały, że dodatkowa suplementacja witaminy D jako forma leczenia nie przynosi poprawy w żadnym z tych schorzeń. Choroby te dotykają ludzi przyjmujących suplementy i tych, którzy ich nie biorą – w takim samym stopniu. Większość z nas otrzymuje wystarczającą ilość witaminy D dzięki odrobinie słońca lub diecie – dobrym źródłem są na przykład wzbogacone w witaminę D produkty mleczne czy tłuste ryby, takie jak łosoś. Cokolwiek słońce robi, by zapobiegać tym licznym chorobom – to jest to coś znacznie bardziej złożonego niż tylko stymulowanie skóry do produkcji witaminy D.

Chorobą wykazującą najbardziej wyraźny gradient szerokości geograficznej jest stwardnienie rozsiane (SM). Częstość jego występowania w pobliżu równika jest bliska zeru, a z każdym stopniem szerokości geograficznej wzrasta średnio o 3,64 przypadku na 100 000 osób, osiągając ponad 100 przypadków na 100 000 w północnej Europie i Ameryce Północnej. Ten gradient występuje na całym świecie i z biegiem czasu staje się coraz silniejszy. Widać go nawet w obrębie poszczególnych krajów, takich jak Francja, Wielka Brytania, Szwecja, Nowa Zelandia, Kanada czy USA.

Jedne z najlepszych danych pochodzą z Australii – jedynego kraju, który może się pochwalić dużym zakresem szerokości geograficznych, stosunkowo jednolitą populacją i systemem opieki zdrowotnej z dobrą dokumentacją. Badanie z 1981 roku wykazało, że częstość występowania SM wzrastała od 12 przypadków na 100 000 osób w tropikalnym Townsville (19° szerokości) do 21 w Brisbane (27°), 37 w Newcastle (33°), aż do 76 na 100 000 osób w Hobart (43°). Związek z szerokością geograficzną został potwierdzony na początku XXI wieku, kiedy to badanie różnych czynników środowiskowych mogących wpływać na rozwój SM wykazało wielokrotnie wyższe wskaźniki zachorowalności na południu Australii.

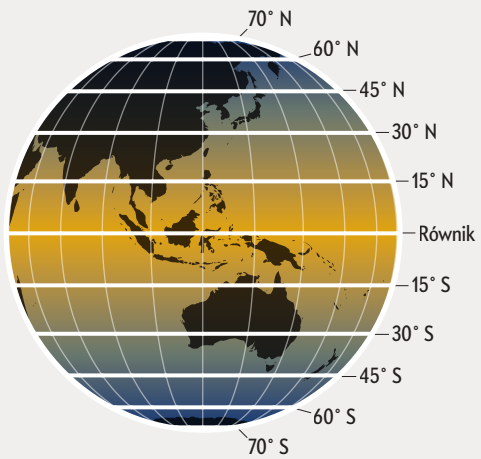
W tamtym czasie – mówi Robyn Lucas, epidemiolożka z Australian National University i jedna z liderek wspomnianych badań – wielu naukowców zakładało, że za wszystko odpowiada niedobór witaminy D w wyższych szerokościach geograficznych. „Witamina D była wtedy na topie. Brak witaminy D to był rak. To były choroby serca. Choroby autoimmunologiczne – wspomina. – Suplementację witaminą D uważano za panaceum."

Ale w 2010 roku Lucas natrafiła na badanie, które pokazywało, że naświetlanie promieniami UV chroni myszy przed SM – mimo że nie zmienia ich poziomu witaminy D. Myszy nie zawsze są dobrym modelem dla ludzi, ale doniesienie wystarczyło, by wzbudzić ciekawość. „Właśnie zakończyłam analizę dotyczącą witaminy D, a tu ukazuje się to badanie, więc pomyślałam, że trzeba się temu bliżej przyjrzeć – mówi. – Wróciłam do naszych danych i faktycznie odkryłam znacznie silniejszy efekt ekspozycji na słońce".

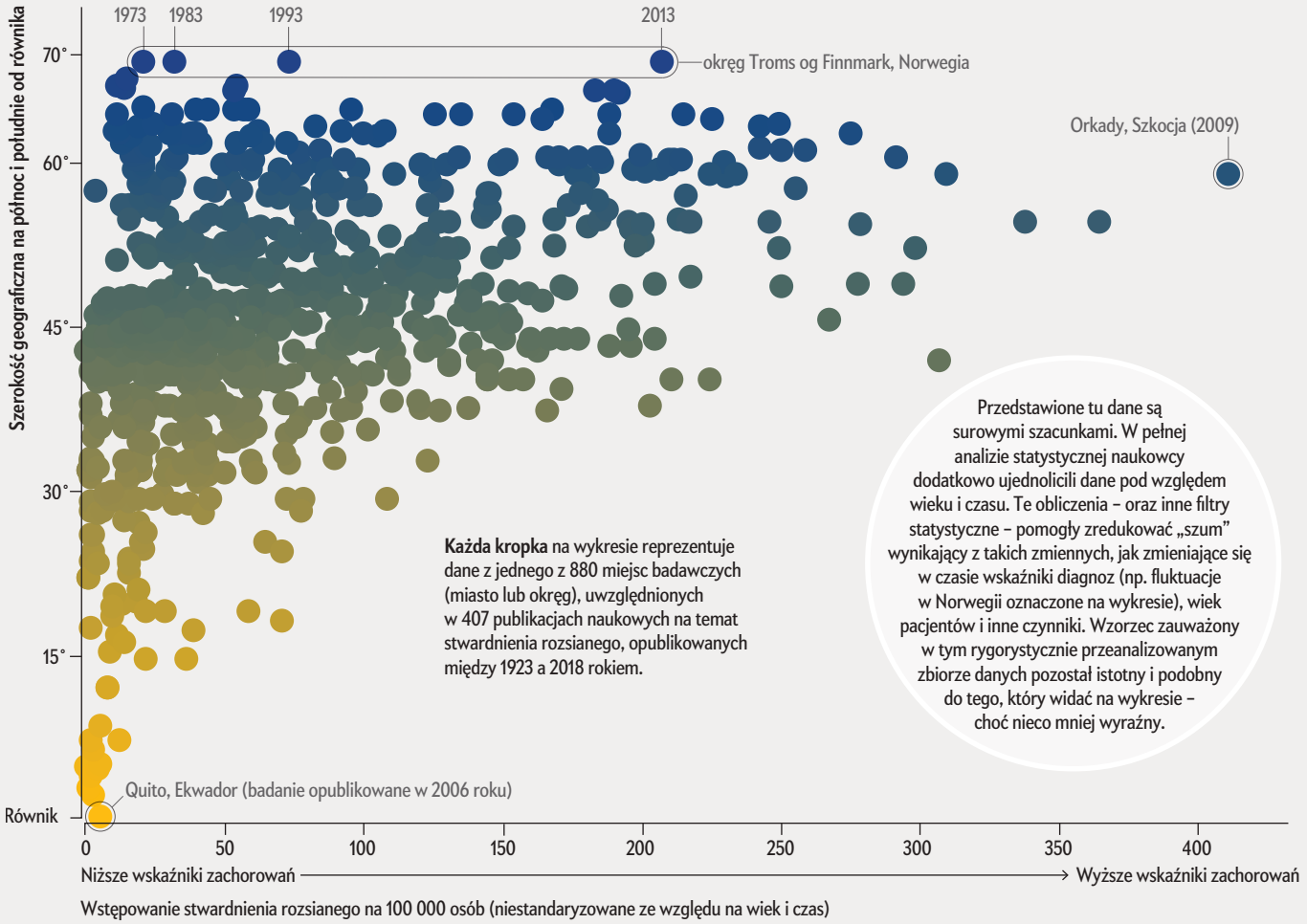
Od tego czasu Lucas i inni badacze znajdowali oznaki ochronnego działania światła słonecznego przed SM niemal wszędzie, gdzie spojrzeli. U osób z najwyraźniejszymi oznakami uszkodzenia skóry przez słońce na grzbietach dłoni – co jest wyjątkowo dobrym

Rzut światła na stwardnienie rozsiane

Ważna wskazówka dotycząca leczniczego działania światła słonecznego pochodzi z badań nad stwardnieniem rozsianym (*sclerosis multiplex*, SM). Choroba ta pojawia się, wtedy gdy układ odpornościowy człowieka atakuje osłonki ochronne wokół nerwów. Objawy obejmują trudności z chodzeniem, ogólną słabość, a nawet częściową lub całkowitą utratę wzroku. SM dotyka około jednej osoby na 1000 na całym świecie. Jednak występuje znacznie częściej na wyższych szerokościach geograficznych, gdzie słońca jest mniej, i rzadziej w pobliżu równika. Po uwzględnieniu czynników zakłócających, naukowcy są zdania, że światło słoneczne działające na skórę wyzwala reakcję, która powstrzymuje nadaktywność układu odpornościowego.



eprasa.pl 4ccacbcd35



wskaźnikiem całkowitej ekspozycji na słońce w ciągu życia – ryzyko zachorowania na SM było aż trzykrotnie mniejsze w porównaniu z tymi, u których takich oznak było mniej. U dzieci, które spędzały na zewnątrz mniej niż 30 min dziennie, ryzyko rozwoju SM było dwukrotnie wyższe niż u tych, które przebywały na zewnątrz od 30 min do godziny, i aż pięciokrotnie wyższe w porównaniu z dziećmi, które przebywały na świeżym powietrzu ponad godzinę dziennie.

Warto jednak zaznaczyć, że badania obserwacyjne tego typu nie dowodzą związku przyczynowo-skutkowego. Mogą istnieć inne wyjaśnienia tych zależności. Być może osoby z pierwszymi, jeszcze niezdiagnozowanymi objawami SM częściej przebywają w domu, bo źle się czują. A może to coś innego w środowisku wyższych szerokości geograficznych sprzyja rozwojowi choroby. Dlatego epidemiolodzy zaczęli szukać dodatkowych dowodów – i wiele ich znaleźli. Nawet w obrębie jednego regionu liczba nawrotów SM wykazuje cykl sezonowy – wzrasta zimą, gdy słońca jest najmniej – a częstość zachorowań silnie koreluje z miesiącem urodzenia. Najwyższa jest u osób, które przeszły pierwszy trymestr ciąży zimą, czyli wtedy, gdy rozwijają się mózg i układ odpornościowy.

Dodatkowego potwierdzenia dostarczyło niewielkie badanie kliniczne przeprowadzone przez Prue Hart. Zrekrutowała ona 20 pacjentów z tzw. zespołem klinicznie izolowanym – to wczesne stadium SM, które zwykle prowadzi do pełnoobjawowej choroby. Połowa badanych przez osiem tygodni korzystała z terapii światłem UVB o wąskim paśmie, podobnym do tego, jakiego używa Kathy Reagan Young – trzy sesje tygodniowo, każda trwająca zaledwie kilka minut. Druga połowa nie otrzymała takiej terapii. Już tydzień po rozpoczęciu naświetlań poziom białek zapalnych we krwi w grupie leczonej UV spadł – i pozostał obniżony nawet po zakończeniu leczenia. Trzy miesiące od rozpoczęcia badania wskaźniki nasilenia choroby spadły w tej grupie o 13%, podczas gdy w grupie kontrolnej wzrosły o 14%. Wyniki te korelowały z subiektywnie odczuwanym zmęczeniem u pacjentów. Po roku od zakończenia sesji, u wszystkich pacjentów z grupy, która nie otrzymała terapii UV, rozwinęła się pełnoobjawowa postać SM – podczas gdy grupa naświetlana została oszczędzona.

To, że efekt utrzymywał się przez wiele miesięcy po zakończeniu terapii UV, było niezwykle intrygujące. Komórki układu odpornościowego są stale produkowane w szpiku kostnym i nie żyją długo, więc promieniowanie UV nie tylko tłumiło już istniejące komórki – ono przeprogramowywało cały system w kierunku większej tolerancji. „Uważam, że UV to element

ŹRÓDŁO: "Latitude Continues to Be Significantly Associated with the Prevalence of Multiple Sclerosis: An Updated Meta-Analysis", Steve Simpson, Jr. i in., „Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry", tom 90, nr 11, listopad 2019 *(dane)*

Grafika Jen Christiansen

eprasa.pl 4ccacbcd35



Kathy Reagan Young, cierpiąca na stwierdzenie rozsiane, każdego ranka przez kilka minut naświetla ciało promieniowaniem ultrafioletowym, wykorzystując terapeutyczną lampę (*po prawej*). Odkąd zaczęła stosować tę metodę, objawy choroby znacznie się złagodniały.

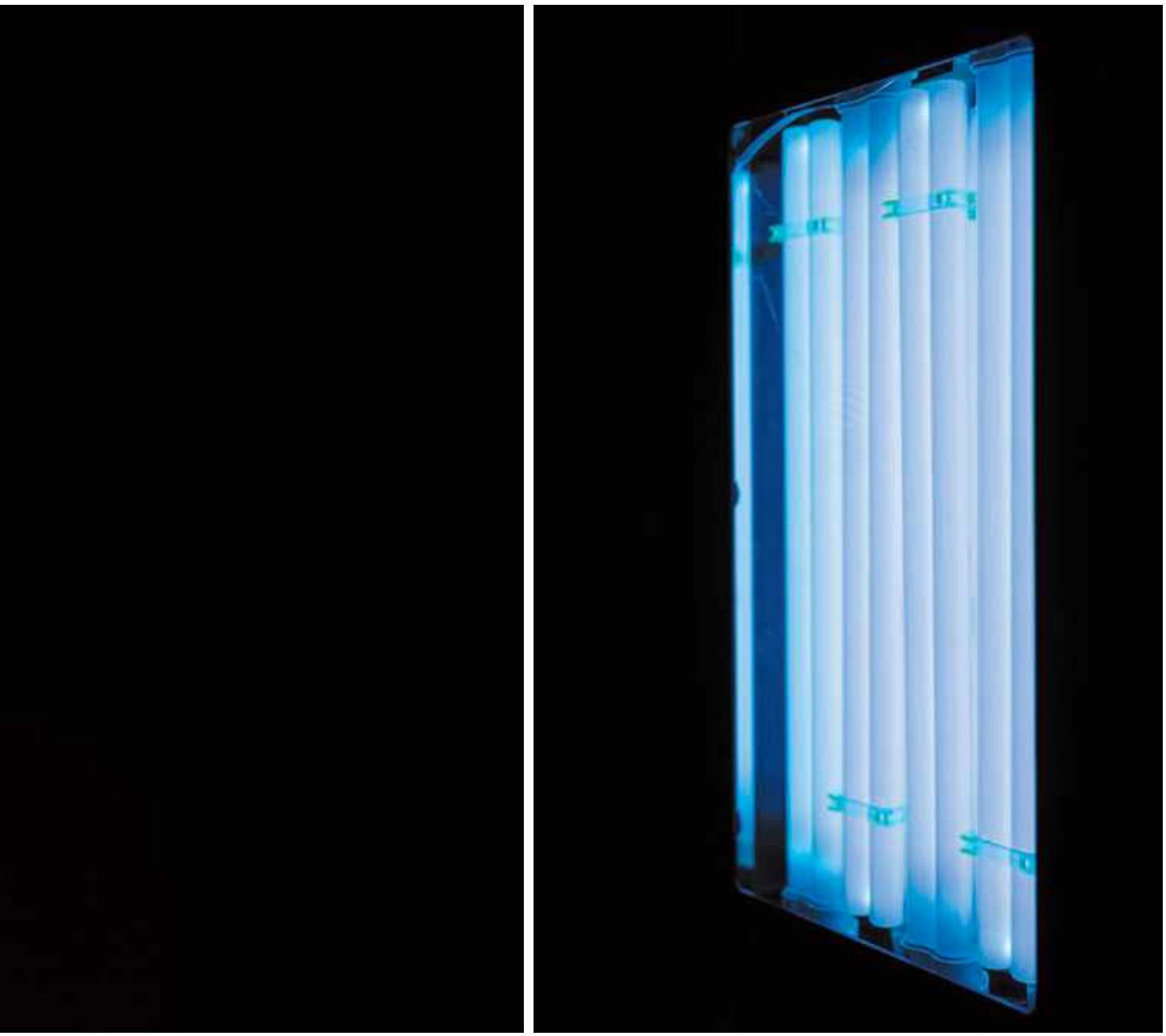
wrodzonego treningu immunologicznego – mówi Hart. – Reprogramuje podzbiory komórek odporności wrodzonej już na etapie ich powstawania w szpiku. Stają się mniej zapalne, a bardziej regulacyjne".

To podejście jest podobne do ostatnich badań pokazujących, że wczesna ekspozycja na niewielkie ilości alergenów może nauczyć układ odpornościowy odpowiedniej reakcji i zapobiec jego nadmiernej aktywności w przyszłości. „To taki efekt przywracania równowagi – mówi Hart. – Światło UV łagodzi stany zapalne w skórze, ale potem również w ośrodkowym układzie nerwowym. Uspokaja stan zapalny w trzustce i jelitach. Dlatego uważam, że jego potencjał jako regulatora homeostazy całego organizmu wciąż nie został w pełni wykorzystany".

Konsekwencje tych odkryć wykraczają daleko poza SM czy choroby autoimmunologiczne. W ostatnich latach badacze ustalili, że wiele innych przewlekłych chorób również ma składnik zapalny. Choroby układu krążenia są częściowo spowodowane przez komórki odpornościowe atakujące i uszkadzające ściany naczyń krwionośnych. Choroba Alzheimera wiąże się z przewlekłym, niskopoziomowym stanem zapalnym w mózgu. Zapalenie odgrywa rolę także w takich schorzeniach, jak artretyzm, astma, alergie, cukrzyca, a nawet depresja. Coś w nowoczesnym, zamkniętym, przesadnie higienicznym stylu życia może sprawiać, że nasz układ odpornościowy traci zdrowy punkt odniesienia.

Efekty ekspozycji na słońce zaobserwowano także w chorobach, w których układ odpornościowy atakuje trzustkę, zaburzając produkcję insuliny. W południowej Australii zachorowalność na tę chorobę jest trzykrotnie wyższa niż w północnej części kraju. W Stanach Zjednoczonych najmniej przypadków notuje się wśród dzieci urodzonych jesienią, które rozwijały się w łonie matki latem. Ale różnice są najbardziej wyraźne w północnych

eprasa.pl 4ccacbcd35



rejonach kraju i najmniejsze w słonecznych miejscach, takich jak Hawaje czy południowa Kalifornia.

„Jak widać – mówi Robyn Lucas – te odkrycia zaczynają tworzyć bardzo przekonującą całość. Wykazaliśmy to już w przypadku dziecięcego SM, w chorobie Leśniowskiego-Crohna, w cukrzycy typu 1. Dowody są spójne w różnych chorobach autoimmunologicznych o podobnej immunopatologii".

WZIĄWSZY POD UWAGĘ tę spójność danych – co powinniśmy z tym zrobić? Choć niektórzy naukowcy postulują zwiększenie ekspozycji na słońce u osób z wysokim ryzykiem choroby autoimmunologicznej, niewielu lekarzy odważyłoby się zalecić pacjentom znany czynnik rakotwórczy. Świętym Graalem – jeśli chodzi o powszechną akceptację – byłoby odkrycie tajemniczego szlaku molekularnego, dzięki któremu skóra przekazuje układowi odpornościowemu sygnał: „wyluzuj", i przekształcenie tego mechanizmu w lek biologiczny, czyli preparat pozyskany z organizmów żywych.

„Co będzie odpowiednikiem Ozempicu dla autoimmunologii? – pyta John MacMahon, współzałożyciel firmy Cytokind. – Skąd się to weźmie? Czy w tej fotoodpornościowej kaskadzie jest coś, co da się zidentyfikować?"

„Nie wiemy, czym jest ta złota cząsteczka. Wiemy tylko, że to nie witamina D – mówi Prue Hart. – Dlatego robimy krok wstecz i podajemy UV, które pozwala skórze wytworzyć… cokolwiek to jest". Ale, dodaje MacMahon, pigułka byłaby lepsza niż lampy UV. „Ludzie wolą pigułki – mówi. – Lekarze wolą przepisywać pigułki, a firmy farmaceutyczne z całą pewnością wolą je produkować".

Problem w odnalezieniu „cokolwiek to jest" polega na tym, że kiedy naświetlasz skórę światłem UV i przyglądasz się, co ona produkuje, trafiasz na

eprasa.pl 4ccacbcd35

mikroskopijną aptekę. Poza witaminą D skóra wytwarza melatoninę, serotoninę, endorfiny, endokannabinoidy, kortyzol, oksytocynę, leptynę, tlenek azotu, kwas cis-urokanowy, itakonian, lumisterol, tachysterol i kilkanaście innych związków podobnych do witaminy D, które nawet nie mają jeszcze nazw.

Większość z tych substancji to hormony albo neuroprzekaźniki – i to wcale nie powinno dziwić. Choć wiele osób uważa skórę wyłącznie za barierę, to w rzeczywistości jest ona największym narządem ciała i kluczowym elementem układu neuroendokrynnego. Nieustannie „rozmawia" z mózgiem i ciałem, informując, jak dostosować funkcjonowanie organizmu, by utrzymać zdrowie. To również główne pole działania układu odpornościowego – z magazynem limfocytów T, makrofagów, neutrofili, cytokin, peptydów przeciwdrobnoustrojowych i innych ważnych graczy.

Sposób, w jaki światło UV miesza ten „wielosmakowy gulasz" biochemiczny, jest zarazem elegancki i złożony. Na przykład organizm magazynuje w skórze prekursor witaminy D zwany 7-dehydrocholesterolem. Gdy molekuła ta zostaje napromieniowana odpowiednią dawką UV, jedno z jej wiązań pęka, co pozwala atomom ustawić się w nowej konfiguracji. Ale gdy UV dostarczy jeszcze więcej energii, cząsteczka przechodzi w inną formę – lumisterol – który występuje we krwi w większych stężeniach niż witamina D i ma znane działanie przeciwzapalne i przeciwnowotworowe. Skóra wykorzystuje „rozbijającą wiązania" moc promieniowania UV do produkcji różnych związków, w tym kwasu cis-urokanowego i tlenku azotu – który obniża ciśnienie krwi i redukuje stany zapalne w całym ciele.

Inne komórki skóry reagują na światło słoneczne, zwiększając produkcję białka o nazwie proopiomelanokortyna. Jest ono następnie rozkładane przez enzymy na trzy kluczowe molekuły: beta-endorfinę – neuroprzekaźnik wywołujący uczucie dobrostanu i zmniejszający poziom hormonów stresu; hormon adrenokortykotropowy – który pobudza wydzielanie kortyzolu, regulującego stres i tłumiącego stan zapalny; oraz alfa-hormon stymulujący melanocyty – który naprawia uszkodzone komórki, hamuje molekuły prozapalne i stymuluje produkcję melaniny, pociemniającej skórę.

Immunolog Scott Byrne z University of Sydney niedawno odkrył sześć nowych lipidów – o nazwach takich jak acylokarnityna i fosfatydyloetanoloamina – które skóra produkuje pod wpływem światła UV i wysyła do węzłów chłonnych pod skórą, gdzie spotykają się różne komórki układu odpornościowego i wymieniają informacjami. Tam te lipidy wysyłają sygnał do limfocytów T – potężnych komórek odpornościowych, które u osób z SM wymykają się spod kontroli i atakują układ nerwowy – by się uspokoiły i przestały się mnożyć. Co ważne, ten szlak jest niezależny od tego, który osłabia nadzór przeciwnowotworowy w skórze, co oznacza, że można byłoby wykorzystać dobroczynne skutki UV bez tych szkodliwych.

Nikt jeszcze w pełni nie rozumie, jak ten biologiczny „automat do gry w pachinko" sam się organizuje, gdy wszystkie te komórki i sygnały się ze sobą zderzają – więc poszukiwanie „złotej cząsteczki" na pewno nie zakończy się jutro i prawdopodobnie nie będzie miało prostego finału. „Czy to nie naiwność sądzić, że jedna molekuła rozwiąże wszystkie problemy zdrowotne kontrolowane przez UV?" – pyta Hart. Jedna przyczyna byłaby z pewnością wygodna – „ale ewoluowaliśmy pod słońcem przez miliony lat. To raczej coś wieloskładnikowego".

Podobnie sama fototerapia raczej nie dostarczy wszystkich korzyści płynących z pełnego spektrum światła słonecznego – ale nie musi. Jej bezpieczeństwo, prostota i niskie koszty oznaczają, że wystarczy, by dawała choć trochę efektów. „Fototerapia jest tak tania w porównaniu z lekami biologicznymi – mówi Hart. – To prawie oczywiste, że powinna być leczeniem wspomagającym w chorobach zapalnych i autoimmunologicznych".

To właśnie ten fakt zainteresował firmy ubezpieczeniowe. Lampa UV do użytku domowego kosztuje około 2000 dolarów, podczas gdy adalimumab (Humira), jeden z czołowych leków biologicznych stosowanych w chorobach autoimmunologicznych, około 80 000 dolarów rocznie – i trzeba go przyjmować do końca życia. Zainspirowana tą kalkulacją oraz wynikami badań klinicznych pokazujących, że fototerapia może być równie skuteczna, jak niektóre leki, przy znacznie mniejszych działaniach niepożądanych, firma Kaiser Permanente zapewniła 2200 pacjentom z łuszczycą bezpłatne lampy UV do stosowania w domu. Mniej niż jedna trzecia chorych sięgnęła później po leki biologiczne. Kaiser Permanente obecnie oficjalnie rekomenduje terapię UV jako leczenie łuszczycy w warunkach domowych.

Jednak Annette Langer-Gould, specjalistka od SM z Kaiser Permanente, mówi, że choć chętnie sprawdziłaby, czy lampy UV stosowane przy łuszczycy mogłyby również pomóc w SM, to jeszcze za wcześnie na takie wnioski. „Dane od Hart są bardzo obiecujące – przyznaje. – Ale obecne dowody nie są wystarczające, by jednoznacznie potwierdzić efekt terapeutyczny i zalecić powszechne stosowanie lamp. Potrzebujemy jeszcze co najmniej jednego badania". Takie badanie musiałoby być próbą kliniczną wystarczająco dużą, by wykazać znaczącą poprawę stanu zdrowia pacjentów. Firma Cytokind właśnie prowadzi takie badanie, ale wyniki będą znane najwcześniej za kilka lat.

Tymczasem elastyczność fototerapii pozwala osobom takim, jak Kathy Young, tworzyć własne, indywidualne protokoły leczenia – a ta niezależność ma ogromną wartość, gdy zmagasz się z wyniszczającą chorobą. „SM odbiera ci wszystko – mówi Young. – Nie możesz wstać z łóżka, iść do pracy, posprzątać, zrobić zakupów. Musisz organizować transport tylko po to, by dostać się do lekarza". Ale teraz, przynajmniej na razie, wymieniła to wszystko na dni wypełnione treningiem siłowym, jogą, działalnością charytatywną, chatami, medytacją – i kilkoma minutami naświetlania UV każdego ranka. „To daje niesamowite poczucie sprawczości – mówi. – Znaleźć terapię, która pozwala naprawdę o siebie zadbać – to coś niezwykłego". ■

Artykuł przygotowany dzięki wsparciu Nova Institute for Health.

Z NASZEGO ARCHIWUM

Wzlot i upadek witaminy D. Christie Aschwanden; luty 2024.

eprasa.pl 4ccacbcd35



W słoneczny dzień Young spaceruje koło swojego domu w Wirginii. Terapia ultrafioletem pozwala jej wykonywać codzienne czynności i minimalizuje wiele problemów i ból, spowodowanych stwardnieniem rozsianym.

eprasa.pl/4ccacbcd35



KOSMOLOGIA

Kosmiczny świt

Eksperymenty prowadzone za pomocą teleskopów nowej generacji mogą sięgnąć do najwcześniejszych epok historii Wszechświata

REBECCA BOYLE

Ilustracje OLENA SHMAHALO

eprasa.pl 4ccacbcd35



W DNIU, KTÓRY ZAPEWNE BYŁ NAJBARDZIEJ CHLUBNYM w długiej karierze naukowej Jacka Burnsa, astronom siedział na plaży. Dynamika orbitalna i harmonogramy startów nie mogły czekać, z kolei Burns nie mógł przesunąć swojej długo planowanej rodzinnej podróży. Tak więc w lutym 2024 roku, podczas wakacji na Maui, gdzie świętował zakończoną rok wcześniej skuteczną terapię raka, Burns słuchał transmisji na żywo z centrum kontroli misji prywatnej firmy lotniczej Intuitive Machines. Należący do spółki lądownik Odysseus miał stać się pierwszym komercyjnym statkiem kosmicznym, który wylądował na Księżycu.

Przewoził on instrument przeznaczony dla projektu, który Burns współtworzył: zestaw czterech anten zaprojektowanych do odbioru fal radiowych na powierzchni Księżyca – pierwszy mały krok w kierunku poznania najwcześniejszych dni Wszechświata. Gdy Burns słuchał transmisji, Odysseus wylądował na powierzchni Księżyca, po czym się przewrócił. Instrument Burnsa o nazwie ROLSES (Radio wave Observation at the Lunar Surface of the photoElectron Sheath) rejestrował dane przez 25 min. „Wciąż był wystarczająco sprawny, abyśmy mogli rozstawić nasze anteny i zebrać trochę danych, możemy więc ogłosić, iż epoka radioastronomii na Księżycu się rozpoczęła – wspominał Burns podczas czatu wideo, wznosząc pięści w powietrze. – Moi studenci powiedzieli, że to rozczarowujące, a ja odpowiedziałem, że: mają rację, ale niech spojrzą na to z mojej perspektywy. Popatrzcie, ile czasu nam to wszystko zajęło”.

Krótkotrwały eksperyment był punktem kulminacyjnym w karierze Burnsa, obecnie emerytowanego profesora na University of Colorado Boulder, i stał się dobrodziejstwem dla nowego pokolenia kosmologów zajmujących się radioastronomią. Analiza tych danych, zbieranych przez kilka minut, może pomóc naukowcom w zaprojektowaniu kompletnego księżycowego obserwatorium radiowego. Taka misja pozwoliłaby badaczom zarejestrować pierwsze światło we Wszechświecie, pochodzące z czasów, gdy nie było galaktyk ani gwiazd, a nawet pierwszych cząsteczek – z fazy zwanej wiekami ciemnymi, kiedy istniały tylko elektrony wirujące wokół jąder wodoru.

Koniec kosmicznych wieków ciemnych i początek kosmicznego świtu to czas, w którym znany nam Wszechświat zaczął nabierać kształtów. Nie możemy spojrzeć na tę kosmiczną erę, ale badając słabe promieniowanie o dużej długości fali, wyemitowane przez drgające wtedy atomy, być może zdołamy uzyskać bardziej szczegółowe wyjaśnienie, dlaczego nasz Wszechświat wygląda dziś tak, a nie inaczej, i jak do tego doszło.

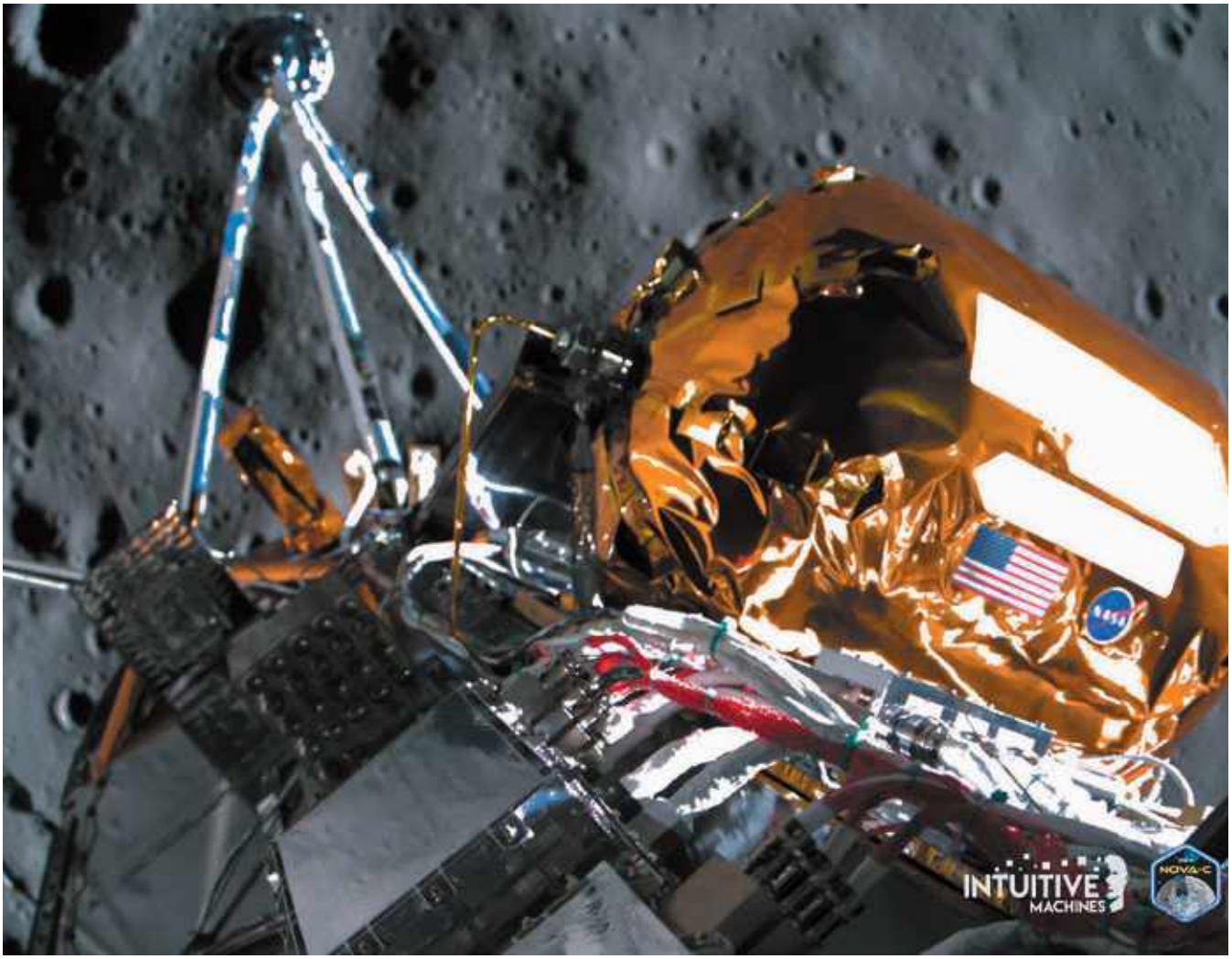
ROLSES był jednym z pierwszych programów w tej nowej dziedzinie wiedzy. Finansowany przez NASA instrument o nazwie Lunar Surface Electromagnetics Experiment, który ma wylądować na Księżycu w 2026 roku na pokładzie innego komercyjnego lądownika, również poprowadzi badania radioastronomiczne na niskich częstotliwościach, mające na celu wyjaśnienie tych kwestii. Oba programy będą towarzyszyć wielu innym, zlokalizowanym w najbardziej niedostępnych zakątkach Ziemi. Ich zadaniem będzie zbadanie pozbawionej światła ery Wszechświata – kosmicznych wieków ciemnych i kosmicznego świtu.

„Obecnie epoka, w której galaktyki jeszcze nie istniały, jest praktycznie niedostępna dla badań”” – mówi Sarah Bosman, początkująca astronomka badająca kosmiczny świt, która kieruje zespołem na Universität Heidelberg w Niemczech. Ale to wszystko może się zmienić wraz z nową generacją eksperymentów. „Na obserwatoria przeznaczono ogromną ilość pieniędzy; rozmawiamy już o tym od 50 lat”.

WSZYSTKO ZACZĘŁO SIĘ od ogromnego impulsu energii znanego jako Wielki Wybuch. W ciągu kilku sekund Wszechświat ochłodził się tak, by mogły powstać pierwsze protony, neutrony, elektrony i fotony, a po kilku minutach te cegiełki połączyły się, tworząc pierwsze jądra wodoru i helu. Po około 380 000 lat Wszechświat stał się wystarczająco chłodny, aby protony i neutrony mogły pochwycić swobodnie latające elektrony i utworzyć pierwsze elektrycznie obojętne atomy. Po raz pierwszy fotony przestały zderzać się ze swobodnymi elektronami i mogły przelatywać przez Wszechświat.

Rebecca Boyle jest współpracowniczką „Scientific American” i nagradzaną niezależną dziennikarką z Kolorado. W swojej książce z 2024 roku *Our Moon: How Earth's Celestial Companion Transformed the Planet, Guided Evolution, and Made Us Who We Are* (Random House) omawia związki Ziemi z jej satelitą.

eprasa.pl 4ccacbcd35



To zdjęcie Księżyca zostało wykonane przez lądownik Odysseus firmy Intuitive Machines, gdy zbliżał się on do jego powierzchni.

Intuitive Machines

Proces ten, mylnie nazywany rekombinacją – w rzeczywistości było to pierwsze prawdziwe połączenie składników atomów – uwolnił kosmiczne mikrofalowe promieniowanie tła (cosmic microwave background; CMB), które przenika całą przestrzeń kosmiczną. Najbardziej szczegółową mapę CMB opracowano dzięki satelicie Planck – europejskiemu obserwatorium kosmicznemu, które zostało wystrzelone w 2009 roku w celu zbadania tego promieniowania.

W blasku CMB Wszechświat wypełniał się obojętnymi atomami. Ciemność utrzymywała się przez następne 50 mln lat, ponieważ nie było gwiazd, których światło mogłyby przebijać się przez gaz. Podczas tych kosmicznych wieków ciemnych ciemna materia gromadziła się w niewidoczny sposób, a grawitacja spokojnie sterowała materią, tworząc superstrukturę Wszechświata. Pod wpływem grawitacji losowe fluktuacje gęstości materii już wtedy wyznaczały przyszły kurs Wszechświata.

Po upływie jakichś 50 lub 100 mln lat grawitacja ściągnęła do siebie atomy wodoru i wtedy rozbłysły pierwsze gwiazdy. Emitowane przez nie silne promieniowanie ultrafioletowe zjonizowało obojętny elektrycznie gaz, odrywając elektrony od atomów. Był to koniec wieków ciemnych i początek kosmicznego świtu – kolejnej ery, którą dopiero teraz jesteśmy w stanie badać.

Moment ten nazywany jest epoką rejonizacji. W tym okresie – nie wiemy dokładnie, kiedy i jak to się stało – grawitacja wtłoczyła pierwsze gwiazdy w pierwsze galaktyki i gromady galaktyk. Dzisiaj promieniowanie tych najwcześniejszych galaktyk dociera do detektorów podczerwieni Kosmicznego Teleskopu Jamesa Webba (James Webb Space Telescope; JWST). Wszyscy są zaskoczeni, ponieważ młody Wszechświat był znacznie jaśniejszy, niż się spodziewano. Te wczesne, jasne obiekty mogą, metaforycznie, rzucić nieco światła na samą epokę rejonizacji.

„Dzięki danym z Plancka mamy obraz rozkładu gęstości Wszechświata 380 000 lat po Wielkim Wybuchu. Mamy też rozkłady późniejszych galaktyk z przeglądów Sloan Digital Sky Survey, Dark Energy Survey, Jamesa Webba i innych. Ale nie wiemy nic, co działo się pomiędzy tymi epokami” – mówi Charlotte Mason, astrofizyczka z Københavns Universitet w Kopenhadze.

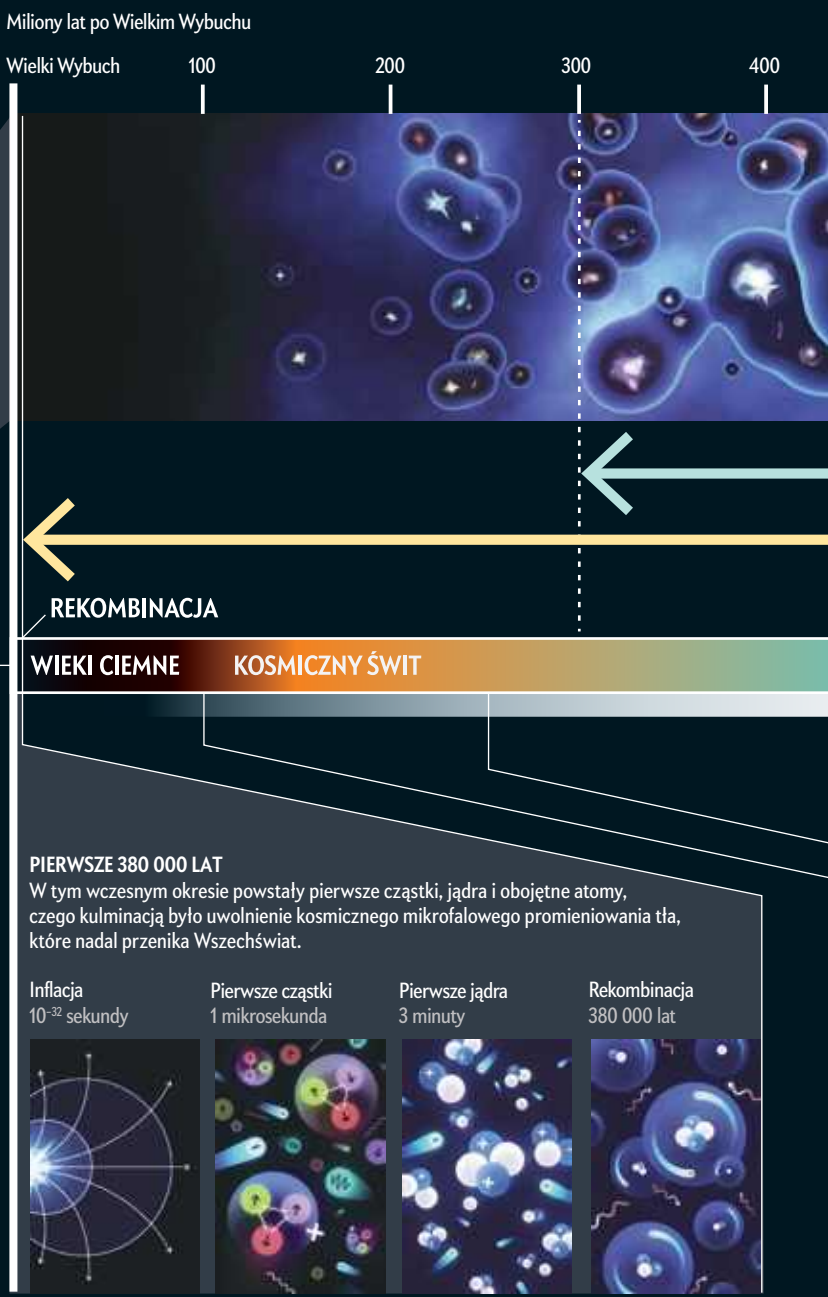
Ewolucja kosmosu to historia, którą możemy rozwikłać dzięki grawitacji i fizyce cząstek, ale to, czego nam brakuje, to wiedza, w jaki sposób światło pierwszych gwiazd zmieniło losy całego Wszechświata.

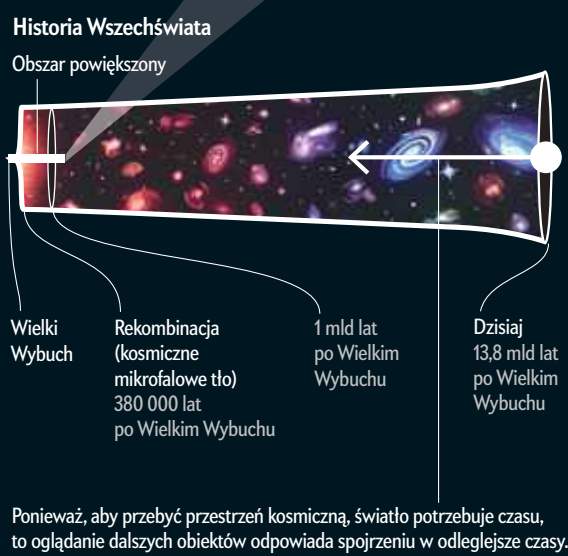
Naukowcy mierzą się z wieloma nierozstrzygniętymi kwestiami. Czy galaktyki produkowały gwiazdy w gwałtownych zrywach? Czy istniał okres

eprasa.pl 4ccacbcd35

Wczesna historia kosmosu

Naukowcy uważają, że Wszechświat rozpoczął się od Wielkiego Wybuchu, po którym nastąpił okres gwałtownej ekspansji zwany inflacją. Około mikrosekundy po Wielkim Wybuchu powstały fundamentalne cząstki, a po trzech minutach kwarki połączyły się, tworząc protony. Jednak dopiero 380 000 lat później gorący, gęsty Wszechświat ostygł tak, że protony połączyły się z elektronami, tworząc obojętne atomy – wydarzenie to nazywa się rekombinacją. Przez długi czas Wszechświat był pogrążony w mroku, w erze zwanej kosmicznymi wiekami ciemnymi. Pierwsze gwiazdy, a następnie pierwsze galaktyki pojawiły się, wtedy gdy Wszechświat miał ponad 100 mln lat, zwiastując początek kosmicznego świtu. Koniec tej epoki wyznacza nowy etap dla Wszechświata zwany rejonizacją, kiedy promieniowanie młodych gwiazd było już tak silne, że wybijało elektrony z atomów, przekształcając wczesne obojętne atomy w naładowane jony. Naukowcy zaczynają konstruować teleskopy, które mogą zajrzeć do tych zamierzchłych czasów.





„dyskotekowej rejonizacji", w której trakcie Wszechświat pulsował, czyli na przemian był jasny i ciemny? Czy rejonizacja zaszła tylko raz, czy może dwa razy? Czy odbywało się to lokalnie w pewnych obszarach kosmosu, czy też wszystko rozświetliło się jednocześnie?

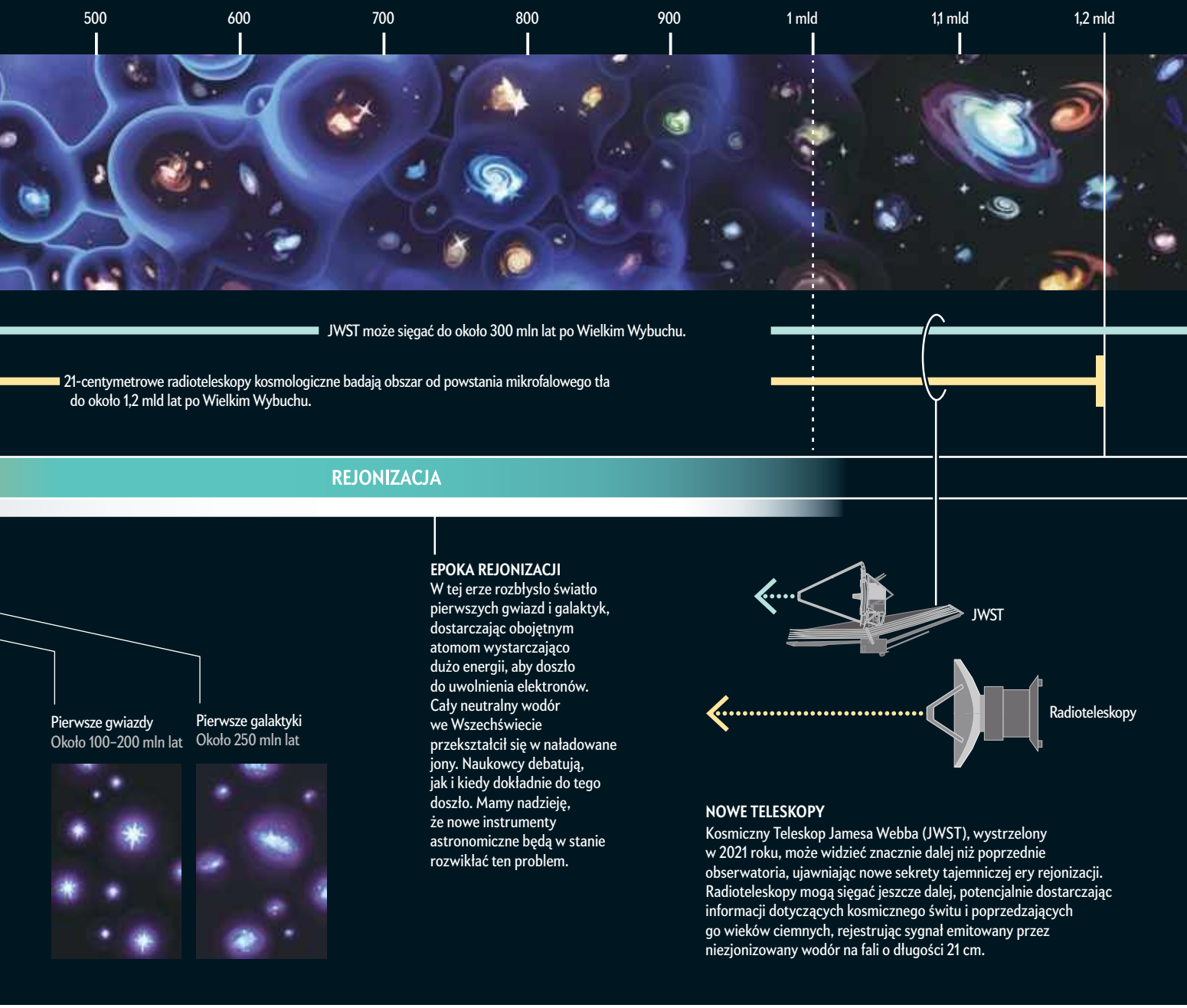
„Jest wiele rzeczy, których nie wiemy o formowaniu się galaktyk – mówi Sangeeta Malhotra, astrofizyczka z NASA Goddard Space Flight Center. – Moje motto brzmi: wszystko, co może się wydarzyć i co jest dozwolone, kiedyś się wydarzy".

Ze względu na przyspieszające rozszerzanie się Wszechświata, astronomowie mogą wnioskować, że obiekty znajdujące się w dużych odległościach są też bardzo dalekie w czasie. Rozciągnięcie ich światła ku dłuższym falom, znane jako przesunięcie ku czerwieni, mówi nam o ich wieku.

Kiedy jednak naukowcy zaglądają bardzo daleko wstecz, napotykają zagadki. Obserwacje JWST odległej przeszłości są sprzeczne pod wieloma względami z fizyką teoretyczną. Jedna z zaskakujących rozbieżności dotyczy osi czasu kosmicznych wieków ciemnych, epoki rejonizacji i kosmicznego świtu.

W 2022 roku Bosman i jej koledzy wykorzystali 67 kwazarów (galaktyk z jasnymi, supermasywnymi czarnymi dziurami znajdującymi się w ich centrach), aby ustalić, że kosmiczny świt dobiegł końca – czyli rejonizacja została zakończona – 1,1 mld lat po Wielkim Wybuchu, 200 mln lat później, niż dotychczas sądzono. Czas tego wydarzenia był przedmiotem

eprasa.pl 4ccacbcd35



kontrowersji przez ponad dwie dekady. I wtedy na scenie pojawił się JWST. Jak wynika z obserwacji JWST z maja 2024 roku, ultrajasne, ogromne galaktyki świeciły intensywnie 750 mln lat przed końcem kosmicznego świtu. Jeśli były one wystarczająco jasne, aby zjonizować cały neutralny gaz, dlaczego proces ten trwał tak długo?

Obecnie najstarszą znaną galaktyką jest gigantyczny obiekt z przesunięciem ku czerwieni wynoszącym 14,18, co oznacza, że widzimy ją w stanie, w jakim pojawiła się zaledwie 300 mln lat po Wielkim Wybuchu. Galaktyka nosi nazwę JADES-GS-z14–0, od nazwy programu JWST, dzięki któremu została odkryta. Kiedy ta galaktyka rozbłysła po raz pierwszy, Wszechświat miał zaledwie 2% swojego obecnego wieku, a do końca rejonizacji brakowało jeszcze setek milionów lat.

„Takie jasne galaktyki powinny zakończyć rejonizację wcześniej, niż to się rzeczywiście stało” – mówi Bosman. Naukowcy nie wiedzą teraz, gdzie tkwi błąd: w naszych pomiarach jasności gwiazd czy w naszych teoriach. Jeśli to drugie, do wyjaśnienia ultrajasnych galaktyk potrzebne będą nowe modele. Kolejne lata publikacji danych zbieranych przez JWST prawdopodobnie przyniosą jeszcze więcej pytań.

Niektórzy astrofizycy twierdzą, że niewielka liczba niezwykle jasnych galaktyk była w stanie zjonizować gaz, dzięki czemu promieniowanie mogło przenikać Wszechświat. Albo było to dzieło wielu słabych galaktyk, których teraz nie widzimy i być może nigdy nie

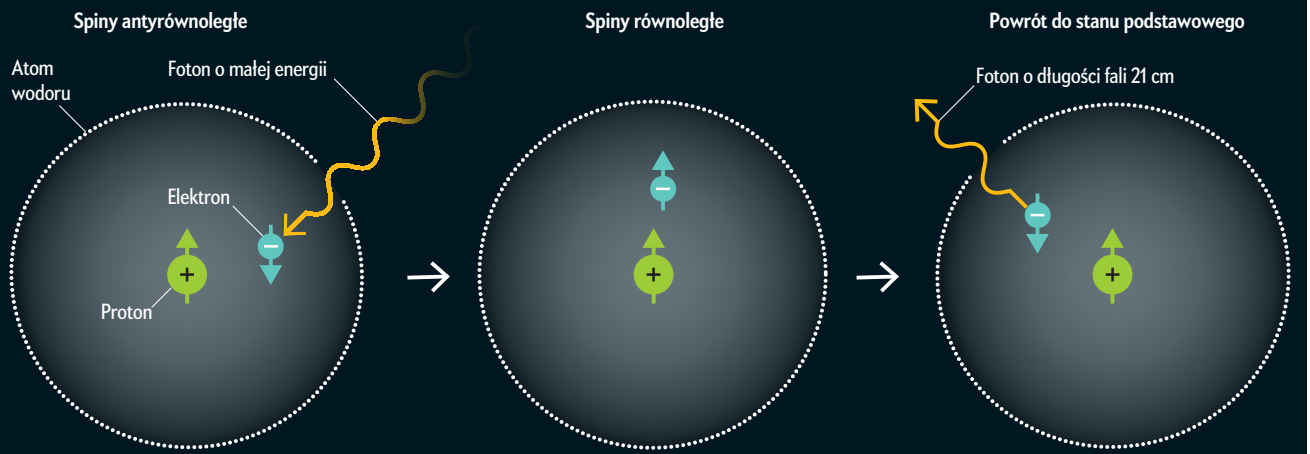
ŹRÓDŁO: Nivedita Mahesh (*weryfikacja naukowa*)

Grafika Olena Shmahalo i Jen Christiansen

eprasa.pl 4ccacbcd35

Sygnał pradawnego wodoru

Podczas kosmicznych wieków ciemnych, które nastąpiły po Wielkim Wybuchu, Wszechświat wypełniały obojętne atomy wodoru. Atomy te emitowały promieniowanie dzięki pewnej subtelności fizyki atomowej. Elektrony i protony w atomie wolą ustawiać swoje spiny w przeciwnych kierunkach. Jeśli elektron zaabsorbuje energię, wykorzysta ten impuls do odwrócenia swojego spinu, a kiedy wraca do stanu antyrównoległego, emituje energię w postaci fotonu o długości fali 21 cm. Naukowcy chcą teraz wychwytywać takie fotony.



zobaczymy – mówi Jackie Champagne, stażystka podoktorancka na University of Arizona, która bada epokę rejonizacji. Planowane są projekty mające na celu zbadanie wieków ciemnych i kosmicznego świtu. Ich celem będzie wykrycie najstarszych, najwcześniejszych obiektów, które emitowały światło.

„Gdy zbliżymy się do kosmicznego świtu, powinniśmy zobaczyć mniejsze i słabsze galaktyki, a także mniejszą ich liczbę – wyjaśnia Champagne. – Możemy dojść do granicy, poza którą nie będzie już więcej galaktyk".

BADANIA GALAKTYK są tylko jedną z metod uzyskania odpowiedzi na pytania dotyczące pierwszego światła we Wszechświecie. Innym sposobem jest badanie tego, co istniało przed uformowaniem się galaktyk: neutralnego wodoru przed jego rejonizacją. Ponieważ ten pradawny wodór atomowy egzystował w wiekach ciemnych, nie możemy go bezpośrednio zobaczyć, znamy jednak metodę na stworzenie jego mapy.

Malhotra bada galaktyki, które emitują światło o określonej długości fali, charakterystycznej dla rekombinacji wodoru – momentu, w którym powstały neutralne atomy. Ta długość fali jest widoczna w widmie światła galaktyki w postaci wybrzuszenia zwanego linią widmową Lyman-alfa, a galaktyki takie nazywane są emiterami Lyman-alfa. Malhotra wyjaśnia, że obserwacje tych obiektów mogą pomóc astronomom w stworzeniu mapy kosmicznego świtu, ale wymaga to zbadania dużego obszaru nieba w odpowiednich długościach fali. NASA planuje wystrzelić w maju 2027 roku Kosmiczny Teleskop Nancy Grace Roman, który powinien w końcu dostarczyć takich informacji. „To wspaniałe – mówi Malhotra. – Dzięki Roman zdobędziemy naprawdę wielką wiedzę".

W międzyczasie 10 eksperymentów planowanych na Ziemi i co najmniej dwa zaprojektowane na Księżycu również będą próbowały zbadać epokę ciemności. Eksperymenty te muszą być prowadzone w surowych warunkach, takich jak pływająca platforma na środku jeziora, w Arktyce lub na Księżycu, gdyż sygnały radiowe FM nie mogą zakłócać obserwacji. Cynthia Chiang, kosmolożka eksperymentalna w McGill University, pracuje nad małymi obserwatoriami – mniej więcej o rozmiarze stołu w jadalni – które mogą nasłuchiwać sygnałów pochodzących ze słabego Wszechświata. W swoim obecnym projekcie Chiang rozmieszcza anteny w kanadyjskiej Arktyce, w której nie ma transmisji ani innych zanieczyszczeń radiowych. Podczas gdy obserwatoria radiowe, takie jak Very Large Array i Square Kilometer Array, są budowane w celu tworzenia obrazów, urządzenia Chiang przypominają bardziej samochodowy tuner radiowy, który może skanować wszystkie stacje jednocześnie. ROLSES miał podobne cele, a badanie środowiska Księżyca w częstotliwościach radiowych może pomóc astronomom określić, w jaki sposób aktywność naturalna i ludzka są w stanie zakłócać późniejsze, bardziej czułe eksperymenty, które, jak mówi Chiang, pomogą ujawnić historię Wszechświata.

„Jeśli porównamy to do ludzkiego życia, to okres pierwszych gwiazd odpowiada niemowlęctwu" – mówi Chiang. Chociaż ludzie zmieniają swój wygląd w miarę dorastania, we wczesnym dzieciństwie wielu z nas przypomina już dorosłych, którymi ostatecznie się stajemy. Chiang uważa, że w podobny sposób astronomowie mogą wykorzystywać wczesną historię kosmosu do wyciągania wniosków na temat tego, jak Wszechświat stał się tym, czym jest obecnie.

Jednakże robienie zdjęć niemowlęcego Wszechświata przypomina szukanie płomienia świecy we wnętrzu Słońca. Aby je stworzyć, najnowsza generacja projektów astronomicznych badających wieki ciemne wykorzystuje pewną subtelność fizyki atomowej.

Grafika Jen Christiansen

eprasa.pl 4ccacbcd35

Promieniowanie wodoru możemy dostrzec, ponieważ atomy wodoru świecą same. Elektron wirujący w atomie preferuje ustawienie przeciwne do ustawienia wirującego protonu jądra. Jeśli te ustawienia się odwrócą, energia w atomie nieznacznie się zmieni, po czym atom wyrzuci nadwyżkę energii, emitując foton o długości fali 21 cm. Astronomowie próbują zaobserwować to przejście, szukając sygnałów radiowych odpowiadających fali o długości 21 cm. Dla naszych instrumentów jest to to samo, co odbiór transmisji o częstotliwości 1420 MHz.

Ta słaba poświata, powstająca w wyniku odwrócenia spinów, jest rzadkością; zanika w promieniach pierwszych gwiazd. Ale Wszechświat jest stary i rozległy, istnieje więc wiele miejsc, w których można jej szukać. Z biegiem czasu długość fali 21 cm ulega rozciągnięciu, w zależności od tego, jak długo wędrowała przez rozszerzający się Wszechświat, zanim dotarła do naszych anten radiowych. Oznacza to, że fotony o długości fali 21 cm będą miały większą długość, gdy dotrą do Ziemi lub Księżyca. I te długości fali dostarczą nam informacji o tym, kiedy promieniowanie zostało wyemitowane. Jeśli astronomowie będą w stanie stworzyć mapę tego promieniowania, tak jak zrobili to w przypadku kosmicznego mikrofalowego tła, będą mogli wykreować coś w rodzaju filmu poklatkowego pokazującego Wszechświat od jego początków do chwili obecnej.

„Wyobraźmy sobie, że w samochodzie słuchamy radia i skanujemy wszystkie stacje. Wiemy wówczas, jak wszędzie jest głośno – wyjaśnia Chiang. – Sygnał, którego szukamy, to kilka stacji, które są nieco cichsze niż reszta".

Zachowanie sygnału 21 cm jest związane z charakterystyką pierwszych gwiazd, które zjonizowały wodór, dzięki czemu stało się światło. „Nigdy nie będziemy w stanie zaobserwować samych gwiazd, ale poznamy ich właściwości i to, co było ich motorem" – mówi Chiang.

Dotąd nikomu nie udało się definitywnie cofnąć do kosmicznych wieków ciemnych, chociaż autorzy jednego z eksperymentów twierdzili, że wykryli 21-centymetrową linię wodoru wyemitowaną 180 mln lat po Wielkim Wybuchu. W 2018 roku w ramach projektu Experiment to Detect the Global Epoch of Reionization Signature (Eksperyment Poszukujący Sygnatury Epoki Globalnej Rejonizacji) odnotowano sygnał sugerujący, że albo wodór przenikający wczesny Wszechświat był chłodniejszy, niż sądzono, albo promieniowanie tła było znacznie silniejsze, niż zakładano.

Kolejne eksperymenty nie potwierdziły tego odkrycia, ale radioastronomowie z całego świata przygotowują się do nowej fali poszukiwań. Obserwatoria takie, jak Low-Frequency Array, Hydrogen Epoch of Reionization Array, Murchison Widefield Array i Large-Aperture Experiment to Detect the Dark Ages tworzą pierwsze zarysy mapy promieniowania długości 21 cm. Wkrótce Square Kilometer Array, budowany w Australii i RPA, będzie w stanie przeskanować cały kosmos w poszukiwaniu 21-centymetrowego sygnału. Malhotra ostrzega, że aby wyodrębnić słabe echo wirujących elektronów z szumu Wszechświata, potrzeba jeszcze wiele pracy. „Należy przezwyciężyć szum zakłócający fotony – mówi. – To dział astronomii, którego jeszcze nie rozpracowaliśmy".

NAJWIĘKSZĄ NADZIEJĄ NAUKOWCÓW na poznanie kosmicznych wieków ciemnych jest całkowite pozbycie się ziemskiego szumu radiowego i podróż na Księżyc – to ostateczny cel Burnsa, który przez całą swoją karierę miał nadzieję przyjrzeć się tej epoce Wszechświata z tego właśnie punktu obserwacyjnego.

Mając aparaturę umieszczoną na Księżycu, astronomowie będą mogli stworzyć doskonałą mapę wczesnego neutralnego wodoru we Wszechświecie. Pomiary natężenia i zakresu sygnału wodorowego ujawnią naturę pierwszych gwiazd: jaką miały masę, ile promieniowania ultrafioletowego emitowały, jak były gorące itd. Burns uważa, że być może nigdy nie zobaczymy tych gwiazd bezpośrednio, ale będziemy w stanie poznać ich środowisko i zrozumieć, jak musiały wyglądać.

Lunar Surface Electromagnetics Experiment, o przydomku LuSEE-Night, również dołączy do polowania po wystrzeleniu go w 2026 roku. Statek kosmiczny, który jest dziełem NASA i Departamentu Energii Stanów Zjednoczonych, poleci na Księżyc na pokładzie komercyjnego lądownika Blue Ghost firmy Firefly Aerospace. Po dotarciu na drugą stronę Księżyca, LuSEE-Night użyje ogromnej baterii, aby przetrwać mroźną księżycową noc – najlepszy czas na słuchanie odległego tańca pradawnych elektronów. Jeśli misja się powiedzie, będzie to pierwszy księżycowy eksperyment kosmologiczny – ale nie ostatni, zapewnia Burns.

Wyobraża on sobie pełnowymiarowy teleskop kosmologiczny po drugiej stronie Księżyca, zbudowany z księżycowej gleby. Jeden z projektów o nazwie FarView zakłada konstrukcję sieci anten na Księżycu z wykorzystaniem metali i pierwiastków, takich jak tlen, pozyskanych z pyłu księżycowego, a następnie produkcję części na miejscu. Będąc po drugiej stronie Księżyca, samo to ciało niebieskie blokuje ziemską kakofonię radiową, pozwalając słabym 21-centymetrowym fotonom przebić się przez szum.

Dla weteranów, takich jak Burns, postęp jest bardzo powolny. Burns przedstawił swoją pierwszą prezentację o księżycowym radioteleskopie w 1984 roku na konferencji naukowej w Houston. „Nigdy bym nie pomyślał, że minie aż 40 lat, zanim zostanie to zrealizowane. Czuję się szczęśliwy, że jeszcze za mojego życia" – mówi.

Ale Burns cieszy się z przekazywania znicza dalej. „Tak to wszystko się zaczyna: będziemy zbierać wskazówki, gromadzić dane, udoskonalać nasze instrumenty" – mówi. W nadchodzących latach naukowcy polecą na Księżyc z nowymi misjami, zdobędą więcej doświadczenia, aż w końcu zainstalują instrument jego marzeń. „W końcu to zrobimy – mówi. – A przynajmniej ktoś to zrobi". Burns pokłada nadzieję w młodych naukowcach dołączających teraz do poszukiwań – studentach, postdokach i świeżo upieczonych profesorach, którzy będą kierować nadchodzącymi działaniami. „To oni sprawią, że tak się w końcu stanie – mówi. – To wspaniałe, że świetnie rozumieją sens przyszłych odkryć". ■

Z NASZEGO ARCHIWUM

Nowy wyścig na Księżyc. Rebecca Boyle; wrzesień 2022.

eprasa.pl 4ccacbcd35



POCHODZENIE CZŁOWIEKA

Nasza ewolucja trwa

Badania genetyczne dostarczają coraz więcej dowodów, że – wbrew powszechnej opinii – w naszym gatunku zaszły w niedawnej przeszłości ewolucyjnej głębokie zmiany przystosowawcze

KERMIT PATTISON
Ilustracja CHRIS GASH

eprasa.pl #ocean1235



RDZENNA LUDNOŚĆ BOLIWIJSKICH PŁASKOWYŻÓW zamieszkuje te tereny od tysięcy lat. Przez cały ten czas ludzie ci żyli na wysokości ponad 3 km, gdzie poziom tlenu jest o około 35% niższy niż na poziomie morza. To jedno z najbardziej niegościnnych środowisk, jakie zostały kiedykolwiek zasiedlone przez człowieka. Od pewnego czasu wiemy już, że mieszkańcy Andów wykształcili specyficzne, zapisane w genach przystosowania do tak bardzo rozrzedzonego powietrza. A teraz odkrywamy, że od chwili, gdy ich przodkowie po raz pierwszy osiedlili się na wyżynach Ameryki Południowej przed około 10 tys. lat, wykształcili również inną niezwykłą adaptację.

W wulkanicznych skałach Andów powszechnie występuje arsen i jego pochodne, które łatwo przedostają się do wody pitnej. Nie trzeba nikogo przekonywać, jak bardzo są to groźne substancje: arsen w związkach nieorganicznych może wywoływać nowotwory, zmiany skórne, powodować choroby serca, cukrzycę i zwiększać śmiertelność niemowląt. Jednak ewolucja zadbała, by mieszkańcy Andów byli w stanie skutecznie neutralizować te złowrogie substancje. Populacje żyjące w Boliwii – wraz z pokrewnymi grupami w Argentynie i Chile – wytworzyły allele genu *AS3MT*, które produkują enzymy rozkładające związki arsenu w wątrobie. Jest to doskonały przykład działania doboru naturalnego, gdy organizmy dostosowują się do środowiska naturalnego, co pozwala im przetrwać i wydawać na świat zdrowe potomstwo. Najwyraźniej dobór naturalny wśród ludów Uru, Ajmara i Keczua z boliwijskiego Altiplano zwielokrotnił sekwencje DNA, które są obecne, ale rzadkie w innych populacjach, tak że dziś są one dominujące w tych grupach. Jest to jedno z wielu odkryć stosunkowo niedawnej adaptacji biologicznej, które mogą podważyć utrzymujące się od dawna przekonania na temat ewolucji naszego gatunku.

Przez większość XXI wieku wielu biologów ewolucyjnych wyznawało pogląd, że ewolucja człowieka zachodziła w ostatnich tysiącleciach w niemrawym tempie, w przeciwieństwie do dramatycznych zmian, które wystąpiły we wcześniejszych okresach naszej prehistorii. Najstarsi przedstawiciele naszej rodziny biologicznej narodzili się w Afryce przed około 6–7 mln lat i pod wieloma względami nie różnili się bardzo od małp człekokształtnych. Nasz gatunek, *Homo sapiens*, pojawił się w Afryce kilkaset tysięcy lat temu, a około 60 tys. lat temu zaczął zapuszczać się na inne kontynenty, z początku Starego Świata. Był to czas, gdy nasz wygląd fizyczny miał się ustabilizować, z jedynie niewielkimi różnicami między populacjami ludzkimi na całej Ziemi. Po trwających miliony lat spektakularnych przekształceniach ewolucyjnych, w których wyniku czworonogi o niewielkich mózgach zmieniły się w wielkogłowe istoty chodzące na dwóch nogach, dobór naturalny miał drastycznie zwolnić, gdy nastały czasy, w których *H. sapiens* rozwinął rolnictwo, stworzył cywilizacje i przekształcił całą planetę.

Wczesne badania DNA współczesnych ludzi ujawniły niewiele stałych różnic – wariantów genetycznych posiadanych wyłącznie przez jedną populację – co zdawało się potwierdzać ten pozorny zastój. W rezultacie wielu naukowców było przekonanych, że ostatnie etapy naszej historii ewolucyjnej to domena zmian kulturowych, a nie biologicznych – takich jak odkrywanie bardziej niezawodnych sposobów zdobywania pożywienia, zamiast czekania na powolne modyfikacje naszego układu trawiennego lub metabolicznego.

Jednak postępy w sekwencjonowaniu archaicznego i współczesnego DNA pozwoliły badaczom przyjrzeć się bliżej, jak nasz kod genetyczny ewoluował w czasie – a wyniki są zdumiewające. Analizy genetyczne pokazują, że *H. sapiens* doświadczył w ciągu ostatnich kilku tysięcy lat wielu epizodów intensywnego doboru naturalnego, kiedy to nasi przodkowie rozprzestrzenili się po całym świecie i zajęli nowe środowiska, w których zetknęli się z nieznanymi sobie pokarmami, chorobami i truciznami. „To pokazuje plastyczność ludzkiego genomu – mówi Karin Broberg z Karolinska Institutet w Szwecji, która bada genetykę podatności na toksyczne substancje środowiskowe. – Rozprzestrzeniliśmy się po całym świecie i żyjemy w ekstremalnych środowiskach, które zdołaliśmy uczynić naszymi domami. Pod tym względem jesteśmy jak szczury lub karaluchy". Z tych badań wyłania się odpowiedź na pytanie, jak nasz gatunek zdołał podbić wszystkie zakątki planety. Dokonaliśmy tego nie tylko dzięki przystosowaniom kulturowym, jak wcześniej sądzili liczni naukowcy. Nasza ewolucja biologiczna postępowała, aby nadążyć za radykalnymi zmianami sposobu życia związanymi z zajmowaniem nowych i egzotycznych dla ludzi terytoriów.

ABY ZROZUMIEĆ, JAK DOSZŁO do tych zmian ewolucyjnych, warto poznać podstawy struktury DNA i jego zmienności między osobnikami i populacjami. Ludzki genom zawiera około 3 mld par zasad nukleotydowych, których sekwencje tworzą dwie komplementarne nici kwasów nukleinowych, stanowiących podstawowe

Kermit Pattison jest dziennikarzem i autorem książki *Fossil Men: The Quest for the Oldest Skeleton and the Origins of Humankind* (William Morrow, 2020).

eprasa.pl 4ccacbcd35



Lud Uru z boliwijskiego Altiplano ma wariant genu, który pomaga metabolizować toksyczny arsen znajdujący się w wodzie pitnej.

Gaston Zilberman

jednostki naszego kodu genetycznego. Sekwencje DNA dzisiejszych ludzi są niezwykle do siebie podobne; różnimy się tylko w około jednej dziesiątej procent genomu, czyli jednej na około tysiąc „liter" genomu. Różnica między dwiema osobami w dowolnym miejscu („literze") genomu nazywana jest polimorfizmem pojedynczego nukleotydu lub SNP (wym. snip). Każdy osobny wariant kodu genetycznego – może być to pojedyncza pozycja albo ich tysiące – który różni się między osobnikami, nazywany jest allelem. Ogólnie rzecz biorąc, wszystkie populacje ludzkie wykazują ogromną wspólnotę zmienności genetycznej i historii ewolucyjnej.

W biologii darwinowskiej klasyczną koncepcją doboru naturalnego jest „selekcyjne wymiatanie" (selective sweep), kiedy to korzystna mutacja pozwala niektórym osobnikom przetrwać dłużej lub wydać na świat więcej potomstwa, tak że w ostatecznym rachunku allel ten zostaje utrwalony w populacji. Na początku XXI wieku, gdy naukowcy zaczęli szukać oznak selekcyjnego wymiatania w genomach współczesnych ludzi, najbardziej wyraziste przykłady pochodziły z populacji przystosowanych do wyjątkowych warunków. Na przykład około 42 tys. lat temu w wyniku takiego wymiatania utrwalił się nowy rodzaj białka na powierzchni czerwonych krwinek u Afrykanów, przez co zwiększyła się ich odporność na malarię. Podobnie u ludzi zamieszkujących Wyżynę Tybetańską doszło do selekcyjnego wymiatania, dzięki czemu zyskali allele zwiększające ich tolerancję na obniżoną zawartość tlenu w atmosferze (ciekawe, że populacje zamieszkujące Himalaje, Andy i etiopskie wyżyny przystosowały się do dużych wysokości dzięki różnym zestawom genów, osiągając bardzo podobne rezultaty po przebyciu odmiennych dróg ewolucyjnych).

Niektóre z najbardziej znanych selektywnych przejęć miały miejsce w zachodniej Eurazji i obejmowały allele związane z dietą, pigmentacją skóry i odpornością. Wiele z tych procesów łączyło się z głębokimi zmianami związanymi z rozwojem rolnictwa. Około 8500 lat temu wcześni rolnicy rozprzestrzenili allel, który pomógł im syntetyzować długołańcuchowe wielonienasycone kwasy tłuszczowe z produktów pochodzenia roślinnego. Te kwasy tłuszczowe są niezbędne dla błon komórkowych, szczególnie w mózgu, a łowcy i zbieracze łatwo pozyskiwali je z mięsa i owoców morza. Nowy wariant genetyczny pozwolił populacjom rolniczym syntetyzować je z krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych występujących w roślinach. Ta odmiana była początkowo rzadka, ale dziś występuje już u około 60% Europejczyków.

Podobnie, wraz ze wzrostem hodowli bydła mlecznego, rozwijał się wariant genu, który pomagał spożywać produkty mleczne dorosłym ludziom. Kiedy około 5 tys. lat temu zaczęto budować Stonehenge, praktycznie żaden Europejczyk nie miał genów, których człowiekowi potrzeba do trawienia laktozy w wieku dorosłym.

eprasa.pl 4ccacbcd35

U większości ssaków – i większości populacji ludzkich – organizm dziecka przestaje produkować trawiący cukier mleczny enzym laktazę, po odstawieniu od piersi matki. Jednak około 4,5 tys. lat temu gen odpowiedzialny za laktazę, który pozostawał aktywny również w wieku dorosłym, zaczął rozprzestrzeniać się w Europie i Azji Południowej. Inny przykład selekcyjnego wymiatania to rozpoczęty około 8 tys. lat temu proces, w którego wyniku Eurazjaci zyskali charakterystyczny jasny odcień skóry. Efektem było zmniejszenie produkcji ciemnego pigmentu, melaniny, co ułatwiło światłu słonecznemu przenikanie w głąb skóry i syntetyzowanie witaminy D, której wczesnym rolnikom brakowało.

Te przykłady wyraźnego selekcyjnego wymiatania stały się dobrze znane wśród genetyków, głównie dlatego, że wydawały się tak rzadkie. W ciągu ostatnich dwóch dziesięcioleci badania wykazały, że u współczesnych populacji ludzkich występuje stosunkowo mało tego typu trwałych różnic. Wielu badaczy doszło więc do wniosku, że zjawiska takie odpowiadają za jedynie niewielką część zmienności genetycznej, jaka dotknęła nasz gatunek w ciągu ostatnich kilku tysięcy lat. Większość zmienności, twierdzili, wynikała nie z działania doboru naturalnego, ale z przepływu genów (kiedy populacje krzyżują się w wyniku migracji) i dryfu genetycznego (kiedy pewien wariant genetyczny staje się bardziej lub mniej rozpowszechniony za sprawą przypadku).

ODTWARZANIE PRZESZŁOŚCI na podstawie analizy genomów współczesnych ludzi to dość ryzykowne zajęcie, gdyż ewolucja nierzadko zaciera własne ślady. Na wczesnych etapach badań opierano się na DNA żyjących ludzi i stąd wyciągano wnioski na temat ewolucji, ale w ten sposób można było wykryć tylko zdarzenia, które miały trwałe skutki. Efekty działania doboru naturalnego są czasami ulotne, a dowody na nie znikają z naszych genomów, gdy presja selekcyjna ustaje lub gdy populacje się mieszają. Dopiero prowadzone dziś analizy kopalnego (archaicznego) DNA pozwalają badaczom uchwycić epizody dawnej selekcji, które od tego czasu zostały nadpisane.

Po raz pierwszy kopalny genom gatunku *H. sapiens* został zsekwencjonowany w roku 2010. Od tego czasu liczba odczytanych paleogenomów stale rosła i obecnie przekracza 10 tys. Dzięki tej rosnącej bazie danych naukowcy mogą przeprowadzać dokładniejsze analizy zmian ułożenia 3 mld nukleotydów w ciągu ostatnich tysiącleci w populacjach ludzkich na całym świecie. Jedno badanie archaicznego DNA z roku 2024 ukazało zmiany genetyczne w Europie w okresie masowych migracji i przejścia do rolnictwa i pasterstwa. Naukowcy przeanalizowali ponad 1600 dawnych genomów obejmujących okres od 11 tys. lat temu aż do średniowiecza, porównując je z ponad 400 tys. współczesnych genomów z brytyjskiego Biobanku. Kiedy badano same dane ze współczesnych genomów, ślady działania doboru były niewidoczne. Jednak analiza kopalnych genomów pozwoliła zlokalizować 11 przypadków selekcyjnego wymiatania. A kiedy jeszcze rozdzielono te kopalne genomy na odrębne linie ancestralne, ustalono, że jest ich 21. Lekcja z tych badań jest taka, że aby w pełni docenić znaczenie doboru naturalnego w historii, należy przyjrzeć się lokalnym populacjom w wąskich przedziałach czasu.

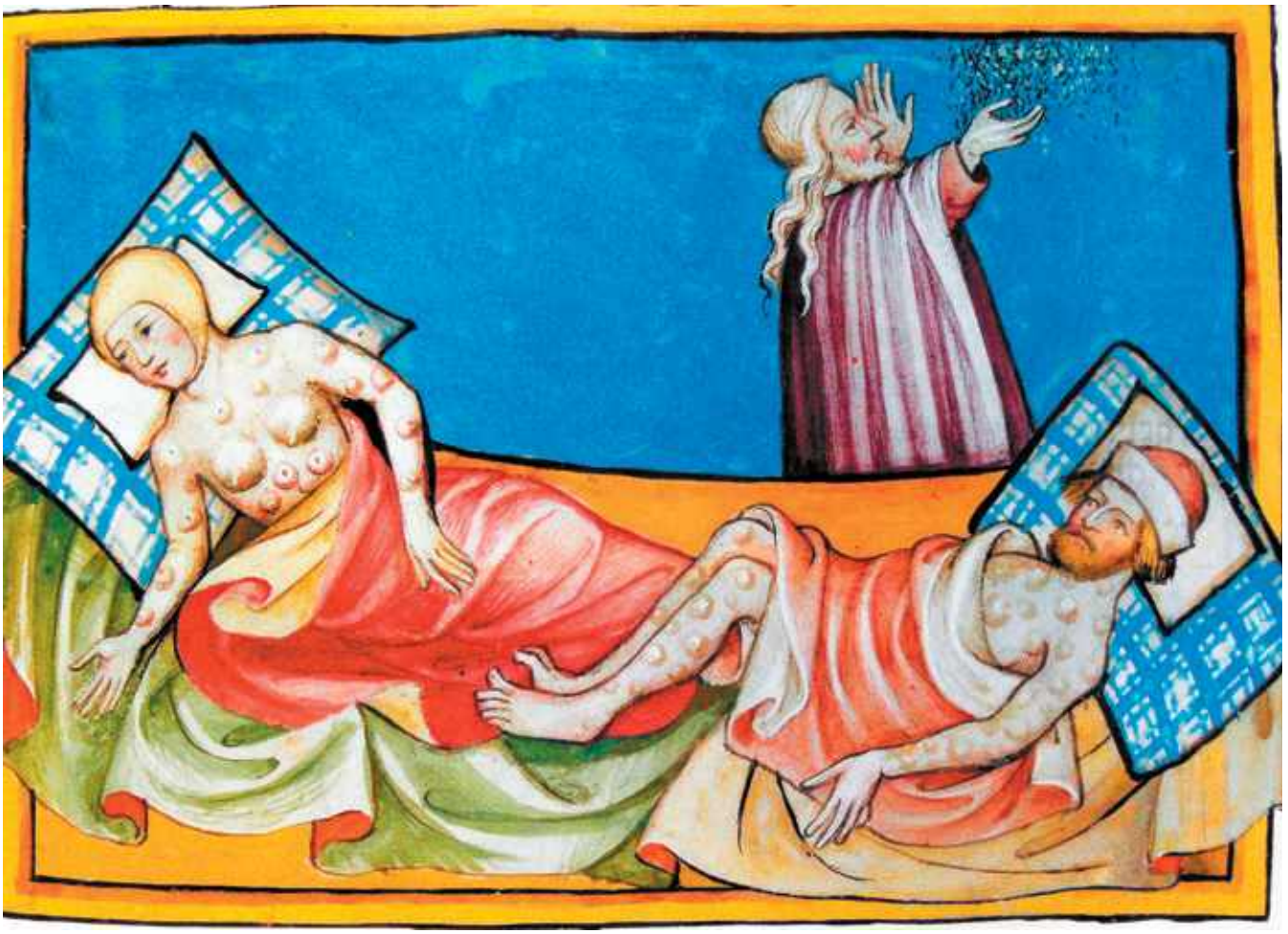
Współcześni Europejczycy wywodzą się od trzech głównych populacji ancestralnych: łowców i zbieraczy, którzy skolonizowali kontynent przed około 40 tys. lat, wczesnych rolników z Anatolii, którzy przybyli do Europy około 8,5 tys. lat temu, oraz pasterzy ze stepów pontyjsko-kaspijskich, którzy zawitali przed około 5 tys. lat. W roku 2022 zespół badawczy dowodzony przez Yassine'a Souilmiego z Australian Center for Ancient DNA na University of Adelaide przeanalizował 1162 próbki archaicznego DNA z tych linii i uchwycił niejako zamrożone w czasie obrazy ich genetyki sprzed epizodów hybrydyzacji i po nich. Przeszukiwanie genomów w celu znalezienia regionów z alelami o niezwykle niskiej lub wysokiej częstości, co wskazywałoby na okresy intensywnego działania doboru, pozwoliło zlokalizować w ciągu ostatnich 50 tys. lat 57 takich przypadków – powiązanych z magazynowaniem tłuszczu, metabolizmem, fizjologią skóry, układem odpornościowym i funkcjami neuronalnymi. Są to wszystko zmiany, które mogą wskazywać na adaptacje do chłodniejszego klimatu. Żadnego z tych przypadków nie stwierdzono w porównawczej populacji z Afryki subsaharyjskiej, co wskazuje, że powstały one po tym, jak nasz gatunek zaczął rozprzestrzeniać się z afrykańskiej kolebki na inne kontynenty.

Jedno z uderzających odkryć wynikło z analizowania wymiatania w regionie chromosomu 6 zwanym głównym kompleksem zgodności tkankowej klasy III (major histocompatibility complex class, MHC III) u starożytnych Anatolijczyków. Ten zespół genów koduje białka zaangażowane w odporność, a dobór naturalny zwykle promuje różnorodność genetyczną w tym regionie, aby bronić organizm przed wieloma potencjalnymi zagrożeniami. W tym przypadku jednak naukowcy byli zaskoczeni, znajdując dokładnie odwrotne zjawisko; nazwali to „wyraźnym regresem różnorodności genetycznej" w tej części genomu, co sugeruje, że ci wcześni rolnicy poddani byli dewastującemu działaniu chorób. „Populacja została wystawiona na poważne zagrożenie, które zniszczyło całą różnorodność, zwykle preferowaną w tym regionie, genomu – mówi Souilmi. – Był to jeden z najsilniejszych, jeśli nie najsilniejszy, sygnał przystosowawczy, jaki kiedykolwiek obserwowaliśmy u ludzi".

Kiedy jednak Anatolijczycy zmieszali się później z innymi populacjami, sygnał adaptacyjny MHC III zaniknął. Naukowcy odkryli podobne zjawiska w dziesiątkach innych przypadków z ostatnich 50 tys. lat. Wielokrotnie naciski selekcyjne malały, a ślady przystosowań, które były szeroko rozpowszechnione, zostały „niemal całkowicie wymazane z populacji potomnych" poprzez krzyżowanie się z innymi grupami lub dryf genetyczny, piszą Souilmi i jego współautorzy w swojej pracy. „Tego typu wyraźne ślady pozytywnej selekcji były znacznie częstsze w niedawnej historii ludzkości, niż wcześniej sądzono" – podsumowują.

Odkrycie to przeczy poglądowi, że innowacje techniczne i inteligencja uwolniły *H. sapiens* od konieczności biologicznych adaptacji. „Pozwala nam uświadomić sobie, że nasza struktura społeczna i technika

eprasa.pl 4ccacbcd35



Nlday Picture Library/Alamy Stock Photo

Patogeny, takie jak bakteria *Yersinia pestis*, która spowodowała pandemię dżumy dymieniczej (czarną śmierć), były głównymi czynnikami napędzającymi ewolucję człowieka.

niekoniecznie chronią nas przed wszystkim, co może nadejść ze strony natury" – mówi Souilmi.

JEDNYM Z WYZWAŃ, które regularnie się pojawiają, są śmiertelne choroby. Ludzkie populacje od dawna tkwią w swoistym klinczu pod postacią ewolucyjnego wyścigu zbrojeń z patogenami. W tym niekończącym się cyklu zmagań chorobotwórcze mikroorganizmy ewoluują, aby wykorzystać słabości naszego układu odpornościowego, a my dostosowujemy się, aby odeprzeć te ataki. Nawet wtedy, gdy pradawni ludzie pokonali i wyeliminowali groźne drapieżniki, pozostali podatni na działanie tych mikroskopijnych wrogów. Na przykład pandemia dżumy dymieniczej, znana jako Czarna Śmierć, która została wywołana przez bakterię *Yersinia pestis*, spowodowała wymarcie 30–50% europejskiej populacji w XIV wieku.

Nasz dzisiejszy stan jest poniekąd rezultatem tej nieustającej wojny z patogenami. „Tam, gdzie jest śmiertelność, jest również selekcja: ci, którzy umierają przed osiągnięciem wieku rozrodczego, nie przekazują swoich genów – mówi Lluis Quintana-Murci, genetyk populacyjny w Institut Pasteur w Paryżu. – Choroby zakaźne i patogeny były głównymi czynnikami doboru naturalnego w całej historii ludzkości".

Te wojny zostały zapisane w naszych genomach. W badaniu z 2023 roku Quintana-Murci i jego współpracownicy przeanalizowali 2879 dawnych i współczesnych genomów, aby sprawdzić, jak DNA Europejczyków zmieniło się w ciągu ostatnich 10 tys. lat. Udało im się zlokalizować 139 miejsc w genomie, na które intensywnie działał dobór naturalny – zarówno „pozytywny" (promujący korzystne warianty genetyczne), jak i „negatywny" (eliminujący szkodliwe). Zmiany te w dużej mierze wiązały się z reakcjami na ataki patogenów. Ponad 80% przypadków doboru pozytywnego miało miejsce w ciągu ostatnich 4,5 tys. lat, a więc w czasie ekspansji miast, rosnącej zależności od rolnictwa, coraz bliższych kontaktów z udomowionymi zwierzętami i nawracających epidemii. „Był to czas wszechobecności doboru naturalnego" – mówi Quintana-Murci.

Niektóre z efektów tego „wyścigu zbrojeń" z patogenami miały kłopotliwe skutki uboczne: wzmożona odporność na pradawne choroby mogła zwiększyć prawdopodobieństwo nadmiernej reakcji immunologicznej. Innymi słowy, nadwrażliwy system obronny mógł wymknąć się spod kontroli i zacząć atakować własne ciało. Wraz ze spadkiem ryzyka chorób zakaźnych, prawdopodobieństwo chorób zapalnych i autoimmunologicznych wydaje się wzrastać. Na przykład nastąpiło istotne zwiększenie liczby alleli, które chronią przed chorobami zakaźnymi, ale również zwiększają ryzyko zaburzeń zapalnych jelit, takich jak choroba Leśniowskiego-Crohna.

eprasa.pl 4ccacbcd35



Tybetańczycy mają genetyczną adaptację do niskiego poziomu tlenu w ich wysokogórskim domu.

Kilka wariantów głównego układu zgodności tkankowej (MHC, znanego także jako ludzkie antygeny leukocytarne, HLA) również uległo, jak się zdaje, selekcji wzmacniającej odporność na patogeny. Te same warianty zwiększały jednak ryzyko chorób autoimmunologicznych, takich jak zesztywniające zapalenie stawów kręgosłupa, chorobę zapalną, która może powodować zrastanie się kręgów, oraz cukrzyca typu 1, w której układ odpornościowy atakuje komórki trzustki wytwarzające hormon insulinę. Niektóre części genomu wykazywały dowody selekcji negatywnej, wskazującej na odsiewanie szkodliwych wariantów genów. Obserwowano na przykład redukcję liczebności wariantów zwiększających ryzyko COVID-19, co sugeruje, że dawni ludzie walczyli z koronawirusami setki lat przed nastaniem niedawnej pandemii.

Wyniki te sugerują, ogólnie rzecz biorąc, że nasz układ odpornościowy wielokrotnie w niedawnych czasach podlegał selekcyjnym modyfikacjom, podobnie do programu komputerowego, który wymaga ciągłych aktualizacji. Pomimo obfitości nowych odkryć Quintana-Murci uważa, że naukowcy odkryli dotąd zaledwie najbardziej oczywiste przykłady minionych okresów selekcji, i podejrzewa, że wiele innych przypadków wyjdzie na jaw, gdy opracujemy doskonalsze metody analityczne, a naukowcy uzyskają więcej dawnego DNA z innych regionów świata. „Musimy się liczyć z wieloma niespodziankami" – mówi.

JEDNYM Z NAJWIĘKSZYCH ZASKOCZEŃ była powszechność występowania tych adaptacji. Zespół kierowany przez naukowców z Harvard Medical School przeanalizował ponad 8400 próbek DNA pochodzących od osób, które żyły w zachodniej Eurazji w ciągu ostatnich 14 tys. lat. Następnie wyniki te porównano z danymi genetycznymi pochodzącymi od 6510 ludzi współczesnych i zanalizowano prawie 10 mln wariantów genetycznych. Każdy SNP otrzymał wartość współczynnika selekcji, pokazujący, w jakim stopniu dobór naturalny faworyzował lub tłumił obecność tego wariantu w następnym pokoleniu.

We wstępnej wersji artykułu, który ostatecznie został opublikowany w zeszłym roku, David Reich i jego współpracownicy informują, że znaleźli dowody na działanie doboru naturalnego w 347 miejscach genomu – to o cały rząd wielkości więcej, niż wcześniej zakładano. Zmiany te były związane z układem odpornościowym, reakcjami na procesy zapalne i zjawiskami sercowo-metabolicznymi i najprawdopodobniej odzwierciedlają przystosowania do nowego pożywienia, większego zagęszczenia ludności, chorób i hodowli zwierząt.

Reich odmówił omawiania wyników tej pracy, ponieważ artykuł jest obecnie recenzowany przed publikacją, ale ujawnił, że zespół spodziewa się zwiększyć liczbę próbek i wzmocnić metodologię w ostatecznej wersji badania. W wywiadzie z autorem podcastu Dwarkeshem Patelem Reich przedstawił wstępne wyniki i opisał

hadynyah/Getty Images

eprasa.pl 4ccacbcd35

uderzające zmiany w wariantach genetycznych w ciągu ostatnich 10 tysiącleci: „Uważamy, że mamy wiele, wiele setek miejsc, w których [zaszły] bardzo silne zmiany częstości w czasie – powiedział. – Uważamy, że jest wiele tysięcy takich miejsc, których ślady się zachowały. Cały genom był w tym czasie nimi dosłownie zasypywany".

We wstępnej wersji artykułu podano przykłady. Wczesne populacje rolnicze przeszły okres intensywnej selekcji eliminującej „zapobiegliwe geny", które sprzyjają gromadzeniu się tkanki tłuszczowej. Te warianty genów były korzystne dla łowców i zbieraczy, którzy znosili czasy niedoboru, ale stały się obciążeniem w czasach większej obfitości pożywienia społeczności rolniczych. W genomach zapisały się też okresy genetycznego selektywnego wymiatania wpływające na pigmentację skóry, grupę krwi i podatność na choroby, takie jak gruźlica, stwardnienie rozsiane, cukrzyca, celiakia, choroba afektywna dwubiegunowa i schizofrenia.

Podobnie jak wcześniejsze badania, praca zespołu z Harvardu wykazała ognisko aktywności w regionie MHC/HLA genomu (około 20% sygnałów pochodziło z tego obszaru). Jeden allel, który zwiększa ryzyko celiakii, zwiększył częstość swojego występowania praktycznie od zera do 20% w populacji w ciągu zaledwie 4 tys. lat. Najwyraźniej allel ten sprzyjał jakiemuś nieznanemu jeszcze efektowi ochronnemu, który przeważał nad towarzyszącym mu ryzykiem celiakii.

W wielu przypadkach selekcja była tak silna, że faworyzowane przez nią warianty utrwaliłyby się w populacji, gdyby dobór trwał, a jego presja nie osłabła tak, że przestała odgrywać swą rolę ewolucyjną. Zdarzało się też tak, że dochodziło do hybrydyzacji między populacjami, co zacierało ślady wcześniejszej selekcji.

Dzięki nowym technikom analitycznym badacze mogą dziś odczytywać te zatarte ślady niczym w starożytnym palimpseście. „To święty Graal naszej dziedziny – posiadamy naprawdę skuteczne metody wykrywania miejsc w genomie, które najprawdopodobniej podlegały selekcji" – mówi Ray Tobler, genetyk populacyjny i specjalista od kopalnego DNA w Australian National University. „Teraz narzędzia, którymi dysponujemy, są bardzo potężne, więc z pewnością znajdziemy takich miejsc znacznie więcej" – przewiduje.

Jednym z obiecujących obszarów badawczych są tzw. cechy poligeniczne, kontrolowane przez wiele genów. Większość interesujących cech i chorób należy do tej kategorii. Były one dotychczas bardzo trudne do badania, gdyż mogą obejmować współdziałanie setek lub tysięcy sekwencji rozproszonych w genomie, z których każda wywiera jedynie niewielki wpływ na określoną cechę. Szacuje się na przykład, że na wzrost człowieka wpływa ponad 100 tys. takich sekwencji. Każdy gen zaangażowany w jakiś sposób w ekspresję danej cechy poligenicznej może oddziaływać na nią w jedynie minimalnym stopniu. Może to znacznie utrudniać identyfikację wpływu doboru naturalnego na określone sekwencje genomu „Adaptacje odkrywane w naszym organizmie mają taki poligeniczny charakter, a więc wpływ na nie poszczególnych genów był zwykle znikomy" – mówi Bing Su, profesor w Instytucie Zoologii Chińskiej Akademii Nauk w mieście Kunming. Dzięki postępowi technicznemu sekwencjonowanie DNA jest dziś na tyle szybkie i tanie, że jesteśmy w stanie zlokalizować adaptacje poligeniczne, które wcześniej były niewidoczne.

TE NAJNOWSZE BADANIA GENETYCZNE pozwalają lepiej zrozumieć znacznie trudniejsze do badania, bo podlegające wielu genom cechy, które są o wiele bardziej złożone niż, zależna od pojedynczego genu, zdolność trawienia mleka w wieku dorosłym. Nie jest jednak jasne, czy wszystkie te cechy są efektem działania doboru naturalnego. Być może, jak sugerują sceptycy, obserwowane wahania częstości alleli są zwykłymi oscylacjami wariantów w puli genów, a nie dowodem na działanie doboru naturalnego przystosowującego nasze ciała do wyzwań środowiskowych. Niektóre prace spotkały się z krytyką ze względu na stosowane metody statystyczne. Niektórych przykładów dawnej selekcji nie udało się powtórzyć w innych badaniach. I nie brakuje też prac, w których w opisach „ewidentnego" doboru nie wskazano, gdzie konkretnie w genomie są one widoczne.

Iain Mathieson, genetyk z University of Pennsylvania, doradza wstrzemięźliwość. Uważa, że nowe badania, takie jak praca naukowców z Harvardu, faktycznie opisują autentyczne zmiany częstości wstępowania genów, ale twierdzi zarazem, że wiele z nich może mieć charakter przejściowy. Podejrzewa, że podlegały one jedynie słabemu lub krótkotrwałemu doborowi, którego efekty nie pozostawiały istotnych śladów w populacji. „OK, możemy mówić tu o doborze, ale nie jestem pewien, czy nazwałbym to doborem kierunkowym" – mówi, odnosząc się do tego rodzaju doboru naturalnego, który łączymy z selektywnym wymiataniem.

Sasha Gusev, genetyk w Dana-Farber Cancer Institute i Harvard Medical School, ma inne zdanie. Uważa, że nowe badania zwiększają prawdopodobieństwo, iż w niedawnej historii człowieka mieliśmy do czynienia ze znacznie bardziej dynamiczną ewolucją, niż się dotąd wydawało, z powtarzającymi się epizodami selekcji, po których następowała rewersja trendu. „To nadzwyczaj ciekawe kwestie, na które analiza archaicznego DNA rzuca nowe światło", mówi, choć do osiągnięcia konsensu, co do zakresu występowania tych zjawisk w ewolucji jest jeszcze daleko.

Taki konsens może się pojawić, gdy dotrzemy do nowych pokładów archaicznego DNA i kiedy udoskonalimy narzędzia używane do ich analizy. W każdym razie wydaje się niemal pewne, że odkryjemy jeszcze wiele nowych i nieznanych przykładów adaptacji. Większość szczegółowych badań przykładów dawnego doboru skupiała się dotąd na populacjach zachodniej Eurazji, więc czas na podobne analizy genomów ludów Azji, obu Ameryk, a zwłaszcza Afryki, czyli miejsca narodzin naszego gatunku, gdzie różnorodność genetyczna mieszkańców jest większa niż na wszystkich pozostałych kontynentach razem wziętych. „Chociaż może się wydawać, że obecnie wykrywamy ogromne ilości przykładów stosunkowo niedawnej selekcji, moim zdaniem nie wykrywamy ich wystarczająco dużo – mówi Souilmi. – Myślę, że jest ich o wiele więcej". ■

Z NASZEGO ARCHIWUM

Ostatni hominin na Ziemi. Kate Wong; październik 2018.

eprasa.pl 4ccacbcd35



SUROWCE NATURALNE

Ruszają kopalnie na dnie morza

Właściciele kontrowersyjnej licencji górniczej rozpoczęli wydobywanie cennych metali z dna oceanu

WILLEM MARX

Ilustracje MARK SMITH

eprasa.pl



PATRZĄC WSTECZ, nadal nie jestem pewien, dlaczego operatorzy duńskiego statku *MV Coco* pozwolili mi wejść na jego pokład. Gdy przybyłem na miejsce w czerwcu zeszłego roku, statek pływał już od kilku tygodni po Morzu Bismarcka, części wód terytorialnych Papui-Nowej Gwinei, wydobywając spod dna oceanu zasobną w metale rudę z użyciem 12-tonowych hydraulicznych szczęk. Załoga testowała opłacalność eksploatacji podmorskich złóż miedzi zawierających także pewną ilość złota. Było to przedsięwzięcie, któremu było zdecydowanie najbliżej do działającej kopalni głębinowej. Im więcej dowiadywałem się o projekcie, tym bardziej mnie zdumiewało, że w ogóle go uruchomiono.

W ten letni poranek przypłynąłem na czerwonym katamaranie, mając za sobą dwie godziny kołysania się na dwumetrowych falach tropikalnego Pacyfiku. Wspiąłem się po metalowej drabinie spuszczonej z prawej burty *Coco*. Ta mająca długość 80 m i ważąca 4 tys. ton jednostka pyszniła się wysoko zadartym dziobem, a jej wielki rufowy pokład był wypełniony żurawiami, wyciągarkami i innym sprzętem; stał tam również zdalnie sterowany pojazd podwodny. Przybyłem tu na zaproszenie Richarda Parkinsona, założyciela firmy Magellan, specjalizującej się w operacjach w głębinach morskich. Dwóch członków załogi pomogło mi wejść na pokład statku, który znajdował się w odległości około 30 km od najbliższego lądu. Przywitał mnie James Holt, brytyjski menedżer z Magellana, który na morzu spędził ponad 20 lat. Po krótkim szkoleniu bhp Holt wprowadził mnie przez ciężkie drzwi do pozbawionego okien kontenera transportowego stojącego na tylnym pokładzie. Znajdowało się tam centrum kontroli całej operacji.

W wyciszonej kabinie przed ekranami pokazującymi kolumny danych oraz kolorowe mapy topograficzne siedział młody Brazylijczyk Afhonso Perseguin. Trzymając joystick w prawej dłoni, precyzyjnie manewrował dużym, zdalnie sterowanym pojazdem (ROV) poruszającym się przy dnie morskim około półtora kilometra pod nami. Patrzyłem, jak z ROV wysunęło się ramię robota w kierunku potężnych szczęk przypominających muszlę małża i zawieszonych na kablu sięgającym do statku. Perseguin używał ramienia ROV do poruszania szczękami, podczas gdy jego kolega przekazywał przez radio instrukcje operatorowi wyciągarki na pokładzie.

Ramię hydrauliczne przesunęło otwarte szczęki w stronę kawałka płaskiego dna morskiego otoczonego przez skaliste pagóry i mocno zerodowane zbocza. Zęby wbiły się w grunt, wzbijając chmury mułu, które wypełniły obraz z kamer ROV. Ramię robota odsunęło się od zaciśniętych szczęk, a wtedy wyciągarka zaczęła je wyciągać na powierzchnię, wraz ze znajdującym się w nich ładunkiem skalnym. Wędrówka na górę miała potrwać godzinę.

W ciągu kolejnych minut Perseguin wycofał nieco ROV, aby rozszerzyć panoramę na monitorze. Zobaczyliśmy pionowe, podobne do kominów, formacje skalne. Wyrastały z dna morskiego, a w silnym świetle reflektorów pojazdu miały bladożółty i szary kolor. Na ich powierzchni widać było małe muszle mięczaków; z kadru uciekł mały krab. „Dość to niesamowite, prawda?" — mruknął John Matheson, ogolony na łyso Szkot nadzorujący zespół do obsługi ROV. Gdy Perseguin powoli manewrował pojazdem wokół jednej z tych kolumn, kamery uchwyciły szklistą smugę wyraźnie cieplejszej wody wydobywającej się z niewidocznej szczeliny.

Ów komin hydrotermalny wyznaczał krawędź płyty tektonicznej przebiegającej pod dnem Morza Bismarcka. Bogata w metale magma, która od tysiącleci wydostawała się z takich kominów była głównym celem Magellana. Zespoły pracujące na statku, zatrudnione przez firmę Deep Sea Mining Finance (DSMF), prowadziły testy górnicze na dużą skalę w ramach licencji wydanej w 2011 roku przez państwowy urząd górniczy Papui-Nowej Gwinei (PNG). Byłem jedynym dziennikarzem, który miał okazję obserwować tę operację z pokładu statku.

Na całym świecie oceanografowie zidentyfikowali trzy główne typy złóż metali występujących na dnie głębin oceanicznych. Skorupa manganowa jest bogatą w konkrecje polimetaliczne warstwą grubości do kilkunastu centymetrów, która tworzy się przez miliony lat w wyniku wytrącania się związków chemicznych rozpuszczonych w wodzie morskiej. Takie konkrecje to bogate w metale bryły skalne rozmiarów piłki do softballu, rozrzucone na ogromnych połaciach dna morskiego. Z kolei masywne złoża siarczkowe, takie jak te eksploatowane przez załogę *Coco*, to wielkie kopce i nagromadzenia skał powstałe wokół kominów hydrotermalnych. W ostatniej dekadzie kilka firm opracowało szczegółowe, choć wciąż hipotetyczne plany czerpania zysków z eksploatacji tych złóż, licząc na zaspokojenie rosnącego popytu na cenne metale potrzebne m.in. do produkcji akumulatorów w samochodach elektrycznych i telefonach. Naukowcy ostrzegają jednak, że działania te mogą zniszczyć unikalne środowisko przyrodnicze oceanicznych otchłani, o którym wciąż mało wiemy, szczególnie że do tej pory kraje niechętnie

Willem Marx mieszka w Londynie i jest dziennikarzem prasowym, radiowym i telewizyjnym. Przygotowuje książkę na temat projektu budowy rurociągu przez Afrykę. Współpracuje m.in. z „Wall Street Journal", „Vanity Fair", „Businessweek", „Harpers" i „Wired". Część materiałów do tego reportażu zbierał, gdy pracował dla PBS.

eprasa.pl 4ccacbcd35



przyznawały licencje na prowadzenie poszukiwań złóż na ich wodach terytorialnych. Jednakże podczas dwóch dni i jednej nocy, które spędziłem na *Coco*, mogłem zobaczyć, że DSMF już dobiera się do podmorskiego skarbca, a era górnictwa głębinowego praktycznie się rozpoczęła.



Holt, który był jednym z kilku pracowników Magellana przebywających na statku, powiedział mi, że celem obecnych prób jest określenie wymagań fizycznych wobec podmorskiego górnictwa oraz zbadanie wpływu wydobycia złóż siarczkowych na środowisko naturalne. Nie było dla mnie jednak jasne, dlaczego operatorzy sprzętu górniczego magazynują wydobytą rudę w formie hałd na dnie morskim. Ciekaw też byłem, kto w Papui-Nowej Gwinei wie o tym, co robi *Coco*.

WIECZOREM, GDY SŁOŃCE chowało się za horyzontem, poszedłem ponownie na tylny pokład, aby zobaczyć, jak na powierzchni pojawiają się hydrauliczne szczęki zaciśnięte na ciężkim ładunku wydartym z dna morskiego. Gigantyczne, żółte pazury wyłoniły się z fal i lśniły teraz w świetle reflektorów statku. Gdy zostały przeniesione nad pokład, z ich wnętrza kapała woda oraz wypadały małe kamienie – najwyraźniej system hydrauliczny nie zdołał całkowicie domknąć urządzenia.

Staliśmy w kilka osób, przyglądając się, jak szczęki się otwierają i z głośnym łomotem wyrzucają cały ładunek na ogromną metalową wagę. Ta pokazywała, że pewna część transportowanego materiału znikła po drodze – przypuszczalnie wypadła ze szczęk podczas ich podróży na powierzchnię. Członkowie załogi, którzy przeprowadzili już dziesiątki podobnych operacji, mówili, że tak duża strata jest rzadkością. Sytuacja ta przypomniała jednak o jednym z niebezpieczeństw związanych z głębinowym górnictwem: obłoki drobnego osadu uciekające ze szczęk podczas wynoszenia ładunku lub też wzbijane podczas wgryzania się w dno mogą udusić morskie stworzenia lub też rozprzestrzeniać szkodliwe minerały.

Coco wyciągał jedną porcję średnio co 12 godzin. Tuż przed najnowszym transportem Josh Young, biolog morski z Australii, przygotowywał swój sprzęt badawczy do opuszczenia za burtę. Po każdym wydobyciu on lub Nicole Frani, jego współpracowniczka z Papui-Nowej Gwinei, próbowali określić rozmiary i zasięg chmury osadu unoszącego się w wodzie bezpośrednio pod statkiem. Za pomocą drugiej wyciągarki Young opuszczał w toń morską duży pierścień z długimi plastikowymi cylindrami zwanymi butelkami Niskina. Każda z butelek miała otworzyć się na innej głębokości podczas pokonywania przez pierścień kolejnych warstw wody. „Chcemy się dowiedzieć, jak szybko i jak daleko rozprzestrzeniają się takie obłoki drobnych cząstek i jaki mogą mieć wpływ na życie morskie” – wyjaśniła Frani.

Po niespełna godzinie Young wyciągnął pierścień z powrotem na pokład. Zaglądając mu przez ramię, dostrzegłem ekran, który wskazywał dane dotyczące rozmaitych właściwości wody na różnych głębokościach – jej temperatury, kwasowości, zasolenia, gęstości, zmętnienia i natlenienia, a także potencjału utleniania i przewodności elektrycznej – dwóch wskaźników jej czystości.

Jak wiele innych projektów morskich, przedsięwzięcie realizowane przez *Coco* to dziecko globalizacji. Frani i Young pracują dla australijskiej firmy Erias zajmującej się konsultingiem środowiskowym, którą Magellan zatrudnił na lato jako podwykonawcę. Magellan zatrudnił również południowoafrykańskich i brytyjskich pracowników pokładowych pomagających Youngowi, a także zespół ROV i kilku malezyjskich hydrografów. Sama firma ma siedzibę na oferującej liczne ulgi podatkowe wyspie Guernsey leżącej pomiędzy Wielką Brytanią a Francją, natomiast statek *Coco* został wynajęty od duńskiej firmy wraz z załogą pochodzącą z Wysp Owczych oraz stewardami z Filipin. Znaczną część finansowania kilkumiesięcznego przedsięwzięcia, którego dobowe koszty sięgały dziesiątek tysięcy dolarów, zapewnili inwestorzy z Rosji i Omanu, którzy zarejestrowali DSMF na Brytyjskich Wyspach Dziewiczych, także będących rajem podatkowym.

Na mostku kapitańskim Holt powiedział mi, że celem tej niezwykle kosztownej operacji jest lepsze poznanie wymagań dla nowej techniki wydobycia opierającej się na komercyjnym sprzęcie dostępnym na rynku, ale przystosowanym przez inżynierów z Magellana do zastosowania na dużej głębokości. Inny cel to oszacowanie, jak duży wpływ na środowisko naturalne miałby statek znacznie większy niż *Coco*, ale stosujący zbliżone rozwiązania wydobywcze. Holt przyznał, że przed tym testem miał „mocno mieszane uczucia” co do górnictwa głębinowego. „Teraz jednak widzę, że to złoże jest bardzo bogate, a jego eksploatacja w niewielkim stopniu zaburza dno morskie – powiedział. – Nie wzbijamy wielkich chmur osadu, które dryfowałyby z prądami morskimi i zagrażały rafom koralowym lub też robiły te wszystkie niedobre rzeczy, których ludzie się obawiają”.

Podczas mojego pobytu na pokładzie obserwowałem dwukrotnie ten sam 12-godzinny cykl wydobycia. Od Holta dowiedziałem się, że w ciągu trwającej prawie dwa miesiące misji zespoły zatrudnione przez Magellana sprawdziły cztery lokalizacje w obrębie większego obszaru nazwanego Solwara 1. W każdym z tych miejsc pozyskiwano skały z szeregu kwadratowych działek o boku 10 m i głębokości do 7 m. Holt powiedział, że Urząd Zasobów Mineralnych Papui-Nowej Gwinei, w skrócie MRA (Mineral Resources Authority) pozwolił na wydobycie łącznie około 200 t materiału – wielkość złoża jest szacowana na 2 mln ton – w celu prowadzenia dalszych testów na lądzie. Aby zwiększyć wydajność pracy szczęk pomiędzy ich długimi wędrówkami na dół i z powrotem, Magellan zdecydował się na pozyskanie i zmagazynowanie na dnie większej

Mapa Jen Christiansen

eprasa.pl 4ccacbcd35

ilości skał niż dozwolone 200 t — nawet do 600 t z każdego z czterech miejsc — zapewne z zamiarem późniejszego ich wywiezienia na powierzchnię. Oznaczało to, iż Magellan i DSMF mogą wydobyć więcej, niż zezwolił im państwowy regulator.

JAK W PRZYPADKU każdej działalności wydobywczej, długoterminowa opłacalność ekonomiczna projektu Solwara 1 zależałaby od światowych cen metali, a kluczowym czynnikiem jest zawartość miedzi w rudzie. Dwóch geologów na pokładzie *Coco* sprawiało wrażenie zachwyconych wstępnymi wynikami pomiarów. Pochylając się nad ciemnoszarą skałą zrzuconą na tylny pokład, a następnie pokruszoną na mniejsze kawałki, Paul Lahari pobrał kilka próbek i udał się z nimi do ciasnego kontenera transportowego, który służył mu jako laboratorium. Jest on obywatelem PNG i od dekad pracuje dla górnictwa lądowego i morskiego. „Interesuje nas wszystko, co ma 0,5- 1%" – stwierdził.

Lahari miał na myśli typową dla złóż na lądzie koncentrację miedzi w rudzie. W laboratorium sięgnął po mały instrument pomiarowy, który dzięki fluorescencji rentgenowskiej pozwala określić skład pierwiastkowy dowolnej próbki. Po chwili na małym ekranie pojawiły się wyniki wraz z oszacowanym stężeniem pierwiastków w próbce – dla miedzi było to 12,33%. „To dziesięciokrotnie większa koncentracja od tej w złożach na lądzie" – stwierdził Lahari, wyraźnie podnosząc głos. Dodał, że średnia wartość z dotychczas pobieranych próbek z dna Morza Bismarcka oscyluje wokół 7%.

Wszystkie 200 t skał wydobyte przez *Coco* i dostarczone na pokład miało być finalnie zmielone w zakładzie w Australii. Następnie znacznie mniejsze próbki przeszłyby testy geochemiczne – ogrzewania, topienia, ługowania. Na tej podstawie cała pozyskana ruda miedzi zostałaby zaliczona do odpowiedniej „klasy" wedle standardów przemysłowych; raport dotyczyłby także innych metali, w tym złota.

Oceanografowie zidentyfikowali masywne złoża siarczków na dnie oceanów: Atlantyckiego, Spokojnego, Indyjskiego i Arktycznego. Próbne odwierty wykazały, że często koncentracje miedzi, a także spore stężenia cynku i ołowiu są równie wysokie, jak w Morzu Bismarcka. Nagromadzenia metali powstają blisko powierzchni dna morskiego lub wręcz na nim, co oznacza, że w porównaniu z większością kopalń lądowych, jest tu znacznie mniej nadkładu, czyli bezwartościowej skały, którą trzeba usunąć, aby dostać się do rudy.

Poszukiwacze podwodnych skarbców metali od lat interesowali się potencjałem złoża Solwara. W 2011 roku szefowie kanadyjskiej firmy Nautilus Minerals otrzymali od PNG koncesję górniczą na 20 lat. Władze kraju, który stale boryka się z problemami finansowymi, zainwestowały w projekt 120 mln dolarów poprzez państwowy podmiot. W ten sposób podatnicy kraju stali się mniejszościowym partnerem Nautilusa.

Firmę okrzyknięto pionierem – jedyną firmą na świecie mającą licencję na podmorską działalność górniczą. Z czasem jednak sprawy zaczęły się komplikować. Państwa nadmorskie mają jako jedyne prawo do eksploatacji zasobów znajdujących się w ich wyłącznej strefie ekonomicznej, która ma szerokość 200 mil morskich we wszystkich kierunkach. Natomiast wszelką aktywność poszukiwawczą i górniczą na wodach międzynarodowych nadzoruje Międzynarodowa Organizacja Dna Morskiego (International Seabed Authority, ISA), która jest agendą ONZ powołaną na mocy traktatu międzypaństwowego.

Kiedy Papua-Nowa Gwinea dawała w 2011 roku licencję Nautilusowi na działalność na jej wodach terytorialnych, nie miała jeszcze legislacji regulującej wydobycie podwodne. MRA dał zezwolenie na podstawie przepisów dotyczących górnictwa lądowego, po tym jak Nautilus wykonał ocenę oddziaływania na środowisko i uzyskał oddzielne pozwolenie środowiskowe. Po nieudanych próbach znalezienia statku Nautilus w 2014 roku zlecił chińskiej stoczni budowę odpowiedniej jednostki oraz zatrudnił inżynierów do zaprojektowania trzech wielkich pojazdów gąsienicowych, które miały kruszyć, mieszać i zasysać urobek z siarczkowego złoża i przesyłać go za pośrednictwem dwukilometrowego węża do statku unoszącego się na powierzchni.

Jednak Nautilus nie zapanował nad kosztami. Zaczął marnotrawić nawet 2 mln miesięcznie – wynika z danych finansowych ujawnionych w 2018 roku. Ostatecznie nie spłacił zobowiązań wobec chińskiej stoczni, a w 2019 roku ogłosił bankructwo. Jego pozostałe aktywa obejmowały pozwolenie na wydobycie, kilka obiecujących rdzeni z odwiertów poszukiwawczych oraz trzy pojazdy gąsienicowe, które przetestowano tylko w płytkich wodach, a teraz rdzewiały na obrzeżach Port Moresby, stolicy PNG. Gdy Nautilus ogłosił niewypłacalność, premier tego kraju James Marape powiedział miejscowej gazecie, że PNG zmarnowała dziesiątki milionów dolarów na „koncepcję, która okazała się porażką". W 2020 roku władze urzędu górniczego (MRA) wykluczyły możliwość wznowienia projektu Solwara.

OPUŚCIŁEM *Coco* mniej niż półtora dnia po wejściu na jego pokład. Niewielka łódź przewiozła mnie w palącym popołudniowym słońcu z powrotem na kamienistą plażę na wyspie New Ireland. Chciałem się dowiedzieć, co urzędnicy i mieszkańcy PNG myślą na temat tego, że *Coco* eksploatuje ich dno morskie. Kierowca, którego wynająłem, zawiózł mnie w ciemnościach po wyboistych nadmorskich drogach do domu gościnnego w wiosce Kono.

Następnego ranka siedziałem na tarasie domu przy chybocącym się drewnianym stole, jedząc śniadanie złożone z ryby, jamu i krakersów. Pożywiałem się w towarzystwie kilku mężczyzn z wioski. Jeden z nich, Jonathan Mesulam, był rzecznikiem Sojuszu Wojowników Solwara – organizacji, która od dawna domaga się zakazania głębinowego górnictwa na Morzu Bismarcka. Skontaktowałem się z nim za pomocą szyfrowanego komunikatora internetowego dzięki pośrednictwu działaczy ekologicznych z Fidżi. Gdy opowiedziałem, co zobaczyłem na pokładzie *Coco*, Mesulam, który początkowo mi nie dowierzał, był bardzo poruszony. Po śniadaniu poszedł do Chrisa Malagana, lidera społeczności Kono, aby omówić z nim moją relację. Temat głębinowej kopalni miał zostać poruszony

eprasa.pl 4ccacbcd35

na cotygodniowym spotkaniu wioskowym. Narady prowadzi Malagan; uczestniczy w nich wielu spośród 700 mieszkańców wioski.

Malagan zwołał spotkanie pod wielkimi drzewami rosnącymi na brzegu morza. Niedaleko od nas dzieci przebywające na plaży zarzucały niewielkie wędki, którymi łowiły małe ryby w płytkiej wodzie przy brzegu. Zaraz za dziećmi rozlokowany był ponad tuzin chat zbudowanych z gliny i słomy. Dorośli uważnie słuchali Mesulama, który opowiadał o tym, co się dzieje na *Coco*. Kilka osób zabrało głos i gniewnie potępiło działania, które uznały za zagrożenie dla połowów ryb, głównego źródła pożywienia.

„Wiele wysiłku włożyliśmy w kampanię przeciwko niszczeniu dna morskiego" – powiedział mi Mesulam. W jego oczach pojawiły się łzy. „Nie chcemy być królikami doświadczalnymi. Te metale, które zostałyby wydobyte z naszego oceanu, nie przyniosłyby korzyści nikomu stąd" – zauważył.

Niepoinformowanie lokalnej społeczności o prowadzonych pracach oraz magazynowanie na dnie pozyskanej rudy były czymś dziwnym jak na projekt górniczy w XXI wieku. Aby dowiedzieć się więcej na temat politycznego wsparcia dla procesu udzielania licencji na głębinową eksploatację, poleciałem z New Ireland do Port Moresby. W hotelu na wzgórzu spotkałem się z prawnikiem, któremu opowiedziałem, że niedawno wróciłem ze statku prowadzącego eksploatację dna morskiego. Peter Bosip sprawiał wrażenie zaniepokojonego. Powiedział mi, że ani 25-letnia decyzja środowiskowa dla Nautilusa, ani też późniejsza licencja górnicza wydana przez MRA dla złoża Solwara 1 nigdy nie zostały upublicznione, mimo konstytucyjnie gwarantowanej transparentności działań władzy oraz trwającej od dekad walki o ochronę środowiska prowadzonej przez organizacje pozarządowe z PNG. (Parkinson przesłał mi okładkę licencji, ale ani Magellan, ani PNG nie udostępnili całości dokumentu.)

Bosip powiedział mi, że takie nieprzejrzyste praktyki są powszechne w jego kraju, co utrudnia lokalnym społecznościom pociągnięcie do odpowiedzialności międzynarodowych koncernów za naruszenie przepisów środowiskowych. Bosip jest dyrektorem wykonawczym Center for Environmental Law and Community Rights, kancelarii prawnej działającej w interesie publicznym. Pozwała ona rząd za odmowę dostępu do dokumentów zezwalających na eksploatację Solwary. „W naszym kraju panuje system, w który władza stara się utrudniać dostęp do informacji" – skomentował. Miał na myśli to, że ministerstwa, agencje i urzędy rzadko dzielą się posiadanymi informacjami.

DSMF udzielił walczącemu o przetrwanie Nautilusowi pożyczki na wysoki procent, a w wyniku postępowania upadłościowego w 2019 roku przejął licencję zezwalającą na eksploatację złoża Solwara 1. A z dokumentów sądowych wynika, że reprezentantami DSMF podczas tego postępowania byli: Christopher Jordinson, Australijczyk, który wcześniej został skazany za handel poufnymi informacjami, oraz Matthias Bolliger, obywatel Szwajcarii, któremu później zabroniono pełnienia funkcji dyrektorskiej na wyspie Man, która jest także rajem podatkowym. Z dokumentów postępowania upadłościowego wynika także, że obaj działali jako przedstawiciele głównych udziałowców DSMF: omańskiego potentata Mohammeda Al Barwaniego, którego rodzinna firma kontroluje wiele spółek z sektora naftowego i górniczego, oraz Aliszera Usmanowa, jednego z najbogatszych proputinowskich rosyjskich oligarchów. Usmanow był przez blisko 20 lat zaangażowany w projekty dotyczące eksploatacji złoża Solwara, ale od czasu inwazji Rosji na Ukrainę w 2022 roku otwiera listy osób objętych sankcjami.

W lipcu 2022 roku DSMF połączył siły z SM2 – kolejną firmą założoną przez Parkinsona, który z kolei zatrudnił swoją firmę Magellan do wykonywania prac na wodach PNG na podstawie oryginalnej licencji Nautilusa. Parkinson powiedział mi, że on, Bolliger i Jordinson spotkali się z gubernatorem New Ireland w listopadzie 2023 roku. Niedługo potem różne instytucje rządowe, w tym MRA, wydały zgodę na wykorzystanie nowego sprzętu górniczego do eksploatacji złoża.

Przez wiele dni próbowałem dotrzeć do urzędników w Port Moresby i wyjaśnić, kto i kiedy udzielił odpowiednich zgód. Moje e-maile pozostawały bez odpowiedzi, moich telefonów nikt nie odbierał. W końcu udało mi się odbyć wideorozmowę z dyrektorem generalnym MRA. Jerry Garry wyjaśnił, że przebywa w odległym regionie górskim, gdzie ma powstać kopalnia złota, ale zapewnił mnie, że jego urzędnicy powinni być obecni na każdym statku, który prowadzi prace górnicze na wodach PNG, aby monitorować operacje. Gdy wyraziłem sceptycyzm, stwierdził, że nie wiedział nawet, że *Coco* znajduje się obecnie na Morzu Bismarcka. Potem już nie odpowiadał na moje telefony.

Pila Kole Niningi, prokurator generalny Papui-Nowej Gwinei, także nie odpowiedział na prośby o wywiad. Udało mi się skontaktować z Fioną Pagla, pełniącą obowiązki dyrektora działu legislacji morskiej w Ministerstwie Sprawiedliwości, która uczestniczyła w konferencji w Bali. Powiedziała, że nic nie wie o *Coco*, ale jeśli statek prowadzi badania naukowe, powinien wcześniej wystąpić o zezwolenie do specjalnej komisji pracującej w jej departamencie. Gdy kilka godzin później poprosiłem ją o więcej szczegółów za pośrednictwem WhatsAppa, odpowiedziała mi: „Bez komentarza".

Minister środowiska Simon Kilepa nie chciał się zgodzić na wywiad. Jude Tukuliya, szef urzędu odpowiedzialnego za ochronę środowiska PNG, ani wysocy urzędnicy z krajowego urzędu rybołówstwa nie odpowiedzieli ani na telefony, ani na pisemne pytania dotyczące *Coco* i DSMF. Szef gabinetu premiera Marape zastrzegł, że kwestia górnictwa głębinowego nie może być przedmiotem rozmowy.

Po powrocie do Londynu, gdzie mieszkam, kontynuowałem próby nawiązania kontaktu. Pod koniec zeszłego lata strona internetowa DSMF została usunięta, a w jej miejsce pojawiła się witryna prezentująca nowy podmiot o nazwie Sustainable Mining Solutions (SMS), reklamowany jako wspólne przedsięwzięcie DSMF i SM2. Na stronie SMS wiele razy jest mowa o licencji i pozwoleniach środowiskowych, które dostał Nautilus, czyli o wciąż nieupublicznionych dokumentach.

eprasa.pl 4ccacbcd35

Ze strony można też się dowiedzieć, że PNG będzie miała udział w zyskach ze złoża Solwara 1, przy czym korzyści dla społeczności lokalnej „są obecnie przedmiotem negocjacji". Niedługo po moim pobycie na *Coco* Parkinson powiedział mi, że Magellan i SM2 nie „chodzą na skróty" i „działają zgodnie z prawem". Dodał, że australijskie badania potwierdzają, iż Solwara 1 jest „wiarygodnym źródłem miedzi." W odpowiedzi na mój marcowy e-mail z prośbą o komentarz, DSMF napisał, że wyniki „zostaną przekazane odpowiednim organom regulacyjnym w odpowiednim czasie, po zakończeniu analiz wewnętrznych i zewnętrznych ekspertów."

W styczniu tego roku niespodziewanie zabrał głos Julius Chan, były premier PNG, który został gubernatorem prowincji New Ireland oraz posłem w parlamencie narodowym. Wcześniej mówił, że górnicy zainteresowani podmorskimi metalami powinni rozmawiać z mieszkańcami wysp, aby ci nie obawiali się, że projekt wydobywczy odbierze im środki utrzymania. Tym razem w oświadczeniu napisał, że osoby zaangażowane w projekt Solwara „nie mają wsparcia ani aprobaty mojego rządu" i że uważa „obecność jakiegokolwiek statku lub działalność na tym obszarze za nielegalne". Trzy tygodnie później zmarł w wieku 85 lat. W odpowiedzi na to oświadczenie DSMF stwierdził, że „projekt Solwara 1 jest zgodny z przepisami, ma ważną licencję wydobywczą zgodną z ustawami i dysponuje wszelkimi pozwoleniami wymaganymi przez prawo obowiązujące w Papui-Nowej Gwinei." Dodatkowo firma stwierdzała, że „oddziaływanie wydobycia w Solwara 1 jest regulowane, zarządzane i prowadzone zgodnie z Ustawą górniczą oraz Ustawą o ochronie środowiska (2000)".

Ludzie z Magellana znajdujący się na pokładzie *Coco* twierdzili, że statek działa na podstawie zezwolenia udzielonego przez MRA, a Parkinson przed i po mojej wizycie w PNG zapewniał mnie, że urzędnicy rządowi o wszystkim wiedzą i popierają uruchomienie próbnego wydobycia na większą skalę. Być może niektórzy przedstawiciele władz nie informowali o celach misji *Coco* tak szeroko, jak mogli. Kiedy jednak byłem na pokładzie statku, odniosłem wrażenie, że projektowi Solwara 1 niewiele brakuje do uruchomienia eksploatacji na znacznie większą skalę.

Było jasne, że komercyjne górnictwo głębinowe wkrótce gdzieś wystartuje. Norwegia, Wyspy Cooka, Japonia i Szwecja dały zgodę na taką działalność w swoich wyłącznych strefach ekonomicznych. Rządowa agencja zarządzająca zasobami morskimi Norwegii twierdzi, że w strefie ekonomicznej tego kraju znajdują się skorupy manganowe i złoża siarczków, a rząd rozważał wydanie pierwszych licencji wydobywczych już w tym roku. Władze Wysp Cooka wydały licencje poszukiwawcze trzem firmom zainteresowanym konkrecjami polimetalicznymi. Naukowcy z Uniwersytetu Tokijskiego i współpracujących instytucji potwierdzili niedawno istnienie ogromnych złóż konkrecji w pobliżu atolu Minamitori, najbardziej na wschód położonej japońskiej wyspy na Pacyfiku. Szacunki mówią, że znajduje się tam około 600 tys. ton kobaltu – to znacznie więcej niż całkowita produkcja Demokratycznej Republiki Konga w 2023 roku, największego na świecie dostawcy tego metalu.

Konsorcjum agencji rządowych, instytucji naukowych i przedsiębiorstw prywatnych przymierza się do eksploatacji podwodnych zasobów mineralnych Japonii. Naukowcy uważają, że podobny potencjał mają również inne regiony oceanów, które na razie są słabo poznane. Zarazem badania z 2023 roku wykazały, że niektóre konkrecje polimetaliczne emitują tak silnie promieniowanie radioaktywne, że niewłaściwe obchodzenie się z nimi może zagrozić zdrowiu. Pojawiły się wtedy pytania, czy sięganie po te zasoby jest aby na pewno rzeczą mądrą. Odwołując się do wciąż bardzo ograniczonej liczby badań dotyczących długookresowych skutków środowiskowych podwodnego wydobycia metali wiele państw, w tym Niemcy, Hiszpania i Chile, zaproponowało tymczasowe wstrzymanie prac, Palau i Fidżi postulowały ogłoszenie moratorium, a Francja uznała, że najlepsze byłoby całkowite zakazanie górnictwa podwodnego.

Do tej pory ISA przyznała ponad 30 licencji poszukiwawczych na międzynarodowych wodach, niektóre dotyczą wszystkich trzech typów złóż. Zarazem wielokrotnie opóźniała opracowanie szczegółowych zasad udzielania licencji górniczych, co nie podoba się wielu przedstawicielom branży wydobywczej. Nowa sekretarz generalna organizacji, brazylijska oceanograf Leticia Carvalho, która objęła urząd w styczniu 2025 roku, obiecała skończenie ze zbyt przyjacielskimi, według niej, związkami pomiędzy ISA a potencjalnymi operatorami komercyjnymi. Zasugerowała też, że regulacje dotyczące podwodnego wydobycia powinny zostać przygotowane do końca tego roku.

Inaczej niż kiedyś, choćby na początku ery węgla kamiennego, badacze środowiska są dziś mocno zaangażowani w debatę na temat pozyskiwania metali z dna morskiego. Wciąż jednak wiedza na temat skutków takich działań jest skromna. Niewiele badań dotyczy przyrodniczych konsekwencji wydobycia złóż siarczkowych, podobnych do tych, które są celem *Coco*. Pewne wyobrażenie na temat skali możliwych interakcji dają badania przeprowadzone przez japońskie instytucje państwowe zainteresowane pozyskiwaniem złóż siarczkowych również na Pacyfiku. Naukowcy mieli ocenić, w jaki sposób krótko trwające wydobycie wpłynie na florę i faunę w trzech kolejnych latach. Doszli do wniosku, że populacje organizmów mniejszych niż 2,5 mm mogą powrócić do zdrowia w ciągu roku, natomiast populacje większych gatunków pozostaną zredukowane przez okres dłuższy niż trzy lata.

W oświadczeniu przesłanym przez DSMF czytamy: „Obszerne badania naukowe zamówione przez SMS pozwoliły na przygotowanie pełnej oceny ryzyka dla ekosystemów morskich i porównanie go ze szkodami wyrządzanymi przez górnictwo lądowe." Nowa strona internetowa SMS zapewnia, że wydobycie w rejonie Solwara 1 „nie będzie miało negatywnego wpływu na siedliska organizmów morskich" i że już w trzy lata po zakończeniu wydobycia przyroda wokół kominów hydrotermalnych powróci „pod względem biomasy i bioróżnorodności do stanu sprzed rozpoczęcia

eprasa.pl 4ccacbcd35

wydobycia.” Naukowcy, z którymi rozmawiałem, podważają to twierdzenie. „Ekosystem nie powróci do normy, dopóki parametry chemiczne, ukształtowanie i morfologia dna, temperatura i wszelkie inne czynniki nie staną się takimi, jakie były wcześniej” – mówi Lisa Levin, emerytowana profesor oceanografii i ekologii morskiej w Scripps Institution of Oceanography w San Diego. Levin podkreśla, że niektóre organizmy występują wyłącznie w pobliżu kominów hydrotermalnych i jest „wysoce prawdopodobne”, że kiedy wydobycie dobiegnie końca, ich już tam nie będzie. „Jeśli zmienimy dna oceaniczne w kopalnie, zniszczymy tamtejsze ekosystemy. ” – mówi. Uważa też, że lokalne społeczności mają uzasadnione powody, by obawiać się skażenia ryb toksycznymi chemikaliami.

Naukowcy oceniają, że w oceanicznych otchłaniach żyją tysiące nieznanych gatunków, dla których ciężki sprzęt górniczy może stanowić olbrzymie zagrożenie. Substancje wyciekające z podwodnego sprzętu czy też wody kopalniane odprowadzane do oceanu mogą zaszkodzić rybołówstwu dalekomorskiemu, a zanieczyszczenie hałasem i światłem może zaburzyć rytmy rozmnażania się i pożywiania wielu gatunków już zagrożonych aktywnością człowieka. Badacze środowiskowi przebywający na *Coco* byli wyraźnie świadomi istnienia wielu takich potencjalnie negatywnych efektów.

Kontrasty, których byłem świadkiem na morzu i lądzie, były dla mnie szokujące. Z jednej strony – niezwykła skala i moc technologii stosowanej na *Coco* i finansowanej z oddali przez miliarderów, z drugiej – samowystarczalne społeczności wiejskie wyprawiające się łodziami na morze i rękami wyciągające z niego ryby. Uderzająca była też olbrzymia asymetria w dostępie do informacji. Hydrolodzy, geolodzy i badacze środowiskowi dysponujący milionami danych służących do oceny warunków fizycznych – i pośrednio potencjalnych zysków zgarnianych tysiące kilometrów od tego miejsca – stawali naprzeciwko lokalnych wspólnot, którym odmawiano dostępu do dokumentów, nie mówiąc o informacjach dotyczących możliwych negatywnych skutków środowiskowych. W przypadku ludzi, którzy żyją w takich miejscach, krótkoterminowe korzyści, mogą nigdy nie zrównoważyć presji wywieranej na ekosystemy.

Kiedy artykuł szedł już do druku, wyżsi urzędnicy PNG, w tym przedstawiciel resortu sprawiedliwości, poinformowali mnie, że pytania, które zadawałem, skłoniły ich do działania. Pod koniec lutego rząd zatwierdził nowe prawo górnicze, które po raz pierwszy zawiera konkretne zapisy dotyczące górnictwa głębinowego. Krajowy Komitet Badań Morskich, składający się z blisko dwóch tuzinów agencji rządowych, przyjął wytyczne, zgodnie z którymi licencje na pozyskiwanie metali z dna morskiego będą musiały być zatwierdzone przez tę instytucję. Ponieważ legislacja została poddana konsultacjom społecznym, nie jest jasne, czy będzie ona działała z mocą wsteczną. Jeśli tak, wówczas DSMF będzie musiał jeszcze raz wystąpić o zgody środowiskowe i licencję górniczą oraz przygotować nową ocenę oddziaływania podwodnej kopalni na środowisko. ■

Z NASZEGO ARCHIWUM

Dylemat w głębinach. Olive Heffernan; październik 2023.

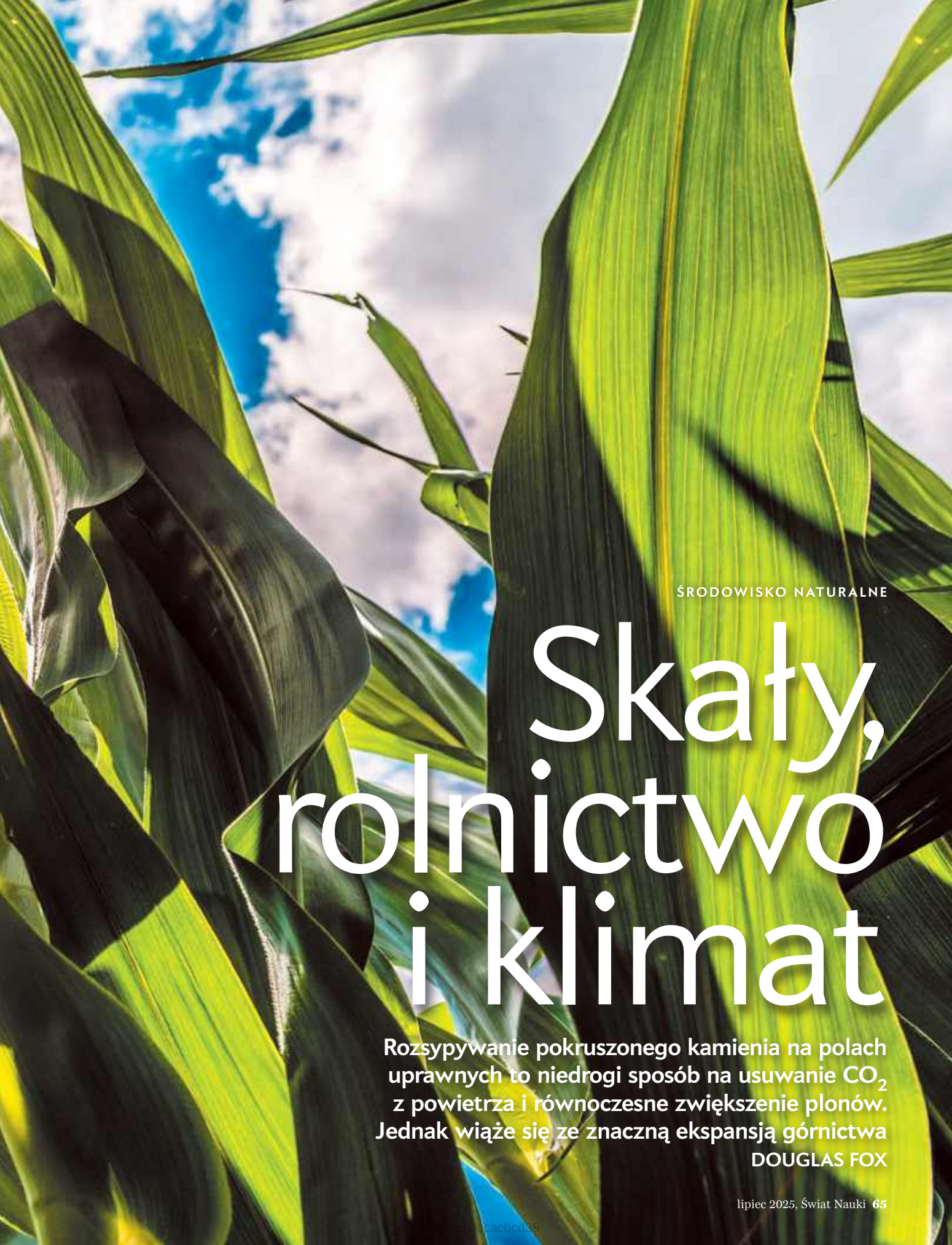


eprasa.pl 4ccacbcd35



ebrasa.pl 4ccacbcd35





ŚRODOWISKO NATURALNE

Skały, rolnictwo i klimat

Rozsypywanie pokruszonego kamienia na polach uprawnych to niedrogi sposób na usuwanie CO_2 z powietrza i równoczesne zwiększenie plonów. Jednak wiąże się ze znaczną ekspansją górnictwa

DOUGLAS FOX

SCENA, KTÓRA ROZEGRAŁA SIĘ W CHŁODNY LISTOPADOWY DZIEŃ w centralnym Illinois, choć wyglądała dość zwyczajnie, była częścią śmiałego planu wycofania z atmosfery miliardów ton dwutlenku węgla i umieszczenia go na bardzo długo w oceanie. Kilka mil na południe od miasta Urbana wywrotka przetoczyła się przez puste pole, po czym skierowała w stronę kopca rozmiarów domku letniskowego usypanego z szaroniebieskiego piasku. Tworzyło ów kopiec 190 t pokruszonej skały wulkanicznej zwanej bazaltem. Następnie rolnicy rozsypali ten sproszkowany bazalt na polach, które kilka miesięcy później obsiali kukurydzą. Był to czwarty rok ambitnego projektu naukowego mającego sprawdzić, czy pola uprawne można wykorzystać do jednoczesnego rozwiązania trzech globalnych kryzysów: nieustannie rosnącego stężenia CO_2, zakwaszenia oceanów oraz niedoboru żywności.

Opublikowane w lutym 2024 roku wyniki tych badań wyglądały fantastycznie. Projektem kierowali David Beerling, biogeochemik z University of Sheffield w Anglii, i Evan DeLucia, fizjolog roślin z University of Illinois Urbana-Champaign. Stwierdzili, że pola poddane działaniu pokruszonego bazaltu i obsadzane naprzemiennie kukurydzą i soją w ciągu czterech lat pochłonęły o 10 t więcej CO_2 na hektar w porównaniu z polami, na których nie rozprowadzono bazaltu. Na tych pierwszych plony były wyższe o 12–16% niż na tych drugich. W innych badaniach dodanie pokruszonego bazaltu do gleby zwiększyło o 29–42% zbiory miskantu – okazałej trawy wykorzystywanej do produkcji biopaliw – a każdy hektar pola wychwytywał rokrocznie o około 8,6 t dwutlenku węgla więcej w porównaniu z polami kontrolnymi. „To było ekscytujące – mówi Beerling. – Byliśmy mile zaskoczeni tymi wynikami". Badania jego grupy potwierdziły to, co już wcześniej zauważono w innych miejscach. W 2020 roku naukowcy z Kanady poinformowali, że dzięki dodaniu minerału wollastonitu do gleb, na których uprawiano sałatę, jarmuż, ziemniaki i soję, zwiększono sekwestrację CO_2 w glebie nawet do poziomu 2 t na hektar rocznie. A rok temu Kirstine Skov z londyńskiego start-upu o nazwie UNDO Carbon wykazała, że pokruszone bazalty poprawiły plony owsa jarego o 9–20%, jednocześnie zmniejszając kwasowość gleby.

Naukowcy, małe firmy innowacyjne i wielkie korporacje eksperymentują z zaawansowanymi technologiami mającymi na celu spowolnienie globalnego ocieplenia. Pomysłów nie brakuje: samoloty uwalniające w stratosferze dwutlenek siarki mający zablokować część światła słonecznego. Maszyny pracujące na lądach i odbierające CO_2 wprost z atmosfery. Żelazo rozsypywane w morzach, które wspomaga wzrost glonów konsumujących CO_2. Wdrożenia te mogłyby kupić ludzkości trochę dodatkowego czasu na przejście z paliw kopalnych na czystą energię, jednocześnie zapobiegając trwałemu przekroczeniu niebezpiecznych progów klimatycznych. Jednak te rozwiązania wymagają ogromnych nakładów pieniędzy i energii lub mogą zagrażać ekosystemom. Zwykłe rozsypywanie pokruszonej skały na polach, jak to się robi od wieków z wapnem, wydaje się przy tym staromodnym pomysłem. „Na tym polega jego elegancja" – zauważa Beerling.

Bazalt rozsypywany w Illinois pochodzi z kamieniołomu w południowej Pensylwanii, gdzie jest wydobywany jako surowiec do produkcji pokryć dachowych oraz materiałów budowlanych. Bazalt jest najpowszechniejszą skałą w skorupie ziemskiej. W miarę jak wietrzeje, rozpuszczając się stopniowo w wodzie krążącej w glebie, wiąże CO_2 z powietrza, przekształcając go w jony wodorowęglanowe, które nie mogą łatwo ponownie dostać się do atmosfery. Ta reakcja chemiczna uwalnia również do gleby składniki odżywcze, które są ważne dla zdrowia roślin, w tym wapń, magnez i krzem. Rozdrabnianie i rozprowadzanie bazaltu – podejście znane jako wspomagane wietrzenie skał, w skrócie ERW (*enhanced rock weathering*) – znacznie przyspiesza te procesy. Mogłoby pomóc rolnikom na całym świecie, cierpiącym na niedobór gotówki, zwiększając plony, zmniejszając zużycie nawozów i potencjalnie umożliwiając sprzedaż kredytów węglowych.

Według Beerlinga, jeśli ERW zostałaby zastosowana w skali całego globu, mogłaby usuwać z powietrza do 2 mld ton CO_2 rocznie. W ten sposób moglibyśmy się pozbyć znacznej części tego węgla, który trzeba wycofać z atmosfery, aby utrzymać wzrost temperatury globalnej poniżej progu 1,5°C, co – jak się powszechnie uważa – jest niezbędne dla zapobieżenia globalnej katastrofie. Wymagałoby to jednak wydobywania i kruszenia miliardów ton skał rocznie – można by z takiej ilości materii usypać wielką górę – oraz przewożenia pokruszonego materiału na pola. Towarzyszyłaby temu emisja znacznych ilości CO_2. Obliczenia wskazują jednak, że mimo wszystko te emisje nie byłyby duże w porównaniu z ilością CO_2, którą dałoby się utrzymać w skałach przez co najmniej setki lat, a więc dłużej niż w lasach.

ERW jest nowszym pomysłem niż inne strategie ujemnych emisji węgla i dotąd przeprowadzono tylko kilka testów tej metody. Mimo to firmy już chciałyby oferować kredyty węglowe powiązane z takim rozwiązaniem. Noah Planavsky, biogeochemik prowadzący

Douglas Fox mieszka w Kalifornii. Pisze na temat biologii, geologii i klimatologii. Jest autorem artykułu opublikowanego w grudniu 2022 roku, w którym ostrzegał, że lodowiec szelfowy Thwaites na Antarktydzie może się rozpaść za mniej niż dekadę.

Jared Unverzagt/Getty Images (*poprzednie strony*)

eprasa.pl 4ccacbcd35



Pracownik rozsypuje sproszkowany bazalt na polu w stanie Illinois, z którego niedawno zebrano kukurydzę.

Jordan Goebig/University of Illinois

badania nad ERW na Yale University, dostrzega duży potencjał tej techniki. Obawia się jednak, że jeśli nowe podejście rozpowszechni się zbyt szybko, zanim zostanie w szczegółach dopracowane przez naukowców, może przynieść rozczarowujące wyniki i zostać odrzucone. „Wspomagane wietrzenie ma duży potencjał, aby odegrać ważną rolę w redukowaniu CO_2, ale mogę sobie wyobrazić wiele ślepych dróg, którymi podąży, a wtedy nic z tego nie będzie" – mówi.

IDEA ERW BAZUJE na fundamentalnych obserwacjach dotyczących funkcjonowania planety jako systemu naturalnego. Na przestrzeni epok geologicznych erupcje wulkaniczne wiele razy wyrzucały do atmosfery ogromne ilości CO_2, ogrzewając w ten sposób glob. Potem jednak następowało trwające miliony lat wietrzenie skał wulkanicznych, takich jak bazalty, które zmniejszało ilość gazu w atmosferze i ponownie ochładzało Ziemię. Bazalty efektywnie wychwytują CO_2, ponieważ są bogate w wapń i magnez pochodzące z wnętrza planety. Dziś rozległe połacie Ameryki Północnej i Południowej, Afryki, Azji i innych regionów świata są pokryte zastygłymi lawami wulkanicznymi.

Naukowcy od paru dekad zastanawiają się, czy ludzkość mogłaby przyspieszyć tempo usuwania CO_2 z atmosfery poprzez zintensyfikowanie wietrzenia. W 1995 roku Klaus Lackner, fizyk pracujący wówczas w Los Alamos National Laboratory w stanie Nowy Meksyk, rzucił pomysł podgrzewania bazaltów, by w ten sposób szybciej reagowały z atmosferycznym dwutlenkiem węgla. Z czasem ta podstawowa idea przybrała inne formy: wstrzykiwania skoncentrowanego CO_2 do gorących skał bazaltowych głęboko pod ziemią, gdzie tworzyłyby się trwałe minerały węglanowe, albo rozprowadzania sproszkowanego bazaltu w oceanie, gdzie absorbowałby on CO_2 i zatapiał węgiel.

Pod koniec pierwszej dekady XXI wieku Phil Renforth, doktorant z angielskiej uczelni Newcastle University, zwrócił uwagę na białe skorupy minerałów węglanowych, które uformowały się na konstrukcjach pozostałych po dawnej hucie stali. Zorientował się, że to pozostałości żużlu stalowniczego oraz betonu – oba materiały są bogate w wapń – wchodziły w reakcję z CO_2. W 2013 roku wraz z Jensem Hartmannem, geochemikiem pracującym wówczas na Universität Hamburg, opublikowali artykuł sugerujący, że bogate w wapń skały mogłyby być kruszone i rozrzucane na polach uprawnych w celu wychwytywania CO_2, jednocześnie przyczyniając się do poprawienia jakości gleby.

W tym samym czasie Beerling badał wpływ terenów trawiastych na wietrzenie podłoża skalnego i naturalne wychwytywanie CO_2. Po lekturze artykułu Renfortha i Hartmanna doszedł do wniosku, że za pomocą swojego modelu mógłby oszacować tempo wietrzenia bazaltu rozrzucanego na gruntach ornych. W 2016 roku Beerling opublikował wyniki obliczeń. Wskazywały one, że gdyby co roku na wszystkich ziemiach uprawnych w strefie tropikalnej rozsypywać warstewkę bazaltowego pyłu o grubości 1–2 mm, wówczas do 2100 roku poziom CO_2 w atmosferze obniżyłby się o 30–300 części na milion (ppm). Obecnie ten poziom wynosi około 425 ppm – dla porównania, przed rewolucją przemysłową było to 280 ppm.

Oczekuje się, że do 2100 roku stężenie CO_2 w atmosferze może wzrosnąć do 500–1200 ppm. Model Beerlinga wskazywał, że do tego czasu ERW mogłoby zapobiec wzrostowi temperatur o 0,2–2,2°C. Najpopularniejsze

eprasa.pl 4ccacbcd35

scenariusze klimatyczne przewidują, że aby ograniczyć ocieplenie klimatu do 2°C, musimy do 2050 roku usuwać co roku z atmosfery od 5 do 10 Gt CO_2. W 2018 roku zespół Beerlinga opublikował zaktualizowane obliczenia, które mówią, że gdyby pokruszony bazalt był rozprowadzany co roku w USA na 700 tys. km^2 pól z uprawami kukurydzy i soi, można byłoby w ten sposób wycofywać z atmosfery od 0,2 do 1,1 Gt dwutlenku węgla rocznie.

W 2020 roku Beerling i jego współpracownicy, do których dołączył Renforth, opublikowali w „Nature" kolejną udoskonaloną analizę. Oszacowali, że gdybyśmy chcieli za pomocą ERW wyłapywać 2 Gt CO_2 rocznie, to cztery kraje świata – Chiny, Indie, USA i Brazylia – mogłyby wychwycić 80% tej ilości, nawet po uwzględnieniu emisji węgla związanej z wydobywaniem, kruszeniem i transportem skał. Oczywiście, do osiągnięcia poziomu 10 Gt rocznie potrzebna byłaby kombinacja wielu strategii wychwytywania dwutlenku węgla. Beerling zauważa jednak, że „gdyby dzięki wspomaganemu wietrzeniu można było odprowadzić z atmosfery 2 Gt dwutlenku węgla rocznie, zarazem poprawiając bezpieczeństwo żywnościowe i jakość gleby, oznaczałoby to, że pokonaliśmy już jedną piątą drogi do celu".

Badanie przeprowadzone w Illinois dostarczyło na to mocnych dowodów. Uprawa kukurydzy i soi powoduje emisję CO_2 w wyniku oddychania korzeni i mikroorganizmów glebowych. Pola kukurydzy i soi, na których wcześniej rozprowadzono bazalt, oddawały do atmosfery o 23–42% mniej CO_2. W skali całych Stanów Zjednoczonych byłoby to 260 mln ton CO_2, których emisji dałoby się rokrocznie uniknąć.

W przeciwieństwie do takich metod geoinżynieryjnych, jak rozsiewanie siarki w stratosferze czy też rozprowadzanie w morzu drobin żelaza, które ludzie często postrzegają jako niebezpieczne majstrowanie przy naturze, odbiór ERW, po opublikowaniu artykułów opisujących tę metodę, był pozytywny – twierdzi Beerling. „Reakcja opinii publicznej i prasy była bardzo ważna – przyznaje naukowiec. – Utwierdziła nas w przekonaniu, że jest to właściwa droga".

ERW zasadniczo różni się od dwóch innych strategii wykorzystujących glebę do wychwytywania węgla z atmosfery. Obie są rozwijane o wiele dłużej. Pierwsza metoda, produkcja biowęgla, polega na częściowym spalaniu materii roślinnej pozostałej po zbiorach i przeobrażaniu jej w ten sposób w węgiel drzewny, który jest następnie dodawany do gleby podczas orki. W drugiej metodzie odpady roślinne są od razu ponownie wykorzystywane do poprawy jakości gleby bez ich przetwarzania w biowęgiel; w ten sposób węgiel zostaje zmagazynowany pod postacią organicznych związków odżywiających uprawy, choć te cząsteczki mogą również powrócić do atmosfery.

ERW zatrzymuje CO_2 pod postacią wodorowęglanu rozpuszczonego w wodzie krążącej w glebie. Z pól uprawnych spływa on do strumieni, które wpadają do rzek prowadzących do morza. Finalnie CO_2 zostaje zmagazynowany w wodzie oceanicznej, tworząc wodorowęglan, lub też na dnie morskim pod postacią trwałych minerałów węglanowych. Badania wskazują, że ten oceaniczny magazyn wodorowęglanów może istnieć przez 100–1000 lat i równocześnie przyczyniać się do zmniejszenia zakwaszenia oceanów spowodowanego zmianami klimatu. Co więcej, ERW może też złagodzić inny poważny problem, którego nie rozwiązują dwie pozostałe metody, a który nęka wielu rolników na całym świecie.

Jeden z najbardziej uderzających przykładów na to, jak wietrzenie skał regulowało poziom CO_2 w atmosferze na przestrzeni eonów, znajdziemy wzdłuż zachodniego wybrzeża Indii. To m.in. powód, dla którego niektóre z najwcześniejszych wysiłków na rzecz wprowadzenia ERW podjęto w tym kraju. Nadmorska równina zachodnich Indii, usiana polami ryżowymi i wioskami, raptownie wznosi się na wysokość 1000 m n.p.m. poprzez chaotyczny labirynt stromych krawędzi, głębokich V-kształtnych kanionów, rwących rzek i wodospadów. Ściany kanionów składają się z naprzemiennych serii żółtego i brązowego bazaltu wskazującego krawędź Dekanu – wulkanicznego płaskowyżu, który powstał w wyniku wielkich wylewów lawy przed około 66 mln lat. Około 50 mln lat temu Ziemia była niezwykle ciepła, a poziom CO_2 w atmosferze był blisko cztery razy wyższy niż obecnie. Mniej więcej wtedy bazalty Dekanu zaczęły zmieniać klimat planety – powoli, ale zdecydowanie. W wyniku wędrówek kontynentów znalazły się w pobliżu równika, gdzie obfite opady deszczu oraz wysokie temperatury przyspieszyły wietrzenie skał. Wietrzejące minerały wyłapywały CO_2 z powietrza; węgiel wędrował rzekami do mórz, gdzie był magazynowany.

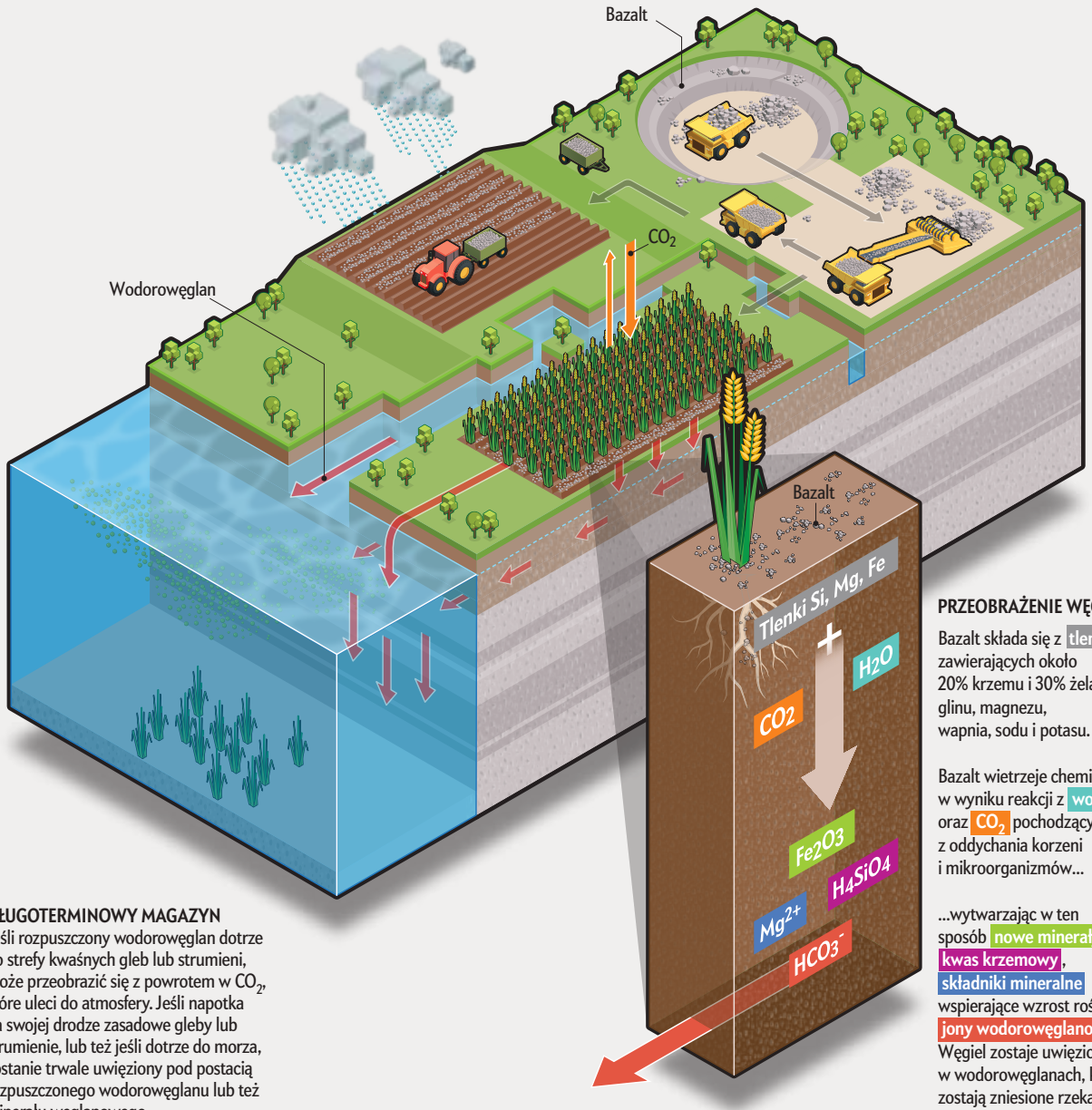
Szacuje się, że w ciągu następnych 30 mln lat wietrzejące bazalty odzyskały z atmosfery ponad milion gigaton CO_2. Część tego węgla została zagrzebana na dnie morskim pod postacią węglanów. Poziom CO_2 w atmosferze spadł, uruchamiając spadek temperatury, który doprowadził do pojawienia się pokrywy lodowej na Antarktydzie.

Wioska Sarekha Khurd znajduje się w stanie Madhya Pradesh w centralnych Indiach i jest położona w pobliżu wschodniej, lądowej krawędzi bazaltów Dekanu. Jej mieszkańcy od wieków uprawiają ryż na polach przedzielonych rzędami tropikalnych drzew. Wielu rolników nie ma poczucia bezpieczeństwa żywnościowego – uprawiają małe poletka rozmiarów od jednego do dwóch boisk do piłki nożnej. Zarabiają średnio 1500 dolarów rocznie, wydając do 30% tej kwoty na nawozy i inne chemikalia. Są też narażeni na różne ryzyka pogodowe. Fale upałów sięgające nawet 48°C mogą zahamować wzrost roślin uprawnych i zakłócić opady tak potrzebnych deszczy monsunowych. Nieprzerwana uprawa roślin stopniowo zakwasiła ciemne, żyzne gleby, doprowadzając do wyczerpania znajdujących się w nich rezerw wapnia i magnezu, ponieważ rolnicy zbierali odpady roślinne, zamiast pozostawić je, aby uległy rozkładowi i oddały glebie cenne minerały. Przeciętny odczyn gleb w tej okolicy jest lekko kwaśny i wynosi około 6,4 pH – podobny ma ludzka ślina. Nie są to idealne warunki do uprawy ryżu – zakwaszenie utrudnia roślinom pobieranie składników

eprasa.pl 4ccacbcd35

Jak działa wzmocnione wietrzenie skał?

Pokruszona skała bazaltowa rozrzucona na polach uprawnych mogłaby pomóc w odebraniu atmosferze części dwutlenku węgla, łagodząc globalne ocieplenie. Przy okazji wzbogaciłaby glebę w składniki odżywcze, co mogłoby zwiększyć plony. Węgiel zostałby zmagazynowany na długo, ponieważ reaguje z wodą w glebie i finalnie spływa do morza, chociaż trudno jest przewidzieć, jaka jego część zostanie w ten sposób trwale uwięziona.



DŁUGOTERMINOWY MAGAZYN
Jeśli rozpuszczony wodorowęglan dotrze do strefy kwaśnych gleb lub strumieni, może przeobrazić się z powrotem w CO_2, które uleci do atmosfery. Jeśli napotka na swojej drodze zasadowe gleby lub strumienie, lub też jeśli dotrze do morza, zostanie trwale uwięziony pod postacią rozpuszczonego wodorowęglanu lub też minerału węglanowego.

PRZEOBRAŻENIE WĘGLA
Bazalt składa się z tlenków zawierających około 20% krzemu i 30% żelaza, glinu, magnezu, wapnia, sodu i potasu.

Bazalt wietrzeje chemicznie w wyniku reakcji z wodą oraz CO_2 pochodzącym z oddychania korzeni i mikroorganizmów...

...wytwarzając w ten sposób nowe minerały, kwas krzemowy, składniki mineralne wspierające wzrost roślin oraz jony wodorowęglanowe. Węgiel zostaje uwięziony w wodorowęglanach, które zostają zniesione rzekami do morza.

odżywczych, takich jak fosfor, a nawet zmienia skład gatunkowy mikroorganizmów glebowych, ułatwiając patogennym bakteriom i grzybom wywoływanie epidemii zagrażających uprawom.

Rolnicy na całym świecie radzili sobie z zakwaszeniem gleby na długo, zanim zrozumieli, skąd się ono bierze. Dziesiątki dołów odkrytych w lasach na północ od Paryża świadczą, że już 6 tys. lat temu tutejsi rolnicy pozyskiwali wapienną skałę i rozrzucali jej kawałki na polach, na których uprawiali pszenicę, jęczmień i groch. Żyjący później Rzymianie rozrzucali na polach uprawnych kredę, aby przywrócić wartość „kwaśnej" glebie. Przez wieki rolnicy w Europie i Ameryce Północnej neutralizowali zakwaszenie, rozsypując na polach pokruszony wapień bogaty w węglany.

Jednak mieszkańcy wielu regionów świata, w tym Indii, nie mają łatwego dostępu do skał wapiennych. Poza tym neutralizowanie zakwaszonej gleby wapnem może potencjalnie uwalniać CO_2, który ucieknie do atmosfery. W takich miejscach ERW jest atrakcyjne, ponieważ

Paul Nelson/James Cook University (konsultacja naukowa)

Grafika Ben Gilliland

eprasa.pl 4ccacbcd35

pozwala odwrócić tę dynamikę, przekształcając atmosferyczny CO_2 w rozpuszczony w glebie wodorowęglan.

W maju zeszłego roku rolnicy w Sarekha Khurd zaczęli stosować na próbę ERW. Pracownicy Mati Carbon, start-upu z Houston w Teksasie, przywieźli ciężarówkami łącznie 1250 t pokruszonej skały pochodzącej z pobliskich kamieniołomów, które wydobywają bazalty jako surowiec do budowy dróg. W tej chwili firma dostarcza bezpłatnie bazalt do ponad 180 wiosek w Madhya Pradesh oraz sąsiednim stanie Chhattisgarh. Mati Carbon zamierza z każdym kolejnym rokiem dodawać do gleb coraz więcej bazaltu. Już teraz plony ryżu wzrosły średnio o 15–20%, a w niektórych przypadkach nawet o 70%.

Mati Carbon niedawno rozszerzyła swoją działalność na pewną ilość wiosek w Tanzanii i Zambii. „Naszą misją jest wsparcie dla rolników, zwłaszcza tych mniejszych, mniej odpornych na skutki zmian klimatycznych" – mówi Shantanu Agarwal, założyciel Mati. Firma chciałaby w przyszłości zarabiać na sprzedaży kredytów węglowych. Agarwal i Jacob Jordan, główny naukowiec Mati, szacują, że dzięki poprawie jakości gleb, większym plonom i mniejszym wydatkom na nawozy dochody ubogich rolników wzrosną o 10–30%, czyniąc ich mniej wrażliwymi na zagrożenia.

Choć te wczesne próby były obiecujące, wdrożenie ERW na dużą skalę musiałoby wiązać z przezwyciężeniem pewnych surowych realiów, począwszy od olbrzymiej ilości skał, która byłaby wówczas potrzebna. Obliczenia Beerlinga świadczą, że gdyby ERW było wykorzystywane do wychwytywania 2 Gt CO_2 rocznie, zużycie bazaltu musiałoby wynieść 13 Gt rocznie. To około 4,5 km^3 skał, co w przybliżeniu odpowiada objętości Matterhornu. Konieczne byłoby zwiększenie o 30% światowego wydobycia piasku, żwiru i pokruszonej skały szacowanego obecnie na 40 Gt rocznie. Taki wzrost nie byłby możliwy w przypadku niektórych typów skał, jednak światowe rezerwy bazaltu są naprawdę ogromne i zarazem dość równomiernie rozmieszczone na planecie.

W ERW można byłoby też wykorzystać pokruszony bazalt, który już teraz pozostaje w kamieniołomach jako niewykorzystany produkt uboczny. Tak samo jest w przypadku innych bogatych w wapń produktów ubocznych powstających w przemyśle, na przykład pokruszonego betonu, odpadów kopalnianych, popiołu ze spalania węgla czy też odpadów z produkcji cementu, aluminium i stali. Jednak wiele takich produktów zawiera chrom, nikiel, kadm i inne toksyczne pierwiastki, co oznacza, że dałoby się je być może wykorzystać do wychwytywania CO_2 na kopalnianych hałdach lub fabrycznych placach, ale z pewnością nie na polach uprawnych. Dodatkowe wydobycie i kruszenie bazaltu kosztowałoby około 10 dolarów za tonę i wiązało z emisją około 30 kg CO_2 na tonę. Po rozważeniu wszystkich tych czynników zespół Beerlinga oszacował, że ERW kosztowałoby od 80 do 180 dolarów za tonę wychwyconego CO_2, po odjęciu emisji.

Ale będą też inne koszty. W Chinach i Indiach – dwóch krajach o największym potencjale rolniczym dla ERW – branża wydobycia kamieni użytkowych jest krytykowana za słabą ochronę praw człowieka. Na przykład w Indiach kamieniołomy pozyskujące piaskowce zatrudniają ponad 3 mln ludzi. W raporcie z 2020 roku opublikowany przez organizację Center for Human Rights z Waszyngtonu poinformowano, że wiele takich osób to pracownicy niemal przymusowi – pracują za niewielkie wynagrodzenie, aby zapłacić odsetki od pożyczek oprocentowanych nawet na 20% rocznie, których spłacenie jest praktycznie niemożliwe, co z kolei sprawia, że takie osoby stają się więźniami ciężkiej i niebezpiecznej pracy, w której są narażone na skrajnie wysokie temperatury, wdychanie pyłu mineralnego oraz spadające odłamki i bloki skalne.

Badanie przeprowadzone w 2022 roki wykazało, że pracownicy kamieniołomów w północno-wschodnich Indiach cierpią na różne choroby płuc i serca. Jeśli robotnik zatrudniony w takim kamieniołomie zostanie ranny, umrze lub zachoruje, wówczas jego żona i dzieci mogą zostać zmuszone do pójścia do pracy, aby spłacić dług, w jaki wpadła rodzina. Problemy te nie ograniczają się do Indii – podkreśla Bhoomika Choudhury, prawniczka i badaczka z Business & Human Rights Resource Center w Dubaju, która przygotowała raport poświęcony warunkom pracy w kamieniołomach piaskowca. „Widzimy to wszędzie, zarówno w krajach Azji, jak i Afryki i Ameryki Południowej" – mówi.

Każdy duży wzrost wydobycia w kamieniołomach przełożyłby się również na większą skalę zniszczeń krajobrazowych, także na obszarach przyrodniczo wrażliwych. Inna sprawa, że identycznie jest w przypadku surowców potrzebnych do szybszego przejścia na energię odnawialną, takich jak lit, kobalt, grafit i pierwiastki ziem rzadkich. Może zdarzyć się i tak, że nawet gdy wszystkie bariery zostaną pokonane, ERW nie wszędzie na świecie sprawdzi się tak dobrze, jak podczas niewielkich testów przeprowadzonych do tej pory. Na przykład wielu naukowców zakładało, że ERW będzie działać najlepiej w ciepłej, wilgotnej strefie tropikalnej, gdzie bazalt szybciej wietrzeje. Ale dwa ostatnie badania skomplikowały ten obraz.

W badaniu przeprowadzonym w Malezji w 2022 roku, w którym uczestniczył zespół Beerlinga, pył bazaltowy został rozsypany na plantacji palm oleistych. Wynik był niejednoznaczny. Naukowiec podejrzewa, że korzyści są tymczasowo niwelowane przez lokalne warunki. Tamtejsze ciemne gleby zawierają dużo materii organicznej i minerałów ilastych, które przywierają mocno do produktów wietrzenia bazaltów, utrudniając reakcje chemiczne, w których wyniku powstaje wodorowęglan. „W efekcie wychwytywanie dwutlenku węgla zostaje opóźnione" – mówi Beerling. Może to trwać dopóty, dopóki nie wyczerpie się zdolność gleby do wiązania rozpuszczających się minerałów. „To może zająć równie dobrze rok, jak i pięć lat. Czas pokaże" – mówi Beerling.

Innym czynnikiem utrudniającym ocenę metody jest kwasowość gleby – wynika z badań przeprowadzonych na tropikalnych polach trzciny cukrowej w północno-wschodniej Australii. Ponieważ tamtejsza gleba jest kwaśna, potencjalnie może skonsumować bazalt, zanim ten zdąży wejść w reakcję z CO_2. Wstępne

eprasa.pl 4ccacbcd35



Kobiety w Indiach zbierają ryż z pól uprawnych, na których została rozrzucona zmielona skała. Dzięki temu zabiegowi plony ryżu wzrosły o około 25%.

Deepak Kushwaha/Mati Carbon

wyniki eksperymentu, opublikowane w październiku ubiegłego roku, pokazały, że rozrzucona na polach skała bazaltowa wychwyciła tylko jedną setną tej ilości gazu cieplarnianego, która została odebrana atmosferze w Illinois. Paul Nelson, gleboznawca z James Cook University, który pomagał w tych badaniach, uważa, że zneutralizowanie zakwaszonych gleb przed dodaniem do nich bazaltu może być bardzo trudne, ponieważ w wilgotnych tropikach zakwaszenie sięga wiele metrów w dół, aż do podłoża skalnego.

Obecnie naukowcy generalnie zakładają, że wszędzie, gdzie testowana jest ERW – od Illinois po Australię, po przedostaniu się do strumieni płynie dalej rzekami i dociera do oceanu, nie napotykając po drodze na silnie zakwaszone środowisko. Jeśli tak się jednak stanie, wówczas – jak zauważa Nelson – „część rozpuszczonego w wodzie wodorowęglanu może zostać ponownie przekształcona w CO_2, który powróci do atmosfery".

POMIMO TYCH WĄTPLIWOŚCI w ostatnim czasie powstało już około dwóch tuzinów firm, które próbują wykorzystać ERW do sprzedawania kredytów węglowych, m.in. Microsoftowi i Stripe chcącym wyzerować swój ślad węglowy. Planavsky jest tym mocno zaniepokojony. Pamięta doskonale, czym się skończyły wcześniejsze próby zbyt pospiesznego oferowania jakiegoś komercyjnego rozwiązania potencjalnie korzystnego dla atmosfery i klimatu. W ostatnich latach firmy sprzedawały mnóstwo „dobrowolnych kredytów węglowych" mających na celu ochronę lasów, po czym okazało się, że wiele takich projektów zostało ocenionych jako bezwartościowe. „ERW to potencjalnie cenna strategia usuwania CO_2 z atmosfery, ale na pewno nie będzie działać wszędzie – mówi Planavsky. – Jeśli firmy pójdą na skróty, ERW może wybuchnąć podczas startu".

Chociaż jeśli ERW ma odegrać ważną rolę jeszcze przed 2050 rokiem, musi się szybko rozwijać" – zauważa Gregory Nemet z University of Wisconsin-Madison. W maju ubiegłego roku wraz ze współpracownikami opublikował analizę połączonego potencjału nowych metod usuwania CO_2, takich jak ERW, maszyny do bezpośredniego wychwytywania dwutlenku węgla z powietrza czy też produkcja biopaliw połączona z wyłapywaniem CO_2 w kominach. „Wynik brzmiał: od dziś do 2050 roku tempo rozwoju powinno wynosić średnio około 40% rocznie" – mówi Nemet. Brzmi to jak fantazja, ale naukowiec zauważa, że samochody elektryczne i energetyka słoneczna rozwijały się w ciągu ostatnich 10–20 lat jeszcze szybciej. Gdyby rzeczywiście ERW kosztowało od 80 do 180 dolarów za tonę CO_2, jak wyliczył zespół Beerlinga, byłoby tańsze od bezpośredniego odzyskiwania gazu cieplarnianego z powietrza (obecny koszt to 400–1000 dolarów za tonę) i zbliżone do produkcji biopaliw wraz z wyłapywaniem CO_2 (100–300 dolarów za tonę).

Jeśli ERW okaże się skuteczne także na dużą skalę, to – jak zauważa Planavsky, którego rodzina prowadzi gospodarstwo rolne – mogłoby przynieść również korzyści społeczne. Instalacje, które wychwytują CO_2 z powietrza lub z kominów, będą zyskowne głównie dla dużych firm je projektujących i budujących. Natomiast dzięki takim niskotechnologicznym rozwiązaniom, jak ERW, nawet drobni rolnicy mogliby oferować kredyty węglowe. ■

Z NASZEGO ARCHIWUM

Węglowe skały Omanu. Douglas Fox; sierpień 2021.

eprasa.pl 4ccacbcd35



Marihuana a psychozy u nastolatków

Młodzi ludzie mają dostęp do bardzo silnie działających konopi. Rodzice powinni mieć świadomość ryzyka CARRIE E. BEARDEN

OJCIEC SAMA SIEDZIAŁ na skórzanej kanapie w pokoju do przeprowadzania wywiadów – przygarbiony, z głową w dłoniach. Właśnie skończył opowiadać długą, bolesną historię stopniowego popadania syna w psychozę. Sam (imię zostało zmienione dla zachowania prywatności), wtedy 17-letni, w dziewiątej klasie zaczął z kolegami rekreacyjnie palić marihuanę. „Eksperymentował" też z innymi substancjami (Xanax, ecstasy), ale to konopie stosował najczęściej. Ojciec Sama przyznał, że wraz z żoną również palił sporo marihuany w czasach studenckich, więc nie protestowali, gdy syn mówił: „Nie martwcie się, to tylko trawka!". Błagali go tylko, by kupował ją w sklepach, a nie na ulicy.

W Kalifornii, gdzie pracuję jako badaczka i klinicystka zajmująca się powiązaniami między używaniem konopi a psychozą, nie jest trudno zdobyć pozwolenie na stosowanie marihuany w celach zdrowotnych (medical marihuana card) – nawet dla nastolatka.

Sam zaczął naukę w liceum, wraz z grupą znajomych, jako całkiem dobry uczeń. Z czasem zaczął zażywać marihuanę codziennie. Najpierw z przyjaciółmi na imprezach, potem już częściej w samotności. Rodzice zauważyli jego coraz dziwniejsze zachowania: zakleił kamerę w laptopie, okna w pokoju zakrył kartonem. Przestał się myć. Odmawiał chodzenia do szkoły. Wbrew jego woli rodzice umieścili go w ośrodku odwykowym dla nastolatków. Podczas trzytygodniowego programu Sam całkowicie powstrzymał się od używania marihuany, ale – co niepokojące – objawy psychotyczne się nasiliły zamiast ustąpić; samo odstawienie nie wystarczyło, by wrócił do zdrowia.

Gdy jego rodzina trafiła do mojej kliniki, od ponad sześciu miesięcy cierpiał na uporczywe urojenia. Był przekonany, że rząd go śledzi i nieustannie obserwuje. Chociaż nie wiemy, czy to marihuana spowodowała psychozę Sama, uderzające było to, że objawy nie ustąpiły po jej odstawieniu. Możliwe, że konopie zmieniły funkcjonowanie jego mózgu.

Współcześnie uprawiane konopie indyjskie to już nie to samo, co rośliny uprawiane w latach 60., 70., 80., a nawet jeszcze 10 lat temu. Nowe uzyskane metodami modyfikacji genetycznej odmiany są niezwykle silne, co czyni otrzymywany z nich susz bardziej uzależniającym i potencjalnie bardziej niebezpiecznym. Nadal próbujemy zrozumieć, jak ten narkotyk wpływa na rozwijające się mózgi nastolatków. Jako naukowiec i rodzic zalecam unikanie zażywania marihuany przynajmniej do 25 roku życia, ale zdaję sobie sprawę, że taka rada może być mało praktyczna. Jeśli nastoletnie dziecko sięga po dzisiejszą marihuanę, to istotne jest, aby rodzice znali dane pokazujące, jak bardzo zmieniła się ta substancja i jak poważne ryzyko dla zdrowia psychicznego wiąże się z jej używaniem.

Wszystkie produkty z konopi zawierają mieszankę delta-9-tetrahydrokannabinolu (THC), czyli psychoaktywnego składnika rośliny, oraz kannabidiolu (CBD), który może mieć działanie łagodzące lęk. W latach 90. typowy joint zawierał około 5% THC.

Jednak modyfikacje genetyczne drastycznie zwiększyły jego stężenie – między 1995 a 2022 rokiem zawartość THC w przeciętnej roślinie wzrosła o 307%. I nie chodzi tylko o jointy czy ciastka z marihuaną – wraz z legalizacją i komercjalizacją konopi prawie zniknęły ograniczenia co do stężenia THC w produktach takich, jak szybko działające e-papierosy czy słodycze z marihuaną. To, co Sam i inne nastolatki mogą dziś kupić, nie ma nic wspólnego z tym, z czym ich rodzice mieli do czynienia w swoich studenckich czasach.

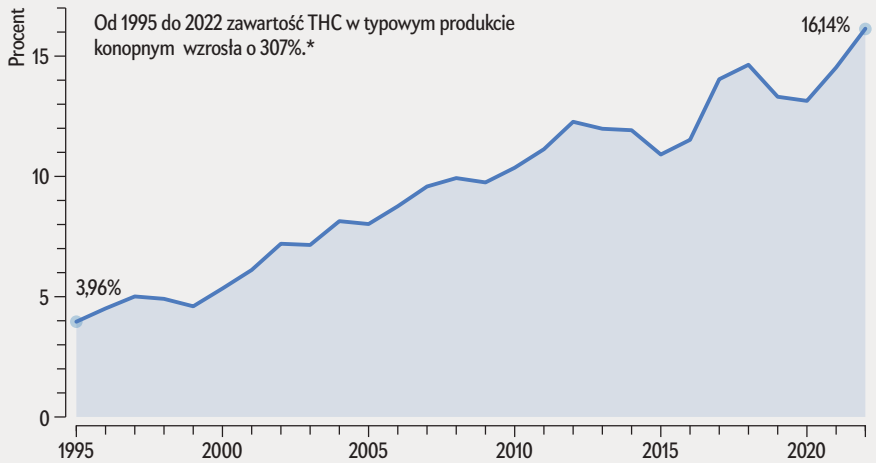
Wyższe stężenie THC, rozpoczęcie zażywania w młodym wieku i większa częstość sięgania po marihuanę – wszystkie te czynniki zwiększają ryzyko psychozy. Kanadyjski zespół badawczy, który przebadał ponad 11 tys. nastolatków, odkrył, że w porównaniu z osobami niezażywającymi, u użytkowników konopi ryzyko rozwoju zaburzeń psychotycznych było 11-krotnie wyższe. W obliczu takich niepokojących danych niektórzy naukowcy zaczęli bić na alarm. Ale wciąż zmagamy się z dotarciem do tych, którzy

Carrie E. Bearden jest profesorem psychiatrii, nauk biobehawioralnych i psychologii na University of California w Los Angeles. Kieruje klinicznym programem badawczym dotyczącym wczesnej interwencji w przypadku wystąpienia u młodych ludzi spektrum zaburzeń psychotycznych (https://capps.semel.ucla.edu). Obserwuj ją w Internecie @ carriebearden.bsky.social

Ilustracja Malte Müller

eprasa.pl 4ccacbcd35

Koncentracja tetrahydrokanabinolu (THC) w produktach skonfiskowanych przez Drug Enforcement Administration



**Dane odzwierciedlają zawartość THC w marihuanie (susz z liści i kwiatostanów konopi), haszyszu (odpowiednio spreparowana żywica krzewu konopi) i olej haszyszowy (żywica konopi rozpuszczana np. eterem).*

ŹRÓDŁO: Cannabis Potency Data, National Institute on Drug Abuse

najbardziej tych informacji potrzebują: rodziców, nauczycieli i ustawodawców. I chociaż nie ma konsensu, co do tego, że marihuana powoduje psychozę, badania takie jak te, które wspomniałam – dobrze zaprojektowane, o rzetelnie przeanalizowanych wynikach – wskazują, że istnieje związek między tymi zjawiskami.

Kolejne ważne pytanie, na które próbujemy znaleźć odpowiedź, brzmi: dlaczego ryzyko psychozy jest aż tak wyraźne u nastolatków? Badacze z mojej dziedziny uważają, że ma to związek z intensywnym „przeorganizowywaniem się" mózgu w okresie dojrzewania, co trwa aż do 20. roku życia, czyli do momentu, gdy zazwyczaj zaczynają się ujawniać objawy zaburzeń psychotycznych. Te same cząsteczki i receptory w mózgu, które oddziałują z THC (czyli tzw. układ endokannabinoidowy), odgrywają kluczową rolę w rozwoju mózgu. Coraz więcej dowodów – zarówno pochodzących z badań na zwierzętach, jak i z udziałem ludzi – świadczy, że wczesna ekspozycja na konopie może zakłócać sposób, w jaki komórki mózgowe (neurony) reagują na bodźce oraz jak się między sobą komunikują, by tworzyć wspomnienia.

Jak więc rozmawiać z dziećmi o marihuanie? Kiedy do mojej kliniki trafiają rodziny z młodzieżą zagrożoną psychozą, wraz ze współpracownikami zadajemy młodym ludziom pytanie, dlaczego sięgają po marihuanę i jak na nią reagują. Pytamy, czy w razie potrzeby potrafiliby z niej zrezygnować. Potem sugerujemy: „A może spróbujesz odstawić ją na kilka dni i zobaczyć, jak się wtedy poczujesz?" Odpowiedzi pomagają nam ocenić, czy pacjent jest uzależniony.

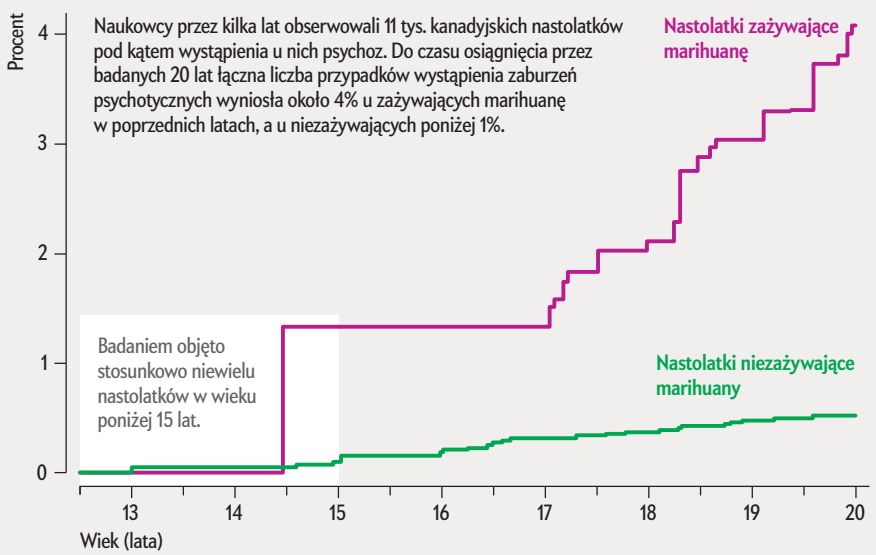
Niektóre nastolatki mówią, że mogą z niej zrezygnować. Ale inne nie chcą. W tym drugim przypadku zalecamy unikanie produktów o wysokiej zawartości THC i wybór takich, które mają wyższy stosunek CBD do THC.

Możesz być pewien, że twoje nastoletnie dziecko prędzej czy później zetknie się z marihuaną w różnych formach: w szkole, na imprezach, w sąsiedztwie. Nigdy nie jest za wcześnie, by na ten temat porozmawiać. Aby się do takiej rozmowy przygotować, warto zadbać o własną „wiedzę konopną". Dobrym punktem wyjścia jest National Institute on Drug Abuse (Amerykański Narodowy Instytut ds. Nadużywania Narkotyków). Zachęcaj też swoje dziecko, by szukało wiarygodnych źródeł informacji – zamiast opierać się na tym, co słyszy od kolegów czy widzi w mediach społecznościowych. Pomocne może być również ustalenie jasnych zasad i granic dotyczących używania marihuany – wspólnie z dzieckiem – oraz określenie konsekwencji w przypadku ich złamania. Rodzice powinni zadbać o otwartą komunikację, nie oceniać i zapewniać dziecko, że może pytać i dzielić się swoimi obawami bez lęku.

W przypadku Sama zaleciliśmy długoterminowe leczenie psychiatryczne i terapię rodzinną – jego rodzice uznali to za bardzo dobre rozwiązanie, bo ich syn zmagał się z przewlekłą psychozą. Jeśli zauważycie u swojego dziecka niepokojące objawy – że się izoluje, mówi do siebie, słyszy lub widzi rzeczy, których inni nie dostrzegają – natychmiast szukajcie pomocy psychologicznej. Lekarz rodzinny lub pediatra może wystawić skierowanie do specjalisty, który postawi diagnozę i zaproponuje leczenie.

Tak jak w przypadku wielu innych rzeczy, z którymi dziś stykają się nasze dzieci, obecna dostępność różnorodnych produktów konopnych to eksperyment, na który nikt z nas nie wyraził świadomej zgody. Najlepsze, co możemy teraz zrobić, to zadbać, by nasza późna zgoda – i zgoda naszych dzieci – była tak świadoma, jak to tylko możliwe. ■

Zażywanie marihuany a zburzenia psychotyczne u nastolatków



ŹRÓDŁO: "Age-Dependent Association of Cannabis Use with Risk of Psychotic Disorder", „Psychological Medicine", tom 54, nr 11, sierpień 2024

Grafika Ripley Cleghorn (u góry) i André J. McDonald (u dołu); modyfikacja i stylizacja Ripley Cleghorn

eprasa.pl 4ccacbcd35

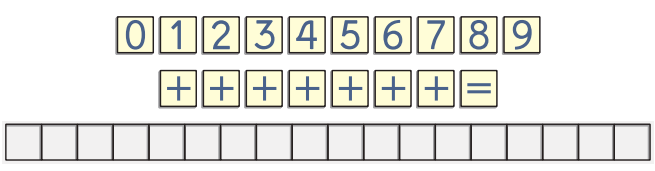
Dekarchia arytmetyczna

czyli spacer pandigitalny MAREK PENSZKO



KWALIFIKACJE WSTĘPNE do popularnego we Francji teleturnieju „Cyfry i litery” (*Des chiffres et des lettres*), którego ponad półwiekowa emisja dobiegła końca w minionym roku, polegały na rozwiązywaniu zadań podobnych do prezentowanych w programie. W etapie cyfrowym chodziło, ogólnie rzecz biorąc, o tworzenie z wylosowanych liczb równości, których wynik powinien być jak najbliższy podanego.

Przed jednym z zadań eliminacyjnych uczestnikom wręczono koperty, informując, że każda zawiera 18 identycznych płytek z cyframi i znakami działań, a z wszystkich – żadnej nie pomijając – należało utworzyć poprawną równość. Na sygnał gracze wysypali zawartość kopert. Na płytkach było dziesięć różnych cyfr, siedem znaków dodawania i znak równości (*rys. 1*). Wówczas podano dodatkową informację: w utworzonej równości zero



Rys. 1

nie może być liczbą wiodącą (występować na początku liczby) ani liczbą jednocyfrową. Nie wolno było także korzystać z jakichkolwiek rekwizytów, w tym z przyborów do pisania. Uporanie się z równością w najkrótszym czasie stanowiło przepustkę do udziału w teleturnieju.

Zadanie jest proste i ma wiele rozwiązań, ale tylko tuzin podstawowych – z różnymi zestawami liczb po obu stronach znaku równości, których kolejność można zmieniać. Najszybszy uczestnik eliminacji utworzył równość w ciągu 28 s. Potem wyjaśnił, że rozumował tak: zero musi być w jedynej liczbie dwucyfrowej (liczba dwucyfrowa może być tylko jedna, aby wykorzystanych zostało siedem plusów), a najmniejszą jest 10; po utworzeniu 10 suma wszystkich liczb od 2 do 10 wynosi 54, czyli trzeba je rozdysponować tak, aby ich suma po każdej stronie równości była równa 27; do 10 powinno więc doszlusować 17, na przykład jako 8+9, a pozostałe cyfry trafią na przeciwną stronę. Stąd jeden z możliwych efektów końcowych:

2+3+4+5+6+7=10+8+9

Jaka inna liczba dwucyfrowa może pojawić się w równości? – to równie łatwo ustalić.

* * *

Teleturniejowe zadanie należy do działu matematyki rekreacyjnej, zwanego arytmetyką pandigitalną i obejmuje liczby, działania oraz wyrażenia złożone z dziesięciu różnych cyfr. Klasyczny problem prawie pandigitalny był tematem tej rubryki w marcu br. Dotyczył wyrażeń równych 100 tworzonych z kompletu cyfr (ale bez zera, stąd „prawie”) – w dodatku ustawionych w kolejności rosnącej. Dla przypomnienia przykład ekstremalny – bez żadnego plusa i z jednym minusem:

1:2×(34×56:7–8×9)=100

Problem jest „prawie” pandigitalny także dlatego, że tylko lewa strona równości jest różnocyfrowa – w przeciwieństwie do w pełni digitalnego wyrażenia z eliminacji do teleturnieju. Gdyby lewą stronę uzupełnić niewiodącym zerem wplecionym w naturalny ciąg cyfr, wtedy efekt końcowy mógłby wyglądać choćby tak:

12+3+4+560:7–8+9=100

A gdyby pandigitalność była pełna, czyli obejmowała całe wyrażenie z zachowanym ciągiem cyfr dodatnich, ale bez 100 i z zerem w roli „intruza”, wówczas jako przykład pasowałoby wyrażenie:

(1×2×30+4+56:7):8=9

* * *

Podstawą pandigitalnej arytmetyki są 10-cyfrowe liczby złożone z różnych cyfr. Najmniejsza z nich to 1 023 456 789, a największa stanowi jej prawie dokładny zapis wspak – 9 876 543 210. Wszystkich liczb jest oczywiście tyle, na ile sposobów można utworzyć rządek dziesięciu różnych cyfr, czyli 10!, ale z pominięciem ustawień zaczynających się od zera (9!). Liczba liczb jest więc równa 10!-9!=9×9!=3 265 920, co stanowi zaledwie niespełna 0,04% wszystkich liczb naturalnych w zakresie od najmniejszej pandigitalnej do największej.

Ten gigantyczny, ale skończony ciąg, to raj dla liczbomaniaków – także tych poważnych, czyli teoretyków liczb – buszujących w nim w poszukiwaniu jego specyficznych własności oraz wyróżniających się pod jakimś względem wyrazów, ale przede wszystkich próbujących określać rządzące nim reguły. Zacząć wypada od bliźniaczej cechy całego rodu: każdy jego „osobnik” jest wielokrotnością 9, a więc także 3, bo przez 9 podzielna jest suma jego cyfr – 45. Łatwo także ustalić „na piechotę”, korzystając z cech podzielności i kombinatoryki, ile jest pandigitalnych liczb parzystych (1 653 120), liczb podzielnych przez 4 (564 480), przez 5 (685 440), przez 6 (tyle, ile parzystych) lub przez 8.

Tylko ten ostatni przypadek wymaga nieco więcej liczenia w związku z cechą podzielności przez 8:

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”.

shutterstock.com

Ilustracje Marek Penszko

eprasa.pl 4ccacbcd35

podzielna przez 8 jest liczba, której trzycyfrowa końcówka stanowi wielokrotność ośmiu. Takich końcówek złożonych z różnych cyfr jest 88. 32 z nich zawierają jedno zero, a to daje 32×7!=161 280 liczb pandigitalnych; w 56 końcowych tercetach nie ma zera, co skutkuje 56×6×6!=241 920 liczbami. W sumie pandigitalnych wielokrotności ośmiu jest więc 161 280+241 920=403 200.

Natomiast nie ma elementarnego sposobu na odsianie liczb podzielnych przez 7, bo w tym przypadku brak jest odpowiednio prostej cechy podzielności. Niezbędne wydaje się więc wsparcie komputerowe, z którego wynika, że pandigitalnych wielokrotności siedmiu mamy 465 736.

Nie istnieje wzór na wyraz ogólny ciągu liczb pandigitalnych. Każdy kolejny wyraz określany jest rekurencyjnie, a ściślej – stanowi permutację poprzedniego wyrazu. Następstwem tego permutacyjnego sposobu jest jednak zaskakująca symetria ciągu, przejawiająca się między innymi w rozmieszczeniu wspomnianych wielokrotności konkretnych liczb. Na przykład przez 7 podzielne są kolejno wyrazy a_2 (drugi), a_5, a_9, a_{37}, a_{41}, a_{44}, ... oraz te same kolejne wyrazy, ale liczone od końca.

Ogólnie: jeśli wyraz a_n dzieli się przez x, to przez x dzieli się także wyraz $a_{3265920-n}$. Symetria układu liczb jest wyraźniej widoczna w różnicach między kolejnymi wyrazami. Ciąg różnic zaczyna się tak: **9** (...98–...89), **81** (...879–...798), **18** (...897–879), **81** (...978–...897), **9** (...987–...978), **702** (...7689–...6987), **9** (...7698–...7689), **171** (...7869–...7698), ... ; osiąga wartość „szczytową" między wyrazami $a_{1632960}$ i $a_{1632961}$, po czym zaczyna się cofać po poprzednich wartościach, aż do końcówki: ... **171**, **9**, **702**, **9**, **81**, **18**, **81**, **9**.

* * *

Teoretycy liczb interesowali się głównie pandigitalnymi kwadratami, a ściślej ich występowaniem w różnych systemach liczbowych. W systemach o najmniejszych podstawach szukanie kwadratów jest bardzo łatwe, zwłaszcza że pierwszy pojawia się dopiero w systemie czwórkowym i jest unikatem dla podstawy n=4 – to 3201, czyli 225 w systemie dziesiętnym. Liczby kwadratów pandigitalnych (K_n) w systemach o podstawach $2 \le n \le 18$ są podane w tabeli.

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
K_n	0	0	1	0	1	3	4	26	87	47	87	0	547	1303	3402	0	24 192

Zagadkowy wydaje się brak kwadratów dla niektórych podstaw $n \ge 5$, zwłaszcza dużych, jak 13 i 17. Warto prześledzić sposób wyjaśnienia tej zagadki.

Liczba pandigitalna p_n w systemie o podstawie n składa się z n różnych cyfr – od a_{n-1} do a_0 i jak każda liczba zapisana w dowolnym systemie może być przeliczona na system dziesiętny jako L_{10} w procesie dodawania iloczynów:

$p_n = a_{n-1}n^{n-1} + a_{n-2}n^{n-2} + \ldots + a_1n^1 + a_0n^0 = L_{10}$

Na przykład z systemu piątkowego:

$21043_5 = 2\times5^4+1\times5^3+0\times5^2+4\times5^1+3\times5^0 = 1250+125+0+20+3 = 1398_{10}$

Ogólne dodawanie można zapisać w skrócie, korzystając z symbolu sumowania (sigma):

$$L_{10} = \sum_{k=0}^{n-1} a_k n^k = \sum_{k=0}^{n-1} a_k + \sum_{k=0}^{n-1} a_k (n^k - 1)$$

Sigma przed plusem jest sumą cyfr liczby $p_n = n(n-1)/2$. Sigmę za plusem można przekształcić, korzystając z tzw. liczby jedynkowej R_{kn}, czyli złożonej tylko z jedynek – $R_{kn}=(n^k-1)/(n-1)$. Ostatecznie wyrażenie przybierze postać:

$$L_{10} = \frac{n(n-1)}{2} + (n-1)\sum_{k=0}^{n-1} a_k R_{kn}$$

Dla nieparzystego n można je przekształcić do postaci:

$$L_{10} = \frac{(n-1)}{2}\left(n + 2\sum_{k=0}^{n-1} a_k R_{kn}\right)$$

Przy nieparzystym n parzystość prawej strony będzie możliwa tylko w przypadku parzystości liczby $(n-1)/2$, a całość na pewno nie będzie kwadratem wtedy, gdy w rozkładzie na czynniki pierwsze tej parzystej liczby dwójka pojawi się nieparzystą liczbę razy. Tak właśnie jest dla n=5, 13, 17, 21, 29, 37, ... Oczywiście, systemy o dużych nieparzystych podstawach to czysta abstrakcja.

W systemie dziesiętnym najmniejszym pandigitalnym kwadratem jest 1 026 753 849=32043², największym – 9 814 072 356 =99 066², potęg większych niż drugie nie ma; różnocyfrowe sześciany kończą się na 8-cyfrowym 32 461 759=319³. Natomiast za najbardziej osobliwą perełkę w tym systemie uchodzi 3 816 547 290 – jedyna liczba pandigitalna, której każde n początkowych cyfr stanowi n-cyfrową liczbę podzielną przez n: 38 dzieli się przez 2, 381 przez 3, 3816 przez 4 itd.

* * *

Pod koniec XIX wieku w prasie zaczęły się pojawiać pierwsze łamigłówki z ułamkami pandigitalnymi. Pionierem był niemiecki popularyzator matematyki rekreacyjnej Louis Mittenzwey, autor wielokrotnie wznawianej (ostatnio w bieżącym roku, po blisko 150 latach od pierwszego wydania) książki *Mathematische Kurzweil*. W najprostszej postaci chodziło o zapisanie odwrotności jakiejś liczby naturalnej (np. 1/2, 1/3, 1/7 lub 1/13) w postaci ułamka złożonego z 10 różnych cyfr (częściej zero pomijano, czyli cyfr było 9, ale wówczas ułamki nie były w pełni pandigitalne).

Zadania nie należały do prostych, bo w XIX wieku nie można się było wspomagać nawet kalkulatorem. Po wielu latach za sprawą komputerów i odpowiednich programów rozwiązywanie zmieniło się w siłowe poszukiwanie ciekawostek arytmetycznych (chyba że ktoś preferuje tradycyjne łamanie głowy). Z publikacji zawierających takie ciekawostki można się więc dowiedzieć, że pandigitalnych wersji ułamka 1/2 jest aż 48 (pierwsza, z najmniejszym licznikiem, to 13 485/26 970), 1/3 – 6 (od 16 794/50 382), 1/7 i 1/13 – po jednej (14 076/98 532 i 7956/103 428), a ułamków 1/6, 1/10 (co oczywiste), 1/11 i wielu innych nie sposób przedstawić pandigitalnie.

Temat ułamkowy jest bardzo obszerny, bo teoretycznie dotyczy wszystkich ułamków nieskracalnych (np. 2/3, 3/4, 3/5, ... itd.). Kto ma ochotę, może się więc wybrać np. na programistyczne polowanie na pandigitalny wariant ułamka 13/19, aby wrócić z... niczym. Łowy byłyby natomiast udane, gdyby cel stanowił ułamek 13/17, bo wtedy potencjalne łupy są cztery: 19 734/25 806, 37518/49 062, 49 803/65 127 i 75 036/98 124. Poza tym pandigitalny może być nie tylko sam ułamek, ale cała

eprasa.pl 4ccacbcd35

równość dwóch ułamków. Wtedy jednak gwoli „czystości" formy ułamki podawane jako wzorcowe ograniczane są do właściwych (wyklucza się np. 5/2=7960/3184) i nieskracalnych (odpadają wszystkie w rodzaju 2/4=3079/6158). W tej grupie wyróżniają się dwie równości: 3/7=2589/6041 oraz 2/13=706/4589. O ich unikalności decyduje to, że w obu pierwszy ułamek (licznik i mianownik) tworzą dwie liczby pierwsze, a drugi – dwie półpierwsze (iloczyny dwóch liczb pierwszych).

* * *

Oprócz ułamków w pełni przepracowanym zagadnieniem pandigitalnym są równości iloczynowe. Rachmistrze-programiści znaleźli wszystkie równości, w których po jednej stronie jest mnożenie dwóch, trzech lub czterech liczb (więcej być nie może), a po drugiej ich iloczyn, przy czym obie strony równości łącznie obsługuje dziesięć różnych cyfr. Iloczynów jest 50, ale mnożeń 54, bo cztery iloczyny można utworzyć na dwa sposoby:

7056=1×3×8×294=1×3×24×98
9360=1×5×24×78=2×4×15×78
16038=27×594=54×297
17820=36×495=45×396

Dla odmiany pandigitalne dodawania – w stylu wspomnianego na wstępie zadania teleturniejowego – nie oferują zbyt wielu atrakcji, więc nie ma chętnych do zgłębiania tego tematu. Podobnie wyrywkowo traktowane są kombinacje różnych działań, które tworzą rozległą, ale nieuporządkowaną pandigitalną „krainę obfitości".

ZADANIA

1. Z dziesięciu różnych cyfr utworzono dwie liczby, różnica między którymi jest najmniejszą możliwą. Jakie to liczby?

2. Przez którą najmniejszą liczbę trzeba pomnożyć 2025, aby otrzymany iloczyn był liczbą pandigitalną? Wbrew pozorom, by udzielić odpowiedzi, nie trzeba korzystać z komputera (choć oczywiście można). Niezbędne są tylko: kalkulator, logiczne myślenie oraz szczypta cierpliwości i szczęścia.

3. Z dziesięciu różnych cyfr utworzono zbiór kilku liczb pierwszych (z wykluczeniem zera wiodącego). Jakie to liczby, jeśli największa z nich jest najmniejszą możliwą, a ponadto minimalna jest suma wszystkich liczb?

4. ...4592307816... to liczba, która stanowi pierwszy pandigitalny fragment rozwinięcia liczby π – czwórka jest w tym fragmencie 60. cyfrą po przecinku. Inną koligację z pi stanowi ułamek pandigitalny 85 910/27346, który w rozwinięciu dziesiętnym (**3,141592**92...) jest zgodny najdalej – do szóstego miejsca po przecinku – z rozwinięciem pi (**3,141592**65...). Z kolei w rozwinięciu dziesiętnym innej znanej stałej matematycznej – liczby Eulera *e* – pierwszy fragment pandigitalny (...0719425863...) zaczyna się zerem, które jest 1729. cyfrą po przecinku. A zadanie polega na znalezieniu ułamka pandigitalnego, którego rozwinięcie będzie najdalej zgodne z liczbą *e* = 2,7182818284590....

Rozwiązania prosimy nadsyłać do 31 lipca 2025 roku pocztą elektroniczną (redakcja@swiatnauki.pl)*, wpisując w temacie e-maila hasło* ***UG 07/25****. Spośród autorów poprawnych rozwiązań przynajmniej dwóch zadań wyłonimy pięciu zwycięzców i nagrodzimy ich książką* Dla kogo jest miasto. Jak stworzyć przestrzeń, która o nas dba *Magdaleny Milert ufundowaną przez Wydawnictwo Poznańskie. Warunkiem udziału w konkursie jest zamieszczenie w e-mailu z odpowiedzią oświadczenia:*



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

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

ROZWIĄZANIA ZADAŃ Z NUMERU MAJOWEGO

1. Na rys. 2 liczby od 1 do 9 rozmieszczone są w kwadracie 3×3 tak, że sumy czterech liczb w czterech czworaczkach (kwadraty 2×2) tworzą ciąg arytmetyczny o największej możliwej różnicy równej 6 (11-17-23-29).

6	3	2
9	5	1
8	7	4

Rys. 2

2. Rozwiązanie na rys. 3 (liczby na przekątnej „Szczecin-Rzeszów": 6-3-1-1-3-4)

6	5	3	4	1	2
4	3	2	6	5	1
3	6	1	2	4	5
5	4	6	1	2	3
2	1	4	5	3	6
1	2	5	3	6	4

Rys. 3

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

Rys. 4

3. Rozwiązanie na rys. 4 (liczby na przekątnej „Wrocław-Białystok": 1-9-5-1-2-5-2-4-6)

Za poprawne rozwiązanie przynajmniej trzech zadań książkę Mattew Walkera *Dlaczego śpimy*, ufundowaną przez Wydawnictwo Marginesy, otrzymują: Adrianna Koń, Piotr Mesyjasz i Grażyna Paluch – wszyscy z Warszawy oraz Jacek Mucha z Krakowa i Andrzej Pańka z Brześcia Kujawskiego.

Rozwiązanie zagadki matematycznej ze strony 18

Dwunastokąt foremny z tak wpisaną gwiazdą można też podzielić na 18 figur o jednostkowym boku – sześć kwadratów i 12 trójkątów równobocznych. Stąd wniosek, że powierzchnia gwiazdy jest równa powierzchni sześciu jednostkowych kwadratów, czyli wynosi 6.



eprasa.pl 4ccacbcd35

POSZERZAMY HORYZONTY



Lipcowy numer już w punktach sprzedaży prasy

KUP TERAZ

Od bieżącego wydania możecie kupić nasz miesięcznik 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 4ccacbcd35

Wzburzone wody

Śmiertelnie groźne sztormy tropikalne staną się częstsze i silniejsze

Tekst CLARA MOSKOWITZ | Infografika JEN CHRISTIANSEN | Mapy DANIEL P. HUFFMAN

POCZĄTEK CZERWCA to start sezonu huraganowego na Atlantyku – sześciomiesięcznego okresu, podczas którego nad oceanem mogą się tworzyć silne cyklony tropikalne, by następnie siać spustoszenie na lądzie. Do niebezpiecznych zjawisk sprowadzonych przez huragany należą powodzie sztormowe, kiedy lustro wody w pobliżu brzegu podnosi się gwałtownie powyżej normalnego poziomu przypływu. Woda wdzierająca się na brzeg może unosić i przemieszczać budynki. „Woda ma ogromną siłę – mówi Heather Nepaul, meteorolożka z National Hurricane Center w Miami, ośrodka prognostycznego wchodzącego w skład National Oceanic and Atmospheric Administration. – I może być śmiertelnie niebezpieczna."

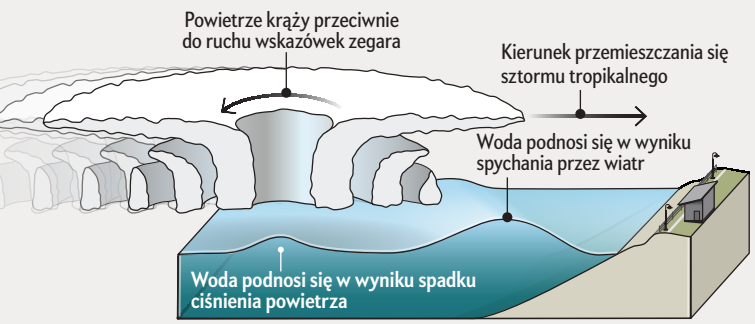
Takie powodzie sztormowe powstają wtedy, gdy huraganowe wiatry wchodzą w interakcję z wodami oceanicznymi, pchając je przed sobą. Zbliżający się do brzegu huragan przechodzi nad coraz płytszymi akwenami, a pchana przez niego woda nie ma dokąd uciec i zalewa ląd.

Skala i zasięg takiej powodzi sztormowej zależą od wielu czynników, w tym od różnych cech strefy brzegowej, a także od intensywności, rozmiaru i kąta natarcia huraganu. Z reguły, choć nie zawsze, silniejsze i większe huragany powodują większe powodzie sztormowe.

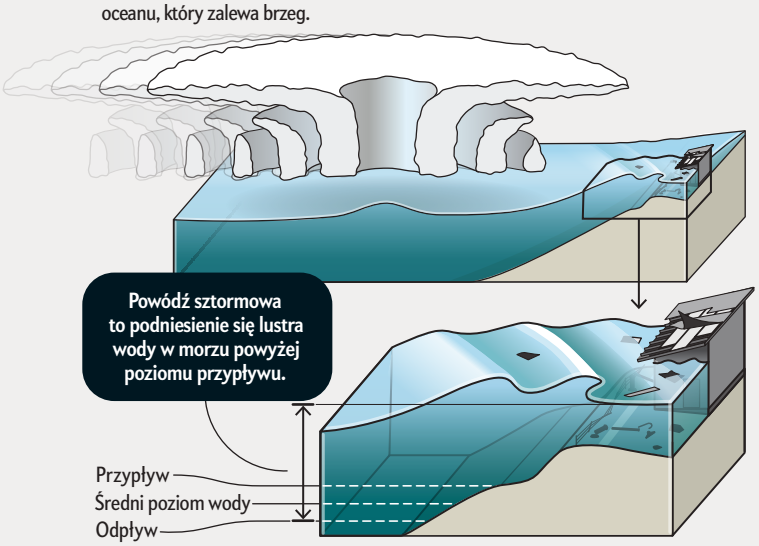
W miarę ocieplania się klimatu huragany stają się coraz silniejsze, a poziom mórz się podnosi. Oba te czynniki prawdopodobnie zwiększą ryzyko powodzi sztormowych. Obszary przybrzeżne, które już teraz są nawiedzane przez takie żywioły, mogą coraz mocniej odczuwać ich skutki, a miejsca dotąd uważane za stosunkowo bezpieczne staną się w przyszłości bardziej zagrożone. ■

JAK TO DZIAŁA?

Główną przyczyną powodzi sztormowej jest wiatr napierający na wodę i spychający ją w stronę brzegu. W niewielkim stopniu jest to także efekt niskiego ciśnienia atmosferycznego panującego wewnątrz tropikalnego sztormu, które zmniejsza siłę nacisku na lustro wody, wywołując wzrost jej poziomu.



Przesuwający się nad oceanem huragan wciąga wodę do swojego centrum. Kiedy spirala zbliża się do lądu, ta nadwyżka wody powoduje podniesienie się poziomu oceanu, który zalewa brzeg.



ZMIENNE WPŁYWAJĄCE NA PODNIESIENIE SIĘ POZIOMU WODY

Wielkość powodzi sztormowej trudno jest przewidzieć, ponieważ zależy ona od wielu zmiennych: prędkości i zasięgu wiatrów towarzyszących huraganowi, rozmiaru wiru, prędkości jego przesuwania się i kąta, pod jakim dociera do lądu, oraz od kształtu linii brzegowej w miejscu uderzenia żywiołu.

	WYSOKOŚĆ POWODZI SZTORMOWEJ: MNIEJSZA	WYSOKOŚĆ POWODZI SZTORMOWEJ: WIĘKSZA
Prędkość wiatru	mniejsza	większa
Średnica wiru	mniejsza	większa
Kształt linii brzegowej	Stromo opadająca wąska platforma	Łagodnie opadająca szeroka platforma

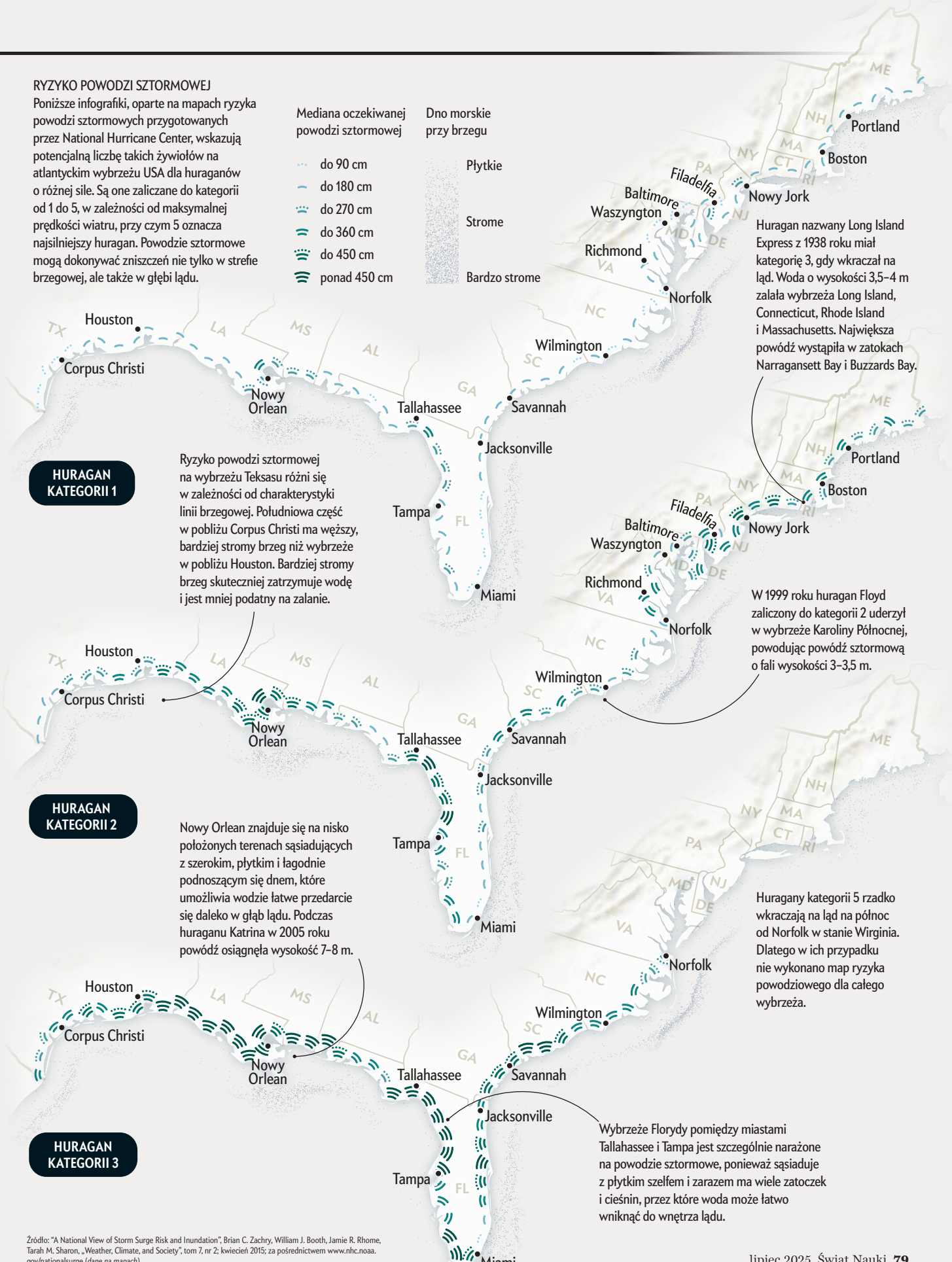
Prędkość przemieszczania się sztormu tropikalnego — Szybko przesuwające się wiry zwykle bardziej podnoszą poziom wody zalewającej najbliższy brzeg. Wolno wędrujące wiry zazwyczaj nie podnoszą tak wysoko poziomu wody, ale może ona wdzierać się dalej w głąb lądu.

Kąt uderzenia — Huragan, który uderza w brzeg pod kątem prostym, często powoduje wyżej sięgającą powódź sztormową niż sztorm, który wkracza na ląd pod pewnym kątem. Ale nie należy generalizować, ponieważ efekt finalny zależy także od kształtu linii brzegowej. Na przykład huragan przesuwający się równolegle do linii brzegowej wciąż może wtłaczać wodę do zatok i lądu za nimi.

eprasa.pl 4ccacbcd35

RYZYKO POWODZI SZTORMOWEJ

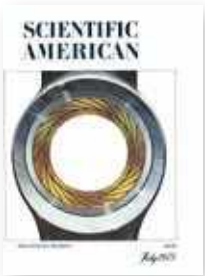
Poniższe infografiki, oparte na mapach ryzyka powodzi sztormowych przygotowanych przez National Hurricane Center, wskazują potencjalną liczbę takich żywiołów na atlantyckim wybrzeżu USA dla huraganów o różnej sile. Są one zaliczane do kategorii od 1 do 5, w zależności od maksymalnej prędkości wiatru, przy czym 5 oznacza najsilniejszy huragan. Powodzie sztormowe mogą dokonywać zniszczeń nie tylko w strefie brzegowej, ale także w głębi lądu.



Źródło: "A National View of Storm Surge Risk and Inundation", Brian C. Zachry, William J. Booth, Jamie R. Rhome, Tarah M. Sharon, „Weather, Climate, and Society", tom 7, nr 2; kwiecień 2015; za pośrednictwem www.nhc.noaa.gov/nationalsurge (*dane na mapach*)

eprasa.pl 4ccacbcd35

50, 100 i 150 lat temu



KENNEDY BRONI FINANSOWANIA NAUKI

1975 „Kiedy naukowiec ubiega się o publiczne środki na badania, jego wniosek oceniają komisje recenzujące z Narodowego Instytutu Zdrowia (NIH), Narodowej Fundacji Nauki (NSF) oraz innych federalnych agencji. 94. Kongres jednak zasygnalizował, że chciałby sam podejmować takie decyzje. Izba Reprezentantów, uchwalając ustawę przyznającą 755,4 mln dolarów na NSF na rok budżetowy 1976, dodała poprawkę dającą Kongresowi prawo weta wobec każdego grantu. Senat przyjął ustawę bez tej poprawki. Senator Edward M. Kennedy, Demokrata z Massachusetts i przewodniczący podkomisji, która przygotowała projekt ustawy, powiedział, że Komisja ds. Pracy i Opieki Społecznej jednogłośnie uznała poprawkę za »nie tylko niewykonalną, ale i sprzeczną z zasadami, które uczyniły z naszego kraju światowego lidera w badaniach naukowych«."

PRECYZYJNIEJSZE POCISKI

„Sekretarz obrony James R. Schlesinger ogłosił, że Stany Zjednoczone planują opracowanie nowej generacji międzykontynentalnych pocisków balistycznych, zdolnych do przenoszenie głowic nuklearnych na duże odległości z niespotykaną dotąd precyzją. Trwają prace nad systemem aktywnego naprowadzania, który uzupełniałby podstawowy system inercyjny, korygując tor lotu głowicy podczas jej wejścia w atmosferę – co miałoby zapewnić niemal doskonałą celność."



ŻADNYCH MAGNESÓW!

1925 „*Carnegie*, jednostka badawcza zbudowana całkowicie z drewna i innych niemagnetycznych materiałów, prowadzi pomiary pola magnetycznego oceanów. Belki kadłuba łączone są gwoździami i śrubami z brązu, olinowanie wykonano z konopi zamiast stali, kuchnie z mosiądzu i miedzi, kotwice z brązu (każda waży 1900 funtów), a zamiast łańcuchów zastosowano manilowe liny o średnicy 11 cali. Dzięki temu nie trzeba uwzględniać podczas pomiarów zakłóceń wywołanych przez obecność żelaza czy innych materiałów magnetycznych. Na statku są prowadzone badania nad magnetyzmem Ziemi i przyczynami zmian w jej polach magnetycznym i elektrycznym."



MARNOTRAWIONY GAZ

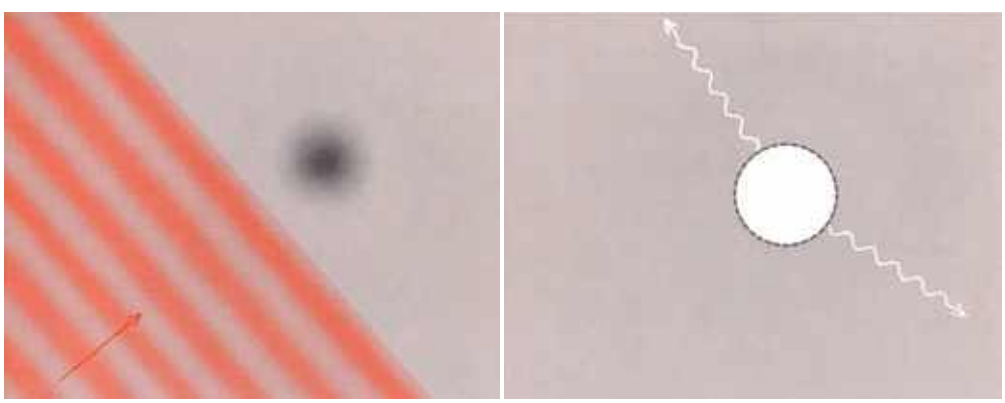
1875 „Nie ma wątpliwości, że gaz stale wydobywający się z odwiertów naftowych jest prawie równie cenny, jak sama ropa. Dziwi fakt, że dotąd nie opracowano sposobu na wykorzystanie tego daru Ziemi. Przez lata gaz był bezproduktywnie wypuszczany do atmosfery. Z jednego z odwiertów w rejonie Butler w Pensylwanii, w którym ciśnienie wynosi 300 funtów na cal kwadratowy, wydziela się według szacunków milion stóp sześciennych gazu na dobę."

TOKSYCZNA PRZYJEMNOŚĆ

„Dym tytoniowy z cygar zawiera liczne i złożone związki. W jego skład wchodzą: kwas pruski (cyjanowodorowy), siarkowodór, kwasy tłuszczowe – mrówkowy, octowy, propionowy, masłowy i walerianowy – a także fenol, kreozot, pirydyna, pikolina, kolidyna i im podobne alkaloidy. W dymie stwierdzono ponadto obecność amoniaku, azotu, tlenu oraz śladowych ilości metanu (gazu błotnego) i tlenku węgla."

MORSKI POJEDYNEK

„Kilka dni temu dwóch mężczyzn łowiących ryby w zatoce u wybrzeży Nowego Jorku zauważyło nad wodą pojedynczą płetwę i uznało, że to rekin. Zaatakowali stworzenie, ale ku ich zaskoczeniu łódź została przebita mieczem – kością długości 1,4 m – należącym do ogromnego miecznika. Udało im się złapać rybę za ogon i ją zabić, po czym trafiła ona do restauracji w pobliżu redakcji „Scientific American". „New York Express" podał, że ryba ważyła 390 funtów i mierzyła 19 stóp i 8 cali (około 6 m). Był to jeden z największych okazów, jakie kiedykolwiek widzieliśmy. Miecznik należy do rodziny makrelowatych i jest doskonałym pływakiem. Jego miecz to mocna, płaska i ostra kość. Dorosłe osobniki osiągają zwykle 20 stóp (ponad 6 m) – 14 stóp mierzy ciało, a 6 stóp miecz."

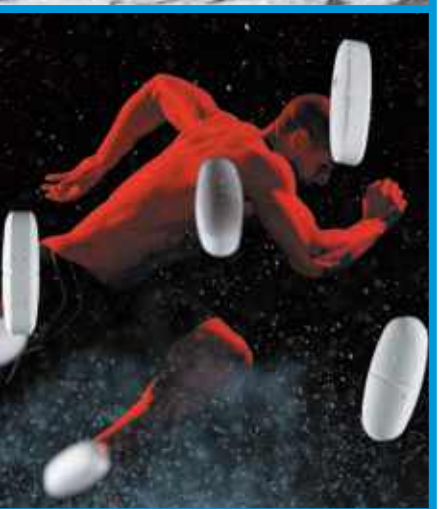


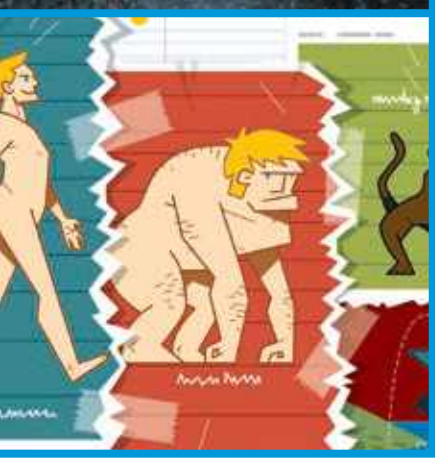
1975 Anihilacja cząstek: „Pozyton jako fala zmierza w kierunku elektronu wewnątrz kryształu (*po lewej*). Kiedy dochodzi do anihilacji obu cząstek, powstające fotony gamma przejmują pęd elektronu, rozchodząc się pod kątem innym niż 180° (*po prawej*)."

„Scientific American", tom 233, nr 1, lipiec 1975

eprasa.pl 4ccacbcd35







ŚWIAT NAUKI

POLSKA EDYCJA

SCIENTIFIC AMERICAN

W NUMERZE SIERPNIOWYM

Gdyby cała pokrywa lodowa Grenlandii stopniała, poziom mórz na świecie podniósłby się o 7,3 m. Naukowcy coraz bardziej obawiają się, że cofanie lodu przyspiesza. Pobierając próbki skał spod lodowej czapy, chcą ustalić, kiedy Grenlandia po raz ostatni była zielona – i co to może oznaczać dla naszej przyszłości. O tym w kolejnym numerze,

a ponadto:

Modowa rewolucja

Cała prawda o testosteronie

Czy psychopatię da się leczyć?

Nienasycone czarne dziury

Sztuczna inteligencja nie nadaje się do rządzenia

Prócz tego:

Kolor dla wybranych

Epidemia trzęsień ziemi

Zapach mumii

Skóra woła o pomoc

Pożytki ze zmywania naczyń

Przysmaki goryli

INNI OPISUJĄ NAUKĘ.
NASI AUTORZY JĄ TWORZĄ.

















„Świat Nauki" w wersji cyfrowej: www.projektpulsar.pl

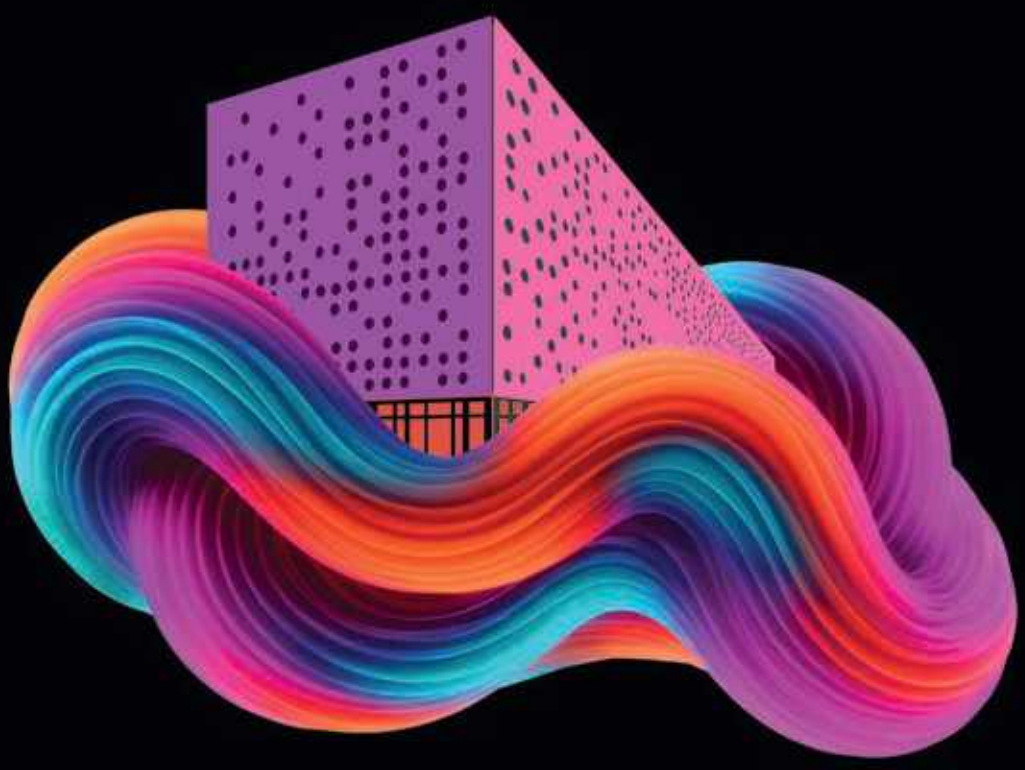
Prenumerata papierowa: www.sklep.polityka.pl/sn

W kioskach numer sierpniowy dostępny od 30 lipca

eprasa.pl 4ccacbcd35

AI

TEŻ U NAS STUDIUJE



Politechnika Wrocławska

WIĘCEJ NA: REKRUTACJA.PWR.EDU.PL