ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
swiatnauki.pl • projektpulsar.pl

SCIENTIFIC AMERICAN

Kwiecień 2026 nr 4 (416)
Cena 18 zł 99 gr (w tym 8% VAT)

Sztuczki ze spowalnianiem czasu

Nowa ekspansja plastiku

Depresję poporodową da się leczyć

Życie z AI

Sztuczna inteligencja a nasza codzienność – korzyści i zagrożenia

ASTRONOMIA

Czym są czerwone kropki na zdjęciach z Kosmicznego Teleskopu Jamesa Webba?

ŚWIAT NAUKI 04/2026
INDEKS 378194
ISSN 0867-6380
9 770867 638609 04>

Pulsar – serwis popularnonaukowy POLITYKI

POPULARYZATOR NAUKI 2024 i 2025

projektpulsar.pl

Wszystko, co warto wiedzieć o nauce:

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

...i jeszcze więcej:

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

PAWEŁ SIKORSKI:
Wirusy celowo zakładają czapki

DOROTA ROSIŃSKA, MAREK SZCZEPAŃCZYK:
Chcemy sięgnąć początków Wszechświata

pulsar

KATARZYNA SZNAJD-WERON:
O ruchach ciał społecznych

Zaprenumeruj nas:
projektpulsar.pl

eprasa.pl 75141bef1a

ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
SCIENTIFIC AMERICAN

KWIECIEŃ 2026
NUMER 4 (416)

Larry Washburn/Getty Images/iStock

RAPORT SPECJALNY

ŻYCIE W ERZE SI

21 NOWE ROZDANIE
ERIC SULLIVAN

23 CYFROWA OPIEKA ZDROWOTNA
HILKE SCHELLMANN

26 CZAS FAŁSZERSTW
ERIC SULLIVAN

SI W DZIAŁANIU
DENI ELLIS BÉCHARD

PALEONTOLOGIA

32 PARK TRIASOWY
We włoskich Alpach odkryto największe dotąd skupisko triasowych odcisków stóp dinozaurów.
HUMBERTO BASILIO

ASTRONOMIA

36 MAŁE CZERWONE KROPKI
Astronomowie starają się zrozumieć istotę tajemniczych obiektów widocznych na zdjęciach wykonanych przez Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba.
REBECCA BOYLE

FIZYKA

44 WZGLĘDNOŚĆ NAOCZNIE
Fizycy po raz pierwszy zaobserwowali dziwaczny efekt przewidziany przez szczególną teorię względności.
VICTORIA HELM, THOMAS JUFFMANN I PETER SCHATTSCHNEIDER

ZDROWIE

50 MATCZYNA DEPRESJA
Depresja poporodowa jest główną przyczyną zgonów kobiet po urodzeniu dziecka. Lek nowego typu może stanowić skuteczną terapię.
MARLA BROADFOOT

ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ

58 PLASTIKOWA STRATEGIA
Aby nadal czerpać zyski z wydobycia paliw kopalnych, firmy naftowe i gazowe zainteresowały się produkcją tworzyw sztucznych.
BETH GARDINER

eprasa.pl 75141bef1a

ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
SCIENTIFIC AMERICAN

KWIECIEŃ 2026
NUMER 4 (416)

6 SKANER
Pierwszy grill ◆ Mała poprawka, duża korzyść ◆ Mrówki nie bumelują ◆ Wirusy w służbie bakterii ◆ Psie abstrakcyjne myślenie ◆ Konkurs na najlepszego naśladowcę ◆ Leśny młotek ◆ Wszystko da się odtworzyć!

15 WSZECHŚWIAT
Najdziwniejsze złudzenia optyczne Wszechświata
PHIL PLAIT

16 ZDROWIE
Nie należy się nadmiernie oszczędzać
LYDIA DENWORTH

18 Q&A
Terapeuci SI?
ALLISON PARSHALL

70 MATEMATKA
Matematyka niezręcznych sytuacji
JACK MURTAGH

72 UMYSŁ GIĘTKI
Nie tylko Pascal
MAREK PENSZKO

75 SIŁA MYŚLI
Warto wiedzieć, co jest grane
ORIEL FELDMANHALL

78 FAKTOGRAF
Czy twoje miasto czyni cię zdrowszym?
EVE LU

80 Z ARCHIWUM „SCIENTIFIC AMERICAN"
Czego uczyć? ◆ Ile jest kwarków? ◆ Studencki sport ◆ Niedoceniany azbest ◆ Straaaszna ryba

14
Paul Starosta/Getty Images

17
Ilustracja Jay Bend

76
aelitta/Getty Images

OKŁADKA

W zaledwie kilka lat sztuczna inteligencja przeszła drogę od chatbota do niewidocznej działającej w tle infrastruktury – wpływa na to, jak pracujemy, uczymy się, leczymy, przemieszczamy, głosujemy, tworzymy i często tego wpływu nawet nie zauważamy. Czy to zawsze jest dobra zmiana?

Ilustracja Tavis Coburn

Polska wersja okładki Jolanta Kotas

eprasa.pl 75141bef1a

PRENUMERATA „ŚWIATA NAUKI”

SCIENTIFIC AMERICAN

Prenumeruj druk

KUP TERAZ

Prenumerata roczna
189 zł

Prenumerata półroczna
99 zł

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

Prenumeruj druk i serwis Pulsar

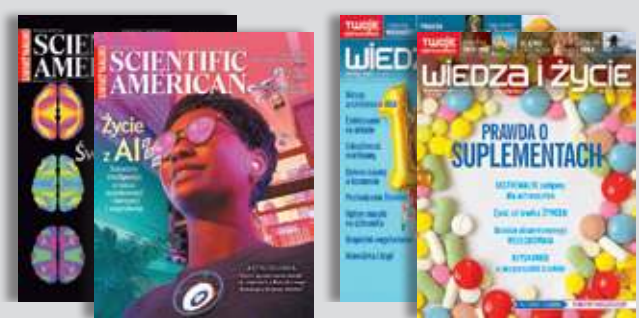
KUP TERAZ

Prenumerata roczna
279 zł

Prenumerata półroczna
159 zł

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

Prenumeruj w pakiecie z „Wiedzą i Życiem”



KUP TERAZ

Prenumerata roczna
299 zł

Prenumerata półroczna
169 zł

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

Darmowa dostawa co miesiąc pod wskazany adres

Gwarancja stałej ceny

MASZ PYTANIA?

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

prenumerata@swiatnauki.pl

sklep.polityka.pl

Zapraszamy na wygodne zakupy!
Dla siebie i bliskich. Kupuj dla szkoły, firmy, instytucji.

eprasa.pl 75141bef1a

ŚWIAT NAUKI POLSKA EDYCJA SCIENTIFIC AMERICAN

www.projektpulsar.pl

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

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

Kontakt z redakcją
redakcja@swiatnauki.pl

Korekta
Mariola Będkowska

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

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

Prezes zarządu
Jerzy Baczyński

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

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

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

Kontakt w sprawie bezpieczeństwa produktu
gpsr@polityka.pl

Druk P/mint

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

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

SCIENTIFIC AMERICAN

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

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

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

Drodzy Państwo,

głównym tematem kwietniowego numeru jest sztuczna inteligencja – ale nie filozoficzne rozważania o jej ewentualnej świadomości ani nie apokaliptyczne wizje o przejęciu przez nią kontroli nad światem, lecz kwestie bardziej przyziemne (*s .20*). SI zaczyna istotnie zmieniać naszą codzienność – bardzo szybko, aczkolwiek stopniowo i dlatego czasem niedostrzegalnie. SI najczęściej działa w tle. Obawiać się tych zmian czy się z nich cieszyć? To zależy od ich charakteru. Jednak zawsze trzeba pamiętać, że za wszelkimi technicznymi wynalazkami stoi człowiek i ich wykorzystanie zależy od jego intencji – przykładowo promieniotwórczość może leczyć, ale może też zabijać.

Nieco podobną sytuację mamy w przypadku tworzyw sztucznych. Ich zalew przeraża – plastik jest już dosłownie wszędzie, a możliwości jego wyłapania ze środowiska czy recyklingu są mocno ograniczone (*s. 58*). Znowu coś przegapiliśmy jako ludzkość. Co robić? Nie można przecież wylać dziecka z kąpielą – powrót do wielorazowych strzykawek lub (to już moja osobista refleksja) do rozlewania mleka w sklepie do naczyń przyniesionych przez klientów raczej nie jest dobrym pomysłem. Najgorsze w tym wszystkim jest to, że decyzje dotyczące dalszego rozwoju tej branży nie zapadają na podstawie analizy najlepszych rozwiązań, ale korzyści finansowych i to z reguły dla małej grupy ludzi.

W artykule na s. 50 poruszono z kolei ważny i często dotąd lekceważony problem zdrowotny. Depresja poporodowa dotyka bardzo wielu kobiet w różnym stopniu. Nie jest rodzajem typowej depresji, jak próbowano ją klasyfikować, bo jej podłoże jest inne, hormonalne. Jest chorobą – nie lenistwem, histerią, „baby bluesem", szybko przemijającym obniżeniem nastroju, nie jest na pewno winą chorej. Może trwać długo i mieć nieodwracalne konsekwencje. Na szczęście problem zaczęto traktować z należytą uwagą i udało się opracować skutecznie działające leki.

Miłośnikom astronomii polecamy artykuł o dziwnych obiektach, które pojawiły się na obrazach z Kosmicznego Teleskopu Jamesa Webba (*s. 36*). Sytuacja przypomina nieco tę po wynalezieniu mikroskopu, dzięki któremu udało się dostrzec bakterie. Czym są liczne, tajemnicze czerwone plamki? Na razie nie wiadomo, ale pojawiło się kilka koncepcji.

Udało się natomiast zobaczyć na własne oczy efekt przewidziany przez szczególną teorię względności – używając sprytnych sztuczek, bo inaczej nie byłoby to możliwe (*s. 44*).

Chciałabym zwrócić też Państwa uwagę na tekst o sensacyjnym odkryciu skamieniałych śladów dinozaurów (*s. 32*) oraz o z pozoru błahym plotkowaniu (*s. 75*), które potrafi zdecydować o społecznych układach.

Miłej lektury!

Elżbieta Wieteska

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

TŁUMACZE, AUTORZY I KONSULTANCI BIEŻĄCEGO NUMERU

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

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

eprasa.pl 75141bef1a

Fot. Pexels

Dźwięki wojny
– o muzycznej propagandzie

Muzyka od dawna towarzyszyła wojnom. Czy obecnie jest inaczej? Nie, o czym między innymi przekonują badania prof. Katarzyny Naliwajek z Instytutu Muzykologii (Wydział Nauk o Kulturze i Sztuce) Uniwersytetu Warszawskiego.

Propaganda wojenna ma niemało wspólnego z marketingiem. Jednocześnie – jak zauważa prof. Katarzyna Naliwajek, autorka książki *Sounds of Apocalypse. Music in Poland under German Occupation* oraz badań komparatystycznych w dziedzinie propagandy muzycznej (*Weaponized Songs: Pro-Putin and Other Totalitarian Musical Propaganda*) opublikowanych w piśmie „Musicology Today" – i*stnieją uderzające, wielowarstwowe podobieństwa między wykorzystaniem muzyki w propagandzie totalitarnej a funkcjami proputinowskich pieśni wojennych tworzonych przez rosyjską i islamską propagandę*. Jaki jest jej cel? To przede wszystkim „promocja" toczonej na terenach Ukrainy wojny (jako „sprawiedliwej", uzasadnionej), mobilizacja żołnierzy i społeczeństwa, zaszczepienie konkretnego systemu aksjologicznego, więcej – wykreowanie… politycznych mitów. Czyli nośnych, najczęściej wzniosłych matryc narracyjnych, tłumaczących otaczającą rzeczywistość w sposób pożądany przez dany reżim.

Większość cech muzycznej propagandy, jak wykorzystanie nowoczesnych metod marketingowych, może charakteryzować dowolną kampanię. Da się jednak wyróżnić cechy szczególne, które pozwalają zidentyfikować militarny charakter przekazu. Są to: dezinformacja; perswazja wykorzystująca uproszczenia i stereotypy w celu zaszczepienia wyraźnych przeciwieństw między „nami" a „nimi"; wykorzystywanie muzyki jako broni.

Potęga pieśni

– *W tym miejscu pojawiają się odniesienia do symbolicznych, historycznych, emocjonalnych, psychologicznych i mitycznych źródeł, przesiąkniętych retoryką w stylu mesjanistycznym i emocjonalnie nacechowanymi przejawami użalania się nad sobą. Ten mityczny krajobraz często zawiera nostalgiczne obrazy chwalebnej przeszłości i imperialnej potęgi* – wyjaśnia badaczka. Co istotne, piosenki oddziałują nie tylko słowem. – *Skuteczność pieśni jako narzędzia perswazji i propagandy jest związana z obecnością rytmu i kontekstem wspólnego śpiewania lub słuchania muzyki, magnetycznym, fizycznym poczuciem bycia częścią większej całości. Świadek niemieckiej „śpiewającej dyktatury" porównał pieśni nazistowskie do narkotyku silniejszego niż heroina, ponieważ pozostają w mózgu przez lata* – podkreśla prof. Katarzyna Naliwajek.

W napędzanych elektronicznym beatem współczesnych proputinowskich utworach propagandowych (ich powstanie i szeroką dystrybucję głównie w internecie sponsoruje państwo) roztaczana jest m.in. wizja spokojnego, pełnego dobrobytu, multietnicznego rosyjskiego świata organizowanego przez tzw. tradycyjne wartości, ukazuje się bohaterstwo rosyjskich żołnierzy i głosi dumę z powodu rosyjskiego pochodzenia. Jest to przy tym czytelne nawiązanie do „wzorców" stalinowskich, także poprzez odwoływanie się do tej symboliki w warstwie wizualnej. Jak podaje prof. Katarzyna Naliwajek, piosenki te wykorzystywane są również w więzieniach. Jeden z takich propagandowych utworów, puszczany na cały regulator, miał budzić uwięzionego, a potem zamordowanego przez władze Rosji lidera rosyjskiej opozycji, Aleksieia Navalnego, codziennie o piątej rano.

Sztuczna inteligencja i outsourcing propagandy

Jak zaznacza prof. Katarzyna Naliwajek, działania Federacji Rosyjskiej w opisywanym zakresie, zwłaszcza w kontekście wykorzystywania technik i mediów audiowizualnych oraz komunikacji crossmedialnej i „outsourcingu propagandy", przypominają działania organizacji islamskich, takich jak ISIS/Daesh. Wykorzystują one starożytny gatunek *nasheed*, dokonując jego apropriacji. Takie przejęcie tradycji oraz jej warstwy symbolicznej dla własnych celów propagandowych jest typowe dla reżimów totalitarnych i propagandy jako takiej.

Skuteczność tych działań sprawia, że obecnie gatunek ten kojarzony jest raczej z owymi propagandowymi, często generowanymi przy użyciu AI „utworami", które krążą w sieci, w warstwie słownej głosząc islamistyczny, antyzachodni przekaz… we wszystkich niemal językach świata. Co ciekawe, nie brak również nasheedów traktujących o wojnie toczonej za naszą wschodnią granicą. – *Dlaczego pieśni proputinowskie są tak powszechnie wykorzystywane przez niektóre kraje oraz organizacje islamskie, aby zniszczyć jakąkolwiek empatię wobec Ukraińców u swoich odbiorców? Outsourcing propagandy wojennej stanowi jedno z możliwych wyjaśnień. Kwestie te są otwarte i powinny stać się przedmiotem dalszych badań* – komentuje badaczka.

UNIWERSYTET WARSZAWSKI | SERWIS NAUKOWY

Artykuł jest częścią cyklu poświęconego badaniom realizowanym na Uniwersytecie Warszawskim.

eprasa.pl 75141bef1a

SKANER

ARCHEOLOGIA

Krzesanie iskier

Hominini prawdopodobnie korzystali z ognia wcześniej, niż sądzono

ODŁÓŻ ZAPAŁKI albo zapalniczkę i spróbuj rozniecić ogień – najpewniej ci się nie uda. A jednak 400 tys. lat temu hominini najprawdopodobniej już opanowali tę umiejętność – tak wynika z przełomowych dowodów, starszych o 350 tys. lat od dotychczas znalezionych.

Badacze próbujący zrozumieć naszych przodków od dawna interesują się technikami związanymi z ogniem. Argumentowano, że gdy pradawni hominini nauczyli się kontrolować ogień, zmienili się także fizycznie – wykształcili mniejszy żołądek i bardziej rozwinięty mózg dzięki gotowanemu pożywieniu, które jest łatwiejsze do strawienia niż surowe – a także społecznie, bo ognisko sprzyjało budowaniu złożonych relacji.

Ślady korzystania z ognia są jednak trudne do uchwycenia, co frustruje archeologów próbujących datować te przemiany. „Popiół czy węgiel drzewny są bardzo lekkie, więc łatwo się przemieszczają – mówi Sarah Hlubik, paleoarcheolożka z St. Mary's College of Maryland. – Wiele śladów po prostu znika". Hlubik nie brała udziału w nowych badaniach opublikowanych w „Nature."

Dodatkowym problemem jest rozróżnienie, czy hominini sami wytwarzali ogień, czy też przechwytywali płomienie z naturalnych pożarów wywołanych piorunami i je podtrzymywali. Ogólnie naukowcy sądzą, że niektórzy przodkowie człowieka w Afryce mogli wykorzystywać ogień już 1,5 mln lat temu, ale toczy się ostry spór, czy potrafili go wtedy samodzielnie rozpalać.

Na zdjęciu przedstawiono jedną z dwóch konkrecji pirytu znalezionych w Barnham – stanowisku archeologicznym w Anglii liczącym około 400 tys. lat. Konkrecje te stanowią część nowych dowodów wskazujących, że hominini rozniecali ogień wcześniej, niż dotąd przypuszczano.

Przed nowym odkryciem najstarsze dowody na rozniecanie ognia przez homininów pochodziły sprzed zaledwie 50 tys. lat.

„Zanim to zobaczyłam, byłam przekonana, że ludzie w tym okresie nie rozpalali ognia" – mówi Amy Clark, archeolożka z Harvard University, również niezwiązana z nową publikacją.

Nowe dowody pochodzą z angielskiego stanowiska Barnham, badanego od dziesięcioleci. Naukowcy zauważyli fragment gleby o nietypowo czerwonym zabarwieniu – cechę charakterystyczną dla ziemi wielokrotnie podgrzewanej. Testy potwierdziły, że materiał ten uległ przebarwieniu na miejscu wskutek wielokrotnego ogrzewania do temperatur około 400–750°C, niezależnie od regionalnych pożarów.

Dalsze wykopaliska przyniosły cztery kamienne pięściaki, które popękały pod wpływem ognia. Najbardziej przekonującym znaleziskiem były jednak dwa maleńkie fragmenty pirytu (z gr. *pyrites lithos* – kamień, który wywołuje ogień). Ten minerał – niewystępujący naturalnie w promieniu niemal 16 km od Barnham – przy uderzeniu o krzemień wytwarza iskry.

Dowód ten nie jest doskonały: w idealnej sytuacji badacze znaleźliby także ślady uderzeń pozostawione na krzemieniu i pirycie podczas krzesania ognia. Mimo to jest to bezprecedensowy ślad wczesnego rozniecania ognia.

„Dla mnie współczesnym odpowiednikiem byłaby sytuacja, w której policja znajduje spalony samochód w odludnym fragmencie lasu z pustym kanistrem po benzynie i wnioskuje, że jedno ma związek z drugim" – mówi współautor badań Nick Ashton z British Museum.

Nawet badacze niezwiązani z projektem przyznają, że odkrycie jest przekonujące. „Dowody na obecność ognia są naprawdę solidne – mówi Gilliane Monnier z University of Minnesota. – To bardzo rzadkie znalezisko".

Na stanowisku nie znaleziono jednak szczątków homininów, co rodzi niepewność co do tego, kto dokładnie rozpalał ogień. Naukowcy spekulują, że mogli to być zarówno neandertalczycy, jak i *Homo heidelbergensis* – inny wczesny gatunek człowieka. Tak czy inaczej, twierdzą badacze, byli to sprawni zbieracze i łowcy żyjący w niewielkich, liczących może kilkanaście osób odosobnionych grupach.

Taki tryb życia utrudnia jednak uogólnianie wniosków z jednego stanowiska na całą populację, zauważa Dennis Sandgathe z Simon Fraser University, który również nie brał udziału w badaniach. Jest przekonany, że znaleziska z Barnham rzeczywiście świadczą o wczesnym wytwarzaniu ognia, ale uważa, że taka technika mogła być wielokrotnie odkrywana i zapominana – zapewne częściej zapominana – w wielu miejscach na przestrzeni setek tysięcy lat.

Archeolodzy przebadali przecież dziesiątki stanowisk z tego okresu paleolitu, reprezentujących setki dawnych grup ludzkich. Poza Barnham nigdzie nie znaleziono pirytu – niezbitego dowodu z nowych badań. Gdyby technika ta była powszechna, ktoś by się na niego wcześniej natknął.

„Wszyscy marzyliśmy o znalezieniu kawałku pirytu – mówi Sandgathe. – Na pewno takiego odkrycia nikt by nie zlekceważył."

Meghan Bartels

Jordan Mansfield/Pathways to Ancient Britain Project (*piryt*); Lijian Guo Photography/Getty Images (*ogień*)

eprasa.pl 75141bef1a

JAK ZASYPYWAĆ PODZIAŁY? s. 8

DAĆ Z SIEBIE WSZYSTKO s. 9

PSIA MĄDROŚĆ s. 10

DONIESIENIA Z LABORATORIÓW

TECHNIKA

Depolaryzacja

Niewielka poprawka działania mediów społecznościowych może zmniejszyć podziały w społeczeństwie

LUDZIE CZĘSTO OBWINIAJĄ algorytmy mediów społecznościowych, że promują skrajne poglądy, sprzyjając narastaniu politycznej polaryzacji, ale dotąd trudno było to jednoznacznie udowodnić. Tylko właściciele platform mają dostęp do swoich algorytmów, więc badacze nie mogą testować zmian w ich działaniu bez współpracy serwisów – a ta zdarza się coraz rzadziej.

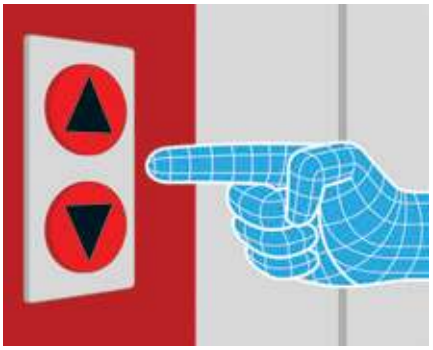
Badanie opublikowane w czasopiśmie „Science" nie tylko dostarcza przekonujących dowodów, że algorytmy rzeczywiście napędzają polaryzację, lecz także pokazuje, że trend ten można osłabić bez zgody platformy i bez usuwania postów.

Naukowcy stworzyli rozszerzenie przeglądarki, które może obniżać lub podnosić pozycję wpisów w kanałach użytkowników serwisu X, jeśli zawierają one postawy powiązane z polaryzacją – takie jak wrogość partyjna czy poparcie dla praktyk niedemokratycznych. Narzędzie wykorzystuje duży model językowy (LLM) do analizowania i przestawiania kolejności postów w czasie rzeczywistym.

„Tylko platformy miały dotąd władzę kształtowania i rozumienia tych algorytmów – mówi współautor badania, specjalista od informacji z University of Washington, Martin Saveski. – To narzędzie oddaje tę władzę niezależnym badaczom".

Zespół przeprowadził dziesięciodniowy eksperyment tuż przed wyborami prezydenckimi w USA w 2024 roku. Ponad 1200 ochotników oglądało kanały, w których treści polaryzujące były albo wyraźnie obniżane w rankingu (co zmniejszało szansę, że użytkownik zobaczy je przed zakończeniem przeglądania), albo nieznacznie podwyższane.

Niezależnie od orientacji politycznej osoby, którym ograniczono widoczność polaryzujących wpisów, deklarowały



cieplejszy stosunek do grupy reprezentującej przeciwne poglądy (na podstawie krótkich ankiet) niż uczestnicy z niezmienionym kanałem. Z kolei ci, którym wyeksponowano treści polaryzujące, odczuwali większy chłód wobec oponentów. Różnica wynosiła od dwóch do trzech stopni na stustopniowym „termometrze uczuć".

Może się to wydawać niewielką różnicą, ale – jak podkreśla współautorka badania Chenyan Jia z Northeastern University – „to porównywalne ze średnią zmianą w USA na przestrzeni trzech lat".

Manipulacje wpływały również na to, ile smutku i złości uczestnicy deklarowali podczas przeglądania treści. Zdaniem psycholożki z University of Toronto, Victorii Oldemburgo de Mello, badającej wpływ techniki na zachowanie i społeczeństwo, autorzy badania doskonale połączyli ścisłą kontrolę eksperymentalną z warunkami realnego świata. „I zrobili to w sprytny sposób, omijając konieczność uzyskania zgody platformy. Nikt wcześniej na to nie wpadł."

Nie jest jednak jasne, jak trwałe są te efekty – mogą z czasem zanikać albo się kumulować, dodaje badaczka. Autorzy podkreślają, że to ważny kierunek dalszych prac, i udostępnili swój kod publicznie, aby inni naukowcy mogli kontynuować badania.

Obecna wersja narzędzia działa jedynie w przeglądarkowych wersjach mediów społecznościowych. Stworzenie rozwiązania dla aplikacji mobilnych jest „technicznie trudniejsze ze względu na sposób ich działania, ale to coś, co analizujemy" – mówi Saveski.

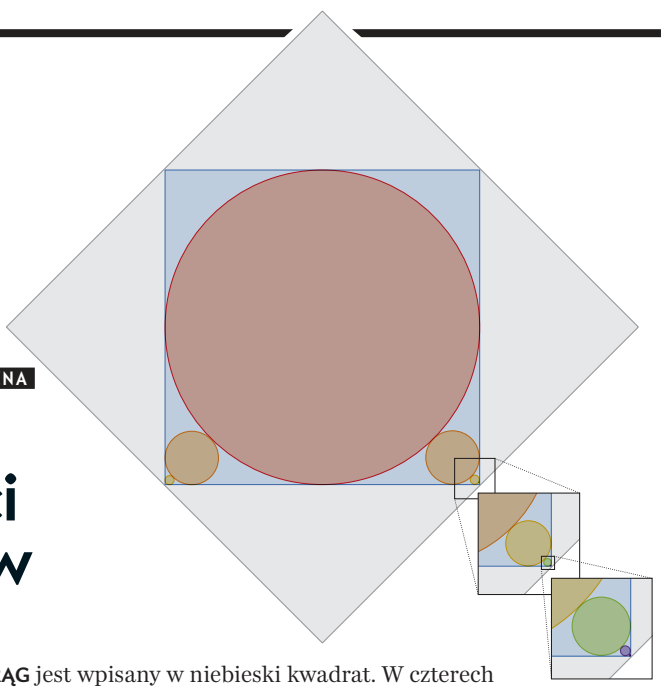
Zespół planuje również badać inne interwencje w kanałach społecznościowych, korzystając z elastyczności, na jaką pozwala analiza LLM. „Nasze rozwiązanie jest bardzo ogólne – można je zastosować m.in. do kwestii dobrostanu czy zdrowia psychicznego" – dodaje Saveski.

Simon Makin

ZAGADKA MATEMATYCZNA

Suma długości okręgów

Jack Murtagh



DUŻY CZERWONY OKRĄG jest wpisany w niebieski kwadrat. W czterech rogach tego kwadratu powstały luki. W dwie z tych luk wpisano mniejsze okręgi styczne do dużego okręgu i boków niebieskiego kwadratu. Po tym w dwóch rogach obok mniejszych okręgów pojawiły się dwie mniejsze luki, w które wpisano jeszcze mniejsze okręgi. Taka procedura wpisywania coraz mniejszych okręgów w coraz mniejsze luki była kontynuowana w nieskończoność. Niebieski kwadrat jest wpisany w szary kwadrat o wymiarach 1 × 1 (jak na rysunku). Jaka jest suma długości wszystkich okręgów – dużego i wszystkich mniejszych?

Rozwiązanie na stronie 75

Ilustracje Thomas Fuchs

eprasa.pl 75141bef1a

ETOLOGIA

Kupą, mości panowie!

Mrówki prządki potrafią tworzyć złożone łańcuchy, aby wywierać siłę dalece przekraczającą ich ciężar

imageBROKER.com/Alamy Stock Photo

ODNÓŻA MRÓWEK PRZĄDEK (tkaczy) mają niewiarygodnie silny chwyt – pojedynczy osobnik jednego z gatunków potrafi, nie ześlizgując się, utrzymać całego martwego ptaka zwisającego z krawędzi stołu. Te potężne owady rzadko pracują samotnie; często, budując swoje wypełnione roślinnością gniazda, łączą siły, by przeciągać i wyginać duże liście. Naukowcy odkryli niedawno, że gdy zespoły azjatyckich mrówek tkaczy się powiększają, owady strategicznie wykorzystują swoje chwytne stopy, stając się coraz skuteczniejsze w zaginaniu liści. W odróżnieniu od ludzi mrówki w większych grupach pracują ciężej niż w pojedynkę, wtedy gdy muszą sobie poradzić z masywnymi dla nich obiektami.

U ludzi natomiast obserwuje się tzw. efekt Ringelmanna – im więcej osób dołącza do zespołu, tym każda się mniej wysila – badacze zwykle tłumaczą to spadkiem motywacji i trudnością koordynacji większej liczby ludzi. „W przeciąganiu liny ustawienie większej liczby osób w szeregu nie jest szczególnie efektywne" – mówi biolog Chris Reid z Macquarie University, współautor nowego badania opublikowanego w „Current Biology".

Reid i jego współpracownicy przymocowali czubek papierowego liścia do dynamometru i filmowali mrówki prządki, które ciągnęły jego koniec w poprzek blaszki liściowej, aby ją złożyć. Okazało się, że pojedyncze mrówki ciągnęły średnio z siłą równą 59-krotności ciężaru swojego ciała, natomiast osobniki w grupach 15-osobowych – z siłą równą 103-krotności. Im więcej mrówek brało udział w wykonywaniu zadania, tym wyraźniejszy był wzrost wydajności.

Aby ją osiągnąć, mrówki ustawiały się w łańcuchy po dwie do czterech, jedna za drugą. Te z przodu zginały odnóża i mocno ciągnęły czubek liścia żuwaczkami, podczas gdy te z tyłu stabilizowały blaszkę.

Badacze wskazują, że takie łańcuchy ciągnące mogą działać jak zapadki. Mrówki z przodu są „aktywnymi ciągnącymi", a te z tyłu „biernymi oporowymi" – chwytają ciała mrówek z przodu, mocno przywierają stopami do liścia, dzięki czemu liść nie odskakuje.

„Przykłady takiej nadzwyczajnej skuteczności są bardzo rzadkie" – mówi ekolog Scott Powell z George Washington University, który nie brał udziału w badaniu. Innym znanym przykładem są maszerujące mrówki wojownicze, które ściśle podążając szlakiem feromonowym, wspólnie przenoszą cięższe ładunki. Jednak oprócz sprawnej koordynacji przewagę mrówkom prządkom dają także cechy fizyczne. Ich wyjątkowo chwytne stopy sprawiają, że są one „doskonale przystosowane do przeciwstawienia się dużej sile o przeciwnym zwrocie" – mówi biolog Helen McCreery z Tufts University, również niezaangażowana w badanie. „Świat jest pełen organizmów rozwiązujących problemy w sposób całkowicie odmienny od tego, jaki podpowiadałby ludzki mózg".

Rohini Subrahmanyam

REKLAMA

WSPIERAJ Z NAMI KULTURĘ, NAUKĘ I RZETELNĄ INFORMACJĘ

PRZEKAŻ 1,5% PODATKU

FUNDACJI TYGODNIKA POLITYKA

KRS 0000104137

Fundacja Tygodnika POLITYKA wspiera następujące przedsięwzięcia:

PASZPORTY POLITYKI

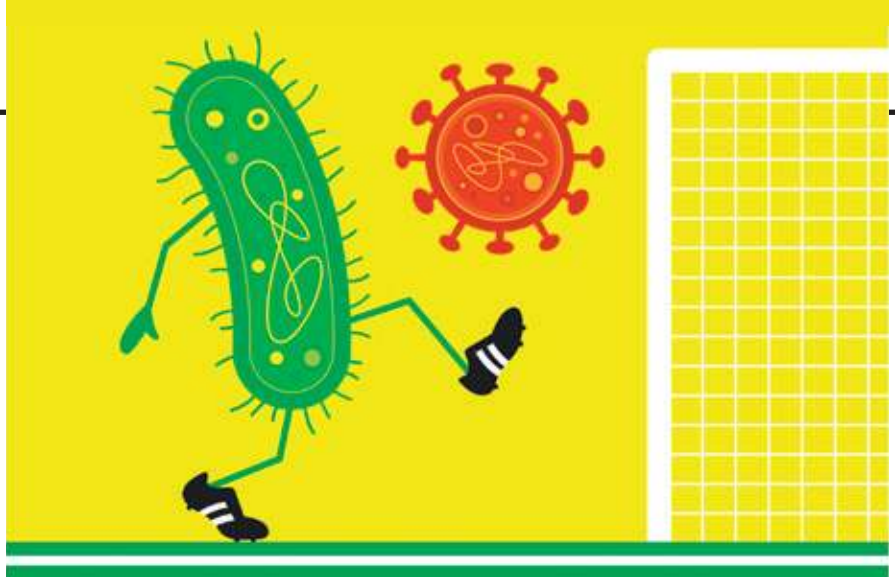
NAGRODY NAUKOWE POLITYKI

NAGRODY HISTORYCZNE POLITYKI im. MARIANA TURSKIEGO

NAGRODA ARCHITEKTONICZNA POLITYKI

pulsar

eprasa.pl 75141bef1a



MIKROBIOLOGIA

Kiedy fagi śpią

Bakterie wykorzystują zahibernowane wirusy, aby się uodpornić

POMYSŁ, ŻE JEDNOKOMÓRKOWE bakterie mogłyby się chronić przed wirusami w sposób zbliżony do działania układu odpornościowego człowieka, liczącego 1,8 bln komórek, biolog molekularny z Johns Hopkins University, Joshua W. Modell, nadal uważa za „kosmiczny".

Naukowcy odkryli około 20 lat temu, że bakterie wykorzystują adaptacyjny układ obrony o nazwie CRISPR, dzięki któremu mogą rozpoznawać i niszczyć atakujące je wirusy przy ponownym z nimi kontakcie. W przeprowadzonym niedawno badaniu, którego wyniki zostały opublikowane w czasopiśmie „Cell Host & Microbe", Modell wraz ze swoim zespołem pogłębiał wiedzę naukową na temat tego, jak bakterie wykorzystują ten system, aby „uodparniać" się na fagi – wirusy, które próbują je zabić. Wyniki te mogą pomóc w tworzeniu terapii ukierunkowanych na zwalczanie oporności drobnoustrojów, która przyczynia się rocznie do śmierci milionów osób.

System CRISPR pozwala bakteriom na edytowanie własnego kodu genetycznego. Po ekspozycji na wirusa bakteria może wykorzystać specjalny enzym do wytworzenia we własnym genomie nacięć, w które wprowadza małe fragmenty DNA wirusa, tzw. przerywniki (spacery), co ułatwia jej za następnym razem rozpoznanie i zwalczenie tego wirusa. Naukowcy mogą wykorzystywać ten enzym niczym „genetyczne nożyczki", podrasowując DNA w przeróżnych sytuacjach – od eksperymentów laboratoryjnych po terapie genowe. Wciąż jednak niewiele wiadomo na temat tego, jak ten proces działa u bakterii. „Nazywaliśmy to zjawisko tajemnicą CRISPR, ponieważ nie wiemy, co tak naprawdę dzieje się w środku" – mówi Modell.

Chcąc zrozumieć, w jaki sposób bakterie są w stanie wychwytywać DNA zakażających je wirusów, naukowcy przeprowadzili kontrolowane eksperymenty laboratoryjne z wykorzystaniem bakterii *Streptococcus pyogenes* i infekujących je fagów. W fazie infekcyjnej większość fagów powoduje natychmiastowe rozerwanie komórki. Proces ten jest nazywany lizą. Jednak w innych okolicznościach wirusy ukrywają się w DNA bakteryjnym i pozostają w trybie uśpienia. Stan ten, nazywany lizogenią, jest bardzo trudny do zbadania.

W warunkach laboratoryjnych Modell i jego zespół zakażali część bakterii fagami, które mogły przejść w stan uśpienia, zaś inne bakterie były zakażane fagami poddanymi inżynierii genetycznej, które zostały zablokowane w stanie aktywnym. Następnie badacze gromadzili komórki, które przeżyły infekcję, i sprawdzali ich kod genetyczny w celu oceny, czy pojawiły się w nim nowe przerywniki, pobrane z DNA wirusów.

Okazało się, że bakterie wbudowywały więcej spacerów od tych patogenów, które mogły przejść w fazę uśpienia. Modell tłumaczy, że w tej fazie ciszy bakterie mają czas na wychwytywanie małych fragmentów DNA wirusa i zachowywanie ich we własnym genomie: „System CRISPR tworzy wspomnienia na podstawie nieaktywnej postaci wirusa, tak samo jak szczepionki".

W celu potwierdzenia uzyskanych wyników Modell i jego zespół poddawali bakterie mającej przerywniki ponownej ekspozycji na te same fagi i obserwowali, czy nowe genetyczne wspomnienia chroniły bakterie przed zakażeniem. Badacze zaobserwowali, że bakterie *S. pyogenes* potrafią rozpoznać fagi, wykorzystując te zachowane fragmenty, i odeprzeć ich atak.

Te wyniki są „godne uwagi" – mówi Stan Brouns, mikrobiolog z Delft University of Technology w Holandii, który nie brał udziału w tym badaniu. Zrozumienie interakcji pomiędzy fagami a bakteriami jest kluczem do udoskonalania terapii fagowych, w których naukowcy wykorzystują wirusy do leczenia zakażeń spowodowanych przez bakterie, które rozwinęły oporność na antybiotyki. Ta nowa wiedza może także pomóc badaczom w tworzeniu fagów, na które będą wrażliwe różne typy bakterii wywołujących zakażenia – mówi Rodolphe Barrangou, biolog molekularny z North Carolina State University. Jest on współzałożycielem firmy Locus Biosciences zajmującej się terapią fagami i nie brał udziału w omawianym badaniu.

Różne bakterie mogą wykazywać dowolne z ponad 150 mechanizmów obrony przed fagami. Terapia musi te mechanizmy omijać. Według Barrangou zrozumienie, jak działa ten mechanizm, „zainspiruje ludzi, pracujących nad [bakteriami], do myślenia o terapiach fagowych w szerszym spektrum chorób zakaźnych".

Humberto Basilio

ETOLOGIA

Psi prymusi

Niektóre psy potrafią rozróżniać zabawki według ich funkcji – podobnie jak robią to małe dzieci

ARYA, sześcioletnia border collie z Włoch, potrafi nauczyć się nazwy nowej zabawki po zaledwie jednym lub dwóch powtórzeniach. Jej opiekunowie twierdzą, że zna nawet słowa oznaczające jej ulubione jedzenie. Gdy na obiad jest pizza, nie można głośno tego mówić, bo natychmiast zacznie się jej domagać. Ten niezwykły dar uczynił z niej naturalną kandydatkę do badań, które wykazały, że niektóre psy o wyjątkowo dużym zasobie słów potrafią nie tylko zapamiętywać słowa, ale także wyciągać wnioski z tego, czego się nauczyły, i generalizować.

W nowym badaniu, opublikowanym w czasopiśmie „Current Biology", opiekunowie 10 uzdolnionych psów – w więk-

eprasa.pl 75141bef1a

szości border collie – nauczyli je nazw zabawek należących do dwóch kategorii: przeznaczonych do przeciągania (pulls) oraz do aportowania (throws). Zabawki różniły się wielkością, kształtem i kolorem, by wygląd nie dawał psom podpowiedzi.

Po czterech tygodniach treningu wprowadzono nowe zabawki o różnych kształtach. Tym razem psy poznawały wyłącznie funkcję każdej zabawki – bawiły się nią w przeciąganie lub aportowanie – ale nie uczono ich żadnych nazw. Po tygodniu zabawy psy zostały poproszone, by „przyniosły „pull" lub „throw". Siedem psów, które ukończyły wszystkie etapy eksperymentu, wybierało właściwą zabawkę w około dwóch trzecich prób – to znacznie powyżej wyniku oczekiwanego przy losowym wyborze (12,5%). „Te uzdolnione językowo psy potrafią nie tylko zapamiętywać nazwy wielu różnych obiektów, ale też rozszerzać znaczenie znanych słów na nowe przedmioty o podobnej funkcji, nawet jeśli wyglądają one zupełnie inaczej" – mówi Claudia Fugazza, główna autorka badania i etolożka z węgierskiego Uniwersytetu Loránda Eötvösa.

Fugazza podkreśla, że te zwierzęta są wyjątkowe – większość domowych psów nigdy nie tworzy tak rozbudowanego słownika. Przyznaje też, że zaskoczyła ją łatwość i elastyczność, z jaką psy potrafiły używać słów według funkcji – podobnie jak dzieci, które zaczynają rozszerzać swoje słownictwo poprzez codzienne doświadczenia.

Elika Bergelson, badaczka języka z Harvard University, niezwiązana z tym eksperymentem, dodaje, że małe dzieci zwykle polegają na wyglądzie rzeczy, ale już około 14. miesiąca życia zaczynają zwracać uwagę na rolę lub funkcję – na przykład rozpoznając, kto kogo goni w danej scenie – by rozszerzać znaczenie słów na nowe obiekty. „Podobnie zachowały się psy w tym eksperymencie" – zauważa.

W codziennym życiu funkcja i wygląd zazwyczaj idą w parze: wszystkie kubki mają zbliżony kształt, bo dzięki temu dobrze nadają się do przechowywania płynów.

„W przeciwieństwie do świata rzeczywistego, gdzie liny z wyglądu nadają się do przeciągania, a piłki do rzucania, to badanie oddziela funkcję od wyglądu – mówi Bergelson. – Usunięcie wskazówek wizualnych to dobry sposób badania, jak mogą powstawać kategorie poznawcze u różnych gatunków."

W domu Arya nadal chętnie bawi się w poszukiwania i gry słowne, zupełnie nieświadoma swojej „supermocy". „Ponieważ te psy żyją w rodzinach i uczą się słów naturalnie – mówi Fugazza – podobieństwo ich uczenia się do wczesnego uczenia się języka przez dzieci może dać naukowcom niepowtarzalną szansę zrozumienia, jak mogły ewoluować zdolności związane z językiem – i jak mogą pojawiać się u gatunku nieposługującego się mową."

Anirban Mukhopadhyay

Border collie Arya

Simone Avezza

ETOLOGIA

Żywe detektory dymu

Wobec zagrożenia ogniem zwykle powolne jaszczurki zaczynają żwawo się ruszać

PRZYPALENIE OBIADU w zoo Audubon w Nowym Orleanie miało poważniejszy skutek niż tylko złość głodnego pracownika. Gdy tylko smuga dymu przedostała się do wybiegu australijskich lazurników krótkoogonowych (*Tiliqua rugosa*) – gatunku scynków – nagle przerwały one wszelką aktywność: zesztywniały, zaczęły intensywnie wysuwać języki, po czym ruszyły nerwowo na skraj wybiegu i zaczęły kopać w podłożu, desperacko próbując uciec. Inne gatunki gadów przebywające w tym samym pomieszczeniu nie zareagowały.

Zdarzenie to zainspirowało badaczy do wysunięcia hipotezy, że być może u tych jaszczurek – pochodzących z regionów szczególnie narażonych na pożary – wyewoluowała zdolność rozpoznawania chemicznych sygnałów ognia.

Aby przetestować tę koncepcję, Chris Jolly, biolog zajmujący się ochroną przyrody z Macquarie University and Charles Darwin University w Australii, wraz ze współpracownikami poddał 10 dorosłych samic lazurników ekspozycji na pojedyncze porcje dymu i pary wodnej, a także – w oddzielnych próbach - na nagrania trzaskających pożarów buszu oraz biały szum. Jaszczurki uciekały w odpowiedzi na dym, lecz nie reagowały ani na parę wodną, ani na żadne z nagrań dźwiękowych. Wyniki, opublikowane w czasopiśmie „Biology Letters", wskazują, że gatunek ten wykrywa pożary na dużą odległość dzięki węchowi, a nie słuchowi – w przeciwieństwie do niektórych innych jaszczurek, żab czy nietoperzy.

Wniosek ten jest zgodny z wcześniejszą wiedzą o australijskich lazurnikach, które wykorzystują węch do rozpoznawania partnerów – z którymi dożywotnio tworzą pary – a także do znajdowania pokarmu i wykrywania drapieżników. „Dym zwykle wyprzedza płomienie i łatwiej przebija się przez tło – mówi Jolly – co sprawia, że w otwartych, wietrznych i głośnych

eprasa.pl 75141bef1a

środowiskach węch jest bardziej niezawodnym systemem wczesnego ostrzegania niż słuch".

Wiele z badanych jaszczurek prawdopodobnie nigdy wcześniej nie zetknęło się z ogniem – w miejscu ich odłowu nie było pożaru od ponad 50 lat. Mimo to reagowały gwałtowną ucieczką po wykryciu dymu, co wskazuje na wrodzoną adaptację. Tak silna reakcja jest tym bardziej godna uwagi, że zwierzęta te zwykle poruszają się wolno i z namysłem – to cecha, którą Jolly uważa za źródło ich angielskiej nazwy „sleepy lizards" (senne jaszczurki). „Rzadko się gdziekolwiek spieszą, chyba że – jak się okazuje – uciekają przed ogniem!" – mówi Jolly.

Juli Pausas, pracownik naukowy Hiszpańskiej Rady ds. Badań Naukowych, który nie brał udziału w badaniu, zauważa, że choć reakcja sleepy lizards na dym może rzeczywiście stanowić reakcję na ogień – podobnie jak obserwowano to u niektórych nietoperzy, pałanek i jaszczurek – przyszłe badania muszą wykluczyć inne wyjaśnienia, takie jak ogólna awersja do toksycznych substancji zawartych w dymie.

„Niemniej jednak wyniki te są kolejnym przyczynkiem do zyskującej coraz większe uznanie koncepcji, że niektóre zachowania zwierząt mogą stanowić adaptacje do pożarów, co do niedawna było słabo zbadane" – podkreśla Pausas. Autorzy pracy dodają, że w obliczu nasilania się pożarów w wyniku zmian klimatu tego rodzaju zdolności sensoryczne mogą decydować o życiu lub śmierci.

Clarissa Brincat

BIOLOGIA

Śpiewać jak R2-D2

Imitowanie dźwięków wydawane przez słynnego droida są testem ptasich wokalnych możliwości

DAWNO, DAWNO TEMU w odległej galaktyce R2-D2 pikał i bzyczał – a dziś ptaki naśladujące bohatera *Gwiezdnych wojen* dostarczają naukowcom nowych informacji o tym, jak różne gatunki imitują złożone dźwięki. Niedawno w badaniu opublikowanym w „Scientific Reports" przeanalizowano wokalizacje szpaków europejskich oraz dziewięciu gatunków papug, w tym papużek falistych, aby sprawdzić, jak dokładnie każdy z tych ptaków potrafi naśladować mechaniczne odgłosy R2-D2.

Naukowcy zbadali znalezione w Internecie nagrania ptaków imitujących sympatycznego droida, by ustalić, jak bardzo te dźwięki są statystycznie podobne do „mowy" R2-D2. Szpaki – ptaki śpiewające – okazały się wokalnymi gwiazdami: ich zdolność do wytwarzania dźwięków polifonicznych pozwoliła im najwierniej odtworzyć złożone ćwierkania droida. Papużki faliste i inne papugi, które wydają wyłącznie dźwięki homofoniczne, naśladowały odgłosy robota z mniejszą precyzją i muzykalnością.

Różnice te wynikają z odmienności budowy syrinksu – narządu głosowego znajdującego się u podstawy ptasiej tchawicy. „Szpaki potrafią wytwarzać dwa dźwięki naraz, ponieważ niezależnie kontrolują obie strony syrinksu" – mówi współautor badania Nick Dam, biolog ewolucyjny z Universiteit Leiden w Holandii. „Papugi są fizycznie niezdolne do jednoczesnego wydawania dźwięku o różnych tonach".

Nie wiadomo dokładnie, dlaczego u poszczególnych gatunków wykształciła się różna kontrola nad syrinksem. „Najprawdopodobniej któryś z przodków ptaków śpiewających przypadkowo wyewoluował zdolność kontrolowania mięśni po obu stronach syrinksu, a to w jakiś sposób mu się opłaciło" – mówi Lauryn Benedict, biolog z University of Northern Colorado, która nie brała udziału w badaniu. Jedno z wiodących wyjaśnień dotyczy doboru płciowego: im lepiej samiec ptaka śpiewa, tym więcej samic przyciąga.

Choć badanie jest – jak podkreśla – „naprawdę eleganckim sposobem podejścia do pytania, czy szpaki i papugi są w stanie wytwarzać te same dźwięki z taką samą dokładnością", nie odpowiada w pełni na kwestię tego, jak dokładnie zwierzęta były trenowane, zauważa Nicole Creanza, biolog ewolucyjna z Vanderbilt University, również niezwiązana z tym projektem.

Benedict zgadza się, że badacze mogliby współpracować z właścicielami ptaków, aby przeprowadzić ściśle kontrolowane eksperymenty. (Ona sama oraz inni naukowcy – w tym część autorów badania – czekają na zgłoszenia kolejnych przykładów papug naśladujących dźwięki w ramach projektu Many Parrots Project). „Większa próba naprawdę by wiele dała – mówi. – Pozwoliłaby testować najróżniejsze dźwięki, nie tylko R2-D2!".

Kate Graham-Shaw

eprasa.pl 75141bef1a

BIOMECHANIKA

Ptasi atleta

Dzięcioły zmieniają całe swoje ciało w maszynę

Kujące w drewnie dzięcioły angażują swoje mięśnie bardziej jak tenisiści niż ciężarowcy.

JanosFlender/500px/Getty Images

DZIĘCIOŁY DZIAŁAJĄ skrajnie wydajnie, kując w litym drewnie z siłą przekraczającą ponad 30-krotnie ciężar ich ciała i uderzając nawet 13 razy na sekundę. Jak to możliwe, że nie tracą rytmu, tak gwałtownie uderzając głową? Okazuje się, że ptaki napinają całe ciało, by przebić się przez drewno, przy każdym uderzeniu gwałtownie chrząkając, informują biolog z Brown University Nicholas Antonson i jego współpracownicy na łamach „Journal of Experimental Biology". „W pewnym sensie dzięcioły naturalny młot" – mówi Antonson.

Aby zbadać, w jaki sposób ptaki stukają, naukowcy najpierw humanitarnie schwytali osiem dzięciołów kosmatych (*Dryobates pubescens*) i w warunkach laboratoryjnych ostrożnie umieścili elektrody w ich mięśniach. Elektrody były podłączone do niewielkiego, dopasowanego „plecaka", który rejestrował sygnały elektryczne z kurczących się mięśni podczas stukania. Badacze sprawdzili również, czy dzięcioły wstrzymują oddech podczas wysiłku (jak często robią ciężarowcy), czy też wydychają powietrze (jak tenisiści) w chwili uderzenia, analizując przepływ powietrza przez worki powietrzne – małe, balonowate struktury pomagające im oddychać.

Łącząc te pomiary z nagraniami wideo w wysokiej rozdzielczości czasowej, naukowcy śledzili uderzenia dzięciołów z dokładnością do czterech milisekund. Zamiast wykorzystywać pojedynczy mięsień do kontrolowania ruchu, dzięcioły aktywowały „każdy mięsień od głowy po ogon" – mówi Antonson. Ptaki używały silnych mięśni bioder, by wypchnąć ciało do przodu, napinały mięśnie ogona i brzucha, przygotowując się do uderzenia, a w chwili kontaktu usztywniały tył głowy i szyję – podobnie jak człowiek usztywnia nadgarstek przy wbijaniu gwoździa. Następnie angażowały inny zestaw mięśni bioder i szyi, by cofnąć głowę.

Dzięcioły idealnie synchronizowały też uderzenia z gwałtownymi wydechami – „jako dodatkowy sposób stabilizacji mięśni tułowia i nadania siły tym uderzeniom – wyjaśnia Antonson. – Zdolność wydychania powietrza 13 razy na sekundę i nabierania go w ciągu około 40 ms jest naprawdę imponująca".

Jedynymi innymi ptakami, o których wiadomo, że tak precyzyjnie synchronizują oddech, są ptaki śpiewające – choć nie są blisko spokrewnione z dzięciołami – które robią to podczas śpiewu. „Stukanie to ćwiczenie całego ciała" – mówi biolożka Nicole Ackermans z University of Alabama, badająca uszkodzenia mózgu u dzięciołów i zderzających się głowami owiec. Koordynacja „mikrooddechów" z napinaniem mięśni i tworzenie „tej młotopodobnej struktury w całym ciele to wyjątkowe rozwiązanie", dodaje. *Rohini Subrahmanyam*

REKLAMA

eprasa.pl 75141bef1a

Paul Starosta/Getty Images

BIOLOGIA

Rekord regeneracji

Aksolotle potrafią całkowicie odtworzyć kluczowy narząd układu odpornościowego

AMBYSTOMA MEKSYKAŃSKA (*Ambystoma mexicanum,* aksolotl meksykański) słynie ze swojej niezwykłej zdolności regeneracji znacznych części ciała. Jednak najnowsze badania pokazują, że te salamandry o pierzastych skrzelach, pochodzące z jezior i terenów podmokłych w okolicach miasta Meksyk, potrafią dokonać jeszcze bardziej zdumiewającego biologicznego wyczynu: całkowicie odbudować grasicę – złożony narząd odgrywający kluczową rolę w układzie odpornościowym większości kręgowców.

Wcześniejsze prace wskazywały, że niektóre zwierzęta mogą częściowo regenerować grasicę, jednak współautorzy nowego artykułu, opublikowanego w „Science Immunology", byli zaskoczeni, widząc, że aksolotle potrafią odtworzyć ten skomplikowany strukturalnie narząd całkowicie od podstaw.

„Aksolotle są legendarne, jeśli chodzi o regenerację kończyn i fragmentów ośrodkowego układu nerwowego – mówi współautorka badania Maximina H. Yun z Chinese Institutes for Medical Research w Pekinie. Odkrycie, że te zwierzęta mogą odtworzyć pełną grasicę od zera, to moment przełomowy".

Grasica odpowiada za produkcję limfocytów T, które pomagają organizmowi rozpoznawać i niszczyć patogeny. „U ludzi i większości innych kręgowców grasica jest jednym z pierwszych narządów ulegających degeneracji – mówi Turan Demircan z Muğla Sıtkı Koçman University w Turcji, który nie brał udziału w badaniu. – Do tej pory uważano, że gdy ta tkanka zaniknie lub zostanie usunięta, nie da się jej w pełni odbudować".

W nowym eksperymencie Yun i jej współpracownicy usunęli grasicę kilku młodocianym aksolotlom. Już po siedmiu dniach u wielu zwierząt zaczęły pojawiać się zawiązki nowego narządu. Po 35 dniach ponad 60% osobników w pełni zregenerowało grasicę. „Byłem szczerze zaskoczony – mówi współautor badania René Maehr z University of Massachusetts Chan Medical School. – Pełna, funkcjonalna regeneracja złożonego narządu odpornościowego to nie było coś, czego się spodziewałem".

Zespół sprawdził następnie funkcjonalność zregenerowanych grasic, przeszczepiając je innym aksolotlom. „Co niezwykłe, przeszczepione narządy idealnie się zintegrowały" – mówi Demircan.

Dalsze analizy wskazały dwa kluczowe elementy procesu regeneracji: gen *Foxn1*, o którym wcześniej wiedziano, że uczestniczy w rozwoju grasicy, oraz cząsteczkę sygnałową zwaną midkiną. Jak wyjaśnia Demircan, midkina występuje w ludzkich embrionach, ale u dorosłych jest w dużej mierze nieaktywna.

Wyniki sugerują istnienie szlaku biologicznego obejmującego te komponenty, który mógłby znaleźć zastosowanie w leczeniu schorzeń związanych z grasicą u ludzi. „Aksolotle są w istocie głównym kluczem natury w badaniach nad regeneracją – mówi Demircan. – Gdyby udało się ponownie aktywować ten konkretny szlak u ludzi, moglibyśmy pobudzić grasicę do odrastania – potencjalnie odwracając starzenie się układu odpornościowego lub pomagając pacjentom po tymektomii".

Zdaniem Yun badacze mogliby kiedyś zmodyfikować ludzkie komórki macierzyste tak, by naśladowały mechanizmy regeneracyjne aksolotla i przywracały funkcję grasicy. „Kładziemy podwaliny pod przełomowe terapie, które mogą na nowo zdefiniować nasze podejście do odbudowy odporności." *Taylor Mitchell Brown*

eprasa.pl 75141bef1a

Flavio Coelho/Getty Images

Najdziwniejsze złudzenia optyczne Wszechświata

Bywa i tak, że im dalej znajduje się jakiś obiekt, tym wydaje się większy PHIL PLAIT

TO NIEODMIENNIE ZDUMIEWAJĄCE i uczące pokory uczucie, gdy Wszechświat uświadamia nam, że nasz „zdrowy rozsądek" ma sens lokalnie, a w skalach kosmicznych niekoniecznie.

Jeśli znajdujecie się na powierzchni Ziemi – a założę się, że tak właśnie jest – macie wiele sposobów, aby w miarę pewnie oszacować odległość do danego obiektu. Jednym z nich, wykorzystywanym niemal podświadomie, jest porównanie postrzeganej wielkości obiektu z tym, jak duży jest on według naszej wiedzy. Na przykład mamy dobre wyczucie wzrostu typowego człowieka. Jeśli zatem w naszym polu widzenia jest ktoś, kto wygląda na dużego, zakładamy, że znajduje się on blisko, a jeśli wydaje nam się malutki, musi być znacznie dalej.

Oczywiście niektórzy ludzie odbiegają wzrostem od przeciętnej, lecz nadal da się to uwzględnić, aby uzyskać rzetelne oszacowanie odległości. Generalna zasada jest jasna jak słońce – im dalej znajduje się obiekt, tym wydaje się mniejszy. Jest to tak oczywiste, że postrzegamy tempo zmian jako liniowe – po podwojeniu odległości obiekt wydaje się o połowę mniejszy niż poprzednio. Jeśli spojrzymy na niego z odległości dziesięciokrotnie większej, będzie wyglądał na mniejszy dziesięciokrotnie.

Prawidłowość ta potwierdza się doskonale w przypadku znanych obiektów na odległościach do kilku kilometrów, jednak dobrze wiadomo, że astronomom nie wystarczają te stosunkowo niewielkie skale. Chcemy poznać odległości do obiektów oddalonych o biliony kilometrów – a nawet miliardy razy więcej!

Na zdjęciach głębokiego nieba wykonanych przez potężne teleskopy widać całe mrowie galaktyk. Niektóre z nich znajdują się stosunkowo blisko nas – zaledwie kilkadziesiąt milionów lat świetlnych – podczas gdy inne mogą być miliardy lat świetlnych dalej. Czy da się to stwierdzić wyłącznie na podstawie zdjęcia?

Można by przyjąć, zgodnie z naszą ziemską intuicją, że galaktyki, które wydają się mniejsze, znajdują się dalej, lecz to podejście się nie sprawdza; podobnie jak ludzie, galaktyki są różnej wielkości. Na fotografii możemy patrzeć na ogromną galaktykę znajdującą się niemal na skraju

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

eprasa.pl 75141bef1a

Astronomowie podejmują herkulesowe wysiłki, aby wyznaczyć odległości do najbardziej odległych obiektów.

obserwowalnego Wszechświata lub na małą galaktykę karłowatą tuż za obrębem naszego kosmicznego podwórka. Nie da się rozróżnić tych przypadków wyłącznie na podstawie obrazu.

Owszem, byłoby to możliwe, gdyby istniała jakaś standardowa skala fizycznych wielkości galaktyk, jakiś sposób mierzenia odległości do nich poprzez powiązanie szczegółów struktury z ogólnymi rozmiarami, lecz to ewidentnie byłoby zbyt proste wobec rzeczywistej złożoności Wszechświata.

Okazuje się, że standardowe skalowanie liniowe, którego używamy na Ziemi, miałoby zastosowanie w warunkach kosmicznych tylko wtedy, gdyby Wszechświat był statyczny – niezmienny pod względem wielkości w czasie – ale tak nie jest, albowiem ekspanduje on, z każdym dniem się powiększając. Zjawisko to niesie mnóstwo osobliwych konsekwencji, przy czym jedną z najbardziej zaskakujących jest to, że powyżej pewnego progu oddalenia położone dalej galaktyki wydają się powiększać wraz z odległością! Jak to często bywa, kosmos jest naprawdę o wiele dziwniejszy, niż zwykliśmy sądzić.

Ten pozornie paradoksalny efekt jest konsekwencją ekspansji kosmosu w połączeniu z niezmienną wartością prędkości światła w próżni.

Gdy mówimy, że galaktyka znajduje się na przykład 12 mld lat świetlnych od nas, zazwyczaj mamy na myśli to, że wyemitowane przez nią światło dotarło do nas po 12 mld lat. Jednak kiedy światło było w drodze, Wszechświat jako całość nieustannie powiększał swoje rozmiary. Oznacza to, że w przeszłości był mniejszy, a zawarte w nim obiekty znajdowały się znacznie bliżej siebie. Gdy światło opuszczało tę galaktykę 12 mld lat temu, była ona bliżej nas, a zatem teraz wydaje się większa niż można by szacować na podstawie odległości.

Jest to niewątpliwie coś sprzecznego z intuicją i, szczerze mówiąc, osobliwego. Jednak potwierdzają to równania opisujące ekspansję Wszechświata. Efekt ten dotyczy wszystkich galaktyk, lecz jest pomijalny w przypadku tych stosunkowo bliskich; czas podróży ich światła jest znikomy w porównaniu z wiekiem Wszechświata, stąd Wszechświat nie był aż tak mały, kiedy zostało wyemitowane światło, które teraz widzimy. Ich widoma wielkość nie ulega zmianie wystarczająco, abyśmy mogli to dostrzec.

Różnica ta wzrasta jednak wraz z odległością i zaczyna dominować w przypadku obiektów, od których światło podróżowało około 9,5 mld lat. Wówczas zaglądamy tak głęboko w przeszłość – aż do początkowych stadiów ewolucji Wszechświata – że galaktyki są efektywnie powiększane i wyglądają na większe niż w rzeczywistości. Dokładna odległość, w której staje się to zauważalne, zależy od wielu skomplikowanych czynników, w tym od tempa ekspansji Wszechświata i ilości zawartej w nim materii. W rzeczy samej, gdybyśmy byli w stanie precyzyjnie zmierzyć ten pozorny przyrost wielkości, moglibyśmy wykorzystać go do lepszego wyznaczenia istotnych parametrów kosmologicznych.

Niestety, w sytuacji, gdy galaktyki nie mają standardowych rozmiarów, zadanie to jest niezwykle trudne. Co gorsza, ten kosmiczny efekt powiększenia sprawia, że niektóre galaktyki mylnie wydają się świecić słabiej – skoro widzimy je jako większe, ich światło jest bardziej rozproszone, stąd stają się słabsze i jeszcze trudniejsze do obserwacji.

Jakkolwiek efekt ten może zaskakiwać, jeszcze bardziej zdumiewające jest to, że udało nam się go dostrzec z naszego planetarnego zakątka na peryferiach Drogi Mlecznej. Jego samo istnienie jest jednym z wielu powodów, dla których astronomowie podejmują herkulesowe wysiłki, aby wyznaczyć odległości do najbardziej odległych obiektów. Dzięki temu możemy nie tylko uzyskać informacje o tych obiektach, ale i dowiedzieć się czegoś więcej o tym, jak otaczający je Wszechświat zachowywał się wtedy, gdy był bardzo młody. Oczywiście pod warunkiem, że weźmiemy sobie do serca tę brutalną prawdę – gdy zaczynamy mówić o odległościach mierzonych w miliardach lat świetlnych, nasze zaściankowe wyobrażenia o kosmicznej ewolucji okazują się z gruntu zawodne i musimy bardzo uważać, aby pochopnie nie ekstrapolować doświadczeń z Ziemi. ■

Nie należy się nadmiernie oszczędzać

Czas zerwać z poglądem, że podczas rekonwalescencji najlepszy jest odpoczynek

LYDIA DENWORTH

KIEDY POŚLIZGNIEMY SIĘ na lodzie, doznamy urazu przy uprawianiu sportu albo gdy przebyliśmy zabieg chirurgiczny, zwykle odruchowo oszczędzamy bolesne miejsce. „W przypadku ostrego urazu organizm przesyła za pośrednictwem obwodowego i ośrodkowego układu nerwowego oraz układu odpornościowego sygnały, aby zatrzymać się, zaprzestać wszelkich działań, tak aby tkanki mogły się wygoić” – mówi Ericka Merriwether, fizjoterapeutka i badaczka bólu z New York University. Odpoczynek jest przecież na pierwszym miejscu w popularnej metodzie RICE, której nazwa to akronim angielskich słów Rest (odpoczynek), Ice (lód), Compression (ucisk) i Elevation (uniesienie).

Jednak eksperci nie uważają już RICE za najlepszą strategię na czas rekonwalescencji. Ich zastrzeżenia wzbudza zwłaszcza pierwszy punkt: odpoczynek. Nawet Gabe Mirkin, lekarz medycyny sportowej, który w 1978 roku stworzył akronim RICE, przyznaje, że nowsze obserwacje wskazują na większą skuteczność innych metod.

Odpoczynek po urazie może łagodzić ból i być konieczny przez krótki czas, szczególnie w przypadku takich urazów, jak zerwanie ścięgna, które mogą być potęgowane przez ruch. Jednak w większości przypadków zaniechanie ruchu nie sprzyja gojeniu. Unieruchomienie powoduje wręcz osłabienie mięśni i pogorszenie stabilizacji. Część ciała, która uległa urazowi i jest unieruchomiona na zbyt długi czas, jest bardziej narażona na przejście bólu ostrego w przewlekły (utrzymujący się ponad trzy miesiące).

To nie odpoczynek, ale ruch jest lekiem, mówią eksperci. Ważne też, aby wdrożyć ruch dużo wcześniej, niż to się wielu osobom wydaje. Kiedy tylko lekarz zdecyduje, że ruch będzie bezpieczny i nie ma do niego biologicznych przeciwwskazań,

eprasa.pl 75141bef1a

obowiązuje zasada „używaj albo trać", mówi pielęgniarka Rianne van Boekel, profesor nadzwyczajny na Radboud University Medical Center w Holandii. Jej zainteresowania naukowe koncentrują się na ostrym i przejściowym bólu.

Badania potwierdzają słuszność koncepcji wczesnego umobilnienia. W badaniu z grupą kontrolną, obejmującym sportowców po poważnych urazach tkanek miękkich, naukowcy stwierdzili, że osoby, które rozpoczęły rehabilitację po dwóch dniach od urazu, wracały do uprawiania sportu o 20 dni wcześniej (po 63 dniach) w porównaniu do grupy, która podjęła rehabilitację po dziewięciu dniach (odpowiednio 83 dni). W innym badaniu pacjenci, którzy rozpoczęli progresywny trening zręcznościowy, byli mniej narażeni na ponowną kontuzję w porównaniu do wykonujących statyczne rozciąganie. Z kolei u osób doświadczających bólu kręgosłupa lędźwiowego regularny ruch i ćwiczenia fizyczne mogą łagodzić ból oraz zwiększać zakres ruchomości, siłę i stopień naprawy tkanek.

To pomaga zrozumieć, dlaczego w miejsce RICE pojawia się inny popularny akronim – POLICE. Litery O i L pochodzą od wyrażenia „Optimal Loading" – optymalne obciążenie, czyli poddawanie tkanek obciążeniom indukującym zmiany komórkowe w celu optymalizacji rekonwalescencji. Pozostałe litery tego akronimu pochodzą od słów Protection (ochrona), Ice (lód), Compression (ucisk) i Elevation (uniesienie), zatem niektóre elementy strategii RICE nadal obowiązują.

Obciążanie tkanek objętych urazem jest bolesne, a zależność między bólem a ruchem jest złożona. Według naukowców nasza reakcja na ból ma duży wpływ na rekonwalescencję po urazie. Odczuwanie bólu ma zarówno składowe społeczne i psychiczne, jak i biologiczne.

Uszkodzone tkanki wysyłają sygnały do mózgu, gdzie dochodzi do odczucia bólu. „Mówi się, że ból jest w głowie, i faktycznie tak jest" – wyjaśnia Merriwether. Dodatkowo istnieją zstępujące szlaki bólowe, prowadzące z tylnej części mózgu do obwodowych części ciała, które hamują i modulują odczucie bólu.

To dlatego pewną rolę odgrywa także środowisko społeczne i psychika. Z badań wynika, że członkowie rodziny mogą opóźniać rekonwalescencję, jeśli zbyt dużo robią dla bliskiej osoby, która doznała urazu, mówi anestezjolożka i badaczka bólu Esther Pogatzki-Zahn z Westfälische Wilhelms-Universität Münster w Niemczech. Wskazuje ponadto, że ci, którzy muszą dalej funkcjonować – opiekując się dziećmi albo wracając do pracy – często zgłaszają mniejsze nasilenie bólu w porównaniu do osób, które nie muszą tego robić. Jeśli chodzi o aspekty psychiczne, to poważnym czynnikiem ryzyka rozwoju przewlekłego bólu po urazie jest lęk. Im bardziej boimy się bólu, a zarazem im bardziej unikamy ruchu z jego powodu, tym silniejszy zwykle się on staje.

Chcąc zachęcić do ruchu i wspomóc gojenie, które on przyspiesza, eksperci zajmujący się bólem starają się edukować pacjentów. „Celem jest ograniczenie bólu" – mówi Pogatzki-Zahn. W przeprowadzonym w 2025 roku randomizowanym badaniu z grupą kontrolną, obejmującym 150 osób, pielęgniarki prowadziły 2-godzinną wirtualną lekcję na temat bólu i niefarmakologicznych metod jego łagodzenia. Metody te mogą obejmować odwracanie uwagi, mindfulness i ćwiczenia z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości. Pacjenci, u których zastosowano interwencję w kwestii bólu, po ośmiu tygodniach znacząco mniej bali się bólu niż ci, którzy zostali umieszczeni na liście oczekujących na zajęcia. Pierwsza grupa uzyskiwała także lepsze wyniki w zakresie odczuwania bólu, depresji, skuteczności łagodzenia bólu, zmęczenia oraz zadowolenia z ról społecznych. „Najlepszym sposobem radzenia sobie z bólem jest zaakceptowanie faktu, że go odczuwamy" – mówi van Boekel.

Leki przeciwbólowe również mogą pomóc, chociaż celem powinno być przyjmowanie możliwie najmniejszych dawek przez możliwie najkrótszy czas, stwierdza van Boekel, „tyle, aby móc się poruszać, nie żeby całkowicie ból wyeliminować". Ponadto sugeruje przyjmowanie raczej paracetamolu (np. APAP) niż ibuprofenu (np. Nurofen), ponieważ przy prawidłowym dawkowaniu nie daje on działań niepożądanych.

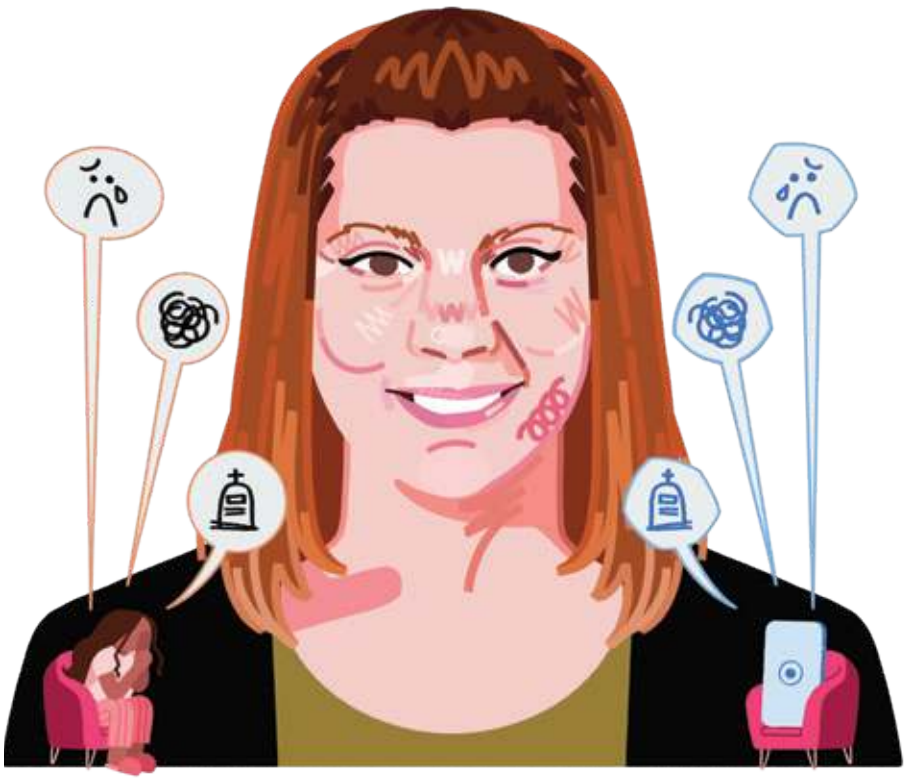
Naukowcy zwracają też baczniejszą uwagę na to, w jaki sposób dokonuje się oceny bólu. Najnowsze badania wskazują na przykład, że podczas badania klinicznego należy staranniej rozróżniać ból w spoczynku od bólu wywołanego przez ruch. Okazuje się bowiem, że efekty uzyskiwane przez pacjentów mogą różnić się w zależności od typu doświadczanego przez nich bólu.

Rola bólu i ruchu w rekonwalescencji nadal nie jest jeszcze w pełni poznana, jednak w tej chwili wydaje się słuszne popularne powiedzenie: „no pain, no gain" – bez pracy nie ma kołaczy. ■

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

Ilustracja Jay Bendt

eprasa.pl 75141bef1a



Terapeuci SI?

Wykorzystywanie sztucznej inteligencji do rozwiązywania swoich problemów psychicznych nie jest bezpieczne

ALLISON PARSHALL

CHATBOTY OPARTE NA SZTUCZNEJ INTELIGENCJI nie oceniają. Opowiedz im najbardziej osobiste, najbardziej wrażliwe szczegóły swojego życia, a większość z chatbotów okaże ci zrozumienie i być może nawet udzieli rady. Z tego powodu wiele osób zwraca się po życiowe wskazówki do aplikacji takich jak ChatGPT firmy OpenAI.

Jednak „terapia" z udziałem SI wiąże się z poważnym ryzykiem. Pod koniec lipca dyrektor generalny OpenAI, Sam Altman, ostrzegł użytkowników ChatGPT przed używaniem chatbota jako „terapeuty" z powodu obaw o prywatność. American Psychological Association (APA) stwierdziło, że firmy tworzące chatboty SI i ich produkty stosują „zwodnicze praktyki", „podszywając się pod wykwalifikowanych specjalistów zdrowia psychicznego". Wezwało Federal Trade Commission do wszczęcia dochodzenia, powołując się na dwa toczące się procesy sądowe, w których rodzice twierdzili, że chatboty wyrządziły krzywdę ich dzieciom. Niektórzy rodzice utrzymują, że ich dziecko popełniło samobójstwo po rozmowach z SI. „To, co najbardziej mnie uderza, to jak bardzo ludzko brzmią te chatboty – mówi C. Vaile Wright, licencjonowana psycholożka i starsza dyrektorka Biura Innowacji w Ochronie Zdrowia APA, które koncentruje się na bezpiecznym i skutecznym wykorzystaniu techniki w opiece nad zdrowiem psychicznym. – Poziom zaawansowania tej techniki, nawet w porównaniu z tym, co było 6–12 miesięcy temu, jest dość oszałamiający. I rozumiem, że ludzie mogą wpaść w taką króliczą norę".

„Scientific American" rozmawiał z Wright o tym, dlaczego chatboty SI używane do terapii mogą stanowić zagrożenie i czy możliwe jest zaprojektowanie takiego systemu, który będzie jednocześnie niezawodnie pomocny i bezpieczny.

Poniżej publikujemy zredagowany zapis rozmowy.

Allison Parshall jest redaktorem współpracującym z „Scientific American"; zajmuje się tematyką neuronauki.

Co obserwujesz w ostatnich latach w obszarze wykorzystania SI w opiece nad zdrowiem psychicznym?

Myślę, że widzimy dwa główne trendy. Jeden to produkty SI skierowane do specjalistów – to przede wszystkim narzędzia administracyjne pomagające w sporządzaniu notatek z terapii i rozliczeń. Drugi główny trend to szukanie pomocy w chatbotach bezpośrednio przez osoby mające problemy. A nie wszystkie chatboty są takie same. Są takie, które zostały opracowane specjalnie po to, by zapewniać wsparcie emocjonalne, i w ten sposób są reklamowane. Są też bardziej ogólne, takie jak ChatGPT, które nie zostały zaprojektowane z myślą o zdrowiu psychicznym, ale wiemy, że są w celu jego poprawy używane.

Jakie obawy budzi ten trend?

Pojawia się wiele obaw, gdy osoby korzystają z chatbotów tak, jakby były one terapeutami. Te narzędzia nie tylko nie zostały zaprojektowane do zajmowania się zdrowiem psychicznym ani udzielania wsparcia emocjonalnego, ale są wręcz kodowane w taki sposób, by jak najdłużej zatrzymać użytkownika na platformie, ponieważ taki jest model biznesowy. A osiąga się to poprzez bezwarunkowe potwierdzanie i wzmacnianie, niemal do poziomu pochlebstwa.

Problem polega na tym, że jeśli jesteś osobą w kryzysie, która zwraca się do takiego chatbota po pomoc, i wyrażasz szkodliwe lub niezdrowe myśli czy zachowania, chatbot po prostu będzie cię utwierdzał w ich kontynuowaniu. Tymczasem jako terapeutka, nawet jeśli okazuję zrozumienie, wiem, że moim zadaniem jest wskazać, kiedy angażujesz się w niezdrowe lub szkodliwe wzorce

Ilustracja Shideh Ghandeharizadeh

eprasa.pl 75141bef1a

myślenia i zachowania, i pomóc ci je zmienić. Dodatkowo jeszcze bardziej niepokojące jest to, że niektóre chatboty faktycznie przedstawiają się jako terapeuci czy psychologowie. To dość przerażające, bo potrafią brzmieć bardzo przekonująco i sprawiać wrażenie wiarygodnych – choć oczywiście terapeutami nie są.

Niektóre z tych aplikacji wprost są reklamowane jako „AI therapy", mimo że nie są licencjonowanymi świadczeniodawcami terapii. Czy wolno to robić?
Wiele z tych aplikacji funkcjonuje w szarej strefie. Zasada jest taka, że jeśli twierdzisz, iż leczysz lub zapobiegasz jakimkolwiek zaburzeniom psychicznym, powinieneś podlegać regulacjom U.S. Food and Drug Administration (FDA). Jednak w wielu z tych aplikacji drobnym drukiem zaznaczono: „Nie leczymy ani nie zapewniamy interwencji w przypadku zaburzeń psychicznych". Ponieważ reklamują się jako aplikacje wellness skierowane bezpośrednio do konsumentów, nie podlegają nadzorowi FDA, który wymagałby wykazania przynajmniej minimalnego poziomu bezpieczeństwa i skuteczności. W przypadku aplikacji wellness nie ma takiego obowiązku.

Jakie są główne zagrożenia dla prywatności?
Te chatboty nie mają absolutnie żadnego prawnego obowiązku ochrony twoich danych. Zapisy rozmów mogą zostać ujawnione nie tylko na skutek nakazu sądowego, ale mogą po prostu wyciec – czy naprawdę chcesz, aby twoje rozmowy z chatbotem były dostępne dla wszystkich? Czy chcesz, żeby twój szef wiedział, że rozmawiasz z chatbotem o swoim problemie alkoholowym? Myślę, że ludzie nie zawsze są świadomi, że narażają się na ryzyko, udostępniając takie informacje.

Różnica w przypadku terapeuty polega na tym, że owszem, mogę otrzymać nakaz sądowy, ale działam w ramach przepisów HIPAA oraz innych regulacji dotyczących poufności, które wynikają z mojego kodeksu etycznego.

Wspomniałaś, że niektórzy mogą być bardziej narażeni na szkody niż inni. Kto najbardziej?
Z pewnością młodsze osoby, takie jak nastolatki i dzieci. Częściowo dlatego, że rozwojowo nie są jeszcze tak dojrzałe, jak dorośli. Mogą mniej ufać własnej intuicji, gdy coś wydaje się nie w porządku. Niektóre dane wskazują, że młodzi ludzie nie tylko czują się bardziej komfortowo z tymi technikami, ale też ufają im bardziej niż ludziom, ponieważ czują się przez nie mniej oceniani. Myślę poza tym, że każda osoba emocjonalnie lub fizycznie odizolowana, albo mająca wcześniej problemy ze zdrowiem psychicznym, również jest w grupie podwyższonego ryzyka.

Co twoim zdaniem sprawia, że coraz więcej osób szuka pomocy u chatbotów?
To bardzo ludzkie, że chcemy znaleźć odpowiedzi na to, co nas trapi. W pewnym sensie chatboty są po prostu kolejną generacją narzędzia, które nam to umożliwia. Wcześniej był to Google. Jeszcze wcześniej – poradniki samopomocowe. Sytuację komplikuje fakt, że mamy wadliwy system, w którym z wielu powodów dostęp do opieki psychiatrycznej i psychologicznej jest bardzo trudny. Wynika to częściowo z niedoboru specjalistów. Słyszymy też od terapeutów, że są zniechęcani do działania w ramach ubezpieczenia, co ponownie utrudnia dostęp. Technika może poprawić dostęp do opieki. Musimy tylko zadbać o to, by te narzędzia były bezpieczne i skuteczne.

W jaki sposób można uczynić je bezpiecznymi?
Jeśli firmy same tego nie zrobią – a to mało prawdopodobne, choć trzeba przyznać, że wprowadziły pewne zmiany – APA preferowałoby ustawodawstwo na poziomie federalnym. Regulacje mogłyby obejmować ochronę poufnych danych osobowych, pewne ograniczenia reklamowe, minimalizowanie uzależniających taktyk oraz konkretne wymogi dotyczące audytu i raportowania. Na przykład firmy mogłyby być zobowiązane do raportowania liczby przypadków wykrycia myśli samobójczych oraz tego typu prób. Z pewnością chcielibyśmy też przepisów zapobiegających fałszywemu przedstawianiu usług psychologicznych, tak aby firmy nie mogły nazywać chatbota psychologiem czy terapeutą.

Jak idealna, bezpieczna wersja tej techniki mogłaby pomagać ludziom?
Widzę dwa najczęstsze przypadki użycia. Po pierwsze, wyobraźmy sobie, że jest druga w nocy i jesteś na skraju ataku paniki. Nawet jeśli masz terapeutę, nie będziesz w stanie się z nim skontaktować. A odpowiedni chatbot mógłby przypomnieć ci narzędzia pomagające się uspokoić i opanować panikę, zanim wymknie się spod kontroli. Drugie zastosowanie, o którym często słyszymy, to ćwiczenie umiejętności społecznych, szczególnie u młodszych osób. Chcesz podejść do nowych znajomych w szkole, ale nie wiesz, co powiedzieć. Czy możesz poćwiczyć z chatbotem? A potem – w idealnym scenariuszu – wykorzystać tę praktykę w prawdziwym życiu.

Wygląda na to, że istnieje pewna sprzeczność przy próbie stworzenia bezpiecznego chatbota do wsparcia psychicznego: im bardziej elastyczny i mniej oskryptowany, tym mniejsza jest kontrola nad jego odpowiedziami i większe ryzyko, że powie coś szkodliwego.
Zgadzam się. Myślę, że taki problem zdecydowanie istnieje. Częściowo to właśnie sprawia, że chatboty SI stają się dla ludzi pierwszym wyborem zamiast dobrze opracowanych aplikacji wellness – są tak angażujące. Naprawdę sprawiają wrażenie interaktywnej rozmowy, podczas gdy poziom zaangażowania w wielu innych aplikacjach jest bardzo niski. Większość osób, które pobierają aplikacje, mające służyć poprawie zdrowia psychicznego, używa ich raz i porzuca. W przypadku chatbotów SI, takich jak ChatGPT, widzimy znacznie większe zaangażowanie.

Mam nadzieję, że w przyszłości powstanie chatbot zdrowia psychicznego oparty na osiągnięciach psychologii, rygorystycznie przetestowany i współtworzony z ekspertami. Byłby zbudowany z myślą o wspieraniu zdrowia psychicznego i w związku z tym podlegał regulacjom – najlepiej FDA. Na przykład istnieje chatbot o nazwie Therabot, opracowany przez badaczy z Dartmouth College. To nie jest to, co obecnie znajduje się na rynku komercyjnym, ale myślę, że w tym kierunku należałoby zmierzać. ■

eprasa.pl 75141bef1a

NOWE ROZDANIE

Wszechobecność sztucznej inteligencji – korzyści i zagrożenia

Ilustracje TAVIS COBURN | Portrety ANJE JAGER

NAUCZYCIELKA JĘZYKA ANGIELSKIEGO w liceum w San Diego może w ciągu kilku dni uporać się ze stosem prac do sprawdzenia, zlecając wstępną ocenę ChatGPT. W New Hampshire uczniowie szkoły średniej używają narzędzi generatywnych do „zdejmowania" ubrań ze swoich koleżanek i kolegów na cyfrowych fotografiach, a społeczność gorączkowo poszukuje przepisów, które by tego zabraniały. Firma płatnicza ze Szwecji chwali się opartym na SI systemem obsługi klienta, który wykonuje pracę 700 osób – po czym jej dyrektor generalny krótko później przyznaje, że automatyzacja posunęła się za daleko i przedsiębiorstwo zacznie ponownie zatrudniać ludzi.

Sztuczna inteligencja – systemy komputerowe trenowane na ogromnych zbiorach danych, by przewidywać najbardziej prawdopodobny kolejny piksel lub słowo – jest dziś wszędzie. W ciągu trzech lat od premiery ChatGPT przestał być przeglądarkową ciekawostką, a stał się czymś w rodzaju działającej w tle infrastruktury.

eprasa.pl 75141bef1a

To uszy w gabinecie lekarskim, cichy partner w zarządzie, niewymieniony z nazwiska współautor szkolnych kryteriów oceniania. College Board informuje, że z SI korzysta obecnie 84% uczniów szkół średnich. Dla menedżerów i rad nadzorczych perspektywa taniej pracy jest ofertą nie do odrzucenia; według firmy analityczno-doradczej Gartner wydatki na SI sięgnęły w ubiegłym roku 1,8 biliona dolarów. Są też koszty środowiskowe: pojedyncze centrum danych przeznaczone dla SI może zużywać tyle energii, ile 100 tys. jednorodzinnych domów, a jeszcze większe centra są w budowie. Okazuje się, że chmura ma swoją wagę.

Pojawienie się SI często przedstawia się jako starcie człowieka z maszyną, ale takie ujęcie jest niezasadne. Dzisiejsza rzeczywistość to człowiek plus maszyna – działający w warunkach ograniczeń budżetowych, w niedoskonałych instytucjach, zalewani nieidealnymi danymi. Podczas gdy firmy ścigają się w tworzeniu coraz bardziej zaawansowanych modeli i marzą o SI dorównującej ludzkiej inteligencji, to właśnie najbardziej przyziemne zastosowania tej techniki mają największy wpływ na nasze życie. Lekarka może zrzucić żmudne sporządzanie dokumentacji na „ambientowego skrybę", dzięki czemu zamiast wpatrywać się w monitor przy łóżku chorego spojrzy pacjentowi w oczy. Centrum obsługi klienta może odpowiadać w 35 językach o trzeciej nad ranem – bez armii wielojęzycznych pracowników nocnej zmiany.

Ryzyko polega jednak na tym, że szkody będą się skalować szybciej niż korzyści. Deepfejki zmieniają tę technikę w broń: zmanipulowane wideo może komuś zrujnować reputację na długo przed tym, zanim ktokolwiek zdoła ustalić jego źródło. Halucynacja SI może być drobnym błędem w szkolnym wypracowaniu – albo niebezpiecznym stwierdzeniem w dokumentacji medycznej.

A nawet wtedy, gdy nikt nie działa w złej wierze, partnerstwo człowieka i SI zmienia sposób podejmowania decyzji. Wyniki pojawiają się z niezasłużoną pewnością właściwą starannie przemyślanym wnioskom. „Drugi pilot" SI bierze na siebie część pracy – ale i odpowiedzialność. To, co oferuje się jako pomoc, często staje się nadzorem. SI przyspiesza wykonywanie zadań, a jednocześnie mnoży momenty, w których człowiek musi zdecydować, czy zaufać sugestii systemu.

W raporcie śledzimy tę transformację w kluczowych obszarach – w szpitalach próbujących unowocześnić opiekę bez jej zubożenia; w społecznościach odkrywających, jak bardzo syntetyczny klip wideo potrafi wyprzedzić sprostowanie – oraz w życiu zawodowym ludzi korzystających z tych narzędzi – czasem po to, by przyspieszyć prace, a czasem po to, by scedować na SI odpowiedzialność. Skoro korzyści z tej techniki łatwo jest wymienić, a zagrożenia równie łatwo podważyć – kto zapłaci za jej błędy?

Eric Sullivan

SI w działaniu

Christopher Sharp

DYREKTOR MEDYCZNY DS. INFORMACJI, STANFORD UNIVERSITY MEDICAL CENTER, PALO ALTO, KALIFORNIA

Jestem praktykującym lekarzem – przede wszystkim lekarzem podstawowej opieki zdrowotnej – oraz dyrektorem ds. informacji medycznej w moim szpitalu. Dbam o to, byśmy mieli odpowiednie narzędzia oparte na sztucznej inteligencji, wspierające klinicystów w opiece nad pacjentami. Jedno z nich nazywa się ChatEHR („electronic health record"). Za pomocą interfejsu mogę powiedzieć: „Chciałbym dowiedzieć się więcej o konkretnym aspekcie opieki nad tym pacjentem – czy możesz to streścić?". Zadania, które wcześniej zajmowały godziny, można skrócić do minut. Korzystamy też z tzw. pisarza SI – systemu, który słucha rozmowy z pacjentem i tworzy medyczne podsumowanie. Nasi lekarze uznali, że takie podejście znacząco zmniejsza obciążenie poznawcze i poprawia ich dobrostan w pracy.

Zapadło mi w pamięć, jak siedziałem z pacjentką, która opowiadała o śmierci swojej siostry. Ważne było, żebym nie pisał na klawiaturze, lecz utrzymywał kontakt i okazywał wsparcie. W trakcie rozmowy podała istotne informacje o historii chorób w rodzinie. Nie sięgnąłem do klawiatury, by je zanotować – ale SI je zarejestrowała.

Gdy później przeczytałem podsumowanie, uderzyło mnie, że system odnotował jedynie śmierć siostry i jej stan zdrowia – mimo że ja przeżyłem z pacjentką bardzo emocjonalny moment. To był przykład sytuacji, w której maszyna zrobiła to, w czym jest dobra, a ja zrobiłem to, w czym dobry jest człowiek.

Deni Ellis Béchard jest starszym redaktorem „Scientific American"; pisze o technice.

eprasa.pl 75141bef1a

Cyfrowa opieka zdrowotna

W amerykańskiej medycynie coraz częściej wykorzystuje się sztuczną inteligencję. Gdy jednak algorytmy zawodzą, odpowiedzialność za błędy ponoszą ludzie – głównie ci, którzy o cyfrową pomoc w podejmowaniu decyzji nie prosili

HILKE SCHELLMANN

ADAM HART OD 14 LAT PRACUJE jako pielęgniarz w St. Rose Dominican Hospital w Henderson w stanie Nevada. Kilka lat temu, gdy pomagał na oddziale ratunkowym, słuchał raportu z karetki o właśnie przyjętej pacjentce – starszej kobiecie z niebezpiecznie niskim ciśnieniem – kiedy w elektronicznym systemie szpitala pojawiło się ostrzeżenie o sepsie.

Sepsa, zagrażająca życiu reakcja organizmu na zakażenie, jest jedną z głównych przyczyn zgonów w amerykańskich szpitalach, a szybka interwencja jest w jej przypadku kluczowa. Alert skłonił pielęgniarkę koordynującą dyżur do polecenia Hartowi natychmiastowego umieszczenia pacjentki na sali, zmierzenia parametrów życiowych i rozpoczęcia dożylnego podawania płynów. Taka była procedura i wymuszała pośpiech.

Gdy jednak Hart zbadał kobietę, zauważył cewnik dializacyjny pod obojczykiem. Jej nerki nie funkcjonowały prawidłowo. Rutynowe „zalanie" organizmu płynami dożylnymi – ostrzegł – mogłoby przeciążyć jej układ krążenia i doprowadzić do przesięku płynu

Hilke Schellmann jest laureatką Emmy Award w dziedzinie reportażu i profesorem nadzwyczajnym dziennikarstwa na New York University.

eprasa.pl 75141bef1a

Pielęgniarki zobaczyły, jak niedoskonały produkt może stać się elementem polityki – a potem ich codziennym problemem.

do płuc. Pielęgniarka oddziałowa poleciła mu mimo to zastosować się do wytycznych, powołując się na alert wygenerowany przez szpitalny system sztucznej inteligencji. Hart odmówił.

Rozmowę, która zaczynała przybierać coraz ostrzejszy ton, usłyszał lekarz i wkroczył do akcji. Zamiast płynów zlecił dopaminę, by podnieść ciśnienie bez zwiększania objętości krwi – i uniknąć w ten sposób, jak uważa Hart, potencjalnie śmiertelnych powikłań.

To, co zapadło Hartowi w pamięć, to swoista choreografia wywołana przez alert SI. Ekran nakazywał pośpiech, protokół przekuwał to w polecenie, a sprzeciw przy łóżku chorej – oparty na doświadczeniu klinicznym – sprawił wrażenie niesubordynacji. Nikt nie działał w złej wierze. A jednak narzędzie popychało personel do bezrefleksyjnego wykonania zaleceń w sytuacji, gdy fakty widoczne gołym okiem – pacjentka i jej niewydolne nerki – wymagały dokładnie odwrotnego działania. (Rzecznik szpitala oświadczył, że nie może komentować konkretnego przypadku, ale podkreślił, iż placówka postrzega SI jako „jedno z wielu narzędzi wspierających, a nie zastępujących, wiedzę i osąd zespołów medycznych”).

Taka strategia staje się w amerykańskiej ochronie zdrowia coraz powszechniejsza. W ostatnich latach szpitale włączyły modele algorytmiczne w codzienną praktykę. Opieka kliniczna często polega na dopasowywaniu objawów pacjenta do sztywnych protokołów – środowisko wręcz stworzone do automatyzacji. Dla wyczerpanego personelu możliwość przekazania rutynowych zadań, takich jak dokumentacja, systemom SI jest kusząca.

Wdrażane sztucznej inteligencji obejmuje całe spektrum – od modeli predykcyjnych wyliczających proste wskaźniki ryzyka po tzw. agentową SI, która ma autonomicznie podejmować decyzje, na przykład dostosowywać wielkość przepływu tlenu u pacjenta czy zmieniać priorytety w triażu na SOR-ze przy minimalnym udziale człowieka. Kilka miesięcy temu w stanie Utah uruchomiono pilotażowy projekt wykorzystujący chatboty z funkcjami agentowymi do odnawiania recept – co, zdaniem jego zwolenników, ma odciążyć lekarzy. Stowarzyszenia lekarskie sprzeciwiają się jednak eliminowaniu ludzkiego nadzoru. W całym kraju systemy ochrony zdrowia korzystają z podobnych narzędzi do szacowania ryzyka, „ambientowego” nagrywania wizyt, generowania notatek medycznych, monitorowania pacjentów za pomocą urządzeń „ubieralnych”, dopasowywania uczestników do badań klinicznych, a nawet do logistyki sal operacyjnych i oddziałów intensywnej terapii.

Branża dąży do zapewnienia prawdziwie ciągłej opieki: infrastruktury decyzyjnej, która monitorowałaby pacjentów między wizytami, łącząc dane z dokumentacji medycznej – wyniki badań laboratoryjnych, obrazowych, notatki, listy leków – z danymi populacyjnymi oraz tymi, które pacjenci generują sami, korzystając choćby z urządzeń ubieralnych czy aplikacji do rejestrowania diety. System wychwytuje istotne zmiany, wysyła wskazówki lub przypomnienia i sygnalizuje przypadki wymagające interwencji człowieka. Zwolennicy takich rozwiązań twierdzą, że tak intensywne, całodobowe monitorowanie danych wykracza poza możliwości pojedynczego lekarza.

Inni podkreślają, że klinicyści muszą pozostać „w pętli” – używać SI nie jako autopilota, lecz jako narzędzia pomagającego porządkować ogromne zbiory danych. W ubiegłym roku Stanford Medicine wdrożyło narzędzie ChatEHR, pozwalające lekarzom „rozmawiać” z dokumentacją medyczną pacjenta. Jeden z lekarzy opowiadał, że system odnalazł kluczową informację ukrytą w dokumentacji pacjenta onkologicznego, co pomogło zespołowi – w tym sześciu patomorfologom – postawić jednoznaczną diagnozę. „Jeśli to nie dowodzi wartości EHR, to nie wiem, co by mogło” – stwierdził.

Jednocześnie, jak zauważa Anaeze Offodile, dyrektor ds. strategii w Memorial Sloan Kettering Cancer Center, na wielu szpitalnych oddziałach „cyfrowe” obietnice często okazują się puste. Wadliwe algorytmy, złe wdrożenia i niski zwrot z inwestycji sprawiły, że część projektów utknęła w martwym punkcie. Pielęgniarki na pierwszej linii, odpowiedzialne za bezpośrednią opiekę nad pacjentami, coraz częściej podchodzą z rezerwą do narzędzi, które nie zostały odpowiednio zwalidowane. To napięcie uwidoczniło się poza murami szpitali. W ciągu ostatnich dwóch lat pielęgniarki w Kalifornii i w Nowym Jorku organizowały demonstracje, zwracając uwagę, że do systemu opieki zdrowotnej wprowadza się niedostatecznie zweryfikowane algorytmy. Argumentowały, że podczas gdy szpitale inwestują w SI, przy łóżkach pacjentów wciąż dramatycznie brakuje personelu.

Przypadek prognozowania sepsy stał się ostrzegawczym przykładem. Szpitale w całych Stanach Zjednoczonych powszechnie wdrożyły algorytm przewidujący sepsę opracowany przez firmę Epic. Późniejsze ewaluacje wykazały, że jego skuteczność była znacznie niższa, niż deklarowano w materiałach promocyjnych. Epic utrzymuje, że badania prowadzone w warunkach klinicznych wykazały poprawę wyników leczenia dzięki modelowi oraz że firma udostępniła już drugą wersję, która – jak twierdzi – działa lepiej. Mimo to pielęgniarki zobaczyły, jak niedoskonały produkt może stać się elementem polityki – a potem ich codziennym problemem.

WYPALENIE ZAWODOWE, braki kadrowe i narastająca przemoc w miejscu pracy już teraz zniechęcają do podejmowania pracy pielęgniarki – wynika z badania przeprowadzonego w 2024 roku. Te napięcia znalazły wyraz w protestach przed ratuszem w New York City w listopadzie ubiegłego roku, gdy członkinie i członkowie New York State Nurses Association najpierw zorganizowali wiec, a następnie

eprasa.pl 75141bef1a

zeznawali przed komisją ds. szpitali Rady Miasta. Przekonywali, że część największych prywatnych systemów ochrony zdrowia w mieście pompuje pieniądze w kadrę zarządzającą i projekty SI, podczas gdy oddziały cierpią na chroniczny brak obsady, a pielęgniarki mierzą się z rosnącymi zagrożeniami. Gdy ten tekst trafiał do druku w połowie stycznia, 15 tys. pielęgniarek z nowojorskich systemów szpitalnych strajkowało, domagając się bezpieczniejszych norm zatrudnienia i realnej ochrony w miejscu pracy.

Nowe modele monitorowania wspierane przez SI często są przyjmowane w szpitalach z entuzjazmem, podobnie jak jest to w innych branżach. W 2023 roku UC Davis Health wdrożyło na swoim oddziale przeszczepów szpiku kostnego u pacjentów onkologicznych stosowanie urządzenia BioButton, nazywając je „transformacyjnym". To niewielki, sześciokątny silikonowy czujnik noszony przez pacjenta na klatce piersiowej, który w sposób ciągły monitoruje jego parametry życiowe, takie jak tętno, temperatura czy oddech.

W praktyce urządzenie często generowało alerty, które pielęgniarkom trudno było zinterpretować. Dla Melissy Beebe, dyplomowanej pielęgniarki pracującej w UC Davis Health od 17 lat, sygnały te rzadko przekładały się na konkretne wskazówki. „W tym momencie zaczęło się robić naprawdę nieciekawie – mówi. – Zalecenia były nieprecyzyjne." Powiadomienia sygnalizowały zmiany parametrów życiowych, ale bez szczegółów.

Beebe wspomina, że często reagowała na alarmy, które donikąd nie prowadziły. „Ja mam swój własny system alarmowy: widząc, że coś jest nie tak z pacjentem, muszę go uważnie obserwować". A BioButton żył własnym życiem. Generował mnóstwo sygnałów, ale bez wartościowych informacji.

Jako przedstawicielka związkowa California Nurses Association w UC Davis Health Beebe poprosiła – zgodnie z zapisami umowy – o formalne spotkanie z kierownictwem przed wdrożeniem urządzeń. – To było mocno podkręcone marketingowo: „To będzie rewolucja, macie szczęście, że możecie z tego korzystać! – mówi. – A kiedy ja i inne pielęgniarki zadawałyśmy pytania, przyczepia się nam etykietkę opornych na nowoczesne rozwiązania. – Ja po prostu chcę wiedzieć, dlaczego mam coś robić. Chcę rozumieć."

Wśród obaw personelu znalazły się pytania o działanie urządzenia u osób o różnych typach budowy ciała oraz o to, jak szybko należy reagować na alerty. Zdaniem Beebe kierownictwo nie udzieliło jasnych odpowiedzi. Zamiast tego pielęgniarki usłyszały, że urządzenie może być pomocne we wczesnym wykrywaniu udarów krwotocznych, na które pacjenci na jej oddziale byli szczególnie narażeni. „Problem jednak w tym, że nieprawidłowe tętno, temperatura i oddech w przypadku udaru to raczej późne objawy – mówi. – Na tym etapie pacjent jest już w bardzo ciężkim stanie. Wcześniejsze symptomy udaru krwotocznego to trudności z wybudzeniem pacjenta, bełkotliwa mowa czy zaburzenia równowagi". Żaden z tych objawów nie jest sygnalizowany przez BioButton.

Ostatecznie, jak mówi Beebe, po około rocznym pilotażu UC Davis Health zrezygnowało z używania tych urządzeń. „Okazało się, że w przypadku naprawdę ciężko chorych pacjentów, dla których takie alerty miałyby największe znaczenie, pielęgniarki i tak wychwytywały pogorszenie stanu chorych znacznie szybciej"

SI w działaniu

Stephanie Dinkins

TRANSDYSCYPLINARNA ARTYSTKA,
BROOKLYN, N.Y.

Z wykształcenia jestem fotografką, ale do świata SI trafiłam dzięki doświadczeniu z humanoidalnym robotem BINA48 – przedstawiającym głowę i ramiona czarnej kobiety.

W 2014 roku byłam tym zafascynowana i chciałam zrozumieć, jak to się stało, że czarna kobieta stała się modelem jednej z najbardziej zaawansowanych technik świata. Rozmowy z BINA48 wydawały mi się jednak płaskie. Gdy pytałam o rasę, odpowiedzi nie były głębokie ani zniuansowane. To mnie przestraszyło. Jeśli twórcy mający dobre intencje tworzą coś tak powierzchownego, co będzie, gdy zajmie się tym ktoś, któremu te kwestie bedą obojętne?

Stworzyłam projekt „Not the Only One" – byt SI wytrenowany na ustnych historiach trzech pokoleń kobiet z mojej rodziny. Trudno było znaleźć zbiór danych, który byłby „życzliwą" podstawą. Większość dostępnych zbiorów konwersacyjnych odwzorowywała negatywne stereotypy, ograniczenia szans i przemoc, z jaką często mierzą się czarni ludzie. Ostatecznie próbowałam stworzyć własny zbiór danych – co było absurdalne, bo był niewielki. Wolałam jednak to ograniczenie niż osadzanie historii mojej rodziny na fundamencie historycznego okrucieństwa. To skłoniło mnie do refleksji nad wartością małych, zakorzenionych w społecznościach zbiorów danych. Opracowałam aplikację „The Stories We Tell Our Machines", by ludzie mogli przekazywać swoje historie – tak, aby SI mogła poznawać nas od środka. *D.E.B*

eprasa.pl 75141bef1a

Jen Roberts

NAUCZYCIELKA ANGIELSKIEGO
POINT LOMA HIGH SCHOOL, SAN DIEGO

Uczę od 30 lat. Byłam wypalona zawodowo, gdy pojawił się ChatGPT. Oczywiście dawał studentom nowe możliwości oszukiwania – ale też pozwalał zmodyfikować dotychczasowy sposób nauczania. SI świetnie sprawdza się w udzielaniu informacji zwrotnej. W dzisiejszym świecie ciągle brak nam czasu, więc moje komentarze bywały krótkie, czasem oschłe. To, co proponuje SI, jest zazwyczaj trafne. Często korzystam z tych sugestii, wprowadzając drobne poprawki. Mówię nieraz, że SI nie oszczędza mojego czasu – ona pozwala mi zrobić więcej w czasie, który mam. Uczniowie dostają prace z powrotem po kilku dniach, a nie tygodniach. Częściej poprawiają teksty, lepiej piszą.

Ostatnie badania pokazują, że uczniowie o nazwiskach zaczynających się na końcowe litery alfabetu otrzymują niższe oceny i gorszą informację zwrotną – prawdopodobnie dlatego, że nauczyciele, poprawiając ich prace, są już zmęczeni. Myślę o SI jak o moim „sprawdzianie równowagi". Gdy oceniam pracę ucznia na „Z", który akurat mnie dziś zirytował, pytam: czy oceniam sprawiedliwie? Często SI sugeruje wyższą ocenę. Sprawdzam ponownie i stwierdzam: „Ma rację". Jeśli SI może to skorygować, to z korzyścią dla uczniów. Dostrzegam w tym sprawiedliwość – zapewnienie spójnej oceny. Przy wszystkich realnych obawach o stronniczość SI, ja bardziej obawiam się stronniczości ludzkiej. *D.E.B*

– wyjaśnia. (W oświadczeniu UC Davis Health poinformowało, że testowało BioButton równolegle z istniejącymi systemami monitorowania i ostatecznie zdecydowało się go nie wdrażać, ponieważ generowane alerty nie dawały wyraźnej przewagi nad dotychczas stosowanymi rozwiązaniami.)

Beebe przekonuje, że oceny klinicznej – kształtowanej przez lata nauki i doświadczenia, opartej na subtelnych sygnałach zmysłowych oraz wskazaniach aparatury – nie da się zautomatyzować. „Nie zliczę, ile razy miałam to przeczucie: coś mi tu nie pasuje w stanie tego pacjenta. Czasem chodzi tylko o to, jak wygląda jego skóra albo jaka jest w dotyku" – mówi. Podobnego zdania jest Elven Mitchell, pielęgniarz intensywnej terapii z 13-letnim stażem, obecnie pracujący w Kaiser Permanente Hospital w Modesto w stanie California. „Czasem wystarczy spojrzeć na pacjenta i od razu się zauważa, że nie jest z nim dobrze. Tego nie widać w wynikach badań ani na monitorze – mówi. – My mamy pięć zmysłów. Komputery dostają tylko dane wejściowe."

Eksperci podkreślają, że algorytmy mogą wspierać osąd kliniczny, ale nie są w stanie go zastąpić. „Modele nigdy nie będą miały dostępu do wszystkich informacji, którymi dysponuje lekarz czy pielęgniarka" – mówi Ziad Obermeyer, Blue Cross of California Distinguished Associate Professor of Health Policy and Management w Szkole Zdrowia Publicznego University of California w Berkeley. Modele analizują głównie elektroniczną dokumentację medyczną, a nie wszystko trafia do cyfrowego pliku. Oznacza to pominięcie wielu naprawdę istotnych czynników: jak pacjent odpowiada na pytania? Jak chodzi? Tych wszystkich subtelnych sygnałów, które lekarze i pielęgniarki dostrzegają i rozumieją.

Mitchell, który zasiada także w szpitalnym zespole szybkiego reagowania, mówi, że jego współpracownicy mają problem z zaufaniem do alertów. Szacuje, że około połowa sygnałów generowanych przez scentralizowany zespół monitorujący to fałszywe alarmy. Mimo to polityka szpitala wymaga, by personel przy łóżku chorego sprawdzał każdy z nich – co odciąga pielęgniarki od pacjentów już wcześniej oznaczonych jako chorzy wysokiego ryzyka. (Przedstawiciele Kaiser Permanente w oświadczeniu podkreślili, że narzędzia SI mają wspierać klinicystów, a decyzje pozostają w gestii zespołów medycznych, zaś systemy są rygorystycznie testowane i stale monitorowane).

„Może za 50 lat będzie to bardziej użyteczne, ale na razie to system, który próbuje się na siłę dopasować do rzeczywistości" – mówi Mitchell. Dodaje, że chciałby ostrzejszych regulacji w tej dziedzinie, bo decyzje w ochronie zdrowia bywają – w najbardziej skrajnych przypadkach – kwestią życia i śmierci.

W ROZMOWACH przeprowadzonych na potrzeby tego artykułu pielęgniarki konsekwentnie podkreślały, że nie są przeciwniczkami techniki w szpitalach. Wiele z nich mówiło wprost: chętnie zaakceptują narzędzia, które zostały rzetelnie zwalidowane i w sposób mierzalny poprawiają jakość opieki. Ich nieufność budzi raczej szybkie wdrażanie intensywnie promowanych modeli SI, których skuteczność w realnych warunkach nie dorasta do marketingowych obietnic. Wprowadzanie niesprawdzonych narzędzi może mieć długofalowe konsekwencje. „To wytworzy braki zaufania w całym pokoleniu klinicystów i pracowników ochrony zdrowia" – ostrzega jeden z ekspertów, prosząc o anonimowość w obawie przed reperkusjami.

eprasa.pl 75141bef1a

Obawy nie dotyczą wyłącznie prywatnych dostawców sprzętu. Same szpitale coraz częściej omijają zabezpieczenia, które dawniej regulowały wprowadzanie nowych technik medycznych, mówi Nancy Hagans, pielęgniarka i prezes New York State Nurses Association.

Ryzyko nie jest czysto teoretyczne. Ziad Obermeyer z University of California, Berkeley wykazał, że niektóre algorytmy stosowane w opiece nad pacjentami okazały się rasistowskie. „Wykorzystuje się je do przesiewowej oceny od 100 do 150 mln osób rocznie przy podejmowaniu różnego rodzaju decyzji, więc skala jest ogromna – mówi. – To rodzi pytanie, dlaczego nie mamy systemu, który wyłapywałby takie problemy, zanim narzędzia zostaną wdrożone i zaczną wpływać na istotne decyzje." Porównuje on wprowadzanie narzędzi SI do obrotu leków. Inaczej niż w przypadku farmaceutyków nie istnieje tu jeden centralny „strażnik"; szpitale często same muszą weryfikować skuteczność i bezpieczeństwo rozwiązań.

Przy łóżku pacjenta brak przejrzystości ma konkretne konsekwencje: jeśli alert trudno wytłumaczyć, odpowiedzialność i tak spada na klinicystę. Jeśli urządzenie działa różnie u różnych pacjentów – jednych pomija, innych nadmiernie często oznacza – to również personel musi mierzyć się ze skutkami.

Sprawę dodatkowo komplikuje medialny szum wokół SI. W ostatnich latach błyskawicznie rozpowszechniły się narzędzia oparte na sztucznej inteligencji, które nagrywają rozmowy lekarza z pacjentem i automatycznie generują notatkę kliniczną z wizyty. Wiele instytucji kupiło je w nadziei na oszczędność czasu. Wielu lekarzy i pielęgniarek docenia możliwość skupienia się na pacjencie zamiast na notowaniu, jednak ostanie badania wskazują, że zyski w zakresie efektywności są umiarkowane. Raportowane oszczędności czasu wahają się od znikomych do maksymalnie 22 min dziennie. „Wszyscy rzucili się na to z przekonaniem, że to magia i że zaoszczędzimy godziny. Takich oszczędności nie udało się uzyskać – mówi Nigam Shah, profesor medycyny na Stanford University i główny naukowiec ds. danych w Stanford Health Care. – Jaki jest zwrot z inwestycji, jeśli oszczędzamy sześć minut dziennie?"

Podobne doświadczenia sprawiły, że niektóre czołowe instytucje przestały polegać wyłącznie na zewnętrznych firmach przy tworzeniu narzędzi algorytmicznych. Kilka lat temu Stanford Health Care, Mount Sinai Health System w New York City i inne ośrodki przeniosły rozwój SI do wnętrza organizacji, aby samodzielnie budować narzędzia, testować rozwiązania dostawców, dostrajać je i – co kluczowe – móc bronić ich przed klinicystami. „To strategiczne przedefiniowanie SI w ochronie zdrowia jako kompetencji instytucjonalnej, a nie towaru, który po prostu kupujemy" – mówi Shah. W Mount Sinai ta zmiana oznacza mniejszy nacisk na same algorytmy, a większy na ich wdrażanie i budowanie zaufania – tak, by nowe narzędzia wpisywały się w realną organizację zadań i były akceptowane przez personel.

Systemy SI powinny także wyjaśniać, dlaczego coś rekomendują, wskazując konkretne sygnały, które uruchomiły alert, zamiast prezentować jedynie abstrakcyjny „wynik punktowy". Szpitale muszą zwracać uwagę na relacje człowiek–maszyna, podkreśla Suchi Saria, John C. Malone Associate Professor of Computer Science na Johns Hopkins University i dyrektorka Machine Learning and Healthcare Lab. Jej zdaniem modele SI powinny funkcjonować jak dobrze wyszkoleni członkowie zespołu. „To nie zadziała, jeśli ten nowy członek zespołu będzie dezorganizował pracę. Ludzie nie będą z niego korzystać – mówi Saria. – I nie będą z niego korzystać również wtedy, gdy będzie niezrozumiały."

SI w działaniu

Joseph McMullen

PRAWNIK ZAJMUJĄCY SIĘ PRAWAMI OBYWATELSKIMI W SAN DIEGO

Jestem prawnikiem specjalizującym się w nadużyciach organów ścigania prowadzących do śmierci lub poważnych obrażeń. W sprawach przeciwko rządowi często otrzymuję dwa lub trzy terabajty dokumentów – miliony stron. W 2024 roku prowadziłem sprawę dziewięcioletniej dziewczynki bezprawnie przetrzymywanej przez 33 godziny na granicy USA i Meksyku, w podziemnym areszcie. Musiałem przygotować pismo procesowe obejmujące całość dowodów – i wiele tej pracy może wykonać SI. Można przekazać jej dane i kazać uporządkować informacje tak, by stały się czytelne. Używam SI jako narzędzia – nie zastępuje ona osądu ani umiejętności opowiedzenia historii w przekonujący sposób. To należy do człowieka.

SI nie może go zastąpić, ale potrafi przeanalizować 100 tys. wiadomości i wskazać, co jest istotne. Już w IV wieku p.n.e. Arystoteles pisał, że skuteczny mówca potrzebuje trzech elementów: logos (logiki), ethos (wiarygodności) i pathos (emocji). W zakresie logiki SI może pomóc – a nawet zwiększyć naszą wiarygodność. Nie sądzę jednak, by poradziła sobie z emocjami. SI pomaga prawnikom nie zmienić się w roboty – pozwala skupić się na byciu ludźmi. *D.E.B.*

eprasa.pl 75141bef1a

A jednak wiele instytucji nie konsultuje się z pielęgniarkami i innym personelem na pierwszej linii – ani nie współtworzy z nimi – nowych narzędzi SI, które mają być wykorzystywane w opiece nad pacjentem. „To się zdarza cały czas" – mówi Shah ze Stanford University. Wspomina, że początkowo kompletował swój zespół data science wyłącznie z lekarzy, pomijając pielęgniarki – dopóki dyrektorka ds. pielęgniarstwa w jego instytucji nie zaprotestowała. Dziś uważa ich perspektywę za niezbędną. „Najpierw pytajcie pielęgniarki, potem lekarzy. A jeśli się nie zgadzają – wierzcie pielęgniarkom, bo to one wiedzą, co naprawdę dzieje się przy łóżku pacjenta."

Aby włączyć większą liczbę pracowników w proces tworzenia narzędzi SI, niektóre instytucje – obok odgórnego — wdrożyły także model oddolny. „Wiele najlepszych idei pochodzi od osób najbardziej zaangażowanych w codzienne prace, dlatego stworzyliśmy proces, w którym każdy członek organizacji może zgłosić własny pomysł" – mówi Robbie Freeman, były pielęgniarz pracujący przy łóżku pacjenta, dziś dyrektor ds. transformacji cyfrowej w Mount Sinai Health System. Jedna z pielęgniarek zajmujących się leczeniem ran zaproponowała stworzenie narzędzia SI przewidującego, u których pacjentów istnieje wysokie ryzyko rozwoju odleżyn. Program cieszy się dużą popularnością – częściowo dlatego, że pomysłodawczyni z entuzjazmem szkoli swoje koleżanki i kolegów.

Freeman podkreśla, że celem nie jest zastąpienie osądu klinicznego, lecz budowanie narzędzi, z których personel będzie chciał korzystać – narzędzi, które potrafią uzasadnić swoje rekomendacje. W wersji, której oczekują pielęgniarki, alert jest zwróceniem uwagi, bodźcem do uważniejszego przyjrzenia się sytuacji, a nie cyfrowym poleceniem, któremu trzeba bezrefleksyjnie się podporządkować.

Kolejny etap tej transformacji pojawił się w ubiegłym roku w pracowni hemodynamiki Mount Sinai wraz z wdrożeniem nowego systemu agentowej SI o nazwie Sofiya. Zamiast pielęgniarek dzwoniących do pacjentów przed zabiegiem wszczepienia stentu, by przekazać instrukcje i odpowiedzieć na pytania, teraz robi to Sofiya. Agent SI, „łagodnym, uspokajającym" głosem i przedstawiany na materiałach promocyjnych jako kobieta w medycznym stroju, pozwolił – według Annapoorny Kini, dyrektorki pracowni – zaoszczędzić ponad 200 godzin pracy pielęgniarek w ciągu pięciu miesięcy. Nie wszystkie pielęgniarki są jednak entuzjastkami Sofiyi. W listopadzie, podczas posiedzenia Rady Miasta New York City, Denash Forbes, pielęgniarka z 37-letnim stażem w Mount Sinai, zeznała, że praca Sofiyi i tak musi być weryfikowana przez personel, aby zagwarantować jej poprawność.

Nawet Freeman przyznaje, że przed agentową SI jeszcze „długa droga", zanim stanie się ona w pełni zintegrowanym i płynnym elementem systemu. A może dołączy do listy nieudanych pilotaży. Gdy branża goni za wydajnością autonomicznych agentów, potrzebna jest infrastruktura do rzetelnego testowania algorytmów. Na razie bezpieczeństwo pacjenta wciąż opiera się na tym, czego SI nie potrafi odtworzyć: intuicji ludzkiego klinicysty. Jak w przypadku Adama Harta, który odrzucił cyfrowy werdykt, by ochronić płuca swojej pacjentki, prawdziwą wartością pielęgniarki w epoce SI może być nie zdolność do wykonywania poleceń systemu, lecz gotowość, by w razie potrzeby powiedzieć mu „nie". ■

SI w działaniu

Gabriel Gomes

PROFESOR NADZWYCZAJNY CHEMII I INŻYNIERII CHEMICZNEJ
CARNEGIE MELLON UNIVERSITY, PITTSBURGH

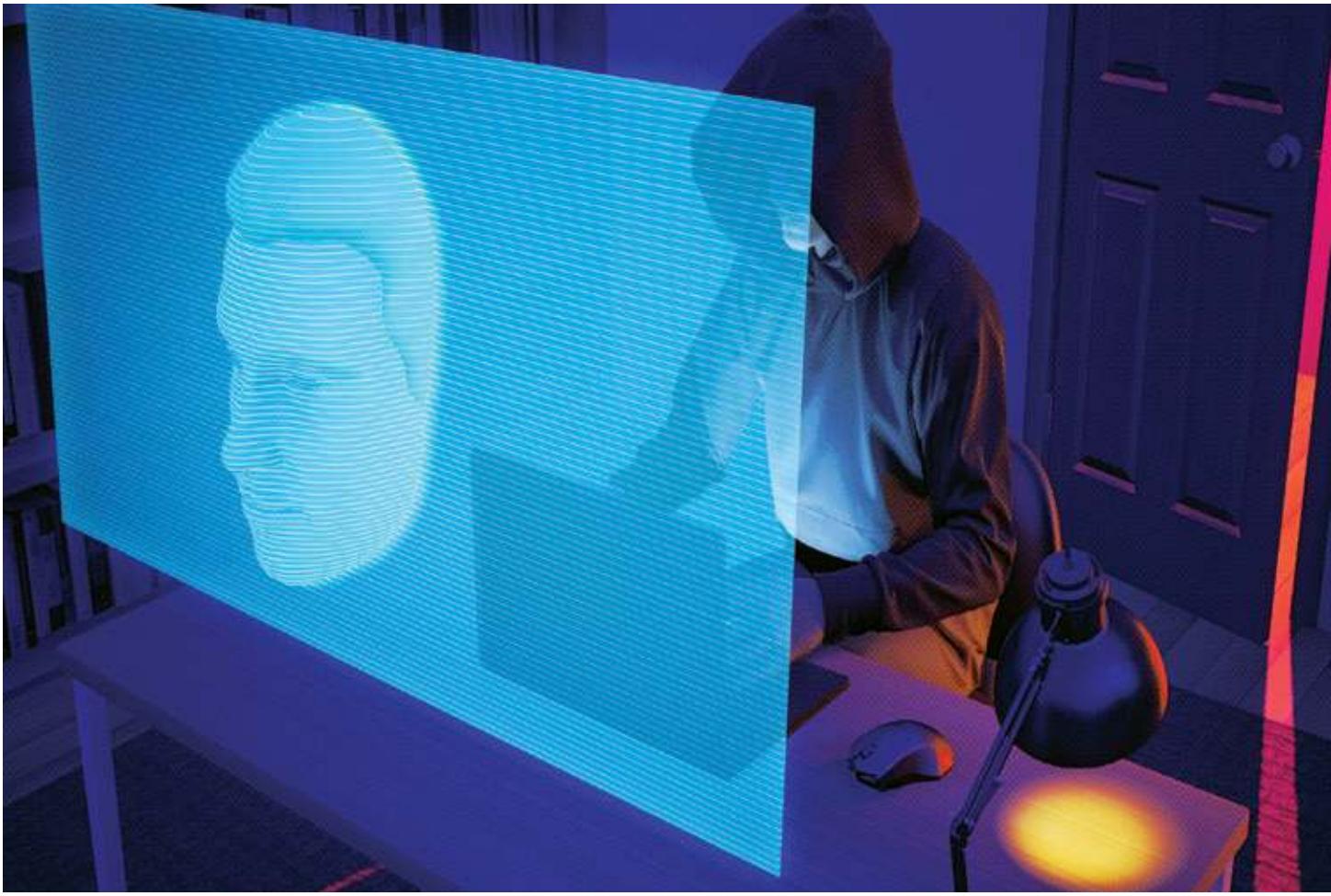
Pochodzę z Brazylii, przyjechałem do USA zrobić doktorat. Własny komputer miałem dopiero w wieku 19 lat, a dziś zajmuję się uczeniem maszynowym, SI i chemią na Carnegie Mellon University. Uczelnia stworzyła pierwsze akademickie laboratorium w chmurze – zdalne laboratorium, w którym eksperymenty wykonują roboty, a człowiek komunikuje się z nimi poprzez kod.

Po premierze GPT-4 w 2023 roku obudziłem się o 6 rano z pomysłem wykorzystania języka naturalnego do komunikacji z laboratorium. Tak powstał Coscientist. To asystent dla doktorantów – jeśli nie wykonywałeś wcześniej danego eksperymentu, Coscientist może być przewodnikiem. Możesz udostępnić mu zdjęcia i wideo, a system pomoże rozwiązać problem i zaplanować kolejny krok. Ostatnio wsparł projekt, którego zwykle się nie podejmuje, bo wymagałby ogromnego nakładu pracy wysoko wykwalifikowanego specjalisty. Dzięki Coscientistowi i robotyce udało się go znacznie przyspieszyć.

Nasz pierwszy eksperyment był prosty: daliśmy płytkę z 96 studzienkami z barwnikiem spożywczym i polecenie: „Narysuj coś uroczego na płytce docelowej". Kierując robotem, Coscientist narysował rybkę. Nie wiemy dlaczego – ale jest urocza.

To imponujące, bo zwykle człowiek musiałby dokładnie zaprogramować robota. Teraz można wydawać mu polecenia w języku naturalnym. *D.E.B.*

eprasa.pl 75141bef1a



Czas fałszerstw

Pionier informatyki śledczej Hany Farid wyjaśnia, dlaczego określenie „sztuczna inteligencja” jest mylące – i co jest potrzebne, by odbudować zaufanie w epoce deepfejków

ERIC SULLIVAN

DEEPFEJKI PO RAZ PIERWSZY rozprzestrzeniły się jako narzędzie szczególnego, wyjątkowo dotkliwego rodzaju przemocy: niekonsensualnych treści o charakterze seksualnym. Wczesne wersje bywały technicznie prymitywne – montaż rzucał się w oczy, a głosy brzmiały nienaturalnie. To, co się zmieniło, to silnik, który za nimi stoi. Generatywna sztuczna inteligencja sprawiła, że tworzenie przekonujących imitacji stało się szybsze, tańsze i nieporównanie łatwiejsze do skalowania – coś, co kiedyś wymagało czasu, umiejętności i specjalistycznych narzędzi, dziś można wygenerować na żądanie. Dziś deepfejki to codzienność: skrót dla oszusta, broń mediów społecznościowych, sobowtór w wideorozmowie kradnący cudzy autorytet. Oszustwo stało się funkcją konsumencką – zdolną odtworzyć głos dziecka w telefonie o drugiej nad ranem, zanim rodzic zdąży się w pełni obudzić. W tym środowisku liczy się szybkość: zanim odkryje się fałszerstwo, szkody już zostały wyrządzone.

Hany Farid, badacz cyfrowej kryminalistyki z University of California w Berkeley, od lat analizuje ślady pozostawiane przez te systemy – drobne „znaki szczególne”, które je zdradzają – oraz to, dlaczego ich rozpoznanie nigdy nie jest pełnym rozwiązaniem. Jest sceptyczny wobec „mistyki SI” (woli określenie „mieszadło tokenów”) i jeszcze bardziej wobec przekonania, że wystarczy przefiltrować Internet, by dowiedzieć się prawdy. Jego argument jest prostszy

Eric Sullivan
jest starszym redaktorem działu techniki w „Scientific American”.

eprasa.pl 75141bef1a

– i trudniejszy do przyjęcia: jeśli chcemy świata, w którym dowody nadal mają znaczenie, musimy odbudować zasady odpowiedzialności i uderzyć w wąskie gardła, dzięki którym cyfrowe oszustwo jest tanie i opłacalne. „Scientific American" rozmawiał z Faridem o tym, dokąd zmierzają deepfejki i co może skutecznie ograniczyć ich wpływ.

Poniżej publikujemy zredagowany zapis rozmowy.

Kiedy mówi Pan o „infrastrukturze zaufania" w epoce generatywnej SI, jakie są dziś jej kluczowe warstwy?

To, z czym żyliśmy przez ostatnie 20 lat w kontekście dezinformacji w mediach społecznościowych, jest teraz napędzane przez generatywną SI: bardziej zaawansowane boty, fałszywe obrazy, fałszywe wideo, fałszywe wszystko. Trzeba spojrzeć na przecięcie dwóch zjawisk: zdolności do generowania obrazów, dźwięku i wideo dowolnej osoby mówiącej i robiącej cokolwiek – oraz kanałów dystrybucji w postaci mediów społecznościowych. A przez „zaufanie" rozumiem pytanie: jak ufać czemukolwiek, co widzimy w Sieci?

Jest też inny wymiar zaufania – na przykład w sali sądowej. Jak ufać dowodom w sprawie cywilnej, karnej czy dotyczącej bezpieczeństwa narodowego? Co teraz zrobić? Ja mierzę się z tym niemal codziennie. Niektórzy prawnicy mówią: „Mamy to nagranie, mamy ten obraz, mamy zapis z monitoringu. Dobrze – i co dalej?".

Do tego dochodzi fakt, że chatboty przestaną być narzędziem „obok" – zostaną w pełni zintegrowane z naszymi systemami. Co się stanie, gdy zaczniemy budować kolejną generację wszystkiego – od autonomicznych samochodów po kod, który piszemy – nasyconą SI? Jak ufać tym systemom, skoro w pewnym momencie powierzymy im infrastrukturę krytyczną?

Co, Pana zdaniem, ludzie najczęściej źle rozumieją w dzisiejszej generatywnej SI?

Jest jeszcze jedna rzecz, którą trzeba zrozumieć: większość tej „inteligencji" nie tkwi w komputerze – tylko w ludziach. Samo zebranie danych z Sieci i zbudowanie „mieszadła tokenów" nie wystarcza. Żeby powstał ChatGPT, trzeba zaangażować rzesze ludzi, którzy ręcznie oceniają pytania i odpowiedzi, mówiąc: „To jest dobra odpowiedź, a to zła". To właśnie tzw. dostrajanie i uczenie przez wzmocnienie.

Jakie są dziś największe szkody?

Niekonsensualne treści intymne (nonconsensual intimate imagery, NCII) są potworne. Wykorzystywanie seksualne dzieci. Sekstorcja. Dzieci rozmawiające z chatbotami, które przekonują je do odebrania sobie życia – a takie przypadki już się zdarzyły i są przedmiotem pozwów sądowych. Do tego dochodzą oszustwa, które generatywna SI napędza na niespotykaną skalę – choćby klonowanie głosu w telefonicznych przekrętach: telefon do babci, telefon do prezesa firmy. Dodałbym kampanie dezinformacyjne, zatruwanie całego ekosystemu informacyjnego.

A ponieważ jestem wykładowcą uniwersyteckim, powiem też: nie wolno lekceważyć wpływu SI na edukację. Nie ma dziś studenta, który nie korzystałby z SI. Nie możemy powiedzieć: „Róbcie, co chcecie". Musimy gruntownie przemyśleć sposób nauczania – nie tylko po to, by przygotować młodych ludzi do świata, w którym te narzędzia niemal na pewno będą stale dostępne, lecz także po to, by zdecydować, czego właściwie powinni się uczyć.

W przypadku niekonsensualnych treści intymnych – jaka jest dziś najlepsza strategia ich usuwania i gdzie jest najsłabsze ogniwo?

Odpowiedzialność rozkłada się na cały łańcuch: od osoby siedzącej przy klawiaturze, przez twórców produktu, po firmy, które go hostują, a wreszcie media społecznościowe, które pozwalają takim treściom się rozprzestrzeniać. W różnym stopniu winni są wszyscy.

Czy dopasowywanie skrótów (hash matching), oparte na identyfikowaniu cyfrowych „odcisków palców" plików, jest realnie skuteczne, czy to już walka z hydrą?

Byłem częścią zespołu Microsoftu, który lata temu stworzył PhotoDNA – system identyfikacji obrazów do walki z materiałami przedstawiającymi wykorzystywanie seksualne dzieci. Zawsze mocno wspierałem tę technikę. W obszarze rzeczywistych materiałów z udziałem dzieci działa ona całkiem dobrze, bo wiemy, że te same obrazy i filmy krążą w Sieci wielokrotnie.

Problem polega na tym, że dzisiejsze treści NCII są generowane przez SI, a więc można produkować je masowo. Hash matching pozwala wykryć konkretny obraz – ale ja mogę stworzyć sto nowych w ciągu 30 s. Ta metoda działa tylko do pewnego momentu, a ponieważ dziś takie materiały można tworzyć błyskawicznie, nie sądzę, by dało się za nimi nadążyć.

Co ustawodawcy powinni przestać zapisywać w ustawach o deepfejkach – a czego zastosować więcej?

Dla pełnej jasności: pracowałem nad wczesnymi wersjami ustawy TAKE IT DOWN Act razem z profesorkami prawa Mary Anne Franks i Danielle Citron. Powiedziałbym, że kiedy powstawała, była całkiem dobrą ustawą. W wersji końcowej stała się ustawą fatalną.

Jeśli jesteś twórcą aplikacji typu „Nudify", prawo w praktyce nie pociąga cię do odpowiedzialności. Przewiduje 48-godzinne okno na usunięcie treści – co jest absurdem, bo mówimy o Internecie, gdzie wszystko dzieje się w pierwszych 90 sekundach. To matka wszystkich zabaw w „uderz kreta".

Kolejny problem: brak sankcji za składanie fałszywych zgłoszeń. Dlatego uważam, że ta ustawa będzie wykorzystywana jako broń.

Co więc należy przestać robić? Uchwalać takie właśnie przepisy – kompletnie nieskuteczne. Nie da się skutecznie ścigać samej treści. Trzeba uderzyć w infrastrukturę: w kilkadziesiąt firm, które to hostują; w sklepy Apple i Google; w systemy Visa, MasterCard i PayPal, które umożliwiają monetyzację. Trzeba działać u źródła.

Jeśli masz tysiąc karaluchów, nie biegasz za każdym z osobna – szukasz gniazda i wypalasz je do samej ziemi.

A przy okazji: dziś to wciąż ofiary muszą wyszukiwać treści i wysyłać zgłoszenia.

Co zmieniło się wraz z rozwojem generatywnej SI i jak reaguje na to pańska firma GetReal?

Kiedy zaczynaliśmy w 2022 roku, skupialiśmy się na analizie plików: ktoś przesyła ci obraz, nagranie audio albo wideo – i starasz się ustalić, czy są autentyczne.

Potem zaczęliśmy obserwować ataki w czasie rzeczywistym: ludzie wchodzili na Zooma czy Teams i podszywali się pod inne osoby. Musieliśmy więc wyjść poza analizę plików i zająć się transmisją na żywo.

A technika – jak to technika – stała się lepsza, szybsza, tańsza i bardziej wszechobecna. My wychodzimy od cyfrowej kryminalistyki. Pytamy: jakie artefakty – ślady techniczne – widać nie tylko w jednym wideo wygenerowanym przez Sora, ale w całym spektrum generatorów wideo, głosu i obrazu. Szukamy takiego śladu, który da się wykryć nawet po ponownej kompresji, zmianie rozmiaru czy manipulacjach plikiem – a następnie budujemy narzędzia do

eprasa.pl 75141bef1a

jego identyfikacji. Kiedy zeznaję w sądzie, nie mówię sędziemu i ławie przysięgłych: „To fałszywe, bo komputer mi tak powiedział". Mówię: „Uznaję to za fałszywe, ponieważ szukamy konkretnych artefaktów – i właśnie ten artefakt tutaj znaleźliśmy".

Co musiałoby się stać, by uznał Pan, że zbudowaliśmy działającą infrastrukturę godną zaufania?

Są dwa rodzaje błędów. Można uznać coś prawdziwego za fałszywe – to tzw. fałszywy alarm (false positive). Albo uznać coś fałszywego za prawdziwe – fałszywe przeoczenie (false negative). Najtrudniejsze jest utrzymanie bardzo niskiego poziomu fałszywych alarmów. Jeśli za każdym razem podczas rozmowy system mówi: „Eric jest fałszywy, Hany jest fałszywy", po prostu przestaniesz go słuchać. To jak alarmy samochodowe na ulicy – wszyscy je ignorują.

Fałszywe alarmy muszą być rzadkie. Oczywiście trzeba nadążać za techniką i wykrywać oszustów. To musi działać szybko – zwłaszcza w transmisji na żywo. Nie możesz czekać 10 minut. I to musi być wyjaśnialne. Nie możesz wejść do sądu ani ludziom z CIA czy NSA powiedzieć: „To fałszywe, bo tak twierdzimy". Możliwość wyjaśnienia jest kluczowa.

Dobra wiadomość jest taka, że – paradoksalnie – łatwiej będzie zabezpieczyć transmisje na żywo niż pliki. W transmisji oszust musi generować fałszerstwo w czasie rzeczywistym. Ja mogę poczekać pięć sekund – to setki klatek.

Przy pliku przeciwnik może siedzieć w ciszy swojego domu i przez cały dzień dopracowywać perfekcyjny deepfake, a potem wypuścić go w świat. W GetReal mamy produkt działający podczas rozmów na Teams, Zoom i WebEx, który analizuje strumienie audio i wideo z bardzo wysoką dokładnością.

Gdyby mógł Pan zmienić jedną rzecz w platformach lub aplikacjach, by jak najszybciej chronić ludzi – co by to było?

Wprowadziłbym realną odpowiedzialność prawną. Same ustawy tego nie załatwią. Tworzysz produkt, który wyrządza szkody, i wiedziałeś – albo powinieneś był wiedzieć – że tak się stanie. W świecie fizycznym pozywam cię bez litości.

Czy te platformy nie są chronione przez Section 230 – prawo, które zwalnia internetowe platformy z odpowiedzialności za treści publikowane przez użytkowników?

Section 230 najprawdopodobniej nie chroni w przypadku generatywnej SI, ponieważ generatywna SI to nie są treści osób trzecich. To twoje treści. Ty je stworzyłeś. To ty zrobiłeś aplikację o nazwie „Nudify". To twój chatbot powiedział dziecku, żeby się zabiło i nie mówiło rodzicom o tej rozmowie. To twój produkt.

A swoją drogą – bardzo chciałbym reformy 230, która pociągnęłaby do odpowiedzialności Facebooki, Twittery i TikToki.

Innym dobrym krokiem ochronnym jest to, co zrobiła Australia – zakaz mediów społecznościowych dla dzieci poniżej 16 roku życia. Media społecznościowe dla dzieci były eksperymentem. Nie zadziałały. To katastrofa. Dowody są przytłaczające.

Co mówi Pan rodzinom o oszustwach z wykorzystaniem klonowania głosu?

Uwielbiam hasła bezpieczeństwa. Ja i moja żona takie mamy. To analogowe rozwiązanie cyfrowego problemu.

Druga rada, którą dajemy wszystkim, to zachowanie czujności. Trzeba wiedzieć, że to się dzieje. Trzeba wiedzieć, że możesz dostać telefon o drugiej nad ranem od syna, który mówi coś przerażającego – więc rozłącz się i oddzwoń.

To jak w cyberbezpieczeństwie: nie klikaj w linki. Sama świadomość nie rozwiązuje problemu, ale ogranicza jego skalę i utrudnia życie oszustom.

Czy używacie z żoną hasła w każdej rozmowie, każdej cyfrowej wymianie?

Tylko wtedy, gdy dzieje się coś dramatycznego. To nie jest hipotetyczne – sam padłem ofiarą ataku z użyciem klonowania głosu. Prawnik, z którym pracowałem nad bardzo wrażliwą sprawą, dostał telefon z mojego numeru. Głos był mój i rozmowa dotyczyła tej sprawy. W pewnym momencie nabrał podejrzeń, oddzwonił do mnie i zapytał: „To byłeś ty?". Odpowiedziałem: „O czym ty mówisz?". Od tamtej pory ustaliliśmy hasło na czas prowadzenia tej sprawy. W przypadku mnie i mojej żony chodzi o sytuacje w rodzaju: „Miałem wypadek", „Zostałem porwany" – takie rzeczy.

Między tymi, którzy postrzegają SI jako egzystencjalne zagrożenie, a tymi, którzy uważają obecną falę za szum medialny – gdzie Pan się lokuje?

Jeśli rozmawia się z ludźmi z branży technicznej, widać dwa główne obozy anty-SI. Jeden to obóz Geoffreya Hintona – pioniera SI – który mówi: „Boże, wszyscy zginiemy. Co ja zrobiłem?" Drugi to obóz kognitywisty Gary'ego Marcusa, który twierdzi: „To wszystko bzdura, mówię wam to od dekady".

Myślę, że obie strony się mylą. Nie sądzę, że wszyscy zginiemy. Ale jest jasne, że coś fundamentalnie zmienia świat. Najbliższe lata będą bardzo interesujące. Musimy poważnie zastanowić się, jakiej przyszłości chcemy – i już teraz zbudować odpowiednie systemy. W przeciwnym razie powtórzymy błędy ostatnich 20 lat.

REKLAMA

AI
Algorytmy Iluzji
Centrum Kultury ZAMEK
w Poznaniu
wystawa
21.03
12.07.
2026
ckzamek.pl

Organizatorzy
CENTRUM KULTURY ZAMEK
POZnań
Ministerstwo Kultury i Dziedzictwa Narodowego
Mecenas
ORLEN
Sponsor
asseco

eprasa.pl 75141bef1a

PALEONTOLOGIA

PARK TRIASOWY

We włoskich Alpach odkryto największe dotąd skupisko triasowych odcisków stóp dinozaurów

Tekst: Humberto Basilio | Zdjęcia: Elio Della Ferrera

WE WRZEŚNIU ZESZŁEGO ROKU fotograf Elio Della Ferrera zauważył tysiące śladów dinozaurów zachowanych na pionowych ścianach skalnych w dolinie Fraele w Parku Narodowym Stelvio. Stanowisko to, położone wysoko we włoskich Alpach, zawiera odciski o długości dochodzącej do 40 cm. Ich wiek – około 210 mln lat – czyni je jednym z najbogatszych stanowisk ze śladami dinozaurów triasowych na świecie.

Ślady są tak dobrze zachowane, że „zajęło mi kilka sekund, żeby zdać sobie sprawę, że zdjęcia są prawdziwe" – mówi paleontolog Cristiano Dal Sasso z Museo Civico di Storia Naturale di Milano, prowadzący badania paleontologiczne na tym obszarze. – Teraz możemy cofnąć się w czasie i spróbować odtworzyć ewolucję żyjących tam dinozaurów".

Na podstawie wstępnych wyników Dal Sasso i jego zespół stwierdzili, że szlak ten został pozostawiony przez stada dużych, roślinożernych dinozaurów, prawdopodobnie prozauropodów, przodków takich jurajskich gigantów, jak brontozaury. Odciski powstały wtedy, gdy dinozaury przemierzały błotniste równiny pływowe na brzegach pradawnego Oceanu Tetydy, na długo przed wypiętrzeniem się Alp.

Badanie tego „Parku Triasowego", jak ochrzczono nowe stanowisko, będzie nie lada wyzwaniem, ponieważ dostęp do niego jest niezwykle trudny, mówi Dal Sasso; w analizie konkretnych śladów i mapowaniu ich położenia naukowcy będą musieli polegać na dronach i teledetekcji.

Humberto Basilio jest meksykańskim dziennikarzem naukowym, zajmującym się polityką, zdrowiem, nadużyciami, archeologią i środowiskiem. Jest również byłym stażystą „Scientific American". Jego teksty były publikowane m.in. w „New York Times", „National Geographic", „Science" i „Nature".

Elio Della Ferrera/PaleoStelvio Arch. (PNS, MSNM, SABAP CO-LC)

Jedne z najlepiej zachowanych odcisków na tym nowo odkrytym stanowisku przedstawiają ślady długich stóp dinozaurów, z widocznymi palcami i pazurami tych triasowych bestii.

eprasa.pl 75141bef1a

Według badaczy na ścianach tej części stanowiska znajduje się około 2000 skamieniałych odcisków stóp.

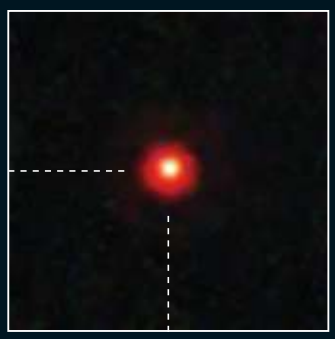
Elio Della Ferrera/PaleoSelvio Arch. (PNS, MSNM, SABAP CO-LC)

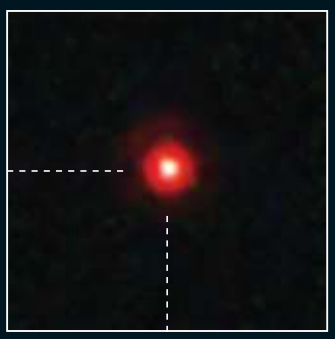
ASTRONOMIA

Małe czerwone

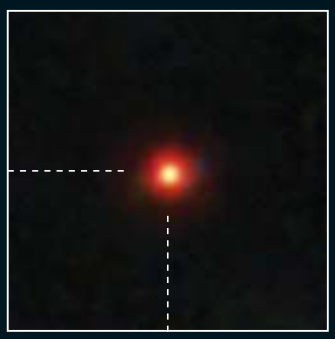
Astronomowie starają się zrozumieć istotę tajemniczych obiektów widocznych na zdjęciach wykonanych przez Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba

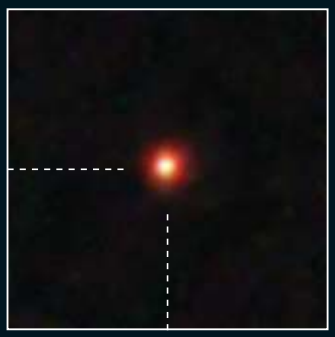
REBECCA BOYLE



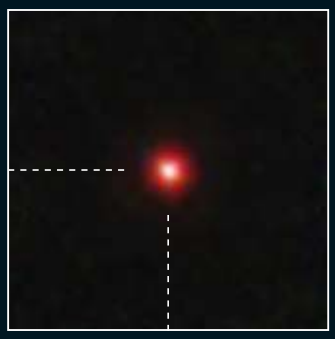


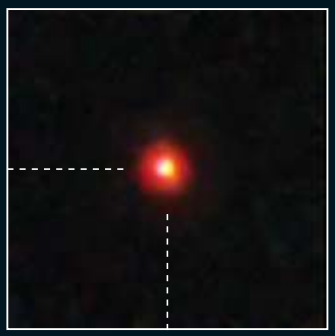
eprasa.pl 75141beta





kropki





eprasa.pl 75141bef1a

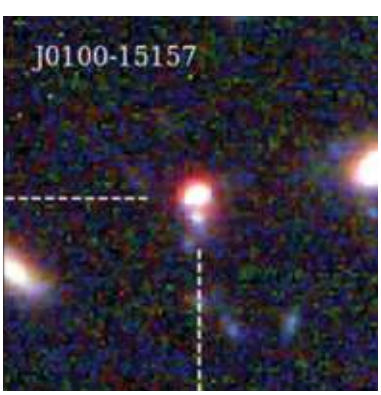
KIEDY W LIPCU 2022 ROKU ASTRONOMOWIE OBEJRZELI pierwsze zdjęcia z Kosmicznego Teleskopu Jamesa Webba (James Webb Space Telescope; JWST), zobaczyli Wszechświat, jakiego się nie spodziewali. Na obrazach widać było olśniewające niebieskie błyski światła, świetliste smugi gwiezdnego pyłu i kotary gazu podświetlone przez powstające gwiazdy.

Jednakże bardzo szybko sytuacja stała się dziwna. Niemal na każdym nowym zdjęciu pojawiały się tajemnicze, maleńkie czerwone punkciki. Plamki były niezwykle małe, bardzo jasne i wyróżniały się czerwonym kolorem. Było ich bardzo dużo. W każdym kierunku, w którym patrzył JWST, teleskop znajdował co najmniej jeden taki obiekt, który obecnie nazywamy Małą Czerwoną Kropką (Little Red Dot; LRD).

Astronomowie szybko ustalili, że najstarsze z tych kropek istniały około 600 mln lat po Wielkim Wybuchu. Oznacza to, że ich światło, zanim dotarło do przypominających plaster miodu sześciokątnych luster JWST, podróżowało przez prawie cały czas istnienia Wszechświata. W pewnej epoce kropki były wszędzie, aż w końcu, około 1,5 mld lat po Wielkim Wybuchu, większość z nich zniknęła.

Wiek, rozmiar i sama liczba Małych Czerwonych Kropek wskazują, że mamy do czynienia z czymś nowym – czymś, co tylko JWST jest w stanie dostrzec. „Są widoczne na każdym zdjęciu wykonanym przez teleskop – mówi astrofizyk Rohan Naidu z Massachusetts Institute of Technology. – Jeśli chcemy opowiedzieć pełną historię wczesnego Wszechświata, musimy dowiedzieć się o nich więcej."

Początkowo astrofizycy sformułowali kilka hipotez wyjaśniających, czym są LRD, z których każda ma implikacje dla ewolucji Wszechświata. Małe Czerwone Kropki mogą być zwartymi galaktykami z aktywnymi czarnymi dziurami w swoich centrach. Mogą stanowić nigdy wcześniej nieobserwowany etap cyklu życia czarnej dziury. Mogą to być zapylone galaktyki z gwałtownym tempem formowania gwiazd, które eksplodują nowymi populacjami gwiazd, niczym ziarna popcornu w gorącym oleju.



NASA, ESA, CSA, STScI, Dale Kocevski/Colby College (*poprzednie strony*)

Jeśli Małe Czerwone Kropki są rzeczywiście supermasywnymi czarnymi dziurami, fakt, że występują tak licznie, może pomóc zrozumieć naturę tych grawitacyjnych perwersji. Kropki mogą

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.

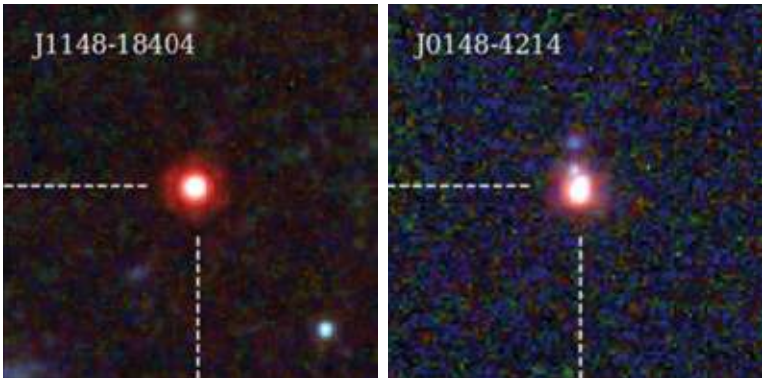
eprasa.pl 75141bef1a

ujawnić, w jaki sposób czarne dziury tak szybko rosną i ewoluują, a nawet jak powstają gromady galaktyk. Mogą pomóc teoretykom w badaniu czarnych dziur powstających w wyniku bezpośredniego kolapsu materii. Jest to stosunkowo nowa koncepcja, zgodnie z którą czarna dziura powstaje nie z pozostałości martwej gwiazdy, ale w wyniku nagłego zapadnięcia się gazu, podobnie jak to się dzieje w przypadku jej formowania.

Jednakże ostatnio wielu astronomów skłania się ku wnioskom, które mogą mieć wpływ na całą ich karierę naukową. Małe Czerwone Kropki mogą okazać się zupełnie nową klasą obiektów kosmicznych. Najnowsze hipotezy sugerują, że są to tzw. quasistary. Koncepcja ta powstała już 20 lat temu i chociaż niektórzy eksperci pozostają sceptyczni, szybko zyskuje na popularności.

A jeśli rzeczywiście stanowią one całkowicie nowy element Wszechświata, mogą zmienić całe nasze o nim wyobrażenie, podobnie jak odkrycie w latach 50. i 60. kwazarów – żarłocznych czarnych dziur w centrach galaktyk – zrewolucjonizowało wiedzę o ewolucji galaktyk.

Wielu astronomom trudno jest nadążyć za publikacjami poświęconymi LRD, ponieważ grupy z kilkudziesięciu krajów niemal codziennie dzielą się nowymi wynikami badań. „Nie sądzę, aby osiągnięto już konsens – mówi astrofizyczka z MIT Anna-Christina Eilers. – Nawet jeśli istnieją hipotezy, które nam się podobają, pozostaje milion otwartych pytań". Dale Kocevski, astrofizyk z Colby College, który bada LRD od momentu ich odkrycia, podchodzi do sprawy nieco bardziej optymistycznie. „Jestem pewien, że za rok lub dwa prawdopodobnie dowiemy się, o co w tym wszystkim chodzi" – mówi. Na razie Małe Czerwone Kropki kryją się pod maskami, których nikt nie jest w stanie zerwać.



Od momentu uruchomienia Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba odkrył w przestrzeni kosmicznej dziesiątki tajemniczych czerwonych plamek. Małe Czerwone Kropki zaczęły pojawiać się około 600 mln lat po Wielkim Wybuchu i wydaje się, że zniknęły około 1,5 mld lat po nim.

KOLOR MAŁYCH CZERWONYCH KROPEK jest ważną wskazówką dotyczącą ich tożsamości. Wydaje się, że są one czerwone z co najmniej dwóch powodów. Po pierwsze, kropki są bardzo stare, a stare obiekty wydają się nam czerwone, ponieważ w czasie, jaki zajęła światłu podróż do nas, uległo ono rozciągnięciu wskutek ekspansji Wszechświata. To wydłużenie fal świetlnych znane jest jako przesunięcie ku czerwieni.

Jednakże astronomowie stwierdzili, że Małe Czerwone Kropki są również czerwone z natury: nie tylko ich światło uległo rozciągnięciu, ale muszą one również zawierać dużo pyłu, który blokuje fale innej długości. W jednej z pierwszych prac naukowych na temat kropek, opublikowanej w marcu 2024 roku, zauważono, że jest ich bardzo dużo, i że „wydają się mocno zapylone, prezentując się jako czerwone punktowe źródła pośród niebieskich skupisk gwiazd". Grupa kierowana przez Jorryta Matthee z Institute of Science and Technology Austria, nadała tym obiektom przyjazną, brzmiącą znajomo nazwę.

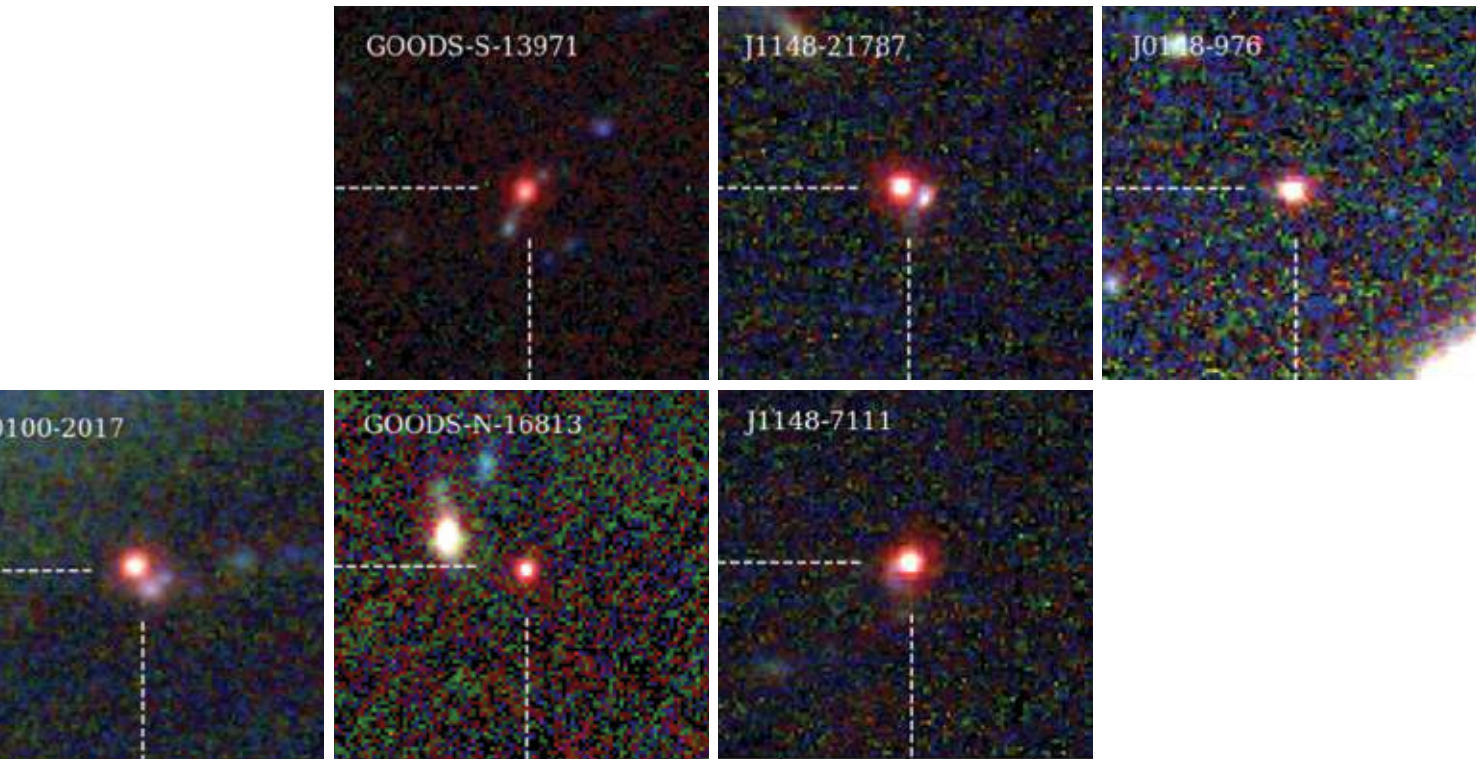
Na zdjęciach z JWST wszędzie widać Małe Czerwone Kropki, bo teleskop jest zaprojektowany do obserwacji promieniowania czerwonego, a zwłaszcza fal średniej podczerwieni, które te obiekty emitują. Teleskop Hubble'a nie rejestruje tego światła, a wcześniejsze obserwatoria podczerwieni, takie jak Kosmiczny Teleskop Spitzera, nie miały takiej wydajności jak JWST. Podstawowymi narzędziami do wykrywania Małych Czerwonych Kropek są dwa instrumenty zainstalowane na JWST: kamera bliskiej podczerwieni (Near-Infrared Camera; NIRCam) oraz instrument średniej podczerwieni (Mid-Infrared Instrument; MIRI), dzięki którym udało się odkryć setki czerwonych plamek.

Aby zrozumieć jeden z kluczowych aspektów Małych Czerwonych Kropek, potrzeba trochę chemii. Plamki charakteryzują się dużym „skokiem Balmera", czyli gwałtownym obniżeniem intensywności emitowanego światła poniżej określonej długości fali. Ta długość fali odpowiada energii potrzebnej do wytrącenia elektronu z określonej orbity w atomie wodoru. Kiedy obiekt emituje mniej światła poniżej tej długości fali niż powyżej, astronomowie mogą przypuszczać, że światło jest absorbowane przez elektrony wodoru, co sugeruje, iż musi istnieć źródło takich wysokoenergetycznych fotonów. Istnienie skoku Balmera w widmie galaktyki oznacza zazwyczaj, że jest w niej wielka liczba młodych, gorących gwiazd. A skok Balmera faktycznie występuje w widmach LRD.

Początkowo astronomowie sądzili, że oznacza to, iż LRD są galaktykami, w których powstaje ogromna liczba gorących gwiazd – nawet dziesiątki miliardów słońc. W galaktykach tych tworzyłoby się również bardzo dużo pyłu, co wyjaśniałoby, dlaczego są one czerwone, a nie niebieskie, jak młode gwiazdy. Jednak hipoteza ta miała pewną wadę. To normalne, że galaktyka w wieku, powiedzmy, Drogi Mlecznej, uformowała miliardy gwiazd, ale jest to praktycznie niemożliwe w przypadku galaktyki, która istnieje zaledwie przez mgnienie oka w kosmicznej skali czasu, tak jak ma to miejsce w przypadku Małych Czerwonych Kropek. Co więcej, są one zbyt małe, aby pomieścić miliardy gwiazd. Z ich sygnatur świetlnych wynikałoby, że w obszar równy odległości między naszą planetą a najbliższą gwiazdą, Proximą Centauri, w LRD trzeba byłoby wcisnąć kilkaset tysięcy dodatkowych

Ilustracje z "Little Red Dots: An Abundant Population of Faint Active Galactic Nuclei at z ~ 5 Revealed by the EIGER and FRESCO JWST Surveys", Jorryt Matthee i in., „Astrophysical Journal, tom 963, 10 marca 2024; https://creativecommons.org/licenses/by/4.0 (*wszystkie pozostałe ilustracje*)

eprasa.pl 75141bef1a



słońc. Trudno byłoby to pogodzić z obecnymi teoriami kosmologicznymi wczesnego Wszechświata, nie wspominając już o modelach powstawania gwiazd i ich wzajemnego oddziaływania.

W miarę jak w 2024 roku astronomowie obserwowali kolejne Małe Czerwone Kropki, odkryto, że punkty te szybko się obracają – co wskazuje, iż mogą to być małe galaktyki zakotwiczone w burzliwych czarnych dziurach, znanych jako aktywne jądra galaktyk. Jednakże hipoteza ta również ma swoje wady: LRD nie emitują promieniowania rentgenowskiego, które jest typowe dla czarnych dziur, ani promieniowania poczerwienionych przez pył innych aktywnych jąder galaktyk. Ponownie pojawia się też problem masy: czarne dziury musiałyby być ogromne w porównaniu z malutkimi galaktykami, w których się znajdują, a niektóre z nich byłyby około 100 razy mniejsze od dzisiejszej Drogi Mlecznej.

Prowadzone do końca 2025 roku nowe obserwacje wykazały, że nie wszystkie LRD są tak gęste, jak początkowo sądzono. W kilku przypadkach nie są one również aż tak odległe, jak zakładali astronomowie. Jedno z kluczowych badań pokazało, że skok Balmera, czyli cecha sugerująca obecność młodych, gorących gwiazd, może być efektem działania innych czynników.

Nadal pozostało wiele kwestii do wyjaśnienia. Czy Małe Czerwone Kropki są rzeczywiście zapylonymi galaktykami gwiazdotwórczymi? Czy też są to przesłonięte aktywne jądra galaktyk? A może to coś zupełnie nowego? Czy też, jak sugeruje przynajmniej kilku astronomów, są one kombinacją wszystkich powyższych rzeczy? Każda z tych odpowiedzi może mieć kosmiczne implikacje. „To wielka tajemnica, która pojawia się na każdym zrobionym przez nas zdjęciu, więc musimy ją rozwikłać” – mówi Naidu.

W miarę jak astronomowie gromadzili coraz więcej przykładów Małych Czerwonych Kropek, wielu z nich doszło do przekonania, że muszą one mieć jakiś związek z czarnymi dziurami. „Nawet jeśli są to niezwykle zwarte galaktyki, w których powstają gwiazdy, zachodzące w nich zderzenia gwiazd w naturalny sposób prowadzą do powstania masywnych czarnych dziur” – twierdzi Muhammad Latif, astrofizyk z Uniwersytetu Zjednoczonych Emiratów Arabskich.

W szeroko cytowanej publikacji Kohei Inayoshi, astrofizyk z Kavli Institute for Astronomy and Astrophysics na Uniwersytecie Pekińskim, obliczył, że obłok gazu położony przed czarną dziurą wytworzyłby obraz podobny do LRD. „To podważyło hipotezę, że są to masywne galaktyki” – uważa Kocevski.

W lutym 2023 roku Anna de Graaff z Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics wspólnie z kolegami zaproponowała nowy program poszukiwania LRD o nazwie RUBIES, czyli „Red Unknowns: Bright Infrared Extragalactic Survey” (Czerwone nieznane: przegląd jasnych obiektów pozagalaktycznych w podczerwieni). Grupa wykorzystała prawie 60 godzin czasu JWST do obserwacji 4500 odległych galaktyk i znalazła około 40 Małych Czerwonych Kropek. Odkryli oni niezwykły obiekt o pseudonimie Cliff (Klif), który zespół nazwał tak ze względu na ostry skok Balmera w widmie światła wyemitowanego przez niego 11,9 mld lat temu.

Grupa De Graaff stworzyła wykres widma tego LRD, pokazujący niemal zerową emisję promieniowania

eprasa.pl 75141bef1a

ultrafioletowego i nagły wzrost emisji światła o dłuższych, mniej energetycznych falach. De Graaff twierdzi, że tak gwałtowne różnice nie występują w przypadku typowych galaktyk ani czarnych dziur znajdujących się w pobliskich obszarach Wszechświata. Dziwny spadek emisji w falach krótkich wskazuje, że Mała Czerwona Kropka, podobnie jak czarna dziura, musi być superenergetyczna, ale musi również otaczać ją kokon z ciepłego, gęstego gazu – podobnego do atmosfery gwiazdy.

Te odkrycia zwróciły uwagę Mitcha Begelmana. Begelman, astrofizyk z University of Colorado w Boulder, przewidział istnienie takich struktur w artykule teoretycznym opublikowanym w 2006 roku. To, co nazwał „quasistarami", mogło powstać w gorących obłokach gazu, które szybko zapadły się, zapalając gigantyczną gwiazdę, w której przez krótki czas zachodziłaby fuzja jądrowa. W ciągu kilku milionów lat, po wyczerpaniu zapasów wodoru, jądro kurczyłoby się, implodowało i tworzyło czarną dziurę.

„Kiedy próbowaliśmy analizować ten model, ku naszemu zaskoczeniu odkryliśmy, że implozja nie wyzwoliłaby energii wystarczającej do zniszczenia otoczki – wspomina Begelman. – W rezultacie powstałaby czarna dziura, a 99% otoczki gwiazdowej pozostałoby na swoim miejscu. Czarna dziura znajdowałaby się w centrum, więc uwalniałaby energię, ale nie poprzez fuzję jądrową" – innymi słowy, świeciłaby nie dzięki reakcjom jądrowym, ale dlatego, że czarna dziura pochłaniałaby gaz. Zgodnie z tym pomysłem quasistar byłaby obiektem ogromnym, mającym masę około miliona mas Słońca. Na razie LRD wydają się pasować do tej koncepcji. „Nie wygląda na to, żeby składały się z wielu gwiazd" – mówi Begelman. Nie są to jednak również zwykłe czarne dziury.

W lipcu ubiegłego roku Naidu, de Graaff i ich współpracownicy stwierdzili, że LRD są obiektami bardzo podobnymi do quasistarów Begelmana: nie całkiem gwiazdami, nie całkiem czarnymi dziurami, ale ciałami podobnymi do obiektów obu tych klas. Naidu i de Graaff nazwali je „gwiazdami z czarnymi dziurami", które byłyby gigantycznymi, jasnymi kulami gazu rozświetlonymi przez energię z czarnej dziury w ich centrum, a nie przez fuzję jądrową.

„Myślę, że jest to zdecydowanie najbardziej ekscytująca rzecz, jaką przyniosły obserwacje JWST – mówi Naidu. – Pracuję nad tym zagadnieniem na pełnych obrotach, odkładając na bok wszystkie inne sprawy. W astronomii bardzo rzadko zdarza się natrafić na zupełnie nową klasę obiektów; jestem przekonany, że tak właśnie jest w tym przypadku."

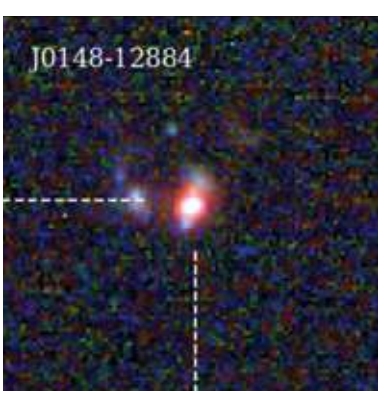
Model opracowany przez niego i de Graaff wyjaśnia kilka osobliwości Małych Czerwonych Kropek, w tym brak emisji promieniowania rentgenowskiego, które jest zazwyczaj znakiem rozpoznawczym czarnej dziury. „Jeśli teraz zaczniemy myśleć o nich jako o ogromnych gwiazdach, w których centrum znajduje się czarna dziura, wszystko zaczyna nabierać sensu – mówi Naidu. – W ten sposób można zrozumieć całe spektrum ich naprawdę osobliwych cech".

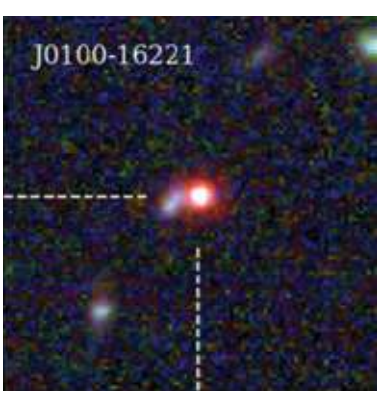
De Graaff twierdzi, że Cliff jest zapewne gwiazdą z czarną dziurą, a kilka kolejnych LRD również najprawdopodobniej należy do tej klasy. Nadal trwa jednak debata, czy wszystkie tajemnicze obiekty pasują do tej kategorii. „Jeżeli zapytasz przypadkowego astronoma, nie sądzę, aby się zgodził, że każdy LRD jest gwiazdą z czarną dziurą – mówi De Graaff. – Ale jeśli zapytasz mój zespół, odpowiedzią będzie *tak*".

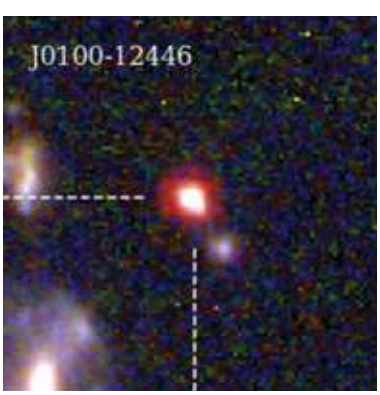
NASUWA SIĘ PYTANIE, czy gwiazdy z czarnymi dziurami stanowią wczesną fazę czarnych dziur w Wszechświecie – zanim utracą one swoje czerwone zewnętrzne powłoki gazowe. Jeśli Małe Czerwone Kropki rzeczywiście są dziwnym etapem życia czarnych dziur, mogą pomóc rozwiązać zagadkę powstania supermasywnych czarnych dziur.

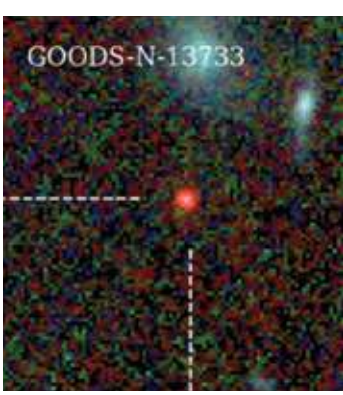
Czarne dziury zostały przewidziane przez teorię grawitacji Alberta Einsteina, a astrofizycy wyobrażają sobie, że powstają one po implozji i zapadnięciu się najmasywniejszych gwiazd. Kosmos jest pełen czarnych dziur, które najprawdopodobniej uformowały się w ten sposób. Jednak powstanie supermasywnych czarnych dziur, które wirują w centrum niemal każdej galaktyki i mają masę setek milionów lub miliardów Słońc, jest trudniejsze do zrozumienia. Musiały one wystarczająco szybko urosnąć, aby ukształtować otaczające je galaktyki, ale większość modeli rozrostu czarnych dziur nie pozwala na tak szybkie tworzenie się gigantycznych obiektów.

Niektórzy teoretycy opowiadają się za nowym modelem zwanym czarnymi dziurami powstałymi w wyniku bezpośredniego zapadnięcia się materii, w którym

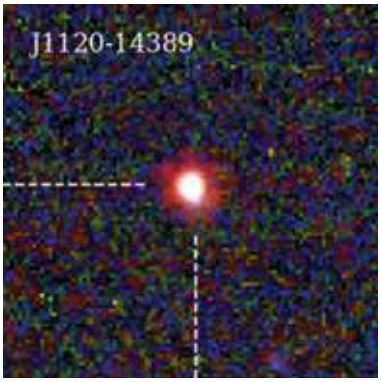


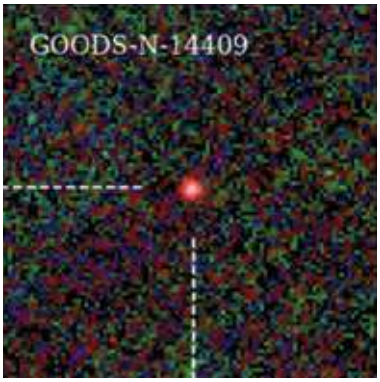


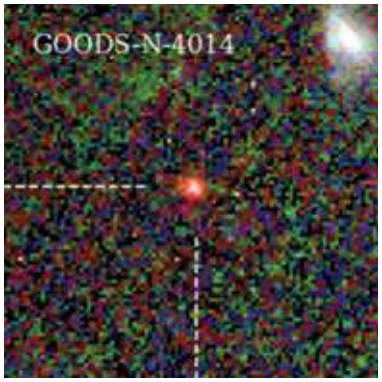




eprasa.pl 75141bef1a







ogromny „zalążek” czarnej dziury wyrasta z gęstej chmury gazu. Zamiast rozbłyskującej gwiazdy, w obłoku powstaje niezwykle gęsta, grawitacyjnie gigantyczna czarna dziura.

Begelman uważa, że gwiazdy z czarnymi dziurami mogą stanowić wersję tej koncepcji. „Teoretycznie możemy zrozumieć warunki, które doprowadziłyby do zgromadzenia się gazu, a następnie natychmiastowego zapadnięcia się w czarną dziurę – mówi. – Ale osobiście podejrzewam, że bardzo trudno jest uniknąć pośredniego etapu, w którym powstaje coś w rodzaju supermasywnej gwiazdy”.

Niezależnie od tego, czy teoria bezpośredniego kolapsu jest słuszna, LRD mogą być prekursorami supermasywnych czarnych dziur tworzących serca współczesnych galaktyk. Inayoshi, który wysunął hipotezę, że kropki mogą być czarnymi dziurami otoczonymi gazowymi powłokami, sugeruje, iż są one jedynie fazą rozwoju czarnej dziury – prawdopodobnie pierwszym etapem, w którym nowo powstałe czarne dziury zaczynają pochłaniać masę. Małe Czerwone Kropki byłyby zatem zdjęciami czarnych dziur w okresie niemowlęcym.

W osobnym artykule, opublikowanym w grudniu ubiegłego roku, Inayoshi i jego współpracownicy twierdzą, że model otoczki czarnej dziury, czyli gwiazdy z czarną dziurą, może rozwikłać tajemnicę dziwnych właściwości promieniowania Małych Czerwonych Kropek i ich gęstości. Jeśli ten paradygmat jest prawidłowy, to LRD są krótkotrwałą, wydajną fazą rozrostu we wczesnym stadium życia supermasywnych czarnych dziur.

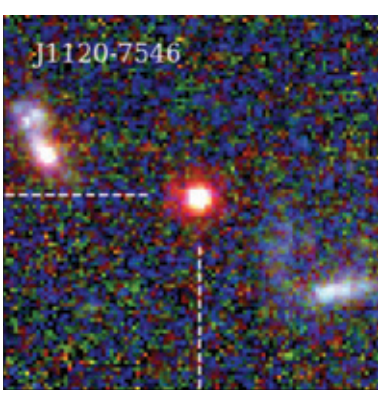
Begelman uważa, że mogłoby to wyjaśnić ogromną liczbę kropek we wczesnym Wszechświecie, a także ich obecne położenie. „Stają się one supermasywnymi czarnymi dziurami, a w każdej współczesnej galaktyce mamy taką, więc musi ich być bardzo dużo” – mówi.

Podczas gdy teoretycy omawiali powyższe koncepcje, obserwatorzy przedstawili dowody, które wzmacniają tę tezę – i podważają powszechnie przyjęte przekonania. Dla przykładu, zespół kierowany przez Pierluigiego Rinaldiego ze Space Telescope Science Institute w listopadzie ubiegłego roku poinformował o kolejnym dziwnym obiekcie – galaktyce o nazwie Virgil, która wydaje się mieć w swoim centrum czerwonawą supermasywną czarną dziurę.

W promieniowaniu widzialnym, a nawet jasnoniebieskoultrafioletowym, Virgil wygląda jak normalna galaktyka, powstała około 800 mln lat po Wielkim Wybuchu. Jednak z obserwacji wykonanych za pomocą instrumentu MIRI teleskopu JWST wynika, że znajduje się w niej gigantyczna czarna dziura, która wydaje się zbyt duża, aby mogła się zmieścić w Virgil.

Odkrycie to wskazuje nową ścieżkę rozwoju czarnych dziur i galaktyk. Przed pojawieniem się JWST astronomowie zakładali, że najpierw uformowały się galaktyki, a dopiero potem w ich centrach pojawiły się supermasywne czarne dziury – powstałe w wyniku bezpośredniego kolapsu lub w jakiś inny sposób. Obecnie wygląda jednak na to, że czarne dziury mogą tworzyć się jako pierwsze.

To odkrycie może mieć znaczenie dla badań nad pierwszym światłem Wszechświata. Astronomowie wciąż próbują wyjaśnić tzw. kosmiczny świt, czyli moment przełomowy, który nastąpił gdzieś między 50 a 100 mln lat po Wielkim Wybuchu, kiedy zapłonęły pierwsze gwiazdy. W jakiś sposób ich promieniowanie ultrafioletowe zrejonizowało obojętny gaz, który wypełniał Wszechświat, uniemożliwiając swobodnym jądrom wodoru połączenie się z elektronami, aby utworzyć obojętne atomy. Proces ten nazywany jest epoką rejonizacji. Astronomowie nie są jednak pewni, jak do tego doszło. Czy promieniowanie jonizujące wysyłały młode gwiazdy? A może była to zasługa żarłocznych czarnych dziur, które kradły ciepły wiatr i przegrzewały gaz?



Historia Virgil, a być może także innych LRD, sugeruje, że astronomowie przeoczyli coś istotnego. Zasłonięte przez pył czarne dziury wydają się odgrywać większą rolę w rejonizacji, niż dotychczas sądzono – wcześniej nie byliśmy

eprasa.pl 75141bef1a

w stanie ich dostrzec, ponieważ świecą one czerwonym światłem, które tylko teleskop JWST jest zdolny zaobserwować. Rinaldi twierdzi, że może istnieć wiele innych takich gigantów, które pozostaną niewidoczne, dopóki teleskop JWST nie wykona dłuższych, głębszych obserwacji. „To przekracza moją wyobraźnię – mówi. – Być może brakuje nam bardzo ważnego elementu układanki, ponieważ nie dysponujemy wystarczającą ilością danych z głębi kosmosu".

W MIĘDZYCZASIE TRWAJĄ POSZUKIWANIA kolejnych Małych Czerwonych Kropek. W lipcu ubiegłego roku astronomowie ogłosili odkrycie trzech Małych Czerwonych Kropek oddalonych od Ziemi o około miliard lat świetlnych. Istnienie takich bliskich kropek, które są oczywiście o wiele młodsze, sugeruje, że LRD mogą pojawiać się również w późniejszych etapach ewolucji Wszechświata.

Z kolei w grudniu ubiegłego roku astronomowie za pomocą układu radioteleskopów Very Large Array odkryli jeszcze jedną, również znajdującą się dość blisko kropkę. Kocevski informuje, że badacze przeczesują istniejące zbiory danych, takie jak przegląd Sloan Digital Sky Survey, chcąc odkryć jeszcze więcej niedalekich kropek.

W grudniu ubiegłego roku opisano niezwykły przypadek, w którym inna galaktyka znajdująca się pomiędzy Małą Czerwoną Kropką a nami pomogła astronomom uchwycić obiekt w różnych momentach czasu. Światło tej LRD zostało powiększone niezależnie cztery razy przez galaktykę znajdującą się z naszej perspektywy przed nią. Efekt ten, zwany soczewkowaniem grawitacyjnym, jest kolejną konsekwencją teorii grawitacji Einsteina. Naukowcy pod kierownictwem Zijiana Zhanga z Uniwersytetu Pekińskiego stwierdzili, że wspomniana Mała Czerwona Kropka wydawała się zmieniać w ciągu 130 lat. Rinaldi, który nie był zaangażowany w te badania, uważa, że aby dowiedzieć się, jak LRD ewoluują w czasie, konieczne są bardziej szczegółowe obserwacje. „Im więcej danych uzyskamy z różnych epok, tym ciekawsza będzie nasza podróż w czasie" – mówi.

Odkrycie Małych Czerwonych Kropek w różnych odległościach i w różnych epokach pomoże astronomom zrozumieć, jak one ewoluują i czy rzeczywiście stanowią początkowy etap istnienia czarnej dziury, czy też są gwiazdami z czarną dziurą, a może jeszcze jakimś innym zjawiskiem.

Dla przykładu, Małe Czerwone Kropki mogły powstać w bardzo wolno rotujących halo z ciemnej materii. Wszechświat kształtowany jest przez niewidzialną ciemną materię, która niczym halo otacza galaktyki i gromady galaktyk. Halo z ciemnej materii wiruje, co astronomowie obserwują badając przepływy gazu. W artykule opublikowanym w kwietniu ubiegłego roku Fabio Pacucci z Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics i jego współpracownicy twierdzą, że LRD mogły powstać w halo z ciemnej materii, które wirują bardzo pow oli, co w naturalny sposób może tworzyć bardzo zwarte galaktyki. W niedawno odkrytym przypadku Mała Czerwona Kropka jest otoczona przez osiem pobliskich galaktyk i osadzona w bąblu z ciemnej materii. Taki LRD mógłby wyewoluować w kwazar – najjaśniejszy typ galaktyki, który zwykle znajduje się wewnątrz halo z ciemnej materii.

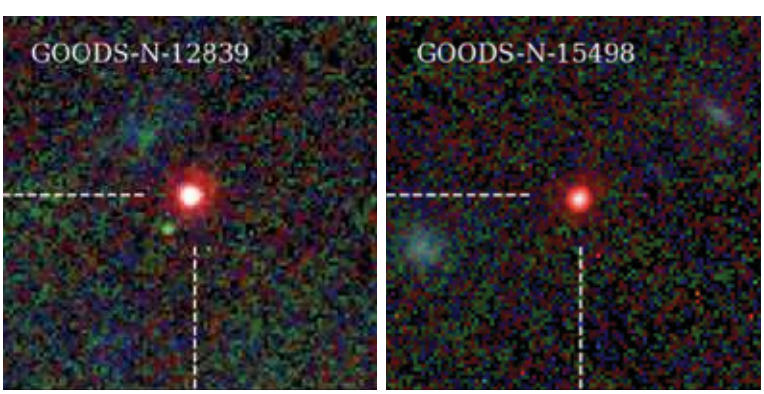
Według innej hipotezy, LRD mogą reprezentować różnorodne obiekty w odmiennym wieku, ukazując odrębne fazy ich istnienia. Rinaldi, Karina Caputi z Rijksuniversiteit Groningen w Holandii oraz ich współpracownicy sądzą, że różne LRD mają odmienne cechy i mogą należeć do całkowicie różnych klas obiektów. W artykule opublikowanym w październiku ubiegłego roku zespół twierdzi, że niektóre LRD wykazują charakterystyczne oznaki aktywnych czarnych dziur, czyli gaz przepływający z prędkością tysięcy kilometrów na sekundę. Inne LRD wydają się raczej fabrykami gwiazd. Naukowcy uważają, że ich gwałtowny skok w absorpcji światła, tak typowy dla LRD, może uniemożliwiać znalezienie prostej odpowiedzi. „Nie jestem całkowicie przekonana, że Wszystkie LRD to obiekty tego samego rodzaju" – mówi Caputi.

Chociaż większość astronomów uważa, że Małe Czerwone Kropki są jakimś rodzajem czarnych dziur – młodych, otoczonych gazem, powstałych w wyniku bezpośredniego kolapsu lub gwiazdowych – wiele kwestii pozostaje nierozstrzygniętych. W zeszłym roku dziesiątki grup badawczych złożyły wnioski na następny cykl obserwacji JWST. Zespół astronomów, który przydziela każdą minutę czasu pracy teleskopu, analizuje te wnioski i wkrótce ogłosi, które projekty zostały zaakceptowane.

Najważniejszym priorytetem jest ustalenie, jaką masę mają Małe Czerwone Kropki, co pomoże naukowcom określić, jakiego rodzaju obiektami mogą one być i czy może być ich wiele rodzajów. Obecne metody pomiaru parametrów czarnych dziur nie sprawdzają się w przypadku LRD, dlatego konieczne są nowe strategie i techniki. Naidu z MIT zamierza stworzyć wykres cyklu życia gwiazd z czarnymi dziurami, podobny do fundamentalnego diagramu Hertzsprunga-Russella, który przedstawia etapy życia zwykłych gwiazd w zależności od ich jasności i temperatury powierzchni. „Los i przeznaczenie wszystkich gwiazd są zakodowane w kilku parametrach, m.in. temperaturze i jasności. To są rzeczy, które musimy wyznaczyć dla LRD" – mówi Naidu. Ma on nadzieję, że pewnego dnia te dziwne czerwone plamki zostaną równie dobrze poznane. ■

Z NASZEGO ARCHIWUM

Kosmiczne portrety, raport specjalny „Nowa era astronomii", Clara Moskowitz; styczeń 2023.



eprasa.pl 75141bef1a

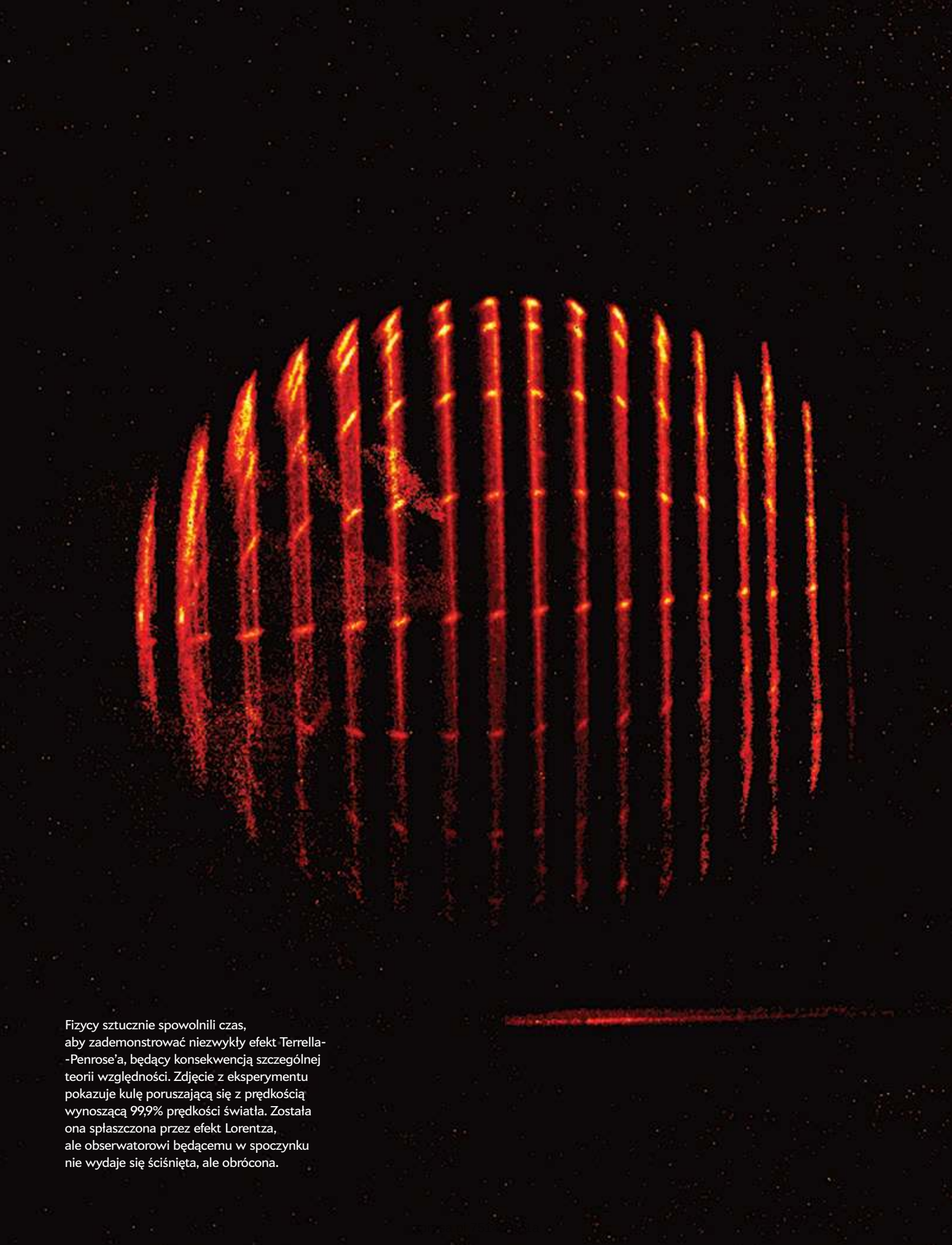
FIZYKA

Względność naocznie

Fizycy po raz pierwszy zaobserwowali dziwaczny efekt przewidziany przez szczególną teorię względności

VICTORIA HELM, THOMAS JUFFMANN I PETER SCHATTSCHNEIDER

eprasa.pl 75141bef1a



Fizycy sztucznie spowolnili czas, aby zademonstrować niezwykły efekt Terrella-Penrose'a, będący konsekwencją szczególnej teorii względności. Zdjęcie z eksperymentu pokazuje kulę poruszającą się z prędkością wynoszącą 99,9% prędkości światła. Została ona spłaszczona przez efekt Lorentza, ale obserwatorowi będącemu w spoczynku nie wydaje się ściśnięta, ale obrócona.

W OPOWIADANIU SCIENCE FICTION *The New Accelerator* [*Eliksir przyspieszający*, Wydawnictwo Biblioteki Groszowej 1926], opublikowanym w 1901 roku, H. G. Wells opisuje lek, który przyspiesza metabolizm człowieka tysiąckrotnie. Dwóm bohaterom, którzy odważnie testują preparat, świat wydaje się dziwnie spowolniony, niemal zamrożony w ruchu. Opowiadanie to skłoniło jednego z nas (Schattschneidera) do zastanowienia się, czy gdybyśmy mogli spowolnić czas, to czy zobaczylibyśmy pojedyncze fotony przemierzające przestrzeń? Czy moglibyśmy zaobserwować zjawiska relatywistyczne? A w szczególności czy dostrzeglibyśmy dziwne zjawisko zwane efektem Terrella-Penrose'a?

Efekt Terrella-Penrose'a sprawiłby, że obiekty poruszające się z prędkością bliską prędkości światła wyglądałyby na dziwnie obrócone. Koncepcja ta wydaje się sprzeczna z innym przewidywaniem szczególnej teorii względności Einsteina, znanym jako skrócenie Lorentza. Zgodnie z nim im szybciej obiekty się poruszają, tym bardziej się kurczą. Chociaż efekt Terrella-Penrose'a był testowany w eksperymentach myślowych i symulowany na komputerach, nigdy nie został zademonstrowany w rzeczywistości.

Perspektywa przeprowadzenia testów w rzeczywistych warunkach pozostawała w zawieszeniu aż do momentu, kiedy jeden z kolegów Schattschneidera, naukowiec zajmujący się fizyką kwantową Philipp Haslinger z Technische Universität Wien, wspomniał mu o eksperymencie SEEC. Celem tego doświadczenia jest wizualizacja sposobu, w jaki światło porusza się po powierzchniach. Haslinger pokazał Schattschneiderowi film, na którym impuls laserowy wydaje się poruszać z prędkością kilku metrów na sekundę, czyli zaledwie około jednej miliardowej części prędkości światła. I znów pojawiła się idea spowolnienia czasu – nowy akcelerator Wellsa, tym razem nie w postaci magicznego eliksiru, ale ultraszybkiej fotografii.

Jednakże w projekcie tym przedmioty były nieruchome – sam obiekt się nie poruszał. Co by się stało, gdybyśmy przyspieszyli fotografowane ciało do prędkości zbliżonej do prędkości wiązki laserowej? Czy zaobserwowalibyśmy wtedy skrócenie Lorentza? A może zobaczylibyśmy jeszcze dziwniejszy efekt Terrella-Penrose'a? Niemal natychmiast opracowaliśmy plan eksperymentu, a kiedy dwóch z nas (Schattschneider i Juffmann) spotkało się w laboratorium Juffmanna, okazało się, że obaj czerpaliśmy inspirację z opowiadania Wellsa.

Aby po raz pierwszy zademonstrować efekt Terrella-Penrose'a w laboratorium, Schattschneider nawiązał współpracę z badaczami zajmującymi się projektem SEEC (Haslinger, Juffmann i artysta Enar de Dios Rodríguez) oraz ze studentami studiów magisterskich Victorią Helm i Dominikiem Hornofem.

Gdyby eksperyment się powiódł, moglibyśmy zaobserwować efekt fizyki relatywistycznej, którego nigdy wcześniej nie widziano. Pokazalibyśmy również, że ponad sto lat po powstaniu teorii względności nadal kryje ona w sobie wiele niespodzianek.

ABY ZROZUMIEĆ, czym dokładnie jest efekt Terrella-Penrose'a, musimy najpierw przyjrzeć się skróceniu

Victoria Helm jest fizyczką zajmującą się optyką kwantową na Universität Wien.

Thomas Juffmann jest fizykiem na Universität Wien, gdzie prowadzi laboratorium zajmujące się mikroskopią optyczną i elektronową.

Peter Schattschneider jest fizykiem pracującym na Technische Universität Wien oraz autorem fantastyki naukowej.

Ilustracja z: „A snapshot of relativistic motion: visualizing the Terrell-Penrose effect", Dominik Hornof i in., „Communications Physics, tom 1(61), maj 2025; https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ (*poprzednia strona*)

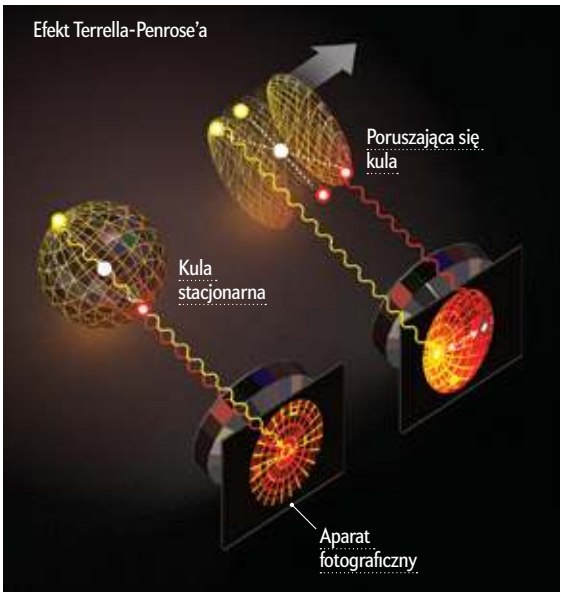
eprasa.pl 75141bef1a

Lorentza – jednemu z bardziej zagadkowych zjawisk przewidzianych przez szczególną teorię względności. Zgodnie z tą zasadą, długość obiektu poruszającego się z prędkością v ulega skróceniu wzdłuż kierunku ruchu, gdy mierzy ją obserwator znajdujący się w stanie spoczynku. Współczynnik skrócenia wynosi $\sqrt{1-v^2/c^2}$, gdzie c jest prędkością światła.

Czy odległy obserwator mógłby wykryć skrócenie? Austriacki fizyk Anton Lampa, zainspirowany koncepcją Alberta Einsteina użycia skalibrowanych prętów do pomiaru odległości, zastanawiał się nad tym pytaniem w 1924 roku. Odkrył, że różnica w czasie, w jakim światło dociera do obserwatora z jednego i drugiego końca pręta, zaciera ten efekt. Dla Lampy skrócenie Lorentza było niepożądanym skutkiem ubocznym, który należało wyeliminować. Prawdopodobnie dlatego jego przełomowa praca nie spotkała się z należnym jej uznaniem.

Pracujący na przełomie XIX i XX wieku holenderski fizyk teoretyczny Hendrik Lorentz uważał, że skrócenie (które później nazwano jego imieniem) będzie możliwe do zaobserwowania. Założenie to nie było kwestionowane przez pół wieku aż do momentu, kiedy to angielski matematyk Roger Penrose i amerykański fizyk James Terrell niezależnie od siebie doszli do zaskakującego wniosku: skrócenie Lorentza nie jest widoczne. Obiekt poruszający się z prędkością zbliżoną do prędkości światła nie wydawałby się skrócony, ale raczej obrócony. Ten intrygujący wynik, opublikowany w 1959 roku, stał się znany jako efekt Terrella-Penrose'a.

To złudzenie optyczne pojawia się dlatego, że światło docierające do obserwatora z jakiegoś obiektu nie odbija się od niego w tym samym czasie. Światło z dalszej strony musiało zacząć swoją podróż trochę wcześniej niż światło z bliższej strony. W przypadku wolno poruszających się obiektów ta różnica nie ma znaczenia. Wyobraźmy jednak sobie, że obiekt porusza się naprawdę szybko.

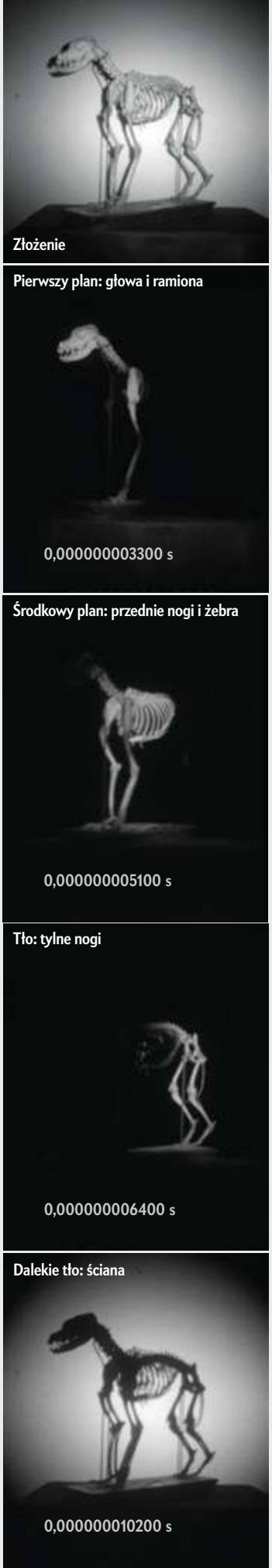


SEEC Photography (*klatki z wideo przedstawiającego psa*)

Grafika Violet Frances

Projekt SEEC: weryfikacja koncepcji

W ramach eksperymentu łączącego sztukę i naukę wykorzystano ultraszybką kamerę, aby pokazać, w jaki sposób światło sukcesywnie oświetla obiekty, co jest niewidoczne dla ludzkiego oka. W jednym z badań sfotografowano szkielet psa, pokazując, że gdyby czas został spowolniony, światło odbite od przedmiotu i jego cień ukazałyby się osobno.



eprasa.pl 75141bef1a

W bardzo krótkim czasie, jaki zajmuje światłu pokonanie odległości zaledwie jednego metra, obiekt zdąży już znacznie się przesunąć. Światło, które dociera do naszych oczu z różnych punktów jednocześnie, odbiło się w różnych momentach ruchu obiektu, tworząc iluzję obrotu i wydłużenia. W sumie nie widzimy jednak wydłużenia – jest ono dokładnie kompensowane przez skrócenie Lorentza, co daje w rezultacie wyłącznie obrócenie obrazu obiektu.

Ten niezwykły efekt nigdy nie został zaobserwowany, ponieważ wymagane prędkości są niezwykle duże, znacznie przekraczające to, co można uzyskać dla obiektów makroskopowych w laboratorium. W rezultacie efekt Terrella-Penrose'a przez długi czas pozostawał jedynie przewidywaniem teoretycznym. Jednakże dzięki rozwiązaniom zastosowanym w projekcie SEEC udało nam się pokonać te ograniczenia. Wykorzystując ultraszybkie lasery, szybkie kamery i precyzyjne układy odmierzające czas, zasymulowaliśmy prędkości relatywistyczne i po raz pierwszy zademonstrowaliśmy efekt Terrella-Penrose'a. Wyniki naszych badań zostały opublikowane w „Communications Physics" w maju 2025 roku.

W NASZYM UKŁADZIE EKSPERYMENTALNYM wykorzystaliśmy kilka kluczowych nowoczesnych technik. Pierwszą z nich jest laser impulsowy, który emituje impulsy światła trwające zaledwie jedną pikosekundę, czyli 0,001 miliardowej części sekundy. Każdy impuls rozchodzi się na zewnątrz jak cienka, sferyczna powłoka światła. Światło to rozprasza się na obiekcie, który chcemy sfotografować, a odbite zbiera obiektyw ultraszybkiej kamery.

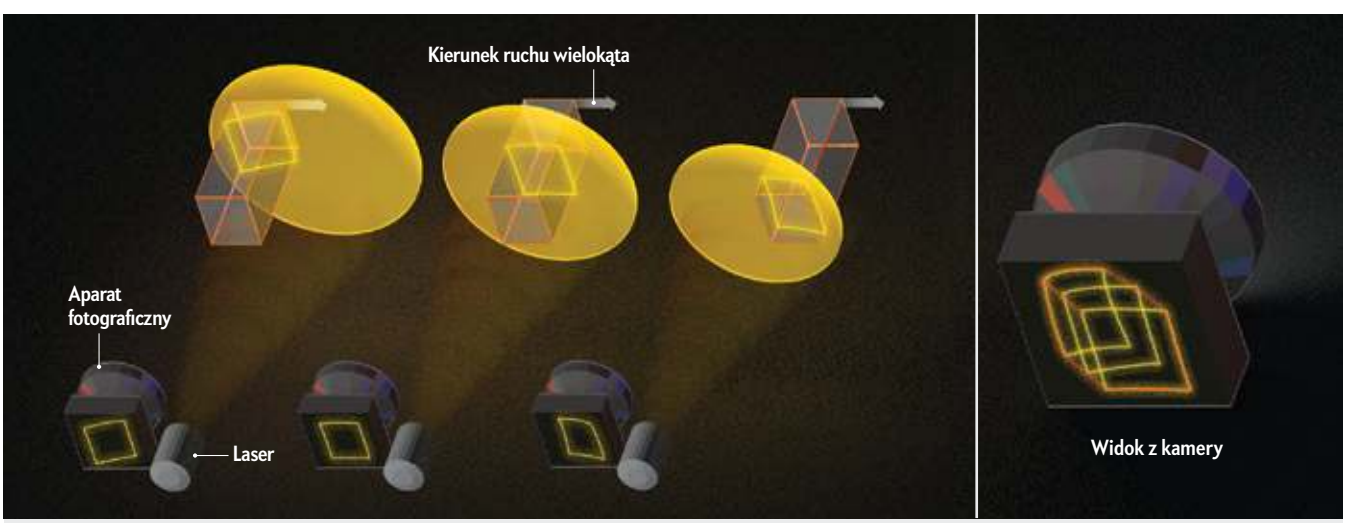
Drugim kluczowym elementem jest właśnie ta kamera. Jedną z pierwszych prób uchwycenia szybkiego ruchu podjął angielski fotograf Eadweard Muybridge w 1878 roku. Wykorzystując serię szybkich ekspozycji udowodnił, że gdy koń galopuje, w pewnym momencie jego wszystkie cztery kopyta odrywają się od ziemi. Czas otwarcia migawki aparatów Muybridge'a wynosił około milisekundy, co było ogromnym osiągnięciem jak na tamte czasy. Obecnie osiągnęliśmy czasy naświetlania o rzędy wielkości krótsze – pikosekundy, a nawet femtosekundy. Aparat, którego użyliśmy, ma czas naświetlania wynoszący zaledwie 0,3 miliardowej części sekundy (czyli 300 pikosekund).

Wykorzystuje on tzw. wzmacniacz obrazu z bramką. W tym urządzeniu padający foton uderza w fotokatodę i wybija elektron (efekt fotoelektryczny). Jeśli bramka jest włączona, elektron jest przyspieszany w kierunku mikrokanału, gdzie wiele kolejnych zderzeń ze ściankami tworzy chmurę elektronów wtórnych. Następnie uderzają one w matrycę pokrytą fosforem stanowiącą detektor obrazu, co skutkuje emisją fotonów rejestrowanych przez kamerę CCD. Padające światło ulega w ten sposób wzmocnieniu.

Aparatura ta jest wykorzystywana w projekcie artystyczno-naukowym SEEC Photography. Wizualizowane jest w nim to, jak światło sukcesywnie oświetla obiekty – proces ten jest tak szybki, że ludzkie oko go nie widzi.

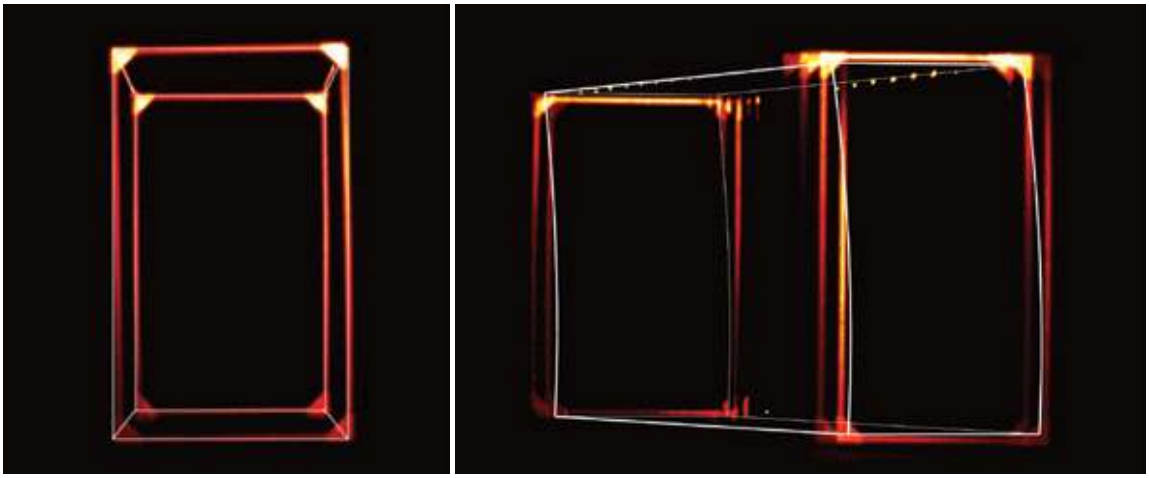
Ludzkie oczy działają poprzez tworzenie obrazów na siatkówce, gdy dociera do niej światło odbite od obiektów. Kiedy obiekt jest oświetlony, obszary znajdujące się dalej od nas będą widoczne później niż obszary bliższe. Różnica czasowa jest niewielka – dla odległości jednego metra wynosi ona trzy miliardowe części sekundy (0,000000003 s). Dla ludzi opóźnienie to jest niezauważalne. Jednakże, gdy użyjemy aparatu fotograficznego z czasem naświetlania krótszym niż jedna miliardowa część sekundy, możemy dostrzec ten efekt.

Aby go zarejestrować, w ramach projektu SEEC sfotografowano kilka obiektów, w tym szkielet psa. Aparat



Konfiguracja doświadczenia
Aby pozornie spowolnić czas, fizycy skonfigurowali układ z projektu SEEC, a następnie do procesu fotografowania stosowanego w projekcie SEEC dodali element ruchu. Obiekt pokazany tutaj to sześcian ściśnięty tak, jak przewiduje to efekt Lorentza. Naukowcy wykonali serię zdjęć poklatkowych, które uchwyciły światło odbite od różnych przekrojów/plastrów sześcianu, przesuwając go przed każdym nowym ujęciem. Następnie obrazy zostały połączone w celu wyrenderowania widoku z kamery.

eprasa.pl 75141bef1a



Na fotografiach z eksperymentu widać efekt obrotu Terrella-Penrose'a sześcianu skróconego przez efekt Lorentza (*z lewej*), który dzięki sprytnym sztuczkom wydawał się poruszać z prędkością równą 80% prędkości światła.

wykonał serię zdjęć, z których każde zostało zrobione w nieco innym momencie w stosunku do nadchodzącego impulsu laserowego. W rezultacie na każdym zdjęciu uchwycono inny „wycinek" szkieletu – obszar chwilowo oświetlony przez wiązkę światła. Proces ten umożliwił zespołowi projektu odtworzenie ruchu światła po powierzchni, tak jakby czas został spowolniony. Jedną z dziwnych konsekwencji tego zjawiska jest fakt, że obraz obiektu i jego cień nie są już widoczne jednocześnie.

Aby zwizualizować efekt Terrella-Penrose'a, wystarczyło zastosować tę sztuczkę dla poruszającego się obiektu. Test przeprowadziliśmy w laboratorium Juffmanna na Universität Wien. Najpierw przygotowaliśmy laser, kamerę i scenerię, w której miał poruszać się obiekt. Zainstalowaliśmy wzmocnioną kamerę SEEC, którą zespół kupił kilka lat temu na eBayu. Ku naszej radości urządzenie działało bez zarzutu, chociaż osoba nadzorujący układ (Helm) musiała poświęcić trochę czasu na przyzwyczajenie się do oprogramowania sterującego i systemu operacyjnego starszego od niej samej. Następnie trzeba było poradzić sobie z ograniczoną przestrzenią laboratoryjną: aby uzyskać pożądany tor, musieliśmy skierować laser impulsowy poza nasze laboratorium, przez korytarz aż do sali wykładowej po drugiej stronie. Taka konfiguracja spowodowała, że mogliśmy pracować tylko w weekendy.

Gdy pulsacyjne oświetlenie laserowe było już skonfigurowane, przed salą wykładową na mobilnym wózku umieściliśmy dwa obiekty – kulę i sześcian. Hornof skonstruował te obiekty z materiałów zakupionych w sklepie z artykułami metalowymi. Aby zasymulować skrócenie Lorentza, które miałoby miejsce wtedy, gdyby obiekty poruszały się z prędkością relatywistyczną, celowo ścisnął je wzdłuż kierunku ruchu. (Bez tego kroku, oprócz obrotu wywołanego przez efekt Terrella-Penrose'a, zobaczylibyśmy też wydłużenie).

Zaczęliśmy od wykonania serii 32 ultraszybkich zdjęć obu obiektów, gdy były nieruchome. W przypadku każdego zdjęcia zmienialiśmy czas między impulsem lasera a migawką aparatu, tak aby każde zdjęcie uchwyciło światło z innego „plasterka" obiektu. W ten sposób powstała seria zdjęć poklatkowych przedstawiających światło przemieszczające się po powierzchni obiektu, dokładnie tak, jak to robiono w projekcie SEEC. Zmienialiśmy czas o 400 ps między oświetleniem każdego kolejnego wycinka, co odpowiadało odległości sześciu centymetrów między wycinkami.

Pomiędzy kolejnymi rejestracjami obrazu ściśniętej kuli przesuwaliśmy ją o sześć centymetrów. W efekcie kula wydawała się poruszać z prędkością sześciu centymetrów na 200 ps, co stanowi 99,9% prędkości światła. Powtórzyliśmy ten proces 32 razy i złożyliśmy wszystkie obrazy w jeden kadr. Wynik? Kula, którą spłaszczyliśmy do koła, na zdjęciu wygląda na obróconą i kulistą, dokładnie tak, jak przewidzieli to Terrell i Penrose.

Z sześcianem było podobnie. W tym przypadku między każdym zdjęciem przesuwaliśmy obiekt o pięć centymetrów, naśladując prędkość 5 cm/200 ps, czyli około 80% prędkości światła. Ponownie, na naszym obrazie sześcian obrócił się, co doskonale zgadzało się z koncepcją Terrella i Penrose'a. Co ciekawe, pionowe krawędzie sześcianu również wydawały się zakrzywione jak hiperbole – zgodnie z przewidywaniami Ramesha Bhandariego z 1970 roku.

Nasze wyniki pokazują, że można badać pewne efekty relatywistyczne w laboratorium poprzez sztuczne zmniejszenie prędkości światła. Efekt Terrella-Penrose'a został potwierdzony: obiekty „skrócone przez Lorentza" wydają się obrócone, a nie skurczone.

Nasza metoda otwiera drogę do badania innych efektów relatywistycznych. Czy możemy użyć podobnych sztuczek, żeby zobaczyć dylatację czasu lub dziwne relatywistyczne przesunięcie światła gwiazd, zwane aberracją? Czy uda nam się przeprowadzić eksperyment myślowy Einsteina z widzianymi z jadącego pociągu piorunami, który podważył ideę czasu absolutnego i jednoczesności?

W końcu udało nam się zrealizować marzenie Wellsa o spowolnieniu czasu. Dzięki szczęśliwemu połączeniu sztuki, nauki i fantastyki naukowej nasz eksperyment ujawnił nigdy wcześniej niewidziany aspekt fizyki. ■

Z NASZEGO ARCHIWUM

100-lecie ogólnej teorii względności. październik 2015.

Ilustracje z: "A Snapshot of Relativistic Motion: Visualizing the Terrell-Penrose Effect", Dominik Hornof i in., „Communications Physics", tom 16; maj 2025; https://creativecommons.org/licenses/by/4.0

eprasa.pl 75141bef1a

ZDROWIE

Matczyna depresja

Depresja poporodowa jest główną przyczyną zgonów kobiet po urodzeniu dziecka. Lek nowego typu może stanowić skuteczną terapię

MARLA BROADFOOT
Zdjęcia ARIN YOON

Kristina Leos (*po lewej*), która po narodzinach córki Victorii przeszła ciężką depresję, pochyla się, by pocałować swoje dziecko.

eprasa.pl 75141bef1a

DEPRESJA POPORODOWA spadła na Kristinę Leos jak gęsta mgła, która oddzieliła ją od wszystkich, których kochała. Widziała swoją nowo narodzoną córeczkę, dwoje starszych dzieci i męża, ale czuła się nie jak człowiek, ale jak duch. „Wykonywałam wszystkie czynności, ale miałam wrażenie, jakbym patrzyła na swoją rodzinę z góry" – wspomina.

Wypróbowała kilka różnych antydepresantów w różnych dawkach. Żaden nie przyniósł ulgi. Pisała do przyjaciółki, przekonana, że nie nadaje się na matkę. Zapytała nawet, czy nie przyjęliby jej nowej córeczki, Victorii. Choć Leos nigdy nie rozważała skrzywdzenia swoich dzieci, zdarzało się, że wracając samochodem z pracy, zastanawiała się, jak by to było skręcić z mostu. „Nie bałam się śmierci – mówi. – Nie obchodziło mnie, co się stanie."

W grudniu 2023 roku, dziewięć miesięcy po urodzeniu Victorii, usłyszała od lekarza, że kończą się możliwości leczenia. Pozostały poważne rozwiązania: wlewy z ketaminy (substancji psychoaktywnej), terapia elektrowstrząsowa lub hospitalizacja psychiatryczna.

Wtedy Leos przypomniała sobie, że widziała w mediach społecznościowych informacje o nowym leku przeznaczonym specjalnie do leczenia depresji poporodowej. W przeciwieństwie do starszych antydepresantów, takich jak Prozac, ten preparat działał na neuroprzekaźniki szczególnie podatne na zmiany w czasie ciąży. Zapytała o niego swojego lekarza – wspólnie postanowili spróbować. Leos rozpoczęła terapię w Nowy Rok 2024. Trzy dni później jej świat się zmienił. „Jechałam autostradą i dosłownie czułam, jak ta ogromna spowijająca mnie chmura się unosi – mówi. – Każdego dnia czułam się coraz lepiej." Lek ten – zuranolon, zatwierdzony przez amerykańską Agencję ds. Żywności i Leków (FDA) w 2023 roku – od tamtej pory przyniósł ulgę tysiącom kobiet.

Pomoc tego rodzaju jest niezwykle potrzebna. Jak pokazuje analiza obejmująca 36 stanów USA, główną przyczyną zgonów wśród kobiet w pierwszym roku po porodzie nie są krwotoki ani infekcje. Znacznie częściej są to problemy ze zdrowiem psychicznym, które odpowiadają za około 23% zgonów matek. Wiele z tych przypadków to właśnie depresja poporodowa. Tymczasem mniej niż połowa kobiet wykazujących jej objawy otrzymuje diagnozę, a jeszcze mniej – jakiekolwiek leczenie.

Pojawiające się dowody naukowe dotyczące biologii depresji poporodowej wskazują, że zaburzenie to różni się neurobiologicznie i biochemicznie od innych ciężkich zaburzeń nastroju. Jest wynikiem gwałtownych zmian hormonalnych związanych z ciążą i porodem. Badania wykazały, że poziomy progesteronu oraz związanego z nim allopregnanolonu (neuroaktywnego steroidu, naturalnego metabolitu progesteronu) znacznie rosną w trakcie ciąży, a następnie gwałtownie spadają po porodzie. Niektóre kobiety są szczególnie wrażliwe na ten spadek, co może zaburzyć funkcjonowanie obwodów neuronalnych regulujących nastrój i osłabić zdolność do radzenia sobie ze stresem związanym z macierzyństwem. Zuranolon został opracowany właśnie po to, aby tę zmianę zrównoważyć.

Rośnie również wiedza na temat neurobiologii depresji poporodowej, wskazując na możliwości wcześniejszego i wiarygodniejszego wykrywania zaburzenia. Wielu specjalistów liczy, że identyfikacja biomarkerów prognozujących rozwój choroby – wraz z dostępnością nowego leku – pomoże zmazać z tego schorzenia piętno i sprawi, że zarówno pracownicy medyczni, jak i pacjentki przestaną postrzegać je jako oznakę osobistej porażki czy niekompetencji rodzicielskiej. „To poważna choroba psychiczna – podkreśla Kristina Deligiannidis, psychiatra z Feinstein Institutes for Medical Research w Northwell Health w stanie Nowy Jork, specjalizująca się w zdrowiu reprodukcyjnym. – Chcemy po prostu wzmocnić kobiety i zachęcić je, by szukały pomocy."

Wyzwania jednak pozostają. Koszt dwutygodniowego cyklu terapii zuranolonem wynosi niemal 16 tys. dolarów, co budzi obawy dotyczące dostępności leczenia – zwłaszcza w kontekście zasad refundacji przez ubezpieczycieli oraz nadchodzących ograniczeń kwalifikacji do Medicaid pokrywającego koszty około 40% porodów w Stanach Zjednoczonych. Naukowcy wciąż też próbują ustalić, dlaczego lek nie działa u wszystkich kobiet. „Nie każda osoba, która go przyjmuje, doświadczy spektakularnej remisji" – mówi Samantha Meltzer-Brody, psychiatra i założycielka programu psychiatrii okołoporodowej na University of North Carolina School of Medicine w Chapel Hill. Mimo to uważa ten lek za przełom. „U ponad połowy pacjentek może on działać wyjątkowo skutecznie i w dodatku szybko – podkreśla. – To zmienia zasady gry."

OD STULECI MEDYCYNA ZMAGA SIĘ z próbą pełnego zrozumienia przyczyn i konsekwencji depresji poporodowej. Opisy tego zjawiska sięgają starożytnej Grecji: ówcześni lekarze wspominali o kobietach, które po porodzie wykazywały objawy obniżonego nastroju, a nawet psychozy. W średniowieczu uważano, że świeżo upieczone matki cierpiące na depresyjne symptomy były opętane przez demony lub zmagały się z nierównowagą żółci bądź innych płynów ustrojowych. Zaburzenia nastroju poporodowego wielokrotnie klasyfikowano w szerokich, nieprecyzyjnych kategoriach, takich jak melancholia, mania czy nerwica, co nie pomagało leczeniu pacjentek.

Nawet współcześnie objawy te są niekiedy bagatelizowane jako „baby blues" – krótkotrwałe wahania nastroju dotykające większość młodych matek i ustępujące zwykle w ciągu kilkunastu dni. Tymczasem depresja poporodowa jest bardziej intensywna i długotrwała. Może prowadzić do głębokiego smutku i rozpaczy, zaburzając kluczową więź między matką a dzieckiem, a jej skutki potrafią rezonować przez pokolenia. Co roku w USA doświadcza jej około 500 tys. kobiet. Około 30% z nich zmaga się z objawami jeszcze rok po porodzie, a u części mogą one utrzymywać się nawet przez 11 lat.

Mimo tak dużej skali zjawiska depresja poporodowa nie jest formalnie uznana za odrębną jednostkę chorobową.

Marla Broadfoot jest niezależną dziennikarką naukową mieszkającą w Karolinie Północnej. Ma doktorat z genetyki i biologii molekularnej i jest wykładowczynią afiliowaną na University of North Carolina w Chapel Hill. Jej reportaż o nowym rodzaju tabletki przeciwbólowej ukazał się w „Scientific American" we wrześniu 2024 roku (Jak wygrać walkę z bólem, „Świat Nauki" 11/2024).

eprasa.pl 75141bef1a

Leos w końcu odczuła ulgę w depresji poporodowej dzięki nowemu lekowi – zuranolonowi; poprawę poczuła zaledwie w kilka dni po przyjęciu pierwszej dawki.

W klasyfikacji DSM – podstawowym systemie diagnostycznym psychiatrii – pojawiła się dopiero w 1994 roku i została opisana jedynie jako podtyp depresji ciężkiej. W najnowszym pełnym wydaniu DSM-5 z 2013 roku nadal znajduje się w kategorii „epizody ciężkiej depresji", z adnotacją „z początkiem okołoporodowym". Trzy dodatkowe słowa odzwierciedlają dowody, że niemal połowa kobiet doświadcza pierwszych objawów już w trakcie ciąży, a nie dopiero po porodzie.

Ponieważ depresja poporodowa została połączona z depresją ogólną, obie były przez lata leczone identycznie. Terapia polegała głównie na stosowaniu tradycyjnych antydepresantów, takich jak selektywne inhibitory wychwytu zwrotnego serotoniny (SSRI) czy inhibitory wychwytu zwrotnego serotoniny i noradrenaliny. Leczenie to opiera się na założeniu, że depresja wynika z obniżonego poziomu neuroprzekaźników – takich jak serotonina i noradrenalina – regulujących nastrój. Leki te mają na celu podniesienie ich stężenia w mózgu.

Jednak w ostatnich dekadach naukowcy zaczęli dostrzegać, że skupienie się wyłącznie na tych zaburzeniach chemicznych pomija inne czynniki stojące u podłoża depresji poporodowej – w tym genetykę, stany zapalne, zmiany hormonalne i neuroplastyczność, czyli zdolność mózgu do adaptacji i tworzenia nowych połączeń.

Część badaczy podejrzewała, że istotną rolę odgrywają wahania hormonów takich jak estrogen i progesteron – nazywanych neurosteroidami, ponieważ działają w mózgu. Kiedy jednak zespoły badawcze zaczęły analizować poziomy różnych hormonów i neurosteroidów, nie zauważyły konsekwentnych różnic, które tłumaczyłyby, dlaczego tylko niektóre kobiety rozwijają depresję.

Przełom przyszedł około 17 lat temu, gdy Jamie Maguire, neurobiolożka z Tufts University, natrafiła na nietypowe zachowania u myszy, które właśnie urodziły młode. Jej obserwacja pozwoliła połączyć wcześniejsze tropy. Maguire była wówczas doktorantką na University of California w Los Angeles, gdzie badała tzw. padaczkę katamenialną – schorzenie, w którym napady drgawkowe nasilają się w określonych fazach cyklu miesiączkowego. Interesowało ją, czy neurosteroidy mogą chronić przed tymi napadami. Wiadomo było, że niektóre neurosteroidy tłumią aktywność mózgu, wzmacniając działanie neuroprzekaźnika GABA, który hamuje neurony i ogranicza ich pobudliwość.

eprasa.pl 75141bef1a

Maguire zmodyfikowała genetycznie myszy, zmieniając strukturę receptorów GABA, co uniemożliwiało ich prawidłową reakcję na ten neuroprzekaźnik. Pozbawione takiego „hamulca" neurony stawały się nadmiernie pobudliwe – stan sprzyjający napadom drgawkowym.

Jednak gdy Maguire spróbowała rozmnożyć te zmodyfikowane myszy, zauważyła coś niespodziewanego: nowe matki wykazywały skrajnie zaburzone zachowania macierzyńskie – u gryzoni przypominające objawy depresji.

„One rodzą normalnie, ale w okresie poporodowym przestają opiekować się potomstwem i wiele młodych umiera z powodu zaniedbania" – mówi Maguire. Do momentu porodu myszy wydawały się całkowicie zdrowe. „To naprawdę coś, co zachodzi właśnie w trakcie ciąży i okresu poporodowego, i wywołuje te nieprawidłowości behawioralne" – wyjaśnia. Kiedy Maguire podała myszom związek przywracający ich zdolność reagowania na sygnały neurosteroidowe, zachowywały się jak typowe mysie matki, a więcej młodych przeżywało.

To odkrycie zapoczątkowało falę badań nad tym, jak neurosteroidy wpływają na podatność na depresję poporodową, a także doprowadziło do powstania nowej teorii wyjaśniającej, w jaki sposób poród może wywołać zaburzenia nastroju. W czasie ciąży poziomy neurosteroidów wzrastają do wartości ekstremalnie wysokich – nawet stukrotnie wyższych niż w typowym cyklu menstruacyjnym – pomagając organizmowi przygotować się na fizjologiczne i psychiczne wymagania macierzyństwa. Maguire wykazała, że aby poradzić sobie z tym hormonalnym zalewem, mózg redukuje liczbę receptorów GABA w określonych obszarach. Ta adaptacja zapobiega uciążliwym, a czasem niebezpiecznym objawom, takim jak nadmierna senność. Jednak po porodzie poziomy tych hormonów gwałtownie spadają, pozostawiając mózg w stanie niestabilnej równowagi.

Zazwyczaj komórki nerwowe wykrywają tę zmianę i w ciągu kilku tygodni ponownie zwiększają liczbę receptorów – wszystko wraca do normy. Ale „jeśli nie uda się odzyskać tych receptorów, pojawia się podatność na zaburzenia nastroju", mówi Maguire.

Ta podatność wynika z rozregulowania układu reakcji na stres, znanego jako oś podwzgórze–przysadka–nadnercza (*hypothalamic-pituitary-adrenal,* HPA). Kiedy organizm wykrywa stres, uruchamia kaskadę sygnałów: podwzgórze wysyła komunikat do przysadki, która następnie instruuje nadnercza, by uwolniły kortyzol, a później adrenalinę – hormony odpowiedzialne za reakcję „walcz albo uciekaj". Maguire wskazuje, że reakcja ta jest zwykle osłabiona w czasie ciąży i tuż po porodzie z powodu wzrostu poziomu neurosteroidów oraz działania GABA. Substancje te hamują aktywację osi HPA, umożliwiając matce spokojne, bezpieczne nawiązanie więzi z dzieckiem. Lecz jeśli to zahamowanie utrzymuje się zbyt długo, zaczynają pojawiać się objawy depresji poporodowej.

Badania obrazowe mózgu wskazują, że leczenie neurosteroidami może przywracać prawidłową komunikację między różnymi szlakami nerwowymi oraz sieciami, które je łączą, umożliwiając mózgowi matki adekwatne reagowanie na stres. „Uważamy, że antydepresyjne działanie tych neurosteroidów polega na zdolności do swoistego zresetowania stanów sieciowych" – mówi Maguire.

KILKA LAT PO STWORZENIU przez Maguire pierwszych modeli myszy o zachowaniu przypominającym depresję, neurobiolog i menedżer farmaceutyczny Steve Paul współzałożył firmę Sage Therapeutics, aby opracowywać leki neurosteroidowe na zaburzenia mózgu. Paul wcześniej był dyrektorem naukowym National Institute of Mental Health, gdzie wykazał, że neurosteroid allopregnanolon wycisza nadmiernie aktywne neurony, modulując ich receptory GABA. Allopregnanolon wydawał się obiecującym sposobem kontrolowania aktywności neuronów.

W 2012 roku Sage Therapeutics rozpoczęło badania kliniczne nad syntetyczną formą allopregnanolonu – breksanolonem, podawanym pacjentkom dożylnie. Firma, współpracując z zewnętrznymi badaczami, takimi jak Meltzer-Brody z UNC, prowadziła wstępne badania nad leczeniem drżenia samoistnego oraz depresji poporodowej. W jednym niewielkim badaniu Meltzer-Brody zastosowała u czterech kobiet z ciężką depresją poporodową 60-godzinną infuzję breksanolonu. Eksperyment nie miał grupy placebo, przez co trudno było jednoznacznie ocenić skuteczność leczenia. Mimo to „wyniki tego badania były po prostu oszałamiające", mówi Deligiannidis, która nie brała udziału w tym etapie prac. U każdej z czterech kobiet nastąpiła tak znacząca poprawa, że nie spełniały już kryteriów klinicznej depresji.

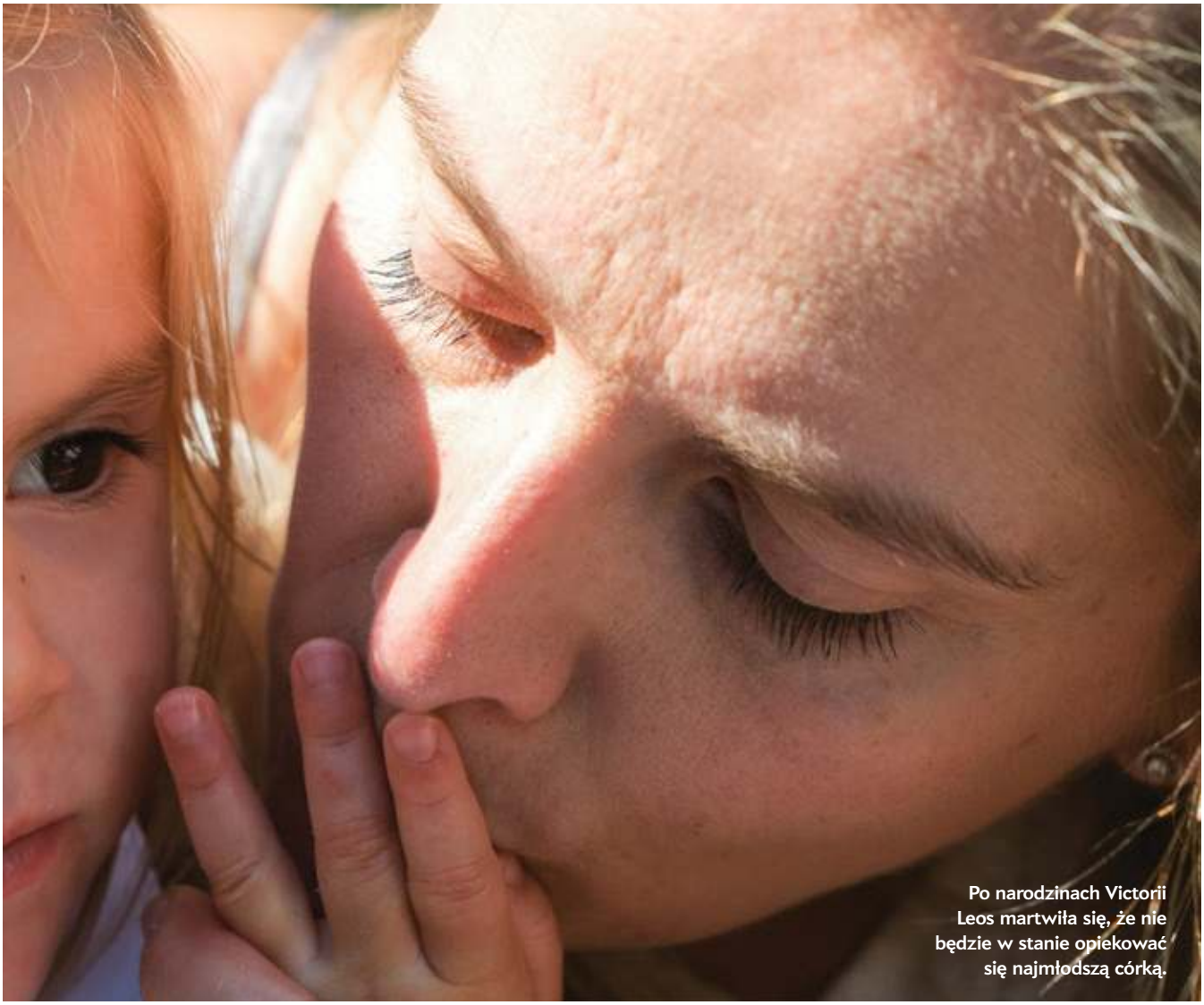
Następnie przeprowadzono trzy duże, kontrolowane placebo badania kliniczne, każdym kierowała Meltzer-Brody. W sumie 267 kobiet z depresją poporodową otrzymało breksanolon lub placebo. Większość kobiet leczonych breksanolonem osiągnęła kliniczną poprawę – co najmniej 50-procentową redukcję wyników w skali Hamiltona. Nawet przy silnym efekcie placebo – typowym w badaniach nad depresją – wyniki były imponujące. W jednym z badań z wysoką dawką breksanolonu 61% pacjentek weszło w remisję, w porównaniu z 38% w grupie placebo.

Ostatecznie doprowadziło to do zatwierdzenia breksanolonu przez FDA w marcu 2019 roku jako pierwszej farmakoterapii specyficznie wskazanej w depresji poporodowej. Obraz nie był jednak jednoznacznie pozytywny. Badania wykazały, że lek może powodować zawroty głowy, senność, a w niektórych przypadkach nawet utratę przytomności. Z tego powodu terapia wymagała stałego nadzoru medycznego, co tworzyło barierę emocjonalną i finansową dla wielu pacjentek. „Muszą zgłosić się do kliniki i spędzić tam 60 godzin na infuzji – mówi Benjamin Bruno, wiceprezes ds. rozwoju klinicznego w firmie Lipocine. – Ten lek działa świetnie, ale nikt go nie stosuje, bo jest podawany dożylnie".

Michael Quirk, były dyrektor naukowy Sage Therapeutics, mówi, że firma zdawała sobie sprawę, iż najlepszym rozwiązaniem byłby lek doustny. Problem polegał jednak na tym, że naturalny allopregnanolon, aktywny składnik breksanolonu, ma bardzo niską biodostępność doustną – do krwiobiegu trafia mniej niż 5%. Naukowcy dokonali więc modyfikacji cząsteczki, tworząc nowy związek, który zachował właściwości modulujące GABA, ale mógł być skutecznie podawany w formie pigułki.

Tak powstał zuranolon – nie jako „doustna wersja breksanolonu", lecz całkowicie nowa cząsteczka chemiczna. „To zupełnie nowy związek – zanim chemicy Sage go stworzyli, nie istniał nigdzie na świecie" – mówi Quirk. Nowa molekuła działała. W jednym badaniu 153 kobiety z ciężką depresją poporodową zostały losowo przydzielone do grupy otrzymującej zuranolon lub placebo przez 14 dni. Ich początkowy wynik w skali Hamiltona wynosił około 28 punktów (na 52). Po zakończeniu leczenia grupa przyjmująca zuranolon spadła do średnio dziewięciu punktów, podczas gdy w grupie placebo wynik wynosił około 14. Efekt antydepresyjny był szybki – poprawa pojawiała się już po trzech dniach – i utrzymywał się nawet wtedy, gdy lek nie był już obecny w organizmie.

eprasa.pl 75141bef1a



Po narodzinach Victorii Leos martwiła się, że nie będzie w stanie opiekować się najmłodszą córką.

Deligiannidis, która kierowała badaniem, mówi, że nigdy nie zapomni tej transformacji. Wspomina, że wiele kobiet miało trudności z wykonaniem podstawowych czynności – umyciem zębów, wzięciem prysznica, a nawet wstaniem z łóżka. Nie miały apetytu, często funkcjonowały dzięki kawie, aby mieć siłę opiekować się dzieckiem. „Niektóre uczestniczki badania chciały umrzeć; ich poczucie beznadziei było tak głębokie, że wierzyły, iż są ciężarem dla swojej rodziny" – mówi. Po leczeniu u wielu tych pacjentek myśli autodestrukcyjne zniknęły. Ten lek „może ratować życie".

FDA zatwierdziła zuranolon latem 2023 roku – tuż przed tym, jak Leos usłyszała, że wyczerpały się możliwości jej leczenia. Bała się przyjmować lek, który dopiero wszedł na rynek, i obsesyjnie analizowała ulotkę. „Czytałam ją od początku do końca wiele razy – o działaniach niepożądanych i dawkowaniu" – wspomina. Zawroty głowy i senność były do zaakceptowania. Lek pozwalał jej wreszcie porządnie przespać noc. „Wcześniej budziłam się w środku nocy z lękiem, a potem nie mogłam zasnąć" – mówi.

American College of Obstetricians and Gynecologists obecnie rekomenduje zuranolon jako jedną z opcji terapeutycznych. Camille Meehan, ginekolożka-położniczka z Tulsy w stanie Oklahoma, mówi, że większość pacjentek z depresją poporodową, które trafiają pod jej opiekę, prezentuje przypadki o nasileniu od umiarkowanego do ciężkiego – kobiety z łagodną depresją często nie zgłaszają się po pomoc medyczną. Meehan oferuje pacjentkom zarówno zuranolon, jak i tradycyjne antydepresanty z grupy SSRI, omawiając ryzyka i korzyści każdego rozwiązania. Na przykład SSRI potrzebują od czterech do sześciu tygodni, by osiągnąć pełen efekt terapeutyczny, podczas gdy zuranolon często działa w ciągu kilku dni. Pełny cykl leczenia zuranolonem trwa dwa tygodnie. Szybkość działania jest atrakcyjna. „Trudno nie stosować go jako terapii pierwszego wyboru, kiedy wiadomo, że matka jest w stanie, który może szybko się zaostrzyć" – mówi Meehan. Jednak – podkreśla – doświadczenia pacjentek z tym nowym lekiem bywają bardzo zróżnicowane. U niektórych obserwuje się spektakularną poprawę, u innych jedynie umiarkowane lub krótkotrwałe korzyści. Część kobiet przerywa terapię wcześniej z powodu działań niepożądanych, takich jak senność.

W badaniach klinicznych około 60% pacjentek odnotowało istotną redukcję objawów depresyjnych. (Dla porównania: tradycyjne SSRI działają u około 50–60% osób z innymi typami depresji.) Około 16% zmniejszyło dawkę z powodu skutków ubocznych, a około 4% całkowicie odstawiło lek. Obecnie nie ma wiarygodnego

eprasa.pl 75141bef1a

sposobu przewidzenia, które pacjentki odpowiedzą na leczenie i dlaczego, choć Meltzer-Brody zauważa, że zróżnicowane rezultaty sugerują działanie różnych, odmiennych mechanizmów biologicznych. „Myślę, że zaczynamy rozumieć, iż nie istnieje jeden typ depresji poporodowej – najprawdopodobniej istnieje wiele różnych postaci – mówi. – To z kolei wskazuje, jak ważne są dalsze badania i rozwój."

Zuranolon może wyznaczać początek nowej generacji leków na depresję poporodową, choć firm zaangażowanych w ten obszar jest niewiele, a finansowanie ograniczone. Lipocine na przykład wykorzystuje opatentowaną technikę lipidową do opracowania nowych doustnych wersji starszego leku – breksanolonu. Z kolei tajwańska firma TWi Biotechnology pracuje nad NORA520, doustnym prolekiem, który w organizmie jest przekształcany w breksanolon.

JEDNAK NAWET MIMO DOSTĘPNOŚCI tabletki na depresję poporodową – i kolejnych leków, które są już blisko wprowadzenia – wiele kobiet wciąż będzie cierpieć. Dlatego naukowcy poszukują biomarkerów, które pozwoliłyby identyfikować kobiety najbardziej zagrożone oraz przewidywać, kto najprawdopodobniej odniesie korzyści z nowych terapii. Na przykład psychiatryczki reprodukcyjne i wieloletnie współpracowniczki – Jennifer L. Payne z University of Virginia oraz Lauren M. Osborne z Weill Cornell Medicine w Nowym Jorku – analizowały poziomy różnych neuroaktywnych steroidów, powiązanych z progesteronem, takich jak allopregnanolon, aby sprawdzić, jak wiążą się one z ryzykiem depresji poporodowej. Odkryły, że kobiety, u których rozwinęło się to zaburzenie, wykazywały charakterystyczne wzorce hormonalne w trzecim trymestrze ciąży. Ich stosunek pregnanolonu do progesteronu był niższy niż u kobiet, u których choroba się nie pojawiła, a stosunek izoallopregnanolonu do pregnanolonu był wyższy.

Payne przyznaje, że opracowanie testu opartego wyłącznie na poziomach krążących we krwi neurosteroidów będzie trudne. Poziomy tych hormonów naturalnie się wahają, a różnice zazwyczaj ujawniają się jako tendencje obserwowane na poziomie grup, a nie jednoznaczne sygnały ostrzegawcze u indywidualnych pacjentek. Niemniej wyniki świadczą, że jeszcze przed pojawieniem się objawów psychicznych zachodzi zmiana biologiczna. I prowadzą do kluczowego pytania: czy sygnały we krwi rzeczywiście odzwierciedlają to, co dzieje się w mózgu?

Tu pojawia się nowsza generacja biomarkerów – oparta na pęcherzykach zewnątrzkomórkowych (*extracellular vesicle,* EV), czyli mikroskopijnych pęcherzykach uwalnianych przez komórki, które przenoszą materiał genetyczny, taki jak mRNA, oraz inne cząsteczki w całym organizmie. Ponieważ część tych mRNA pochodzi z ośrodkowego układu nerwowego, EV stanowią potencjalne „okno" pozwalające zobaczyć to, co dzieje się w mózgu matki. Sarven Sabunciyan, neurobiolożka z Johns Hopkins University, odkryła, że zawartość mRNA w EV krążących we krwi kobiet, u których rozwinęła się depresja, ulegała znaczącym zmianom w czasie ciąży i po porodzie. W szczególności stwierdziła niedobór mRNA zaangażowanych w autofagię, czyli komórkowy system usuwania odpadów. „Autofagia jest zaburzona w chorobach neurodegeneracyjnych – mówi Sabunciyan. – Istnieją także dowody na jej rolę w zaburzeniach psychiatrycznych – nie zbadaliśmy tego wystarczająco głęboko, ale nasze dane właśnie na to wskazują." Sabunciyan jest optymistką: uważa, że testy wykorzystujące biomarkery oparte na EV zostaną wdrożone w ciągu dekady.

W bliższej perspektywie obiecujące wskazówki daje epigenetyka. Zmiany epigenetyczne – takie jak metylacja DNA – modyfikują ilość białek wpływających na reakcję stresową organizmu. Zespół kierowany przez Payne i Osborne zidentyfikował zmiany metylacji DNA w dwóch genach – *HP1BP3* oraz *TTC9B* – które wydają się przewidywać, u kogo rozwinie się depresja poporodowa. Nieprzypadkowo oba geny powiązane są z wrażliwością neuronów na estrogen, a tym samym na zmiany hormonalne związane z reprodukcją.

CAŁA TA WIEDZA BIOLOGICZNA pomaga przekształcić postrzeganie depresji poporodowej – z nieuchronnego emocjonalnego kryzysu w stan możliwy do leczenia, o wyraźnych podstawach neurobiologicznych. Jednak wraz z pojawieniem się zuranolonu pojawiły się też obawy, że ubezpieczyciele będą oporni wobec terapii kosztującej 8 tys. dolarów tygodniowo, czyniąc leczenie dla wielu kobiet niedostępnym. Od tego czasu jednak wszyscy główni prywatni ubezpieczyciele wprowadzili formalne zasady refundacji i większość pokrywa koszty bez nadmiernych ograniczeń. To samo dotyczy stanowych programów Medicaid. Program pomocy finansowej producenta zapewnia lek bezpłatnie lub po obniżonej cenie pacjentkom spełniającym kryteria.

Mimo to kilka stanów – w tym Alabama, Alaska, Missisipi i Karolina Północna – wymaga, aby pacjentki najpierw spróbowały innych antydepresantów i wykazały, że te metody zawiodły, zanim otrzymają refundację na zuranolon. W wielu miejscach nadal obowiązuje tzw. uprzednia zgoda (prior authorization). Wielu lekarzy twierdzi, że biurokratyczne procedury znacząco opóźniają leczenie. Meehan na przykład mówi, że proces zatwierdzania jest szczególnie uciążliwy w przypadku niektórych ubezpieczycieli.

Systemowe nierówności również ograniczają dostęp – nie tylko do nowych leków, ale do wszelkich form opieki nad zdrowiem psychicznym w okresie poporodowym. Wiele kobiet, zwłaszcza mieszkających na obszarach wiejskich, w społecznościach kolorowych lub bez stabilnego ubezpieczenia, napotyka poważne bariery: brak specjalistów, ograniczenia finansowe, a także stygmat związany z depresją poporodową, który często powstrzymuje je przed szukaniem pomocy.

Jednak według Meehan jeśli tendencja postrzegania depresji poporodowej jako choroby biologicznej się utrzyma, byłby to ogromny postęp". Dodaje, że nowe metody diagnozowania i leczenia mogą stanowić punkt wyjścia do rozmów z kobietami, które czują wstyd lub dyskomfort związany z tym, co przeżywają. „Pozwoli nam to poprowadzić rozmowę w nieco innym kierunku."

Leos mówi, że w swojej pracy jako pielęgniarka na oddziale intensywnej terapii noworodka często rozpoznaje oznaki głębokiego smutku u kobiet, które spotyka. Znajduje czas, by usiąść i porozmawiać o tym, co naprawdę czują, pamiętając, że sama po narodzinach najmłodszego dziecka czuła zbyt wielkie zawstydzenie, by szczerze opowiadać o swoich emocjach.

Chce, by inne kobiety uczyły się na jej historii i otrzymywały pomoc, której potrzebują. „Depresja poporodowa okradła mnie z pierwszego roku życia mojego dziecka. Niewiele z tego okresu pamiętam – mówi. – Nie mam też prawie żadnych zdjęć, na których byłabym uśmiechnięta albo podrzucała dziecko w górę." Utraciła znaczną część przeszłości.

Ale – jak dodaje – ponieważ się nie poddała, ona i cała jej rodzina mają przyszłość. „I jestem za to bardzo wdzięczna." ■

Z ARCHIWUM

Misery in Motherhood. Katja Gaschler; „Scientific American Mind", luty 2008.

eprasa.pl 75141bef1a

Po przetrwaniu rodzinnego kryzysu Victoria, jej mama, jej brat Joseph oraz siostra Eileen (*od góry zgodnie z ruchem wskazówek zegara*) spędzają wspólnie czas w pobliżu swojego domu w Midlothian w Teksasie.

eprasa.pl 75141bef1a

eprasa.pt/76141bef1a

ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ

PLASTIKOWA STRATEGIA

Aby nadal czerpać zyski z wydobycia paliw kopalnych, firmy naftowe i gazowe zainteresowały się produkcją tworzyw sztucznych BETH GARDINER

eprasa.pl 75141bef1a

W 2018 ROKU, W OŚRODKU WYPOCZYNKOWYM W DUBAJU, położonym nad błękitnozielonymi wodami Zatoki Perskiej, Amin Nasser, prezes Saudi Aramco, stanął przed setkami przedstawicieli branży petrochemicznej, aby zaprezentować swoją wizję przyszłości największej na świecie firmy naftowej. Cele, które opisał, nie dotyczyły jednak głównie energii. Zamiast tego ogłosił plany zainwestowania 100 mld dolarów w rozwój produkcji plastiku i innych artykułów petrochemicznych.

Artykuł powstał przy wsparciu Pulitzer Center on Crisis Reporting oraz dzięki stypendium McGraw Fellowship for Business Journalism udzielonemu przez Craig Newmark Graduate School of Journalism przy City University of New York.

Nasser przewidywał, że wraz ze wzrostem liczby ludności na świecie i rosnącą siłą nabywczą, petrochemikalia – związki pochodne ropy naftowej i innych paliw kopalnych, z których wytwarza się nawet 80% tworzyw sztucznych i ich składników – będą napędzać niemal połowę wzrostu zapotrzebowania na ropę do połowy stulecia. Około 98% nowych tworzyw sztucznych powstaje z paliw kopalnych. „W sektorach takich, jak opakowania, motoryzacja i budownictwo, ogromny wzrost popytu na chemikalia otwiera przed nami fantastyczne możliwości" – powiedział.

W czasie, który upłynął od przemówienia Nassera w 2018 roku, Saudi Aramco – będące w lwiej części własnością rządu Arabii Saudyjskiej – nabyło większościowe udziały w krajowym konglomeracie petrochemicznym SABIC. Razem firmy zainwestowały w ogromne projekty produkcji tworzyw sztucznych w Chinach oraz zbudowały rafinerie od Korei Południowej po wybrzeże Teksasu. Na początku przyszłej dekady Aramco zamierza przetwarzać ponad jedną trzecią swojej ropy na produkty petrochemiczne – byłby to niemal trzykrotny wzrost w ciągu 15 lat.

Choć przemysł przedstawia swoje plany zwrócenia się ku plastikowi jako odpowiedź na zapotrzebowanie konsumentów na materiały będące kluczowym elementem współczesnego życia, wyraźnie działa tu też inny czynnik: w obliczu narastających zagrożeń związanych ze zmianą klimatu, które skłaniają świat do odchodzenia od paliw kopalnych, branża stawia na plastik, by chronić swoją rentowność. Zwiększenie produkcji plastiku i petrochemikaliów – jak stwierdził Nasser – ma „zapewnić pewny rynek zbytu dla przyszłej produkcji ropy Saudi Aramco." Jak zauważył jeden z analityków branżowych, strategia firmy „w szerszej perspektywie ma na celu uniknięcie sytuacji, w której baryłki ropy musiałyby pozostać w ziemi w miarę spadku zapotrzebowania na paliwa transportowe".

Nawet ExxonMobil przyznał, że rozpowszechnienie pojazdów elektrycznych prawdopodobnie zmniejszy zapotrzebowanie rynku motoryzacyjnego na ropę. W jednej ze swoich prognoz rynkowych firma, która już dziś jest największym na świecie producentem plastików jednorazowego użytku, zapewniła inwestorów, że jej plany zwiększenia produkcji produktów petrochemicznych o 80% do 2050 roku pomogą branży wydobywać i sprzedawać jeszcze więcej ropy niż obecnie.

Jednak rośnie też świadomość społeczna, że cały ten plastik przeznaczany na opakowania i setki innych towarów, od naprawdę niezbędnych po absurdalne, pociąga za sobą ogromne koszty: szkodliwy wpływ znajdujących się w nim substancji chemicznych, emisje zanieczyszczeń powstające podczas jego produkcji, góry odpadów powiększające się w miarę jego wyrzucania i wszechobecny mikroplastikowy drobiazg wnikający do naszych mózgów i docierający do najdalszych zakątków globu. Niektóre rządy zaczęły wprowadzać przepisy zakazujące używania pewnych produktów jednorazowego użytku, jednakże wysiłki na rzecz wprowadzenia dalej idących zmian zderzyły się ze ścianą, gdy w sierpniu 2025 roku doszło do załamania się międzyrządowych negocjacji w sprawie globalnego traktatu zwalczającego zanieczyszczenie plastikiem. Ponad 70 krajów dążyło do ograniczenia ilości produkowanego plastiku, chcąc w ten sposób zmniejszyć rzekę odpadów. Jednakże przemysł bardzo intensywnie lobbuje przeciwko takim limitom, argumentując, że zamiast tego należy postawić na lepsze systemy gospodarowania odpadami oraz recykling, mimo że obecnie takiemu recyklingowi jest poddawany niewielki procent plastiku, a mnóstwa jego rodzajów w ogóle nie da się przetwarzać tradycyjnymi metodami.

Firmy „wiedzą, że nie mogą zatkać palcem dziury w tamie", czyli zatrzymać transformacji energetycznej – mówi Judith Enck, była urzędniczka U.S. Environmental Protection Agency (EPA), a obecnie prezeska organizacji Beyond Plastics, grupy lobbystycznej działającej przy Bennington College. „Dlatego muszą znaleźć nowy gigantyczny rynek – ich wybór padł na plastik".

PRODUKCJA PLASTIKU ROŚNIE NIEPRZERWANIE od zakończenia II wojny światowej, kiedy to firmy zaczęły inwestować ogromne środki w poszukiwanie i promowanie cywilnych zastosowań materiału, którego militarne wykorzystanie – od nylonowych spadochronów po polietylenową izolację dla zestawów radarowych – okazało się nieocenione. Konsumenci pozytywnie zareagowali na lawinę nowych produktów i jednorazowych

Beth Gardiner jest autorką książki *Plastic Inc.: The Secret History and Shocking Future of Big Oil's Biggest Bet* (Avery, 2026).

Ross Woodhall/Getty Images/Image Source (*poprzednie strony*)

eprasa.pl 75141bef1a

Strefa zakładów chemicznych i petrochemicznych zwana „Aleją Raka" ciągnie się na długości 137 km wzdłuż Missisipi pomiędzy miastami Nowy Orlean i Baton Rouge w Luizjanie.

Giles Clarke/Getty Images

opakowań, a roczna produkcja plastiku wzrosła z 2 mln t w 1950 roku do ponad 500 mln t obecnie. W przełomowym badaniu z 2015 roku po raz pierwszy oszacowano całkowitą ilość plastiku wyprodukowanego na świecie do tego momentu. Uzyskano wynik 8,3 mld t. Roland Geyer, ekolog z University of California w Santa Barbara i współautor tamtego badania, szacuje, że do dziś łączna ilość wytworzonego plastiku przekroczyła już 10 mld t. Zespół Geyera ustalił, że około trzy czwarte całego tego plastiku stało się odpadem: 9% zostało poddane recyklingowi, 12% spalono, a 79% trafiło na wysypiska lub do środowiska. Jeśli obecne tendencje się utrzymają, do 2050 roku produkcja tworzyw sztucznych osiągnie poziom 1,1 mld t rocznie, a – jak mówi obrazowo Geyer – łączna ilość wytworzonego plastiku wystarczyłaby do pokrycia powierzchni USA warstwą dosięgającą kostek.

Obecnie połowa całej produkcji plastiku jest wykorzystywana w wyrobach jednorazowego użytku, które często są wyrzucane niemal natychmiast po zakupie. Według danych Agencji ONZ ds. Ochrony Środowiska (UNEP) co minutę na Ziemi kupowanych jest milion plastikowych butelek, a każdego roku zużywa się około 5 bln plastikowych toreb. W samym tylko 2016 roku Amerykanie zużyli ponad 560 mld plastikowych sztućców i innych jednorazowych artykułów gastronomicznych.

Oczywiście plastik nie występuje jedynie w jednorazowych opakowaniach. Jest nieodłącznym elementem współczesnego życia, szeroko stosowanym w budownictwie, przemyśle odzieżowym, elektronicznym i motoryzacyjnym. Odgrywa też kluczową rolę w służbie zdrowia jako materiał rękawiczek, strzykawek, rurek i worków infuzyjnych, nie wspominając nawet o sztucznych stawach, kończynach i sercach. Nie jest to ponadto jeden materiał: istnieją tysiące tworzyw sztucznych, z których każde ma własną kombinację substancji chemicznych nadających mu określone właściwości: różny stopień twardości, sprężystości lub przezroczystości. Według jednej z analiz w produkcji plastiku stosuje się 16 tys. substancji chemicznych, w tym rozmaite dodatki, takie jak stabilizatory, plastyfikatory, barwniki i środki zmniejszające palność. Zdaniem badaczy ponad 4 tys. z tych substancji stanowi zagrożenie dla zdrowia lub środowiska, a dla kolejnych 10 tys. brakuje danych dotyczących ich bezpieczeństwa.

Z założenia plastik nie ulega łatwo rozkładowi. Zamiast tego rozpada się na coraz mniejsze fragmenty – aż do cząstek o rozmiarach mierzonych w nanometrach, które zostały wykryte praktycznie wszędzie, gdzie tylko naukowcy podążyli ze swoją aparaturą. Są w powietrzu, którym oddychamy, w wodzie, którą pijemy, oraz w żywności, którą spożywamy. Wykryto je we krwi, nasieniu, mleku matki, szpiku kostnym i łożyskach. Naukowcy dopiero zaczynają w detalach badać, co taka wszechobecność mikroplastiku oznacza dla zdrowia ludzi i środowiska, ale pierwsze sygnały są niepokojące. Jedno z ostatnich badań wykazało obecność mikroplastiku w tkankach budujących ludzkie nerki, wątrobę i mózg, a w niedawnym badaniu mózgów 12 pacjentów z demencją stwierdzono większe nagromadzenie plastikowych mikrocząstek niż u osób, u których nie zdiagnozowano tej choroby. Inni naukowcy stwierdzili obecność mikroplastiku w blaszkach miażdżycowych tętnic szyjnych u prawie 60% przebadanych przez nich pacjentów; trzy lata później oceniono w tej grupie ryzyko

eprasa.pl 75141bef1a

zawału serca, udaru i zgonu. Wśród osób, u których stwierdzono obecność mikroplastiku, było 4,5 razy wyższe.

Plastik przyczynia się też do pogłębienia kryzysu klimatycznego. Produkcja i utylizacja wyrobów plastikowych przeznaczonych do jednorazowego użytku generuje więcej gazów cieplarnianych, niż emituje ich cała Wielka Brytania – podaje australijska organizacja badawcza Minderoo Foundation. Ślad węglowy obejmuje wydobycie ropy i gazu wykorzystywanych do produkcji plastiku, energochłonne procesy jego syntezy, a także emisje pochodzące ze spalania odpadów, które ostatecznie trafiają do pieców.

Plastik odmienił współczesną cywilizację, zapewniając nam niewyobrażalną niegdyś wygodę i w konsekwencji przenikając każdy zakątek globalnej gospodarki. Jednak konsekwencje tego utrzymującego się od dziesięcioleci plastikowego boomu nie zawsze są łatwe do zauważenia. Chciałam im się przyjrzeć z bliska, zaczynając od miejsc, w których ludzie żyją w cieniu zagrożeń związanych z produkcją plastiku.

GIGANTEM BRANŻY tworzyw sztucznych są dziś Chiny, obecnie największy na świecie producent takich materiałów. Wytwarzają one około jednej trzeciej obecnie produkowanego plastiku i znajdują się w trakcie ekspansji, której skala, jak stwierdziła Międzynarodowa Agencja Energetyczna (IEA), „przyćmiewa wszelkie historyczne precedensy". Według szacunków agencji, w ciągu pięciu lat, od 2019 do 2024 roku, Chiny zwiększyły produkcję etylenu i propylenu (dwóch kluczowych składników plastiku) o taką ilość, jaką łącznie produkują Europa, Japonia i Korea Południowa. Znaczna część plastiku, który Chiny produkują i kupują, jest następnie przetwarzana w ich niezliczonych fabrykach na towary eksportowane na cały świat. Napędzany taką produkcją przemysłową ogromny popyt tego kraju na gotowe tworzywa sztuczne i inne produkty petrochemiczne, w tym półprodukty do nowych typów plastików, utrzymałby globalny popyt na ropę naftową na wysokim poziomie, nawet gdyby sprzedaż paliw ropopochodnych przestała rosnąć.

Rewolucja związana z wykorzystaniem szczelinowania hydraulicznego do pozyskiwania paliw kopalnych ze skał łupkowych odmieniła w pierwszej dekadzie XXI wieku również amerykański krajobraz energetyczny, nakręcając plastikowy boom także w USA. Etan będący składnikiem gazu łupkowego zazwyczaj nie jest wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej lub ciepła. Dlatego koncerny paliwowe i petrochemiczne zainwestowały ponad 200 mld dolarów w budowę i rozbudowę amerykańskich zakładów, które wykorzystują ten związek, wraz z innymi produktami ubocznymi szczelinowania, do wytwarzania plastiku i innych produktów petrochemicznych. Ta fala inwestycji rozpoczętych w zeszłej dekadzie uczyniła z USA dominującego gracza w branży produkcji plastiku.

Sercem jego amerykańskiej produkcji jest wybrzeże Zatoki Meksykańskiej w Teksasie i Luizjanie, gdzie ogromne zakłady, oplecione plątaniną rur przypominających spaghetti, stoją obok potężnych cylindrycznych zbiorników w kompleksach petrochemicznych zajmujących tysiące hektarów. Wewnątrz tych gigantycznych kompleksów znajdują się piece zasilane gazem, które rozrywają cząsteczki etanu w procesie zwanym krakingiem etanu – to pierwszy etap przekształcania tego związku w plastik.

W kolejnym etapie złożonego, wielostopniowego procesu wysokie ciśnienie i niska temperatura przekształcają rozbite łańcuchy węgla i wodoru w etylen – jeden z fundamentów, na których opiera się przemysł petrochemiczny. Następnie katalizatory i kolejne dawki ciepła sprawiają, że etylen polimeryzuje w polietylen – najczęściej używany plastik na świecie. Typowa fabryka produkująca polietylen może w ciągu jednego dnia wytworzyć setki miliardów plastikowych granulek wielkości ziarna soczewicy. Ładowane na statki, pociągi i ciężarówki, trafiają do odbiorców, którzy przekształcają je w zabawki, torby, butelki i mnóstwo innych produktów.

Około 150 rafinerii i zakładów petrochemicznych skupiło się wzdłuż liczącego 137 km odcinka Missisipi wijącej się pomiędzy Baton Rouge a Nowym Orleanem. Na tym obszarze, na którym niegdyś dominowały plantacje trzciny cukrowej i który wciąż zamieszkują potomkowie niewolników, zakłady przemysłowe nadal sąsiadują z rozległymi polami trzciny cukrowej.

W słoneczne styczniowe popołudnie odwiedziłam Sharon Lavigne mieszkającą w parafii St. James, przy ulicy ciągnącej się wzdłuż Missisipi. Jej dom był łatwy do znalezienia – na dużej tablicy w ogrodzie widniał napis: „Formosa Plastics byłaby wyrokiem śmierci dla St. James", a litery wyglądały tak, jakby ociekały krwią. Lavigne wspomina, jak w dzieciństwie – w latach 50. i 60. – łowiła skorupiaki, zbierała jeżyny i orzechy pekan oraz jadła warzywa uprawiane przez jej ojca.

Teraz jej wnuki dostają wysypki od zabawy na zewnątrz, a gdy otwiera drzwi wejściowe, uderza ją czasem zapach, który – jak mówi – jest „tak silny, że aż zwala z nóg". Począwszy od lat 60. lokalizowano tu coraz więcej zakładów petrochemicznych, wśród których z czasem wyrosły i te, które produkują tworzywa sztuczne, takie jak polistyren i polichlorek winylu (PVC). Zakłady te wytwarzają także chemiczne półprodukty, w tym dichlorek etylenu, tlenek etylenu, diizocyjanianotoluen i metanol, wykorzystywane do produkcji poliestru, poliuretanów i PVC. Emisje z tych fabryk zawierają liczne substancje rakotwórcze, choćby chloropren, tlenek etylenu i formaldehyd.

W 2018 roku John Bel Edwards, ówczesny gubernator Luizjany, ogłosił, że tajwańska Formosa Plastics Group (FG) zbuduje ogromny kompleks o wartości 9,4 mld dolarów w odległości zaledwie trzech kilometrów od domu Lavigne. Miał się składać z 12 oddzielnych instalacji, w tym dwóch do krakingu etanu oraz zakładów produkujących polipropylen i kilka rodzajów polietylenu. Lavigne przeszła na emeryturę – wcześniej była nauczycielką edukacji specjalnej – i założyła organizację RISE St. James sprzeciwiającą się nowym inwestycjom petrochemicznym ze względu na zagrożenie dla zdrowia ludzi mieszkających w tej okolicy nazywanej przez niektórych „Aleją Raka" (Cancer Alley).

Na obszarze wokół planowanej inwestycji Formosy już teraz poziom rakotwórczych zanieczyszczeń jest większy niż na 99,6% terenów przemysłowych w USA – wykazała analiza przeprowadzona przez ProPublicę. Zgodnie z pozwoleniem zakład miałby prawo emitować ponad 5,5 tys. ton zanieczyszczeń atmosferycznych rocznie, w tym takie rakotwórcze substancje, jak benzen, formaldehyd, tlenek etylenu i 1,3-butadien. ProPublica oszacowała, że w przypadku niektórych mieszkańców ryzyko narażenia na kontakt z toksynami wzrosłoby trzykrotnie. „Już teraz umieramy, a jeśli Formosa tu przyjdzie, będziemy umierać jeszcze szybciej" – mówi Lavigne.

Formosa oświadczyła, że pomimo sprzeciwu aktywistów lokalne poparcie dla jej inwestycji jest silne, ponieważ zapewniłaby ona 1200 miejsc pracy. „Każde twierdzenie, że FG znacząco zwiększy „toksyczne emisje" w tym rejonie, jest niezgodne z prawdą" – mówi Janile Parks, rzeczniczka FG LA, amerykańskiego oddziału firmy. Jeśli fabryka powstanie, będzie działać

eprasa.pl 75141bef1a

w zgodzie z wszystkimi przepisami, zapewnia Parks. „Ochrona zdrowia, bezpieczeństwa i środowiska są naszymi priorytetami” – deklaruje.

Choć administracja Joe Bidena zaostrzyła limity dotyczące toksycznych zanieczyszczeń, takich jak chloropren i tlenek etylenu, egzekwowanie tych przepisów okazało się krótkotrwałe. Po objęciu urzędu w 2025 roku prezydent Donald Trump mianował dwóch byłych dyrektorów z branży chemicznej na kluczowe stanowiska w Agencji Ochrony Środowiska (EPA), a następnie podpisał proklamację gwarantującą ulgi dziesiątkom zakładów chemicznych. Masowe zwolnienia w tym roku znacznie uszczupliły zasoby kadrowe Agencji, która zamknęła swoje Biuro Sprawiedliwości Środowiskowej, utworzone w celu ochrony grup szczególnie narażonych na skutki zanieczyszczeń – często ubogich społeczności kolorowych, takich jak ta, w której żyje Lavigne. EPA ogłosiła również plany zamknięcia pionu badawczego zajmującego się analizą zagrożeń stwarzanych przez toksyczne substancje chemiczne.

Negując określenie „Aleja Raka” przemysł – wraz z niektórymi urzędnikami stanowymi i lokalnymi w Luizjanie – utrzymuje, że średnie wskaźniki zachorowań na nowotwory złośliwe w parafiach [w Luizjanie są odpowiednikiem hrabstw, czyli powiatów – przyp. red] położonych wzdłuż dolnego biegu Missisipi są zbliżone do średniej dla całego stanu. Co innego mówią jednak szczegółowe dane analizowane na poziomie obwodów spisowych – tak wynika z badań przeprowadzonych przez naukowców ze Szkoły Prawa przy Tulane University w Nowym Orleanie, reprezentującej społeczności walczące z zanieczyszczeniem środowiska. W ubogich i głównie czarnych dzielnicach stwierdzono, że w strefach o wyższym poziomie toksycznych zanieczyszczeń notuje się również większą zachorowalność na raka. Badacze oszacowali, że w ciągu dekady zanieczyszczenia przyczyniły się do zdiagnozowania dodatkowych 850 przypadków raka. „Te zakłady emitują substancje, które są doskonale znanymi truciznami i kancerogenami – mówi badaczka Kimberly Terrell, która wcześniej była członkinią zespołu naukowego z Tulane. – Wyniki potwierdzają to, co członkowie lokalnych społeczności mówili od samego początku.”

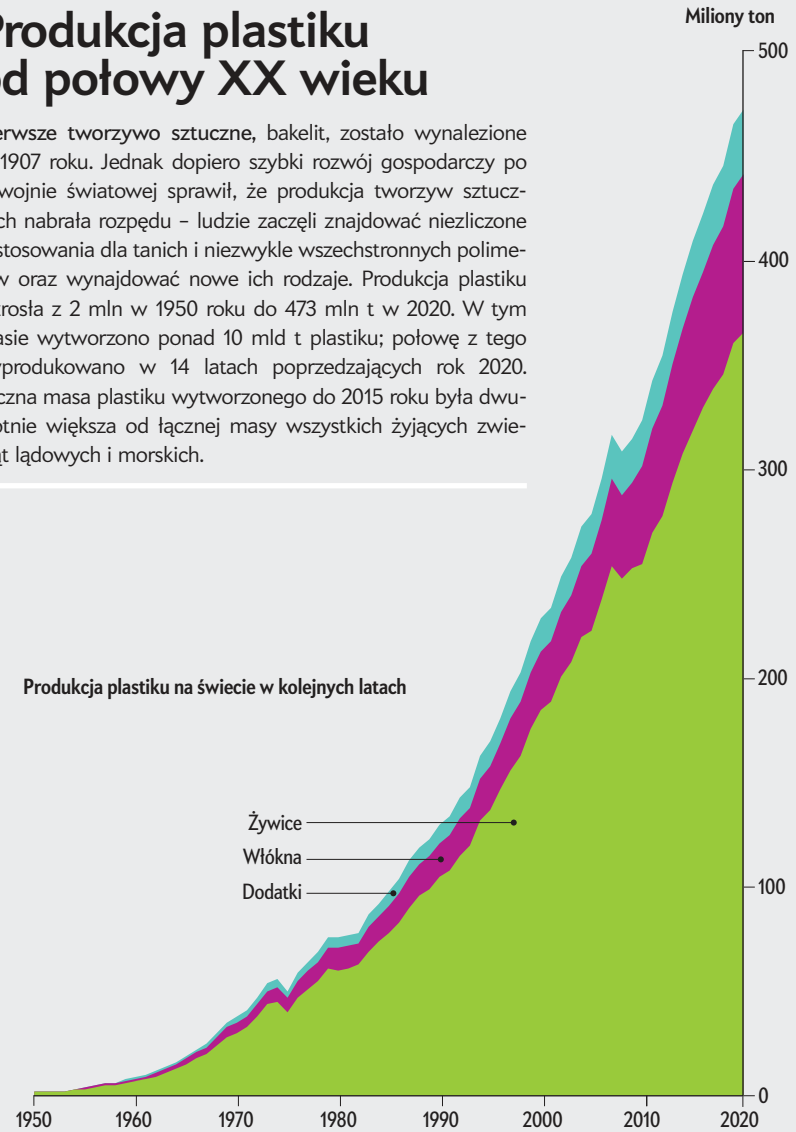
To właśnie to zagrożenie sprawiło, że Lavigne postanowiła sprzeciwić się ekspansji petrochemicznej w miejscu, w którym się wychowała, zamiast się stąd wyprowadzić. Kiedy po raz pierwszy usłyszała o planach Formosy, usiadła na ganku i – jak wspomina – zapytała Boga, czy powinna opuścić ziemię, którą jej dał. I wtedy On powiedział: nie. „Myślę, że moi przodkowie są szczęśliwi, że walczę” – mówi Lavigne.

ZNACZNA CZĘŚĆ PLASTIKU produkowanego nad dolną Missisipi i w innych regionach świata zajmujących się jego wytwarzaniem trafia na Globalne Południe. Ponieważ kraje bogate są już nasycone plastikowymi towarami i opakowaniami, branża postrzega kraje rozwijające się jako szczególnie obiecujący nowy rynek zbytu. Indonezja, gdzie zużycie opakowań jednorazowych błyskawicznie rośnie, jest jednym z tych krajów, w których branża tworzyw sztucznych pokłada wielkie nadzieje na rozwój i zarazem zagrożonych skutkami ubocznymi tego rozwoju. To również docelowy kierunek transportu ogromnych ilości zużytego plastiku, eksportowanego przez bogate państwa rzekomo w celu jego recyklingu.

Aby zobaczyć, gdzie naprawdę trafia część tego materiału, udałam się na obrzeża drugiego co do wielkości miasta Indonezji – Surabai. Tuż za jego granicami znajduje się Tropodo, urokliwa wioska o wąskich uliczkach, położona pośród bujnych, zielonych pól, znana z rodzinnych wytwórni tofu. W jednym z takich małych zakładów znajdującym się za miętowozielonym domem przy ścianach piętrzą się stosy skrawków plastiku. Gdy właściciel zakładu Muhammad Gufron wrzuca część z nich do dużego pieca, słychać charakterystyczne trzaski. Plastik służy tu jako paliwo, dzięki któremu wytwarza się parę służącą do podgrzewania kadzi z sojową masą

Produkcja plastiku od połowy XX wieku

Pierwsze tworzywo sztuczne, bakelit, zostało wynalezione w 1907 roku. Jednak dopiero szybki rozwój gospodarczy po II wojnie światowej sprawił, że produkcja tworzyw sztucznych nabrała rozpędu – ludzie zaczęli znajdować niezliczone zastosowania dla tanich i niezwykle wszechstronnych polimerów oraz wynajdować nowe ich rodzaje. Produkcja plastiku wzrosła z 2 mln w 1950 roku do 473 mln t w 2020. W tym czasie wytworzono ponad 10 mld t plastiku; połowę z tego wyprodukowano w 14 latach poprzedzających rok 2020. Łączna masa plastiku wytworzonego do 2015 roku była dwukrotnie większa od łącznej masy wszystkich żyjących zwierząt lądowych i morskich.



ŹRÓDŁO: „100 Years of Plastic: Using the Past to Guide the Future,” Chao Liu, Roland Geyer, Shanying Hu, arXiv:2411.13618 [physics.soc-ph]; 20.12.2024 (*dane*)

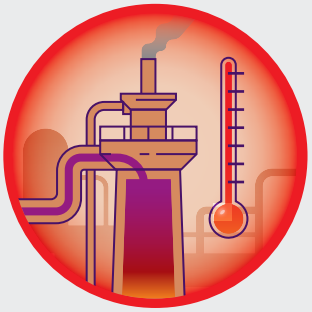
Infografika Jen Christiansen

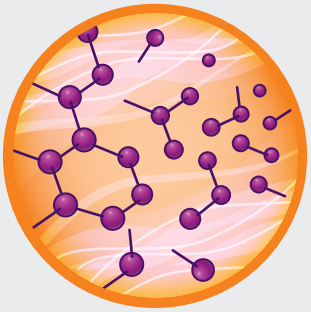
eprasa.pl 75141bef1a

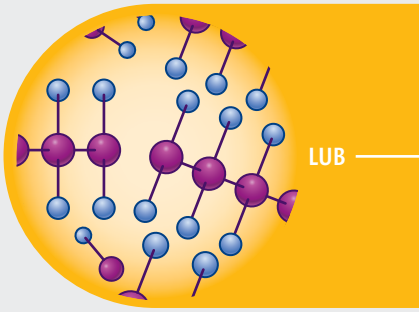
ETAPY PRODUKCJI I UTYLIZACJI TWORZYW SZTUCZNYCH

WYDOBYCIE ROPY I GAZU → PRODUKCJA TWORZYW SZTUCZNYCH

RAFINACJA I PRZETWARZANIE | KRAKING | POLIMERYZACA – Addycyjna





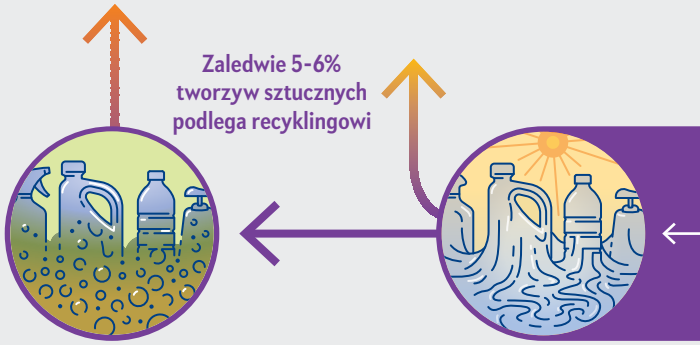


WYDOBYCIE
Gaz ziemny i ropa naftowa mogą być wydobywane za pomocą tradycyjnych odwiertów lub też poprzez szczelinowanie hydrauliczne (w skrócie *fracking*), które uwalnia paliwa kopalne wypełniające niewielkie szczeliny w skałach łupkowych na głębokości nawet 3 km. Dzięki podziemnym eksplozjom oraz potężnym strumieniom wody wtłaczanej pod ziemię pod wysokim ciśnieniem wraz z milionami ton piasku można dobrać się do złóż, które wcześniej były niedostępne, i pozyskać paliwa wraz z surowcami do produkcji plastiku.

RAFINACJA I PRZETWARZANIE
Ropa naftowa jest podgrzewana i kierowana do kolumny destylacyjnej, gdzie wznosi się w postaci pary, po czym ochładza się i skrapla. Składniki ropy zwane frakcjami, takie jak oleje napędowe, i benzyna, wykorzystywana zarówno w paliwach, jak i w produktach petrochemicznych, są wychwytywane na różnych wysokościach kolumny w zależności od temperatury wrzenia. W instalacjach do przetwórstwa gazu ziemnego następuje oczyszczenie surowego gazu i jego rozdzielenie, w tym na metan wykorzystywany do ogrzewania i produkcji energii oraz etan będący podstawowym surowcem w przemyśle petrochemicznym.

KRAKING
W instalacjach do krakingu parowego przetwarza się składniki pochodzące z ropy naftowej i gazu, takie jak nafta lekka, etan i butan. W temperaturach sięgających 815°C wiązania cząsteczkowe zostają rozerwane, w wyniku czego powstają związki chemiczne, takie jak etylen – gaz będący kluczowym elementem tworzyw sztucznych oraz wykorzystywany w farbach, płynach przeciw zamarzaniu, rozpuszczalnikach i wielu innych powszechnych produktach.

POLIMERYZACJA ADDYCYJNA
Polimeryzacja to proces łączenia ze sobą, za pomocą silnych i trwałych wiązań, małych cząsteczek zwanych monomerami w znacznie większe i bardziej złożone polimery. Polimeryzacja addycyjna – jak w przypadku łączenia cząsteczek etylenu w polietylen – nie daje produktów ubocznych i zwykle polega na dołączaniu kolejnych monomerów do końca coraz dłuższego łańcucha polimerowego. Proces ten jest inicjowany i kontrolowany za pomocą ciepła, wysokiego ciśnienia i katalizatorów chemicznych.



Chemiczne

Jak powstaje plastik

Istnieje wiele rodzajów tworzyw sztucznych – w tym polietylen, polipropylen, polistyren i polichlorek winylu (PVC) – oraz jeszcze więcej ich odmian, takich jak politereftalan etylenu (PET), powszechnie stosowany w butelkach na napoje, czy pianka polistyrenowa zwana popularnie styropianem. Procesy produkcji są złożone i różnią się między sobą, ale zazwyczaj polegają na rozrywaniu łańcuchów węgla i wodoru w związkach pochodzących z ropy lub gazu, a następnie ponownym ich łączeniu w jeszcze dłuższe łańcuchy – polimery. To właśnie ich długość odpowiada za elastyczność i wytrzymałość tworzyw. Proces uzupełniają dodatki chemiczne – często są to również pochodne ropy naftowej – wiążące się z węglowo-wodorowym szkieletem polimeru, nadając mu pożądane właściwości, takie jak kolor czy spężystość.

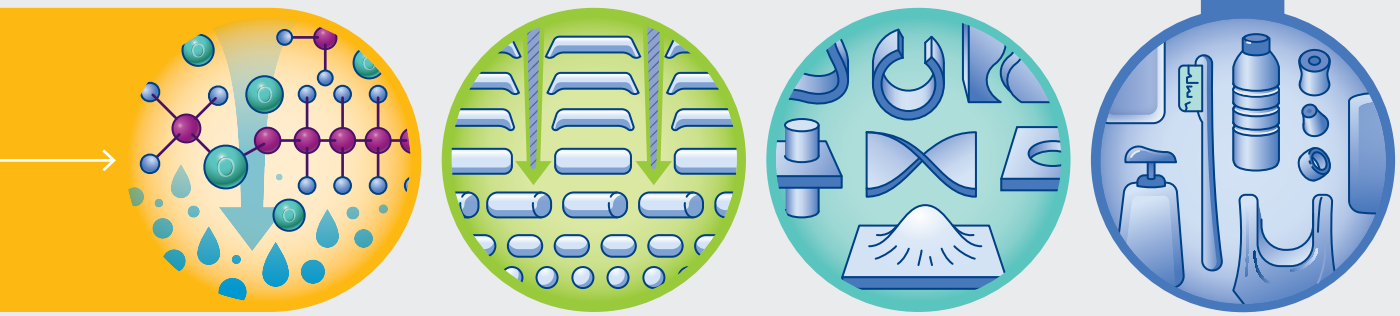
eprasa.pl 75141bef1a

Kondensacyjna

MODYFIKACJA I GRANULACJA

FORMOWANIE

UŻYCIE

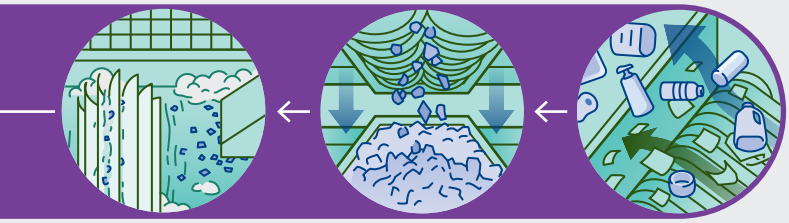


POLIMERYZACJA KONDENSACYJNA
W polimeryzacji kondensacyjnej różne typy monomerów łączą się ze sobą poprzez usunięcie niektórych cząsteczek, w czego wyniku powstaje produkt uboczny, na przykład woda. Proces ten zazwyczaj łączy większe i bardziej złożone monomery niż w przypadku polimeryzacji addycyjnej – przykładem jest produkcja nylonu. W obu typach polimeryzacji długość, struktura i rodzaj wiązań chemicznych łańcucha pomagają określić właściwości powstałego materiału.

ULEPSZANIE
Dodanie do polimeru kolejnych składników chemicznych, zwanych dodatkami uszlachetniającymi, pozwala jeszcze bardziej udoskonalić jego właściwości. Wśród nich znajdują się m.in. ftalany, które sprawiają, że plastik staje się bardziej elastyczny, ale jednocześnie mogą one szkodzić zdrowiu – zakłócać gospodarkę hormonalną, powodując przedwczesny poród czy zmniejszając płodność. Gotowy produkt może być oferowany pod postacią proszku, cieczy lub granulek.

FORMOWANIE
Producenci nadają granulkom lub innym postaciom plastiku ostateczny kształt. Tworzywa termoplastyczne są roztapiane, a następnie przekształcane w produkty lub opakowania za pomocą takich technik, jak wytłaczanie, formowanie wtryskowe czy druk 3D. Tworzywa sztuczne termoutwardzalne nie mogą zostać ponownie stopione po utwardzeniu. Sprzedaje się więc je w formie cieczy lub materiału plastycznego, który następnie utwardza się tylko raz w procesie zwanym sieciowaniem inicjowanym przez katalizatory, ciśnienie, ciepło lub promieniowanie.

WYKORZYSTANIE
Zastosowania plastiku są nadzwyczaj różnorodne – od butelek i toreb przez buty, odzież, materace, opony, rury i izolacje. Powleka się nim wnętrza papierowych kubków na kawę oraz stosuje w większości opakowań żywności. Plastik odgrywa również kluczową rolę w opiece zdrowotnej jako składnik rękawiczek, strzykawek, rurek, a nawet protez kończyn i stawów. Jednak wiele jego zastosowań wiąże się ze skrajnym marnotrawstwem – połowa plastiku służy do wytwarzania produktów jednorazowego użytku.



MYCIE | ROZDRABNIANIE | SORTOWANIE

Mechaniczne

RECYKLING LUB UTYLIZACJA
Przemysł często kładzie nacisk na recykling plastiku, ale logistyczne, techniczne i ekonomiczne wyzwania z tym związane są znacznie większe niż w przypadku łatwiejszych do przetworzenia materiałów, takich jak aluminium, tektura czy szkło. Od czasu, gdy Chiny przestały w 2018 roku przyjmować plastikowe odpady, i tak już niskie wskaźniki recyklingu spadły jeszcze bardziej, a coraz więcej plastiku trafia na wysypiska lub do spalarni w krajach rozwiniętych, które wcześniej wysyłały go do recyklingu za granicę.

RECYKLING | WYSYPISKO | SPALARNIA

ODNÓW LUB WYRZUĆ

ŹRÓDŁO: Roland Geyer (ekspert)

Infografika Nick Bockelman (ilustracje) i Jen Christiansen (wykres)

eprasa.pl 75141bef1a

– pracownicy mieszają ją, a następnie przekładają do drewnianych sit, gdzie masa twardnieje w bloki tofu. „To dobre i tanie – mówi Gufron. – Takie paliwo napędza wszystkie wytwórnie tofu w Tropodo."

Z wysokich kominów unosi się gęsty, czarny dym, niemal na pewno zawierający dioksyny, furany, rtęć i inne niebezpieczne substancje chemiczne powstające podczas spalania plastiku. Jaja kur, które dziobią w plastikowym popiele w Tropodo, zawierają toksyczne „wieczne chemikalia", takie jak polichlorowany bifenyl (PCB) i sulfonian perfluorooktanu (PFOS). Stwierdzono tu również drugi najwyższy poziom dioksyn kiedykolwiek wykryty w jajku w Azji (najwyższy stwierdzono w Wietnamie na terenie byłej amerykańskiej bazy wojskowej skażonej defoliantem Agent Orange z czasów wojny).

Indonezja od dawna zmaga się z problemem zanieczyszczenia plastikiem. W wielu regionach tego rozległego kraju brakuje zorganizowanego systemu odbioru odpadów, a gospodarstwa domowe muszą same pozbywać się śmieci. Badanie z 2020 roku wykazało, że kraj ten był największym na świecie źródłem niewłaściwie zagospodarowanych odpadów plastikowych. Jednak znaczną część tego problemu stanowią odpady sprowadzane z bogatych państw, w tym ze Stanów Zjednoczonych, które produkują więcej plastikowych odpadów niż jakikolwiek inny kraj na świecie.

Choć Amerykanie wyrzucają wiele swoich plastikowych butelek, kubków po jogurtach i innych produktów z tworzyw sztucznych do przeznaczonych na ten cel pojemników, w praktyce USA poddaje się recyklingowi zaledwie 5–6% plastiku. Proces ten zazwyczaj polega na rozdrabnianiu posegregowanego materiału, a następnie jego przetopieniu w celu uzyskania granulek, które producenci mogą ponownie wykorzystać. Jednak różne rodzaje plastiku muszą być przetwarzane oddzielnie, a dodatki takie, jak barwniki i plastyfikatory (wpływające na elastyczność tworzywa), mogą sprawić, że skuteczna segregacja stanie się niemal niemożliwa. Nawet niewielka ilość źle posegregowanego materiału może spowodować, że cała partia stanie się bezużyteczna. A poza tym w przeciwieństwie do aluminium, szkła czy kartonu, które można wielokrotnie poddawać recyklingowi, jakość plastiku szybko się pogarsza.

Nawet najłatwiejsze do recyklingu rodzaje plastiku – politereftalan etylenu (PET) i polietylen o wysokiej gęstości (HDPE), używane odpowiednio do produkcji butelek do napojów oraz pojemników na mleko – rzadko wracają na rynek jako nowe opakowania. Zamiast tego przetwarza się je na dywany, ubrania lub sztuczne drewno, czyli produkty, które nie nadają się do ponownego recyklingu. Dodatkowo brakuje bodźców ekonomicznych. Tworzywa odzyskane dzięki recyklingowi nie są w stanie konkurować ani ceną, ani jakością z nowym plastikiem, tanim i powszechnie dostępnym, a nierównowaga ta tylko się pogłębia, w miarę jak przemysł zwiększa produkcję, czyniąc nowy plastik jeszcze tańszym i dostępniejszym. Wszystko to sprawia, że ogromne ilości odpadów z plastiku trafiają na wysypiska lub do spalarni.

Poza tym USA każdego roku wysyłają w świat około 400 tys. ton plastiku, rzekomo w celu jego recyklingu. Chiny, które niegdyś przyjmowały znaczną część plastikowych odpadów ze świata, zakończyły ten proceder w 2018 roku z powodu obaw o zanieczyszczenie powietrza i wód spowodowane masowym wyrzucaniem i spalaniem śmieci. W rezultacie plastikowymi śmieciami zostały zalane kraje Azji Południowo-Wschodniej, w tym Indonezja. „W krótkim czasie pojawiło się wiele nowych wysypisk" – mówi Daru Setyorini, indonezyjska biolożka i działaczka społeczna. Uniesione przez wiatr torebki i opakowania zaplątywały się w gałęziach drzew rosnących wzdłuż rzek, piętrzyły przy drogach, lądowały na pustych działkach i były spalane w piecach, takich jak ten w fabryczce tofu Gufrona. Te pochodzące z importu odpady powiększały falę plastiku płynącą z lądu do mórz.

Jednakże Indonezja zmaga się też z rosnącą falą własnych odpadów plastikowych. Ilość opakowań sprzedawanych Indonezyjczykom rośnie w tempie 4–6% rocznie, a elastyczne opakowania plastikowe, trudne do recyklingu miękkie materiały używane w saszetkach, foliach, tubkach z pastą do zębów oraz w torebkach na przekąski i inne produkty spożywcze, zwiększają swój udział jeszcze szybciej, informuje Ariana Susanti z Indonezyjskiej Federacji Opakowaniowej reprezentującej firmy produkujące i wykorzystujące opakowania. Szczególnie popularne są saszetki – małe opakowania, w których umieszcza się niewielkie ilości rozmaitych produktów, od szamponu i detergentów po przyprawy. Są one powszechnie używane w krajach Globalnego Południa. Według jednej z analiz w 2023 roku wyprodukowano nieco ponad bilion takich saszetek, a prognozy przewidują, że w ciągu dekady ich roczna produkcja przekroczy 1,4 bln.

Setyorini obserwuje te zmiany od dziesięcioleci. Kiedy była uczennicą w latach 80. i 90., razem z matką kupowały warzywa zawinięte w gazetę i przynosiły na targ własne koszyki, słoiki i kanistry. Wraz z początkiem nowego tysiąclecia opakowania plastikowe zaczęły się stawać wszechobecne. „Było źle, ale nie tak źle, jak jest teraz" – mówi. Od tamtej pory trwa nieustanna kampania reklamowa przedstawiająca produkty opakowane w plastik jako nowoczesne, czyste i praktyczne. W efekcie ludzie zmienili sposób myślenia, a równocześnie firmy wyeliminowały alternatywne rozwiązania – tłumaczy Setyorini. „Dziś ludzie nie mają wyboru. Muszą kupować plastik" – mówi.

Setyorini i jej mąż, Prigi Arisandi, również biolog, od wielu lat badają wpływ plastiku na zdrowie ludzi i środowisko naturalne. Powołali do życia organizację pozarządową Ecoton zajmującą się badaniami i działaniami na rzecz ochrony środowiska. Prowadzą ją z biura położonego wśród drzew bananowych i tamaryndowców, około 45 min drogi od Surabayi. Odkryli mikroplastik w rzece Brantas, która dostarcza wodę milionom Indonezyjczyków, a także w ciałach ryb, krewetek i małży. Gdy analizowali próbki przysyłane im przez ludzi, drobne fragmenty plastiku znajdowali wszędzie – od gleby po mleko matki.

Indonezja od pewnego czasu zaostrza przepisy dotyczące importu plastikowych odpadów, a kulminacją było wprowadzenie w tym roku całkowitego zakazu ich sprowadzania. Pojawiają się obawy dotyczące przemytu oraz skuteczności w egzekwowaniu nowego prawa, jednakże – jak zgodnie przyznają Setyorini i inni działacze – ilość importowanych odpadów nienadających się do recyklingu, choć wciąż znaczna, jest istotnie mniejsza niż w szczytowym roku 2019. W indonezyjskim Ministerstwie Środowiska i Leśnictwa w Dżakarcie moim rozmówcą jest Novrizal Tahar, były dyrektor wydziału ds. gospodarki odpadami stałymi. Mówi mi, że jego kraj chce zredukować o 70% ilości plastiku trafiającego do mórz i ponad połowa drogi do tego celu już została pokonana. „To duże osiągnięcie" – podkreśla.

Setyorini przyznaje, że poprawa systemu gospodarowania odpadami jest ważna, ale uważa, że rząd Indonezji zbyt mocno koncentruje się na walce z plastikiem dopiero po jego wyrzuceniu, a zbyt mało uwagi poświęca nakłanianiu firm, poprzez zmiany w przepisach, do ograniczenia jego użycia. Ona i Arisandi zabierali na demonstracje manekiny

eprasa.pl 75141bef1a

Aktywista środowiskowy z prowincji Celebes Północny oczyszcza rezerwat namorzynowy z plastikowych odpadów opakowaniowych.

Basri Marzuki/Nur Photo via Getty Images

oblepione saszetkami, aby domagać się zaprzestania sprzedaży takich małych opakowań, a za ich stosowanie pozywali do sądu firmy produkujące żywność i dobra konsumpcyjne.

Zasadniczo wszystko, co nie prowadzi do przerwania niekończącego się cyklu ekspansji i akumulacji plastiku, uważa ona za błędne postępowanie. „Powinniśmy wrócić do czasów, gdy przynosiło się na targ własne torby i pojemniki wielokrotnego użytku" – mówi.

Ludzie wybierają jednorazowe produkty z plastiku nie tylko dlatego, że są one wygodne, ale także dlatego, że są tanie. A są tanie, ponieważ cena, którą płacą konsumenci, nie odzwierciedla ich rzeczywistego kosztu – wydatków na zarządzanie odpadami, szkód środowiskowych oraz wydłużającej się listy problemów zdrowotnych. Szybko rosnąca liczba badań dokumentujących te koszty zewnętrzne zaczęła przesuwać uwagę z zarządzania odpadami na ograniczanie ilości zużywanego plastiku.

Niektóre rządy zaczęły szukać sposobów na osiągnięcie tego ostatniego celu. Unia Europejska wprowadziła zakaz stosowania jednorazowych plastikowych sztućców, talerzy, mieszadełek i słomek. Najpóźniej od 2030 roku będzie też wymagała oddawania do recyklingu 90% plastikowych butelek oraz produkowania nowych butelek z plastiku pochodzącego w co najmniej jednej trzeciej z recyklingu. Nowe przepisy zabraniają też restauracjom udostępniania jednorazowych naczyń i sztućców klientom spożywającym posiłek na miejscu, a także nakładają wymóg, aby do 2030 roku co najmniej 40% plastikowych opakowań używanych do wysyłki towarów do konsumentów lub też pomiędzy firmami było wielokrotnego użytku.

W Stanach Zjednoczonych władze lokalne i stanowe – od Waszyngtonu D.C. po Honolulu – uchwaliły przepisy zakazujące używania niektórych jednorazowych produktów z plastiku lub też nakazujące, aby takie produkty nadawały się do recyklingu bądź kompostowania. Dobrze opracowane przepisy mogą przynieść realne efekty. Stan Nowy Jork wprowadził w 2020 roku zakaz używania plastikowych torebek na zakupy, a władze miasta Nowy Jork oszacowały, że w okresie 2017–2023 ilość takich torebek w odpadach zmniejszyła się o 68%. Inna analiza uwzględniająca zakazy używania plastikowych toreb w dwóch stanach i trzech dużych miastach wykazała, że nowe przepisy zapobiegły wykorzystaniu 6 mld torebek rocznie.

Kilka innych stanów, na przykład Maine i Kalifornia, wybrało odmienną drogę, wprowadzając prawo „o rozszerzonej odpowiedzialności producenta" (extended producer responsibility). Przepisy te zobowiązują producentów do współfinansowania programów recyklingu, aby pokrywali oni część kosztów zarządzania odpadami. Eksperci uważają, że takie ustawodawstwo nie tylko zmniejsza obciążenie podatników, ale może też skłonić firmy do przemyślenia, ile plastiku stosują i jakiego rodzaju. Najdalej poszła Kalifornia, która dała przedsiębiorstwom 10 lat na zredukowanie o jedną czwartą ilości zużywanych jednorazowych opakowań plastikowych. Ponadto nałożyła na nie obowiązek pokrywania kosztów recyklingu ponoszonych przez samorządy oraz dorzucania się do wynoszącego 5 mld dolarów funduszu przeznaczonego na łagodzenie zdrowotnych i środowiskowych skutków zanieczyszczenia plastikiem.

Na poziomie globalnym ponad 180 krajów – oraz, jak mówią doniesienia, ponad

eprasa.pl 75141bef1a

200 lobbystów reprezentujących firmy petrochemiczne – spędziło trzy lata na negocjacjach nad traktatem ONZ dotyczącym ograniczenia stosowania plastiku. Rozmowy miały się zakończyć w 2024 roku, ale ponieważ to się nie udało, negocjacje przedłużono. Mimo to w sierpniu 2025 roku zakończyły się fiaskiem. Działacze środowiskowi i wspierające ich delegacje narodowe domagały się zmniejszenia produkcji plastiku, lecz firmy stanowczo się temu sprzeciwiły, kładąc nacisk na kwestie zarządzania odpadami i recykling. Podczas kolejnych sesji producenci plastiku zaciekle walczyli o usunięcie z traktatu najbardziej restrykcyjnych zapisów oraz stosowali obstrukcję proceduralną, mówi Carroll Muffett, obecnie dyrektor wykonawczy międzynarodowej organizacji Foundation for International Law for the Environment. „To ta sama strategia, którą od dziesięcioleci obserwujemy w negocjacjach klimatycznych" – dodaje.

Za prezydentury Joe Bidena również USA opowiadały się za ograniczeniem produkcji plastiku przez traktat. Jednak w lutym 2025 roku Donald Trump zamieścił w mediach społecznościowych wpis: „BACK TO PLASTIC", odnosząc się do swojego zamiaru wycofania planu przejścia na papierowe słomki. Podczas negocjacji USA zaproponowały usunięcie zapisów dotyczących całego cyklu życia plastiku i dołączyły do innych krajów produkujących ropę i gaz, sprzeciwiając się wszelkim limitom produkcji. W przesłanym e-mailem oświadczeniu American Chemistry Council – organizacja reprezentująca głównych producentów plastiku w USA, ostrzegła, że takie limity przyniosłyby „poważne, niezamierzone konsekwencje", ponieważ – jak napisała – „świat potrzebuje więcej energii odnawialnej, czystej wody pitnej, energooszczędnych budynków i mniej marnotrawstwa żywności – a wszystko to umożliwia plastik". Organizacja uważa też, że takie ograniczenia są „nieskuteczne w przeciwdziałaniu nieszczelnościom systemu gospodarowania odpadami".

W 2024 roku podczas konferencji poświęconej plastikowi zorganizowanej w Dubaju przez Gulf Petrochemicals and Chemicals Association – tę samą organizację, której sześć lat wcześniej dyrektor generalny Saudi Aramco przedstawił warte 100 mld dolarów plany inwestycji w plastik – wystąpił Salman Alajmi, wiceprezes kuwejckiej firmy petrochemicznej Equate. Zgromadzonym zreferował stan negocjacji nad traktatem. „Negatywne emocje wobec plastiku stają się coraz silniejsze" – stwierdził. Ostrzegł też, że niektóre z omawianych propozycji mogłyby otworzyć drogę do sankcji finansowych, które „z pewnością osłabiłyby wskaźniki ekonomiczne producentów". Inaczej mówiąc, obniżyłyby ich zyski.

Co więcej, jak powiedział Alajmi swoim słuchaczom, krytycy branży petrochemicznej postrzegają recykling plastiku jako część problemu, a nie jego rozwiązanie. Alajmi, który podczas negocjacji przewodził koalicji krajów produkujących plastik, wezwał firmy, by aktywniej zaangażowały się w kształtowanie treści porozumienia. „Musimy być bardziej proaktywni" – powiedział, sugerując firmom wykorzystanie ekspertów prawnych oraz opracowanie artykułów naukowych opisujących zalety rozmaitych typów recyklingu i wyjaśniających, „dlaczego są one bezpieczne i dlaczego uważamy je za krok w stronę rozwiązania problemu."

Podczas trwających dwa dni paneli dyskusyjnych i prezentacji w PowerPoincie kolejni prelegenci przedstawiali, w jaki sposób plastik może odegrać ważną rolę w tworzeniu zrównoważonej przyszłości dzięki koncepcji „gospodarki o obiegu zamkniętym", w której zużyte materiały są w nieskończoność odzyskiwane i poddawane recyklingowi. Wielu mówiło o projektowaniu prostszych opakowań, by ułatwić ich ponowne przetwarzanie, oraz o szerszym stosowaniu recyklingu chemicznego – podejścia, które przemysł promuje jako sposób na radzenie sobie z tymi tworzywami, których nie da się przetworzyć tradycyjnymi metodami mechanicznymi. Najczęściej stosowaną techniką jest piroliza, która rozkłada plastik na jego podstawowe składniki etylen i propylen.

Jednak z powodu zanieczyszczeń, które nieuchronnie pozostają w recyklingowanych plastikach, aby można je było ponownie zużyć, muszą być one rozcieńczane mieszanką zawierającą aż 90% nowych składników pochodzących z paliw kopalnych. W efekcie tak wytworzony plastik może zawierać jedynie 2% materiału z recyklingu – ustaliła ProPublica (choć dzięki metodzie rozliczania recyklingu chemicznego zwanej bilansem mas taki produkt może być oznakowany w sposób sugerujący znacznie większy udział przetworzonego materiału). Poza tym piroliza może być źródłem emisji substancji rakotwórczych, takich jak benzen i dioksyny, i generować więcej gazów cieplarnianych niż zwykła produkcja plastiku z ropy naftowej.

Z ARCHIWUM

Plastics Tomorrow.
D. H. Killeffer; marzec 1944.
Scientific american.com/arch

DLA KRYTYKÓW BRANŻY petrochemicznej argument, że recykling rozwiąże kryzys spowodowany przez plastik, to nic innego jak *greenwashing* – próba uspokojenia obaw konsumentów i uzyskania akceptacji dla stale rosnącej produkcji. Tak powiedziała mi Enck, gdy rozmawiałyśmy na werandzie jej domku w lesie pod Albany w pewien sierpniowy, parny poranek. Producenci – mówiła – „wydali miliony dolarów, okłamując opinię publiczną, próbując przekonać ludzi, że wystarczy poddać plastik recyklingowi, a wszystko będzie dobrze". Podobny zarzut wysunął Rob Bonta, prokurator generalny Kalifornii, w pozwie przeciwko ExxonMobil, twierdząc, że firma przez dekady „zwodniczo promowała recykling jako uniwersalne rozwiązanie problemu odpadów z tworzyw sztucznych", mimo że wiedziała, iż zarówno konwencjonalnymi, jak i chemicznymi metodami da się przetworzyć zaledwie niewielką część odpadów. (ExxonMobil odpowiedział kontrpozwem, oskarżając Bontę o „rażące przeinaczenia" i broniąc recyklingu chemicznego jako „sprawdzonej technologii", dzięki której plastik nie trafi na wysypiska).

Zdaniem Geyera sprawa jest jasna: jedynym sposobem na ograniczenie negatywnego wpływu plastiku na środowisko i zdrowie ludzi jest zmniejszenie jego produkcji. „Kluczowa kwestia, o której powinniśmy rozmawiać, brzmi – ile byłoby w sam raz".

Jednak – jak podkreśla Enck – branża czerpiąca zyski z coraz większej produkcji plastiku nie podejmie z własnej woli działań niezbędnych do posprzątania tego bałaganu. „Jedyny sposób na zmianę kursu to silne prawo" – mówi. Jeśli przepisy sprawią, że cena plastiku zacznie odzwierciedlać jego rzeczywisty koszt, wówczas inne formy opakowań staną się konkurencyjne ekonomicznie.

Tamtego sierpniowego dnia Enck wyciągnęła na werandzie pudełko z produktami i opakowaniami, których używa, aby pokazywać, jak mógłby wyglądać świat z mniejszą ilością plastiku: z papierowymi torebkami na słodycze bez powszechnie stosowanej plastikowej powłoki, dzięki czemu w pełni nadają się do recyklingu i zarazem utrzymują zawartość w świeżym stanie; kostką szamponu, która eliminuje potrzebę plastikowej butelki; szklaną butelką z pompką na mydło, którą można wielokrotnie napełniać. ■

Larry Washburn/Getty Images/iStop

eprasa.pl 75141bef1a

eprasa.pl 75141bef1a

Matematyka niezręcznych sytuacji

Twierdzenie o błądzeniu losowym wskazuje na istotną matematycznie różnicę między pijanymi ludźmi a pijanymi ptakami JACK MURTAGH

PONAD 100 LAT TEMU urodzony na Węgrzech amerykański matematyk George Polya doświadczył kłopotliwego towarzysko zdarzenia. Był wtedy profesorem Politechniki Federalnej w Zurychu i lubił samotne spacery po lesie za miastem. Podczas jednej z przechadzek minął swojego studenta z narzeczoną. Po dłuższej chwili, wciąż błądząc bez celu, ponownie natknął się na tę parę. A potem kolejny raz. Opisując to zdarzenie w książce opublikowanej w 1970 roku, wspominał: „Nie pamiętam, ile razy to się zdarzyło, ale na pewno zbyt często. Wyglądało, jakbym ich śledził".

Zdesperowany, by oczyścić się z podejrzeń, postąpił jak każdy dobry matematyk – uogólnił problem: czy dwaj wędrowcy są matematycznie skazani na krzyżowanie się ich dróg? Początkowe sformułowanie dotyczyło prostszej sytuacji – uwzględniony był tylko jeden wędrowiec na nieskończonej siatce, który wybierał losowo co sekundę kierunek niezależnie od poprzednich wyborów. Celem Polyi było określenie prawdopodobieństwa powrotu wędrowca do punktu wyjścia lub tego, że dwaj wędrowcy, którzy wyszli z tego samego miejsca, się spotkają. Okazało się, że jeśli wędrowiec będzie chodził nieskończenie długo, wróci do punktu wyjścia.

Odpowiedź nie tylko stanowiła „uniewinnienie", ale także ujawniła fundamentalną zależność między prawami przypadku a przestrzenią fizyczną. Z obliczeń Polyi wynikało, że na powierzchni dwuwymiarowej (jak połać lasu) wędrowiec jest skazany na powrót do punktu wyjścia, ale w przestrzeni trójwymiarowej jest bardziej prawdopodobne, że nigdy do punktu wyjścia nie wróci. Przejawia się to także w chemii i biologii. Stanowi na przykład specyfikę procesu odnajdowania przez pewne cząsteczki odpowiednich receptorów na powierzchni komórek.

Jak pisze Rick Durrett w książce *Probability: Theory and Examples* matematyk Shizuo Kakutani ujął to w żartobliwej formie: „Pijany człowiek w końcu znajdzie drogę do domu, ale pijany ptak może się zgubić na zawsze".

Określenie „pijany ptak" nie dotyczy oczywiście animowanej postaci Buzza Buzzarda, lecz procesu błądzenia w trójwymiarowej siatce. Co sekundę ptak wybiera losowo kierunek lotu – na północ, południe, wschód, zachód, w górę lub w dół – bez względu na poprzednie wybory. Polya udowodnił, że jeśli będziemy bez końca losowo chodzić po nieskończenie rozległej sieci ulic miasta, to nie tylko wrócimy do miejsca startu, ale także trafimy w każdy punkt sieci nieskończoną liczbę razy. Jeśli jednak powtórzymy taki sam proces w trzech wymiarach, to szansa na to, że nigdy nie wrócimy do miejsca, z którego wyszliśmy, będzie równa prawie 66%. Podobnie para ptaków może się nigdy nie spotkać, ale do spotkania dwóch piechurów musi dojść nieskończenie wiele razy. Polyi w lesie nie brakło więc dyskrecji, lecz trzeciego wymiaru, w który mógłby uciec.

Nawet w jednym wymiarze zachodzą podobne zależności – i to w realnym świecie. Wyobraźmy sobie, że z 500 dolarami idziemy do kasyna, gdzie oferowana jest gra z prawdopodobieństwem wygranej 50/50. Nieustanna gra, niezależnie od strategii obstawiania, nieuchronnie prowadzi do bankructwa. Będzie tak, ponieważ grę można modelować jako błądzenie losowe na osi liczbowej. Zaczynamy od 500, a po każdej rundzie są równe szanse ruchu w prawo lub w lewo. Polya dowodzi, że podobnie jak w dwóch wymiarach, przy dostatecznie długiej grze eksplorowana będzie cała oś liczbowa, a więc także zero, a to oznacza bankructwo. Matematycy nazywają to „ruiną hazardzisty" i zalecają rezygnację, gdy gra przyniosła zysk albo niepodejmowanie gry w ogóle.

Dlaczego specyfika błądzenia losowego zmienia się radykalnie przy przejściu od dwóch do trzech wymiarów? Chociaż trzy wymiary oferują więcej przestrzeni do poruszania się, to sam ten fakt nie wydaje się dostatecznym wyjaśnieniem. W końcu dwa wymiary oferują więcej przestrzeni niż jeden, a mimo to efekt błądzenia w obu jest taki sam.

Jeśli błądzenie losowe obejmie pewną skończoną liczbę kroków, którą oznaczymy literą t, to zwykle nie oddalimy się dalej niż o $\sqrt{t}$ od początku układu współrzędnych. Konkretnie, na przykład po 100 krokach większość piechurów znajdzie się w odległości 10 kroków, czyli $\sqrt{100}$ od początku układu. Intuicja podpowiada, że cechą spacerów losowych jest krążenie w pobliżu początku układu współrzędnych, ponieważ kroki mogą się wzajemnie znosić (po kroku na wschód, a następnie na zachód, piechur nie zmienia miejsca). W matematyce $\sqrt{t}$ równy jest odchyleniu standardowemu (statystyczna miara zmienności zbioru wartości) odległości od początku t-krokowego spaceru losowego.

Inaczej mówiąc, gdyby wielu piechurów wędrujących niezależnie rozpoczęło spacer w tym samym miejscu, to wykres ich odległości od miejsca startu po t krokach wyglądałby jak krzywa rozkładu

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

tamara_kulikova/Getty Image

eprasa.pl 75141bef1a

normalnego (zwana czasem dzwonową) o środku w punkcie 0 i odchyleniu standardowym $\sqrt{t}$.

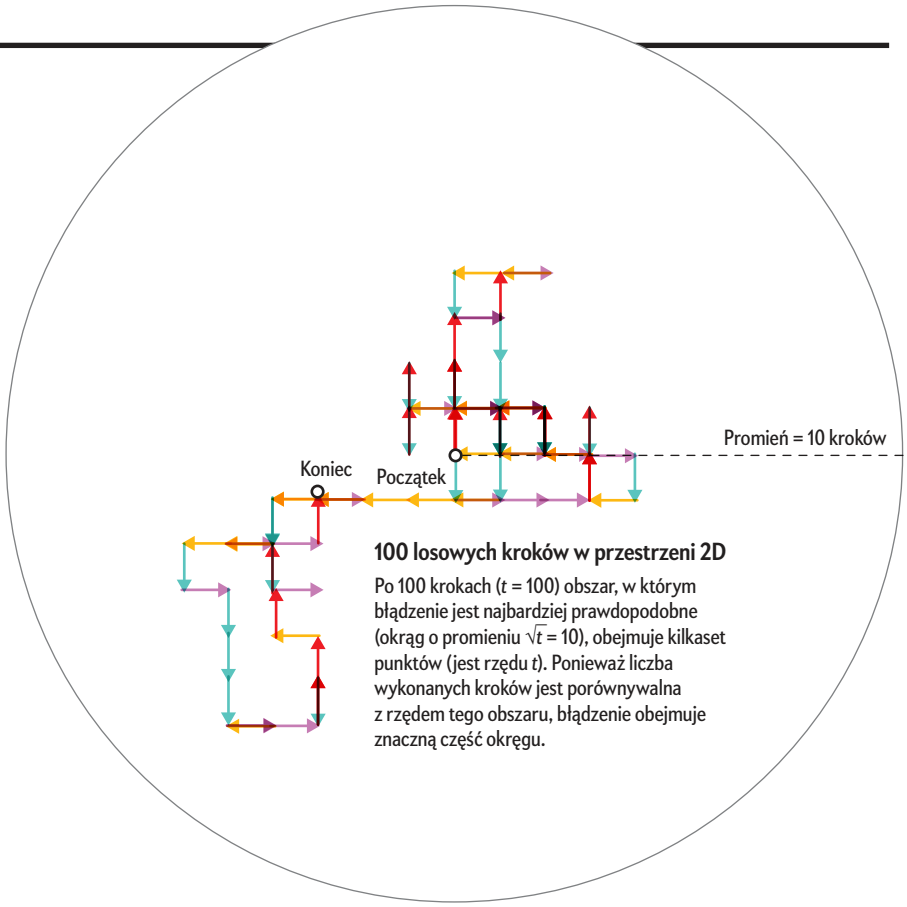
Wartość $\sqrt{t}$ obowiązuje w każdym wymiarze i jest kluczem do zrozumienia twierdzenia Polyi. Można ją sobie wyobrazić jako promień obszaru, który piechur odwiedzi w t krokach. Z tym promieniem wiążą się różne implikacje w różnych wymiarach, ponieważ liczba wymiarów decyduje o tym, czy mówimy o długości, polu czy objętości. Odcinek o promieniu $\sqrt{t}$ ma rozmiar rzędu $\sqrt{t}$, okrąg o promieniu $\sqrt{t}$ ma rozmiar rzędu t (pole koła jest proporcjonalne do kwadratu promienia), natomiast sfera o promieniu $\sqrt{t}$ ma rozmiar rzędu $t^{1,5}$ (objętość sfery jest proporcjonalna do sześcianu promienia).

Jednak niezależnie od rozmiaru piechur w t krokach nie odwiedzi więcej niż t różnych punktów. W jednym wymiarze liczba kroków przekracza rozmiar eksplorowanego obszaru ($t>\sqrt{t}$), zmuszając piechura do częstego wracania po swoich krokach. W dwóch wymiarach liczba kroków odpowiada rozmiarowi obszaru ($t=t$), co ostatecznie umożliwia piechurowi pokrycie siatki, choć niezbyt gęsto. Natomiast w trzech wymiarach przestrzeń jest ogromna w porównaniu z liczbą kroków ($t<t^{1,5}$), więc większość punktów pozostaje nieodwiedzona, zaś powrót do początku układu współrzędnych jest mało prawdopodobny.

W świecie rzeczywistym rzadko pojawia się idealna siatka, a ptaki nie rzucają monetą przed zmianą kierunku lotu. Mimo to różnica między błądzeniem w dwu i trzech wymiarach ma praktyczne znaczenie w naukach przyrodniczych. Przykładem jest sposób reagowania substancji chemicznych w naszym organizmie. Naukowcy często korzystają z błądzenia losowego do modelowania dyfuzji cząsteczek przez inną substancję. Na przykład hormon, szukający specyficznego receptora na powierzchni komórki, nie ma mechanizmu naprowadzania, więc o efektach decyduje przypadek.

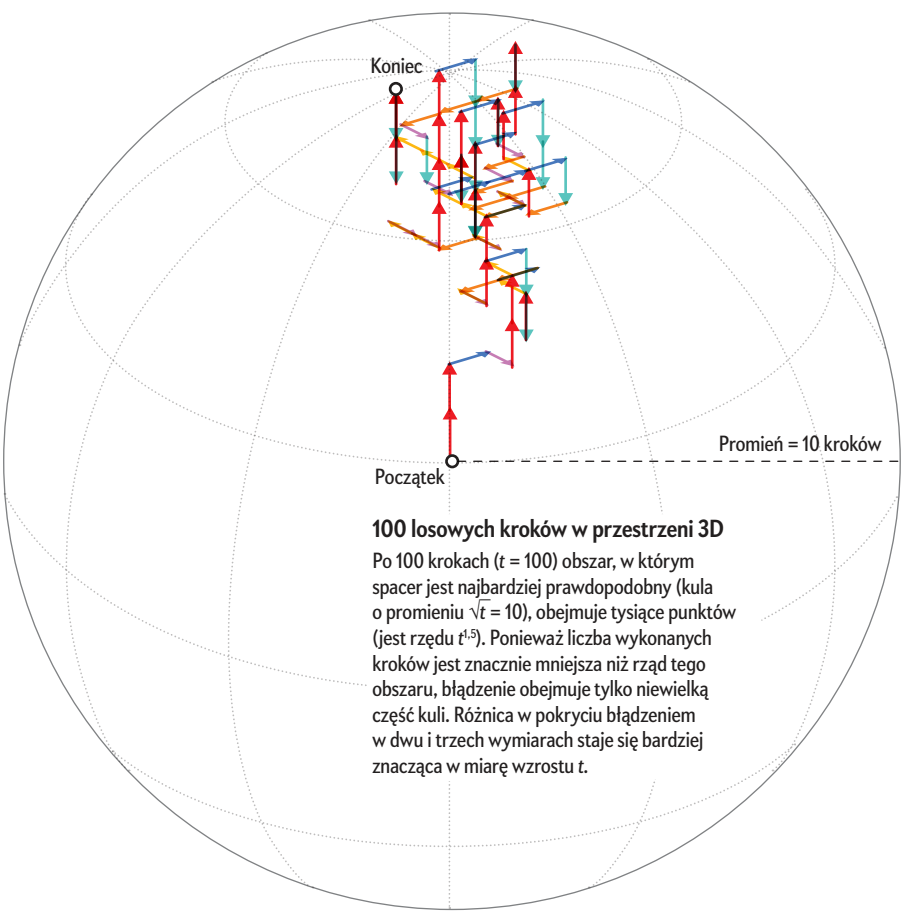
Hormon mógłby poruszać się chaotycznie w trójwymiarowym płynie wokół komórki, aż trafi w cel. Zamiast tego cząsteczki najpierw wiążą się luźno z dowolnym punktem błony komórkowej, a następnie ślizgają po dwuwymiarowej powierzchni błony, aż znajdą swój receptor. Ta redukcja wymiarowości zmienia długie trójwymiarowe błądzenie w efektywne dwuwymiarowe.

Gdy więc traficie na kogoś, kogo lepiej byłoby uniknąć, spróbujcie nawiązać do aspektu matematycznego. To lepsze niż chowanie się za drzewem. ■



100 losowych kroków w przestrzeni 2D

Po 100 krokach (t = 100) obszar, w którym błądzenie jest najbardziej prawdopodobne (okrąg o promieniu $\sqrt{t}$ = 10), obejmuje kilkaset punktów (jest rzędu t). Ponieważ liczba wykonanych kroków jest porównywalna z rzędem tego obszaru, błądzenie obejmuje znaczną część okręgu.



100 losowych kroków w przestrzeni 3D

Po 100 krokach (t = 100) obszar, w którym spacer jest najbardziej prawdopodobny (kula o promieniu $\sqrt{t}$ = 10), obejmuje tysiące punktów (jest rzędu $t^{1,5}$). Ponieważ liczba wykonanych kroków jest znacznie mniejsza niż rząd tego obszaru, błądzenie obejmuje tylko niewielką część kuli. Różnica w pokryciu błądzeniem w dwu i trzech wymiarach staje się bardziej znacząca w miarę wzrostu t.

Grafika Amanda Montañez

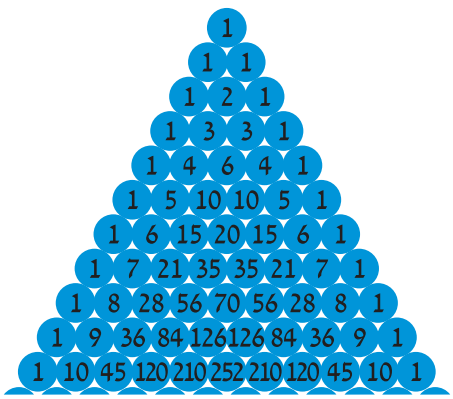
eprasa.pl 75141bef1a

Nie tylko Pascal

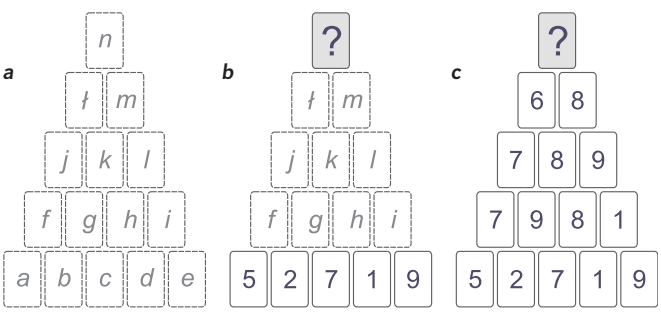
czyli parada trójkątów

MAREK PENSZKO

W MARCOWYM „Umyśle” znalazł się opis sztuki karcianej, której sekret czekał na wyjaśnienie. Sztuka jest oczywiście związana z trójkątem Pascala (*rys. 1*). Wypada zacząć od jej przypomnienia. Praktycznie wykonuje ją nie sam iluzjonista, lecz ktoś z widzów, korzystając z 40 kart do gry – 36 blotek (od dwójek do dziewiątek) i 4 asów w roli jedynek. Sztukmistrz odrywa tylko rolę instruktora oraz... „jasnowidza” i na wstępie poleca wykonawcy ułożenie w dolnym rzędzie trójkątnego schematu pól (*rys. 2a*) – czyli na miejscach od *a* do *e* – dowolnych pięciu odkrytych kart.



Rys. 1



Rys. 2

Teraz iluzjonista na chwilę przejmuje pozostałe 35 kart, przegląda je, po czym wyjmuje z nich w sekrecie jedną kartę i kładzie zakrytą na górnym polu schematu (*n*). Po tych czynnościach szablon może wyglądać na przykład tak, jak na rys. 2b. Talia wraca do wykonawcy, a ten zgodnie z instrukcją sztukmistrza zapełnia kartami szablon sposobem Pascala, ale w odwrotnym kierunku – od dołu, czyli na każdym polu kładzie odkrytą kartę z liczbą równą sumie liczb na parze kart umieszczonych tuż poniżej. Jeśli jednak suma ta jest większa od 9, to na szablon trafia karta z liczbą równą sumie cyfr sumy. Gdy zdarzy się, że jakiejś karty zabraknie, bo wcześniej wykorzystane zostaną cztery z taką samą cyfrą, to jedną z czterech już wyłożonych można przenieść na nowe miejsce. Po dotarciu pod szczyt (*w przykładzie rys. 2c*) odwracana jest leżąca tam karta, a tym samym ujawnione zostają... profetyczne zdolności iluzjonisty, bo na odsłoniętej karcie jest liczba, która – przy zachowaniu sposobu Pascala i zasady sumowania cyfr liczb dwucyfrowych – powinna się tam znaleźć, czyli w tym przypadku 5.

W trójkącie Pascala każda liczba $L_{k,n}$, czyli k-ta w n-tym wierszu (przy założeniu, że górna jedynka to wiersz zerowy, a jedynki zaczynające każdy wiersz to miejsca zerowe) równa jest symbolowi Newtona:

$$P_{(k,n)} = \binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

Równocześnie symbol ten określa liczbę dróg łączących górną jedynkę z $L_{k,n}$.

W karcianym trójkącie sytuacja jest odwrotna: liczba na szczycie jest sumą iloczynów, z których każdy stanowi wynik mnożenia k-tej liczby w n-tym wierszu przez odpowiadającą jej wartość symbolu Newtona. Ponieważ ciągowi pięciu liczb w piątym wierszu odpowiada ciąg symboli Newtona {1, 4, 6, 4, 1}, sztukmistrz powinien (przy układzie kart z rys. 1b) wykonać (w myślach i w miarę szybko) działanie 5+9+4×(2+1)+6×7=14+12+42=68, a następnie sumować cyfry, aż do otrzymania liczby jednocyfrowej – (68→14→5) i umieścić zakrytą piątkę na szczycie. A zatem sprawność rachunkowa ma przy prezentacji tej sztuki istotne znaczenie.

* * *

Trójkąt Pascala jest najbardziej znanym, ale nie jedynym trójkątem liczbowym. Półżartem można stwierdzić, że inni matematycy pozazdrościli Pascalowi i także zapragnęli mieć „swoje” liczbowe trójkąty. Pierwszym był szwajcarski matematyk Jakub Bernoulli, który pod koniec XVII wieku sprytnie przerobił Pascalowy oryginał. W przeróbce, czyli w trójkącie Bernoulliego (*rys. 3*) pozostał ciąg jedynek z lewej strony oraz zachowana została podstawowa zasada pierwowzoru, czyli prawie każda liczba jest sumą pary liczb znajdujących się nad nią. Tylko na prawym boku, zawierającym ciąg potęg dwójki, ta zasada nie działa. Wynika to nie tylko z braku par dających sumy, ale przede wszystkim z następującego sposobu tworzenia liczb w każdym wierszu: tam, gdzie w trójkącie Pascala jest liczba $L_{k,n}$, w trójkącie Bernoullego pojawia się suma liczb od $L_{0,n}$ do $L_{k,n}$

Rys. 3

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

Ilustracje Marek Penszko

eprasa.pl 75141bef1a

z trójkąta Pascala, czyli tzw. suma częściowa. Na przykład 99 – czwarta liczba w siódmym wierszu trójkąta Bernoullego (jedynki to miejsca zerowe) – jest sumą pięciu początkowych liczb w siódmym wierszu trójkąta Pascala (1+7+21+35+35=99).

Trójkąt Bernoullego nie stanowi oczywiście tylko efektu prostej operacji liczbowej. Znajduje zastosowanie m.in. w kombinatoryce i rachunku prawdopodobieństwa. Jednak poza tym obfituje, podobnie jak trójkąt Pascala, w ciekawe zależności liczbowe, głównie związane z ciągami. Na uwagę zasługują zwłaszcza niektóre ukośne rzędy liczb równoległe do boków. Równoległe do lewego boku tworzą tzw. ciągi podziałowe. Na przykład ciąg liczb w trzecim rzędzie (4, 7, 11, 16, ...), zwany ciągiem leniwego kelnera, określa maksymalną liczbę części, na które można podzielić tort (koło) n prostymi cięciami (dla $n \geq 2$). Analogicznie czwarty rząd (8, 15, 26, 42, ...) dotyczy maksymalnej liczby części powstałych w wyniku podziału sześcianu n płaszczyznami ($n \geq 3$). A gdzie ukrywają się liczby Mersenne'a? Kto pamięta definicję tych liczb, ten łatwo wskaże właściwy rząd.

* * *

Większość z kilkunastu pozostałych trójkątów liczbowych jest zwykle przedstawiana w formie trójkątów prostokątnych. Wszystkich nie sposób ugościć w krótkim artykule, a poza tym nie wszystkie są równie znaczące. Wybór padł na trzy – opisane poniżej w kolejności chronologicznej.

W roku 1800 pojawił się na świecie trójkąt Catalana (*rys. 4*), choć jego „patron", belgijsko-francuski matematyk Eugène Catalan, przyszedł na świat 14 lat później. Trójkąt znalazł się w publikacji francuskiego matematyka Louisa Arbogasta (1759–1803),

n \ k	0	1	2	3	4	5	6	7
0	1							
1	1	1						
2	1	2	2					
3	1	3	5	5				
4	1	4	9	14	14			
5	1	5	14	28	42	42		
6	1	6	20	48	90	132	132	
7	1	7	27	75	165	297	429	429

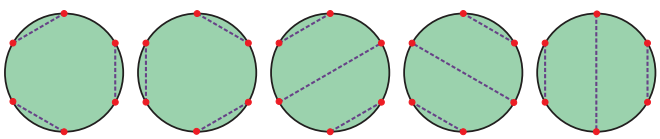
Rys. 4

a nazwę przyjęto po wielu latach ze względu na występujący w trójkącie ciąg liczb Catalana. W tym trójkącie prawie każda k-ta liczba w n-tym wierszu jest sumą (k-1)-ej liczby w n-tym wierszu i k-tej liczby w (n-1)-ym wierszu, a mówiąc prościej, jest sumą sąsiadek z góry i z lewej. Wyjątkami są ostatnie liczby w wierszach – każda jest powtórzeniem poprzedniej liczby. Takie proste zależności określone są nieprostym wzorem:

$$C_{(k,n)} = \binom{k+n}{k} - \binom{k+n}{k-1} = \frac{(k+n)!(n-k+1)}{k!(n+1)!}$$

Ciąg powtórzonych liczb na przeciwprostokątnej to wspomniane liczby Catalana (1, 2, 5, 14, 42, 132, 429, ...). Mają one kluczowe znaczenie w kombinatoryce, określają bowiem liczbę możliwości w wielu sytuacjach, także praktycznych. Na przykład liczbę sygnałów binarnych (sekwencji zero-jedynkowych) złożonych z n zer i n jedynek, które spełniają następujący warunek: żaden początkowy fragment sygnału nie zawiera więcej zer niż jedynek. Dla n=1 jest tylko (10), dla n=2 są dwa kwartety – (1010) i (1100), dla n=3 pięć sekwencji – (101010), (101100), (110010), (110100), (111000); dla n=4 czternaście – (10101010), (10101100), (10110010), (10110100), (10111000), (11001010), (11001100), (11010010), (11010100), (11011000), (11100010), (11100100), (11101000), (11110000); dla n=5 czterdzieści dwie itd.

Innym przykładem jest (w praktycznej wersji) liczba sposobów wytyczenia prostych dróg łączących parami $2n$ miejsc (każde miejsce tylko z jednym innym) znajdujących się na skraju okrągłego pola tak, aby drogi nigdzie się nie krzyżowały. Na przykład gdy n=3, czyli jest 6 miejsc, to zgodnie z odpowiednią liczbą Catalana sposobów jest 5 (*rys. 5*).



Rys. 5

* * *

80 lat po debiucie trójkąta Catalana pojawił się spokrewniony z nim obiekt – trójkąt Bella (*rys. 6*). Skonstruował go amerykański filozof i matematyk Charles Peirce, ale bliżej zajął się nim w latach 70. XX wieku jego rodak, matematyk Eric Bell, który w związku z tym objął trójkąt „patronatem". Pokrewieństwo z trójkątem Catalana wynika z podobnego sposobu tworzenia liczb: każda jest sumą sąsiadki z lewej strony i liczby nad tą sąsiadką – z jednym wyjątkiem: pierwsza liczba w każdym wierszu jest powtórzeniem ostatniej z poprzedniego wiersza. Te powtarzające się liczby tworzą ciąg liczb Bella (1, 2, 5, 15, 52, 203, 877, 4140, 21147, ...). Należą one, podobnie jak liczby Catalana, do kanonu kombinatoryki i również można wskazać wiele przykładów ich „aktywności".

1							
1	2						
2	3	5					
5	7	10	15				
15	20	27	37	52			
52	67	87	114	151	203		
203	255	322	409	523	674	877	
877	1080	1335	1657	2066	2589	3263	4140

Rys. 6

Przykład analogiczny do sekwencyjnego, podanego wyżej, jest następujący: każda n-ta liczba Bella określa liczbę n-cyfrowych sekwencji wzorcowych, obejmujących n różnych cyfr (ściślej: co najmniej n różnych). Sekwencja wzorcowa wyróżnia się tym, że rodzaje elementów, z których się składa – w tym przypadku cyfr – mają drugorzędne znaczenie. Ważniejsze są relacje między parami elementów – dwie cyfry albo są takie same, albo

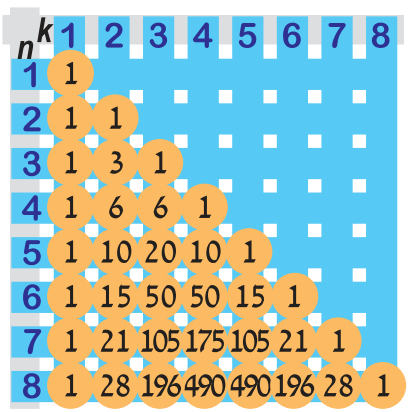
eprasa.pl 75141bef1a

różne. Zatem dwie cyfrowe sekwencje wzorcowe są jednakowe, jeśli relacje między wszystkimi parami cyfr zajmujących te same miejsca w obu sekwencjach są takie same. Na przykład sekwencje wzorcowe 1002 i 0221 są takie same, a 1120 i 1201 różne, bo relacja między pierwszą i drugą cyfrą w pierwszej sekwencji jest inna niż w drugiej; podobnie między pierwszą i ostatnią.

Prostszy przykład: n-ta liczba Bella równa jest liczbie sposobów pogrupowania n różnych elementów. Na przykład możliwości podzielenia na grupy trzech cyfr jest 5: (0,1,2), (0)-(1,2), (0,1)-(2), (0,2)-(1), (0)-(1)-(2).

* * *

Trzeci trójkąt liczbowy (*rys. 7*), podobny do opisanych wyżej, debiutował w roku 1959 w publikacji indyjsko-kanadyjskiego matematyka i statystyka Tadepalliego Narayany. Ogólnym schematem przypomina trójkąt Pascala – są w nim dwa skrajne rzędy jedynek i symetryczny rozkład jednakowych liczb w każdym wierszu. Metoda konstruowania trójkąta Narayany jest jednak specyficzna – nieprosta i niezwiązana ściśle i bezpośrednio z tym trójkątem, bo jej podstawą jest ciąg liczb trójkątnych: 1, 3, 6, 10, 15, 21, … . Aby utworzyć n-ty wiersz trójkąta, należy napisać początkowy fragment tego ciągu (A) złożony z n-1 wyrazów, a pod nim ten sam fragment napisany wspak (B). Diagram na rys. 8 obejmuje sześć wyrazów, więc w rzędzie (C) tworzony jest siódmy wiersz trójkąta w następujący sposób: dwie początkowe liczby (c_1 i c_2) są takie, jak początkowe we fragmentach (A) i (B), czyli 1 i 21. Każda następna (c_k) powstaje w wyniku działania $(b_{k-1}\times c_{k-1})/a_{k-1}$. A zatem c_3=21×15/3=105, c_4=105×10/6=175 itd.



Rys. 7

A	1	3	6	10	15	21	
B	21	15	10	6	3	1	
C	1	21	105	175	105	21	1

Rys. 8

Oprócz tej metody, dającej kompletny wiersz, można wyznaczać poszczególne liczby według wzoru zawierającego współrzędne k i n:

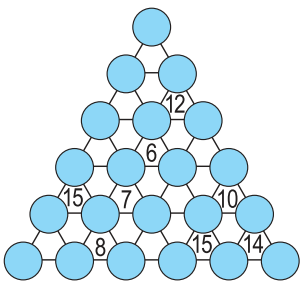
$$N_{(k,n)} = \frac{1}{n}\binom{n}{k}\binom{n}{k-1}$$

Typowy przykład kombinatoryczny związany z trójkątem Narayany dotyczy różnych sposobów prawidłowego rozmieszczenia $2n$ nawiasów (n otwierających i n zamykających), zawierających k gniazd. Gniazdem jest złączona para (). Na przykład dla n=4 i k=2 sposobów jest 6: (()(())), ((()())), ((())()), ()((())), ()(()()), (())(()), ((()))().

Praktycznie trójkąty Narayany i Catalana znalazły zastosowanie w firmie Bell Labs do badań systemów ruchu telefonicznego. Istotne były przy tym koligacje między tymi trójkątami, na przykład taka, że sumy liczb w wierszach trójkąta Narayany równe są liczbom Catalana.

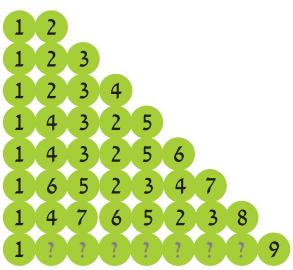
ZADANIA

1. Do każdego kółka (*rys. 9*) należy wpisać jedną z cyfr od 1 do 6 tak, aby w każdym rzędzie poziomym i ukośnym znalazły się różne cyfry. Każda liczba w diagramie oznacza sumę cyfr, które powinny się znaleźć w trzech otaczających ją kółkach. Jako rozwiązanie wystarczy podać ciąg sześciu cyfr na lewym boku trójkąta – od wierzchołka do skrajnego lewego kółka podstawy.



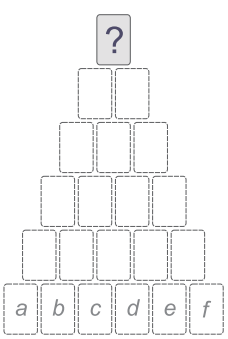
Rys. 9

2. Każdy wiersz trójkąta liczbowego na rys. 10 zaczyna się jedynką, kończy liczbą n i zawiera wszystkie liczby od 1 do n. Liczby rozmieszczone są tak, że suma każdych dwu sąsiednich jest liczbą pierwszą i liczbami pierwszymi jest jak najwięcej różnic między sąsiednimi liczbami (w trzech górnych wierszach pierwszych różnic nie uda się utworzyć, skoro wszystkie sumy sąsiadek muszą być pierwsze). Jaki będzie dolny wiersz tego trójkąta – od 1 do 9 – przy zachowaniu podanej zasady?



Rys. 10

3. Przypomniana na początku sztuka karciana ma też drugą wersję – dla nowicjuszy bardziej zagadkową. Schemat układu kart jest w niej większy – podstawa trójkąta obejmuje sześć pól (*rys. 11*). Zestaw kart jest taki sam, a wykonawca sztuki umieszcza na początku tylko dwie odkryte karty na polach a i f. To wystarcza, aby iluzjonista natychmiast wybrał z talii i umieścił w wierzchołku trójkąta zakrytą kartę z taką liczbą, jaka powinna znaleźć się w tym miejscu po wykładaniu pozostałych kart przez wykonawcę zgodnie z instrukcją podaną przez iluzjonistę. Po tym na pola b, c, d, e wykonawca kładzie dowolne karty, a wszystkie pozostałe zapełnia sposobem Pascala, czyli na każdym polu umieszcza kartę z liczbą równą sumie liczb na parze kart leżących tuż pod nią – ale nie zawsze. Kluczowa



Rys. 11

eprasa.pl 75141bef1a

jest bowiem informacja dotycząca konieczności zmiany niektórych sum przed umieszczeniem odpowiedniej liczby.

W poprzedniej wersji zmiana dotyczyła sum dwucyfrowych i polegała na sumowaniu ich cyfr. Jakim działaniem powinna być zmiana tym razem i jakich sum powinna dotyczyć, aby karta na wierzchołku trójkąta zawsze była potwierdzeniem profetycznych zdolności iluzjonisty?

*Rozwiązania prosimy nadsyłać do 30 kwietnia 2026 roku pocztą elektroniczną (*redakcja@swiatnauki.pl*), wpisując w temacie e-maila hasło* ***UG 4/26****. Spośród autorów poprawnych rozwiązań przynajmniej dwóch zadań wyłonimy pięciu zwycięzców i nagrodzimy ich książką Johna Trowsdale'a* Ciało wie lepiej. Przewodnik po nowoczesnej nauce o odporności *ufundowaną przez Wydawnictwo Sensus. 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 LUTOWEGO

1. 1 117 935 to najmniejsza liczba naga (podzielna przez każdą z jej cyfr) złożona tylko z cyfr nieparzystych i zawierająca każdą z tych cyfr.
2. ŁUP=437 lub 857; każda z tych liczb dzielona przez jej pierwszą cyfrę daje resztę 1, dzielona przez drugą – resztę 2, przez trzecią – 3.
3. 6384 – stopień nagości tej liczby wynosi 6, bo jest ona podzielna przez sześć zawartych w niej liczb: 6, 3, 8, 4, 38, 64.

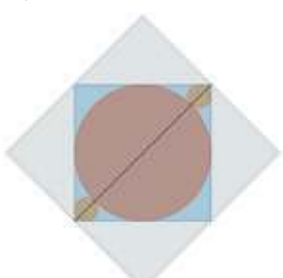
Za poprawne rozwiązanie przynajmniej dwóch zadań książkę Przemysława Rudzia *Astronomia, kosmologia i astronautyka w popularnych pytaniach i odpowiedziach*, ufundowaną przez Wydawnictwo Naukowe PWN, otrzymują: Michał Kocon i Janusz Wojtal z Warszawy, Mateusz Kostanek i Tomasz Kowalczyk z Krakowa oraz Łukasz Michalczyk z Teresina.

Rozwiązanie zagadki matematycznej ze strony 8

Suma długości wszystkich okręgów wynosi π.
Długość okręgu jest π razy większa od jego średnicy, zatem suma długości wielu okręgów o średnicach d_1, d_2, d_3,... wynosi:

$$\pi d_1 + \pi d_2 + \pi d_3 + \ldots = \pi(d_1 + d_2 + d_3 + \ldots)$$

Jeśli więc znajdziemy sumę wszystkich średnic, to wynik otrzymamy, mnożąc tę sumę przez π. Ze względu na symetrię serie mniejszych okręgów można umieścić w przeciwległych rogach niebieskiego kwadratu – jak na rysunku, czyli na przekątnej oznaczonej linią przerywaną.



Ponieważ nieskończenie wiele okręgów tworzy ciąg, zmierzający do granicy, którą jest przekątna niebieskiego kwadratu, suma średnic tych okręgów równa jest długości tej przekątnej, która równa jest 1 (długość boku dużego szarego kwadratu).

Warto wiedzieć, co jest grane

Te same obszary mózgu, które umożliwiają nam orientację w przestrzeni, pomagają, tworzyć mapę społecznych powiązań

ORIEL FELDMANHALL

CO ŁĄCZY karierowiczów i plotkarzy? Moja mama powiedziałaby, że jedni i drudzy są moralnie podejrzani. To przekonanie bierze się głównie z poznanych w dzieciństwie bajek i baśni: wszelkich intrygantów lepiej unikać.

Tyle że opowieści upraszczają rzeczywistość. Prawda jest taka, że najskuteczniejsi plotkarze i mistrzowie towarzyskiego karierowiczostwa mają znakomite wyczucie struktury społecznej – wiedzę, którą sprytnie wykorzystują, by poruszać się w swoim świecie relacji. To nie moralna wada, lecz poznawcze osiągnięcie. Nasze umysły to wyrafinowane maszyny, które tworzą mentalne mapy społecznego krajobrazu. Kto z kim trzyma? Kto do której grupy należy? Kto jest popularny, a kto znajduje się o krok od przejęcia władzy?

Najnowsze badania mojego zespołu pokazują, że te reprezentacje świata społecznego – tzw. mapy poznawcze — kształtuje wiele kluczowych społecznych umiejętności. Dzięki nim zdobywamy wpływy, wyczuwamy, kiedy i co warto mówić o innych, i zacieśniamy więzi. Sukces społeczny zależy nie tylko od tego, kogo się zna, lecz także od tego, jak dobrze rozumie się niewidzialną architekturę otaczającego nas świata.

A jej odwzorowanie to nie lada wyczyn. Rzeczywiste sieci społeczne są ogromne: obejmują setki osób i dziesiątki tysięcy możliwych powiązań. Śledzenie tego, kto z kim jest połączony, to zadanie wymagające ciągłej aktualizacji – każda nowa relacja czy zerwana więź zmienia układ mapy.

Zastanawialiśmy się z zespołem, jaki rodzaj mapy poznawczej pozwala nadążać za tym dynamicznym krajobrazem – i dlaczego w ogóle ktoś miałby wkładać wysiłek w mentalne monitorowanie sieci relacji wokół siebie. Okazuje się, że taka mapa daje coś na kształt supermocy.

Aby lepiej zrozumieć siłę społecznej nawigacji, wraz z badaczką Apoorvą Bhandari, neuronaukowcem poznawczym z Brown University, zaprojektowałyśmy serię badań tego, jak ludzie budują mapy społeczne. Potrzebowałyśmy jednak odpowiedniej populacji – dużej grupy osób, które wcześniej się nie znały, a nagle zaczęły żyć blisko siebie. Kto nadawałby się lepiej niż studenci pierwszego roku?

W jednym badaniu przez 12 miesięcy rejestrowałyśmy, jak powstają i zanikają przyjaźnie, tworząc „żywą" sieć około 200 osób. Każdego studenta pytałyśmy też o osobowość: „Lubisz się socjalizować czy raczej stoisz pod ścianą?" A następnie prosiłyśmy ich, by opisali, jak – ich zdaniem – inni są ze sobą powiązani, uzyskując w ten sposób drugą mapę: mapę przekonań o sieci.

W jednym z badań na przykład odkryłyśmy, że na szczyt hierarchii społecznej nie wspinają się osoby najbardziej charyzmatyczne czy ekstrawertyczne, lecz najlepsi kartografowie relacji. Regularnie pytając uczestników o ich przyjaciół, mogłyśmy określić, kto jest najlepiej połączony z innymi dobrze połączonymi osobami – czyli kto ma największy wpływ w sieci.

Ilustracja Amanda Montañez

eprasa.pl 75141bef1a

Najbardziej wpływowe osoby to te, które szybko budują trafne mentalne mapy powiązań między rówieśnikami. Z taką mapą łatwo rozpoznać kliki i grupy, a także dostrzec „dziury" w sieci – miejsca, gdzie można strategicznie się ulokować. Natomiast osoby początkowo bardzo wpływowe, lecz niemające dokładnych map mentalnych, nie utrzymywały długo zdobytej pozycji.

W drugim eksperymencie sprawdziłyśmy, czy mapowanie pomaga w innym adaptacyjnym zachowaniu społecznym – plotkowaniu. Choć ma ono złą reputację, codzienność nabiera smaku dzięki historiom, które słyszymy i opowiadamy, a plotka bywa szybkim sposobem poznania mechanizmów wspólnoty. Niejednokrotnie odgrywała też rolę w historii – w ruchach praw obywatelskich czy pałacowych przewrotach – co sugeruje, że śledzenie jej nurtów ma sens. Ludzie są zaskakująco skuteczni w kontrolowaniu przepływu plotek. Rzadko przyłapuje się nas na mówieniu o innych, choć ponad 65% rozmów dotyczy właśnie innych osób.

Zastanawiałyśmy się, czy mapy poznawcze pomagają przewidywać, dokąd popłynie informacja. Obliczenie, którą z wielu dróg może podążyć plotka, wymaga zaawansowanej mentalnej matematyki: trzeba znać nie tylko więzi własnych przyjaciół, lecz także ich przyjaciół itd. Okazało się, że mapy mentalne są tu bezcenne, zwłaszcza że wychwytują dwie kluczowe cechy sieci: popularność danej osoby i jej odległość od „celu" plotki. Dzięki temu można wybrać odpowiedniego powiernika – kogoś wystarczająco oddalonego od bohatera plotki, by informacja do niego nie doszła, a zarazem dostatecznie dobrze połączonego, by skutecznie ją rozprowadzić.

Jak mózg buduje takie mapy? Dwa najnowsze badania mojego zespołu pokazują mechanizmy tej społecznej nawigacji. W jednym z nich, jeszcze nieopublikowanym, odkryliśmy, że hipokamp i kora śródwęchowa – obszary odpowiedzialne za orientację w przestrzeni fizycznej – przechowują także mapę powiązań między ludźmi. Im silniej jest ona zakodowana w mózgu, tym lepiej dana osoba potrafi pośredniczyć w relacjach, spajając społeczność.

W innym badaniu znaleźliśmy dowody, że mózg udoskonala te mapy w czasie odpoczynku, gdy ma przestrzeń na rozważenie możliwych połączeń. Proces ten nazywa się „odtwarzaniem" (replay) – przypomina szybkie przewijanie filmu. Podczas odpoczynku ludzie wydają się nieświadomie przeglądać wszystkie więzi w sieci z niezwykłą szybkością. Jeśli przychodzi sen, mapa staje się bardziej rozmyta – ale paradoksalnie pomaga to uchwycić ogólny kształt sieci, czyniąc ją bardziej abstrakcyjną.

Abstrakcja wydobywa najważniejsze struktury – jak u Claude'a Moneta, którego szerokie, impresjonistyczne pociągnięcia pędzla pozwalają dostrzec istotę obrazu dopiero z oddalenia. W sieciach społecznych oznacza to uwydatnienie głównych arterii systemu – kluczowych połączeń i mostów między grupami. Gdy mózg musi szybko przewidzieć, dokąd rozprzestrzeni się plotka, wiedza o tym, gdzie znajdują się osoby popularne i które relacje łączą odrębne społeczności, pozwala wytyczyć efektywną trasę przepływu informacji.

Otoczona trójką dzieci, często łapię się na tym, że nucę „We Know the Way" piosenkę z filmu *Moana*. Strategiczna nawigacja nie dotyczy jednak wyłącznie przestrzeni fizycznej. Równie konieczna jest umiejętność poruszania się po krajobrazie relacji. Uzbrojeni w celowo nieco rozmyty atlas swojej społeczności, sprawni nawigatorzy społeczni potrafią zrobić coś, czego nie potrafi żaden GPS: widzą mosty, zanim te zostaną zbudowane, omijają burze plotek i wskazują, gdzie jest wspólny grunt. ■

Oriel FeldmanHall jest neuronaukowcem i profesorem Brown University. Bada poznawcze, emocjonalne i neuronalne procesy leżące u podstaw skomplikowanych wyborów, które kształtują społeczne zachowania człowieka.

aelita/Getty Images

eprasa.pl 75141bef1a

POSZERZAMY HORYZONTY

Już w sprzedaży w punktach z prasą

Numer 4/2026
KUP TERAZ

Bieżące wydanie możecie kupić także we wszystkich sklepach sieci Lidl.

Prenumerata cyfrowa:
projektpulsar.pl

Prenumerata papierowa:
sklep.polityka.pl/wiz

eprasa.pl 75141bef1a

Czy twoje miasto czyni cię zdrowszym?

Przeprowadzka do miasta przyjaznego pieszym zwiększa średnio o 1100 liczbę kroków wykonywanych każdego dnia

EVE LU

MOŻLIWOŚĆ PORUSZANIA SIĘ PIESZO po okolicy to trochę problem typu „co było pierwsze: jajko czy kura" – czy miasto sprzyjające chodzeniu sprawia, że więcej chodzisz, czy też osoby aktywne przenoszą się tam, gdzie łatwiej jest się poruszać na piechotę? Aby to zbadać, naukowcy przeanalizowali dane ze smartfonów z lat 2013–2016 dotyczące 2 mln osób, w tym ponad 5 tys. osób, które przeprowadzały się między ponad 1600 miastami USA. Tim Althoff, informatyk z University of Washington, wraz z zespołem ustalił, że po przeprowadzce do miast przyjaznych pieszym ludzie wykonywali średnio około 1100 kroków dziennie więcej, co odpowiada 11 min dodatkowego chodzenia. Co jeszcze bardziej intrygujące, te dodatkowe kroki były związane z energicznymi spacerami – aktywnością fizyczną, która poprawia zdrowie i może przyczyniać się do ogólnego obniżenia ryzyka przedwczesnej śmierci. Dane pokazały też, że osoby przeprowadzające się między miastami, w których strefy dla pieszych są na podobnym poziomie, nie zmieniały stopnia swojej aktywności. Wyniki wskazują, że nie tylko osobisty wybór, ale też sposób zorganizowania przestrzeni miejskiej mogą zachęcać do intensywniejszych spacerów.

JAK CZYTAĆ MAPĘ?

Każde koło odpowiada jednemu z 1609 miast uwzględnionych w badaniu. Rozmiary kół pokazują, ile osób przeprowadziło się do miasta lub też z niego wyprowadziło podczas trzyletniego okresu obserwacyjnego, natomiast kolor kół odpowiada pozycji miasta w rankingu przyjaznośći dla ruchu pieszego.

Liczba osób, które się przeprowadziły: 50 → 315

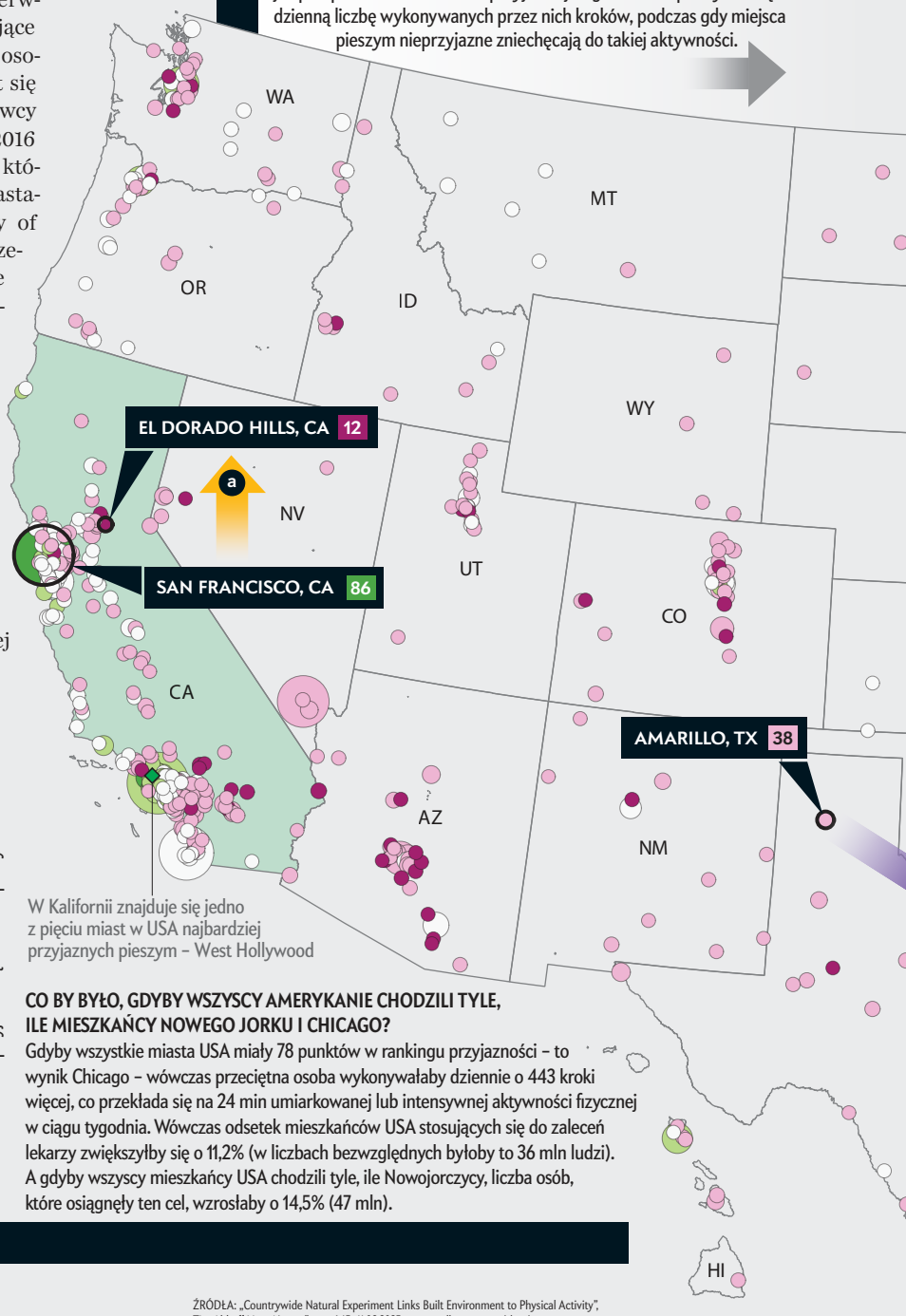
Przyjazność dla osób pieszych: Mała – Duża

Pokolorowano stany, w których znajduje się **pięć miast najbardziej** i **najmniej przyjaznych** pieszym.

Koła obwiedzione grubą czarną linią i opisane odnoszą się do informacji przedstawionych na wykresie z prawej strony.

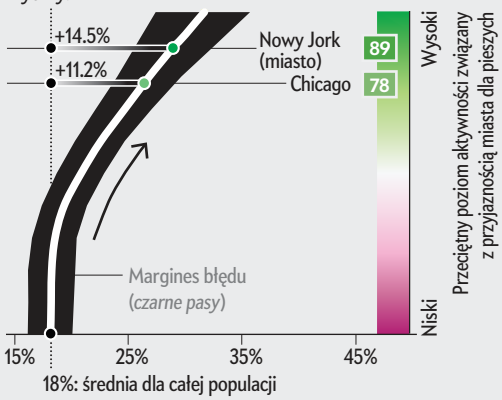
Przyjazność dla osób pieszych: NAZWA MIASTA 86

Strzałki pomiędzy miastami pokazują, co się stało wtedy, gdy ludzie przeprowadzi się z jednego miasta do innego. Pary te – i kierunek migracji ludzi – są bliżej przedstawione na wykresie z prawej strony. Dane pokazują, jak przeprowadzka do miasta przyjaźniejszego osobom pieszym zwiększa dzienną liczbę wykonywanych przez nich kroków, podczas gdy miejsca pieszym nieprzyjazne zniechęcają do takiej aktywności.



W Kalifornii znajduje się jedno z pięciu miast w USA najbardziej przyjaznych pieszym – West Hollywood

Odsetek mieszkańców, którzy w tygodniu przeznaczają co najmniej 150 min na umiarkowany lub intensywny wysiłek fizyczny.



CO BY BYŁO, GDYBY WSZYSCY AMERYKANIE CHODZILI TYLE, ILE MIESZKAŃCY NOWEGO JORKU I CHICAGO?

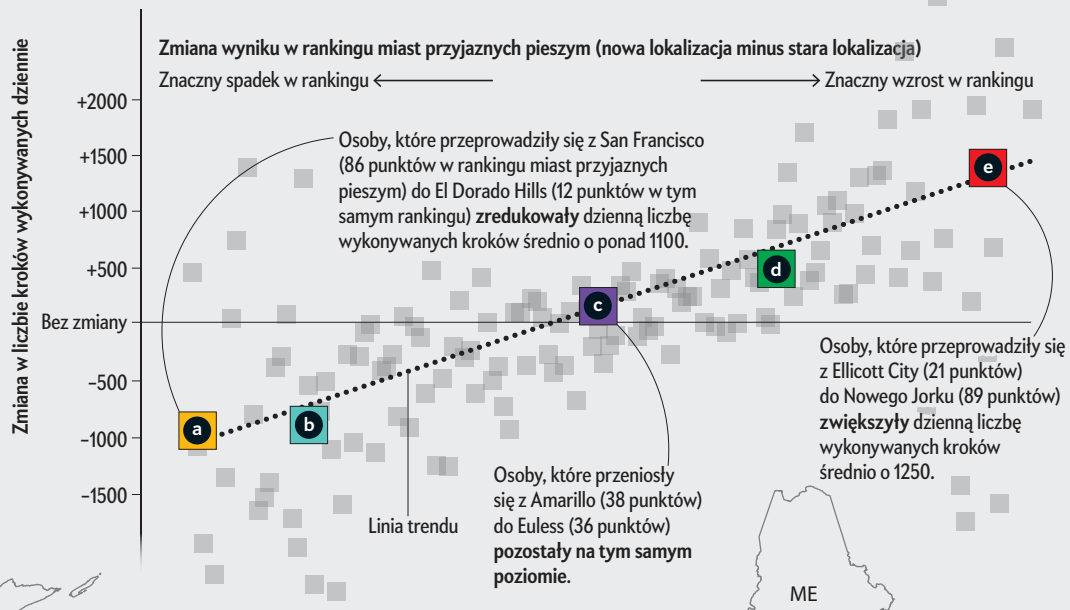
Gdyby wszystkie miasta USA miały 78 punktów w rankingu przyjaznośći – to wynik Chicago – wówczas przeciętna osoba wykonywałaby dziennie o 443 kroki więcej, co przekłada się na 24 min umiarkowanej lub intensywnej aktywności fizycznej w ciągu tygodnia. Wówczas odsetek mieszkańców USA stosujących się do zaleceń lekarzy zwiększyłby się o 11,2% (w liczbach bezwzględnych byłoby to 36 mln ludzi). A gdyby wszyscy mieszkańcy USA chodzili tyle, ile Nowojorczycy, liczba osób, które osiągnęły ten cel, wzrosłaby o 14,5% (47 mln).

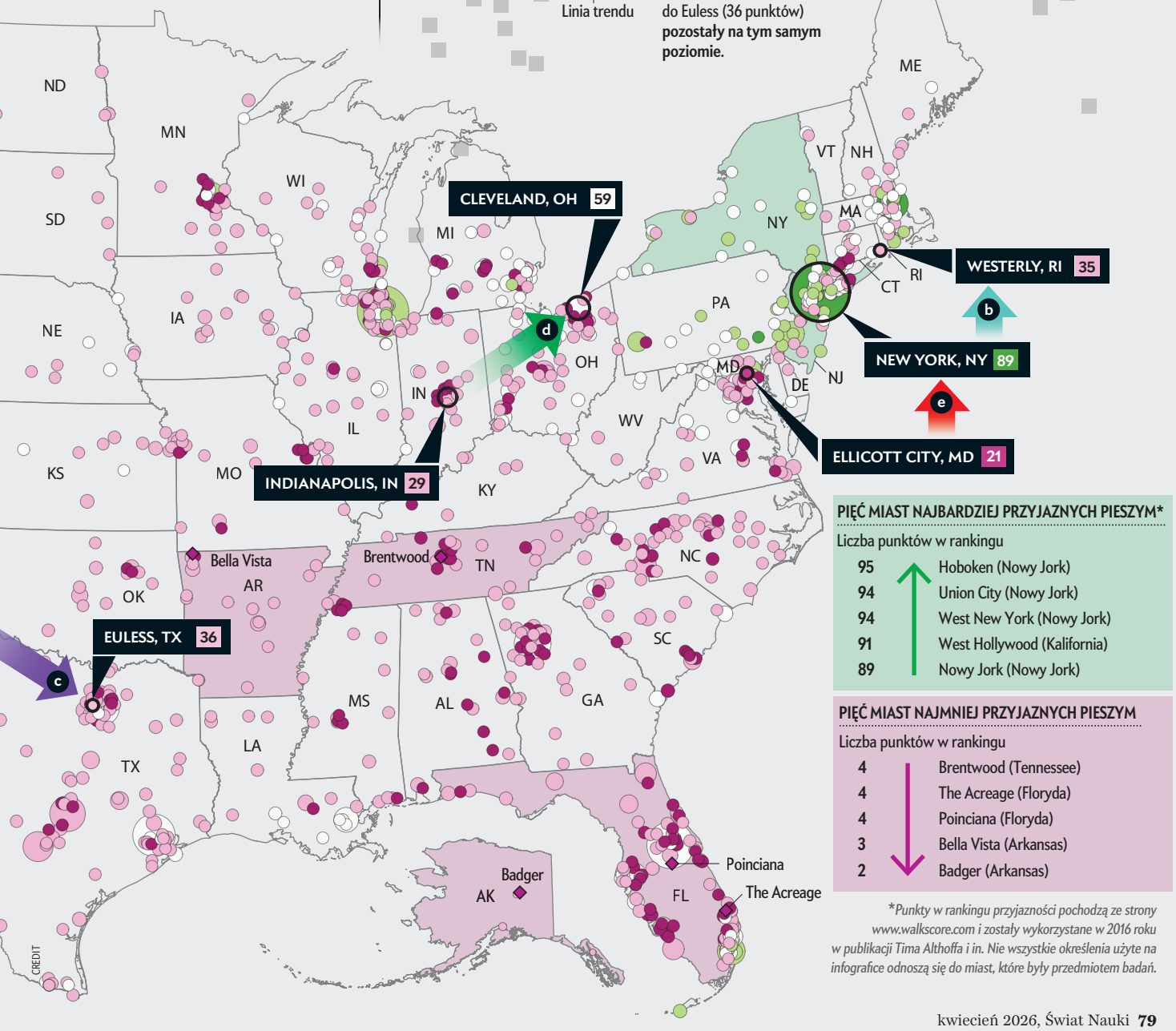
ŹRÓDŁA: „Countrywide Natural Experiment Links Built Environment to Physical Activity", Tim Althoff i in., „Nature", tom 645; 11.09.2025; www.walkscore.com (*dane*)

eprasa.pl 75141bef1a

IM WIĘKSZA PRZYCHYLNOŚĆ WOBEC PIESZYCH, TYM WIĘCEJ WYKONYWANYCH PRZEZ NICH KROKÓW

Każdy kwadrat odpowiada jednej parze miast, między którymi nastąpiły przeprowadzki. Oś X pokazuje zmianę w przyjazności miasta, oś Y zmianę w dziennej liczbie kroków. Ci, którzy przeprowadzili się do miast przyjaźniejszych pieszym, zwiększyli o około 1100 liczbę kroków wykonywanych dziennie; przenosiny do miasta mniej przyjaznego wiązały się z podobną redukcją aktywności.





PIĘĆ MIAST NAJBARDZIEJ PRZYJAZNYCH PIESZYM*

Liczba punktów w rankingu	
95	Hoboken (Nowy Jork)
94	Union City (Nowy Jork)
94	West New York (Nowy Jork)
91	West Hollywood (Kalifornia)
89	Nowy Jork (Nowy Jork)

PIĘĆ MIAST NAJMNIEJ PRZYJAZNYCH PIESZYM

Liczba punktów w rankingu	
4	Brentwood (Tennessee)
4	The Acreage (Floryda)
4	Poinciana (Floryda)
3	Bella Vista (Arkansas)
2	Badger (Arkansas)

**Punkty w rankingu przyjazności pochodzą ze strony www.walkscore.com i zostały wykorzystane w 2016 roku w publikacji Tima Althoffa i in. Nie wszystkie określenia użyte na infografice odnoszą się do miast, które były przedmiotem badań.*

CREDIT

eprasa.pl 75141bef1a

50, 100 i 150 lat temu

1976 PODRĘCZNIKOWE KONTROWERSJE

„W 1969 roku Rada Edukacji stanu Kalifornia wydała nowe wytyczne dotyczące programu nauczania biologii w szkołach publicznych. Zawierały one stwierdzenie, że Księga Rodzaju przedstawia rozsądne wyjaśnienie pochodzenia życia oraz że na naukę koncepcji aktu stworzenia powinno być przeznaczone tyle samo czasu, ile na nauczanie koncepcji ewolucji.

Jak to się stało, że stosunkowo niewielkie grupy ludzi wierzących w jednorazowy akt stworzenia potrafiły wymusić, by ich przekonania znalazły miejsce w edukacji publicznej? Pod pewnymi względami ci krytycy podręczników należą do romantycznego nurtu oporu wobec nauki, który znajduje odbicie w popularności astrologii, mistycznych kultów oraz wyobrażonych kosmologii Immanuela Velikovsky'ego i Ericha von Dänikena. Są także częścią politycznego oporu wobec nauki, przejawiającego się w rosnącej liczbie działań społecznych skierowanych przeciw innowacjom oraz w żądaniach, aby osoby spoza środowiska naukowego uczestniczyły w podejmowaniu decyzji naukowych i technicznych."

KWORUM KWARKÓW

„Hipoteza, że niektóre cząstki subatomowe składają się z prostszych elementów zwanych kwarkami, została wprowadzona ponad kilkanaście lat temu, kiedy prawie nie było dowodów na jej poparcie. W ciągu ostatnich mniej więcej dwóch lat takie dowody zaczęły się pojawiać. Kiedy dwie cząstki zderzają się z bardzo dużą energią, powstaje deszcz innych cząstek, w tym niektórych hadronów. Gdyby kwarki nie istniały, można by oczekiwać, że hadrony będą rozlatywać się z miejsca zderzenia losowo we wszystkich kierunkach. Teoria kwarków przewiduje jednak, że hadrony będą emitowane w wąskich strumieniach (dżetach), ustawionych prostopadle do kierunku ruchu zderzających się cząstek. Wcześniejsze eksperymenty próbujące sprawdzić to przewidywanie dawały niejednoznaczne wyniki. Niedawno zostało ono potwierdzone dla trzech rodzajów zderzeń dzięki rozszerzeniu pomiarów na wyższe poziomy energii.

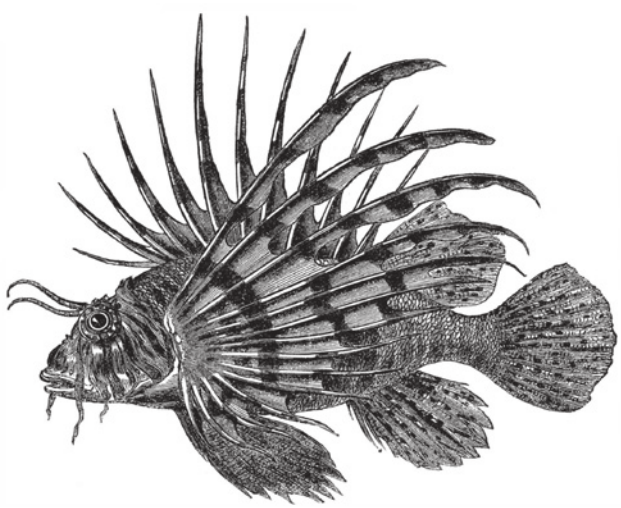
Nawet wśród tych, którzy są przekonani o istnieniu kwarków, nie ma zgody, co do ich liczby. W pierwotnej teorii były trzy rodzaje. W 1964 roku zaproponowano czwarty kwark, mający własność zwaną *powabem* (charm). Nie można wykluczyć możliwości, że spektrum kwarków nie kończy się na czterech. Jeśli jednak lista nie kończy się na trzech i nie kończy się na czterech, to nie ma oczywistego powodu, by miała kończyć się na sześciu."

1926 NOWE ARENY SPORTOWE

„Zadziwiający wzrost popularności futbolu uniwersyteckiego jest jednym z najbardziej niezwykłych zjawisk w historii amerykańskiego sportu. Piętnaście czy dwadzieścia lat temu 10 tys. widzów uważano za wyjątkowo dużą publiczność na meczu futbolowym. Dziś na ważne spotkania w sezonie przychodzą tłumy sięgające 80 tys. osób, a fakt, że liczba widzów nie jest jeszcze większa, wynika jedynie z niemożności zapewnienia miejsc wszystkim chętnym.

Prawie powszechny dawniej materiał budowlany – drewno – ustąpił miejsca stali i betonowi. Odstępy między siedzeniami są większe, a nachylenie rzędów zostało tak starannie obliczone, że można siedzieć w dowolnym miejscu ogromnego stadionu i mieć doskonały widok na boisko. Budowa takiego stadionu to ogromne przedsięwzięcie. Na przykład California Memorial Stadium, niedawno ukończony na kampusie University of California w Berkeley, mieści 78 tys. widzów, co czyni go jednym z największych w kraju i rywalem słynnego Koloseum w starożytnym Rzymie. Jego budowa kosztowała 1 250 000 dolarów."

(Największy obecnie stadion futbolu uniwersyteckiego w USA – Michigan Stadium – może pomieścić do 107 601 widzów.)



1876 Skrzydlica ognista (*Pterois vlitans*): „Dziwacznie wyglądająca ryba przedstawiona na naszej rycinie jest gatunkiem pochodzącym z Oceanu Indyjskiego. Występuje w całym pasie tropikalnych mórz wschodniej półkuli – u wybrzeży Afryki, Indii, Cejlonu, Nowej Gwinei i Australii."

1876 PRZEMYSŁOWE ZASTOSOWANIA AZBESTU

„Azbest jest włóknistym minerałem złożonym z krzemianu magnezu, krzemianu wapnia oraz tlenków żelaza i manganu. Wydobywa się go w kopalniach w różnych formach – od miękkich wiązek jedwabistych włókien po twarde bloki. Bloki można rozdrabniać i rozdzielać na włókna, które – podobnie jak te naturalnie występujące – są niezwykle giętkie, mogą być znacznie rozciągane wzdłuż bez pękania, są tłuste w dotyku i bardzo wytrzymałe.

Ciekawe jest to, że chociaż cenne właściwości azbestu znane są od niepamiętnych czasów, dopiero w ostatnich latach minerał ten znalazł szerokie zastosowanie. W starożytności używano go głównie do wytwarzania niepalnej tkaniny, w której kremowano ciała zmarłych, oraz serwet czyszczonych przez wrzucenie ich do ognia.

Niedawno dowiedzieliśmy się także o jego zastosowaniu w szczególnym rodzaju tapety produkowanej w Rzymie. Poza tymi nielicznymi wyjątkami azbest pozostawał raczej mineralogiczną ciekawostką – produktem, który z dużym prawdopodobieństwem miał kiedyś znaleźć swoje miejsce w gospodarce, lecz który wynalazcy zdawali się systematycznie pomijać."

Scientific American, tom. 34, nr 17, kwiecień 1876

eprasa.pl 75141bef1a

ŚWIAT NAUKI

POLSKA EDYCJA

SCIENTIFIC AMERICAN

W NUMERZE MAJOWYM

Niewidzialna ciemna materia, wszechobecna we Wszechświecie, uważana jest za kluczową dla utrzymywania galaktyk w całości. Jednak astronomowie odkryli kilka niezwykłych galaktyk, które zdają się całkowicie pozbawione ciemnej materii. Ich istnienie stanowi prawdziwie kosmiczną zagadkę. O tym w kolejnym numerze,

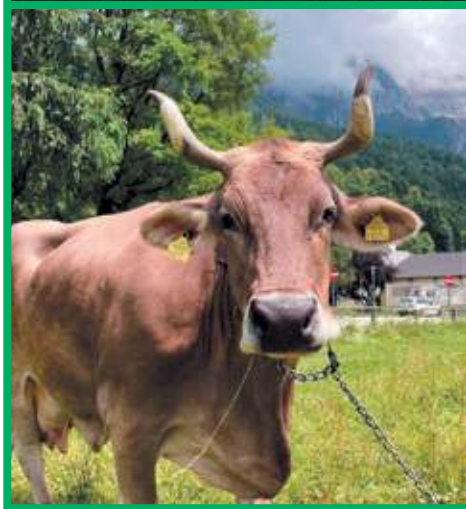
a ponadto:

Alpejskie jeziora duszone przez algi
Najdziwniejszy kwiat świata
Dzisiejsze dzieci są mądrzejsze, niż myślimy
Łaskotanie w różnych kulturach
Czy ultraprzetworzone jedzenie uzależnia?

Prócz tego:

Testosteron a kobiece libido
Świecący las
Inny rodzaj życia
Spanie bez mózgu
Miny naczelnych
Arytmetyczne skróty a płeć

**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 majowy dostępny od 29 kwietnia

eprasa.pl 75141bef1a

Politechnika Wrocławska

STYPENDIUM

SOLARIS

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

Elitarny program wsparcia dla wybitnie uzdolnionych kandydatów na studia

Oferujemy:

- **realizację indywidualnego planu rozwoju**
- **wsparcie opiekuna naukowego**
- **wypłatę stypendium przez 12 miesięcy w roku**
- **miejsce w domu studenckim**

SPRAWDŹ SZCZEGÓŁY

rekrutacja.pwr.edu.pl

eprasa.pl 75141bef1a