ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
swiatnauki.pl • projektpulsar.pl

SCIENTIFIC AMERICAN

Listopad 2026 nr 11 (423)
Cena 21 zł (w tym 8% VAT)

Mikrofale i lasery przeciwko dronom

Czy ultraprzetworzona żywność szkodzi?

Czy oceaniczna geoinżynieria działa?



Wielkie pytania bez odpowiedzi

Co było przed Wielkim Wybuchem?

Jak zaczęło się życie?

Czym jest świadomość?

Gdzie nauka zderza się ze ścianą?

ARCHEOLOGIA CYFROWA

Jak informatyka pomaga odnaleźć zaginione rzymskie drogi

ŚWIAT NAUKI 11/2026
INDEKS 378194
ISSN 0867-6380
11>

eprasa.pl 4916a4856f


INTELIGENTNE
FORMY ŻYCIA,
ŁĄCZCIE SIĘ!
pulsar
PORTAL POPULARNONAUKOWY
PROJEKTPULSAR.PL

POLSKA EDYCJA
ŚWIAT NAUKI
SCIENTIFIC AMERICAN

LISTOPAD 2026
NUMER 11 (423)



RAPORT SPECJALNY

24 W POGONI ZA ABSOLUTEM

BIOLOGIA

28 JAK POWSTAŁO ŻYCIE?
Naukowcy nie mają jednej odpowiedzi na to podstawowe dla biologii pytanie – nie są nawet pewni, czy kiedykolwiek się tego dowiemy.
SARAH SCOLES

ZDROWIE

34 JAK DŁUGO MOŻE ŻYĆ CZŁOWIEK?
Badacze sondują limity długowieczności.
VENKI RAMAKRISHNAN

FIZYKA

40 CZYM JEST CIEMNA MATERIA?
Coraz więcej ekspertów obawia się, że nigdy się tego nie dowiemy.
JOSEPH HOWLETT

FIZYKA

34 JAKIE SĄ NAJMNIEJSZE CEGIEŁKI WSZECHŚWIATA?
Fizycy poszukują elementów składowych znanych nam cząstek.
JAY BENNETT

UMYSŁ

50 CZYM NAPRAWDĘ JEST ŚWIADOMOŚĆ?
Być może już samo rozumienie przez nas tego pojęcia jest fundamentalnie błędne.
TIM BAYNE

KOSMOLOGIA

54 CO BYŁO PRZED WIELKIM WYBUCHEM?
Czy kiedykolwiek dowiemy się, jak powstał Wszechświat?
SARAH SCOLES

KLIMAT

58 JAK UDOWODNIĆ, ŻE OCEANICZNA GEOINŻYNIERIA DZIAŁA?
Firmy modyfikują właściwości wody morskiej, aby zwiększyć ilość CO_2 pobieranego przez nią z atmosfery. Jednakże wyzwaniem pozostaje sprawdzenie, czy ich deklaracje są wiarygodne.
ALEC LUHN

ARCHEOLOGIA

64 ZAGINIONE DROGI IMPERIUM RZYMSKIEGO
Wielki projekt cyfryzacji wszystkich dostępnych danych pozwolił odkryć, że pierwsza sieć drogowa o zasięgu kontynentalnym była niemal dwukrotnie większa, niż dotychczas sądzono.
TOM BRUGHMANS

Ilustracja Deena So'Oteh

eprasa.pl 4916a4856f

ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
SCIENTIFIC AMERICAN

LISTOPAD 2026
NUMER 11 (423)

6 Q&A
Bezmiar tajemnic
CLARA MOSKOWITZ

8 SIŁA MYŚLI
Jak mentalne zmęczenie wpływa na podejmowanie decyzji
VIKRAM CHIB

9 ZDROWIE
Czy ultraprzetworzona żywność naprawdę szkodzi?
LORI YOUMSHAJEKIAN

12 SKANER
Czyżby ciemna materia? ◆ Kosmiczny portret lwa ◆ Czarne dziury nie lubią samotności ◆ Fałszywa zielenina ◆ Superklocki ◆ Jak gołąb bada świat

20 WSZECHŚWIAT
Czekając na supernową
PHIL PLAIT

22 MILITARIA
Z armatą na wróble
SARAH SCOLES

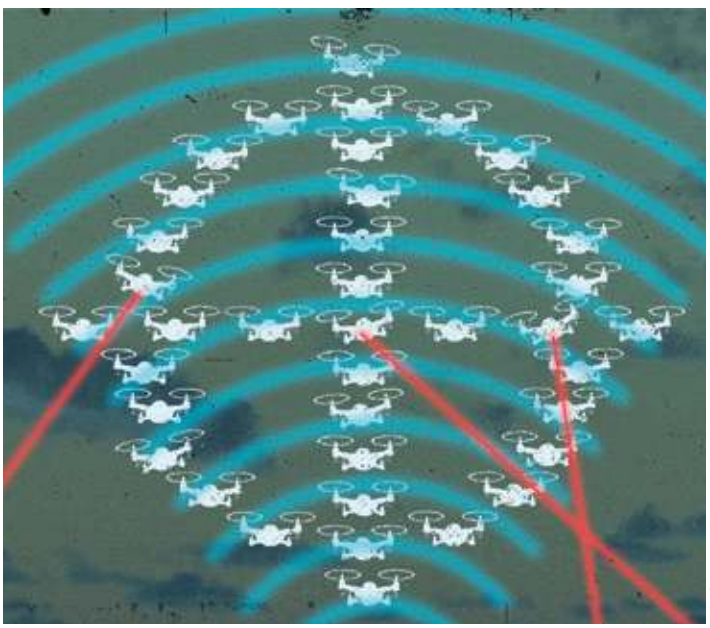
74 UMYSŁ GIĘTKI
Tercety, kwartety, kwintety
MAREK PENSZKO

78 FAKTOGRAF
Zmarszczki czasoprzestrzeni
CLARA MOSKOWITZ

80 Z ARCHIWUM „SCIENTIFIC AMERICAN”
Drzewo w mieście potrzebuje pomocy ◆ Bogate życie na Marsie? ◆ Uprośćmy nomenklaturę ◆ A może lepiej, że oszukują? ◆ Nocne niebo a pogoda ◆ Pluskwiaki jak kaczki



9 Ilustracja Jay Bendt



22 Richard Mia



80 „Scientific American”, tom 35, nr 19, 4 listopada 1876

OKŁADKA



Na niektóre z największych pytań w nauce – dotyczące pochodzenia Wszechświata, życia i świadomości – nie tylko dotąd nie znaleziono odpowiedzi. Może się wręcz okazać, że odpowiedź na nie jest niemożliwa. To jednak nie powstrzymuje naukowców przed kolejnymi próbami.

Ilustracja Owen Gildersleeve

Polska wersja okładki Jolanta Kotas

eprasa.pl 4916a4856f

PRENUMERATA „ŚWIATA NAUKI”

SCIENTIFIC AMERICAN

Prenumeruj druk



KUP TERAZ

Prenumerata roczna
210 zł

Prenumerata półroczna
110 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
299 zł

Prenumerata półroczna
169 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
339 zł

Prenumerata półroczna
189 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? **prenumerata@swiatnauki.pl**

sklep.polityka.pl

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

eprasa.pl 4916a4856f

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 **Jeanna Bryner**
Director of Editorial Eontent **Seth Fletcher**
Copy Director **Maria-Christina Keller**
Chief Art Director **Maria Amador**
Chief of Reporters **Clara Moskowitz**
Chief Special Projects Editor **Megha Satyanarayana**
Breaking News Chief **Claire Cameron**

President **Kimberly Lau**
Publisher and Vice President **Jeremy A. Abbate**
Vice President, Product and Technology **Dan Benjamin**

Management by LabX Media Group, Inc.
Chairman **Bob Kafato**
President **Chris Pauze**

Drodzy Państwo,

głównym tematem numeru są najbardziej podstawowe pytania w nauce – pytania, na które wciąż brak odpowiedzi. To, że jeszcze czegoś nie odkryliśmy, nie dziwi. Bardziej niepokoi to, że odpowiedź może być całkowicie poza zasięgiem ludzkiego poznania. Naukowcy jednak szczególnie się tym nie martwią – bo radość daje już samo poszukiwanie. Ale czego konkretnie dotyczą te tajemnice?

Zacznijmy od biologii. Po pierwsze, skąd się wzięło życie, jak powstało (*s. 28*). Jakie czynniki zainicjowały jego rozwój i czy na pewno cegiełki, z których się składają dzisiejsze organizmy, były na początku identyczne? Po drugie, jakie są granice ludzkiego życia? (*s. 34*) Czy istnieje immanentna jego granica, czy po prostu wystarczy, wzorując się na budowie innych żywych organizmów, usunąć tylko pewne przeszkody? Przy czym nie chodzi wyłącznie o to, by żyć jak najdłużej, ale żeby się tym życiem cieszyć, czyli być zdrowym.

Przy okazji – na wstępie artykułu, a właściwie bardziej eseju, autorstwa noblisty, pada stwierdzenie, że być może jesteśmy jedynym gatunkiem, którego przedstawiciele zdają sobie sprawę z nieuchronności własnej śmierci. Tylko czy na pewno? Czy zwierzęta nie mają tej świadomości, widząc nieraz śmierć swoich towarzyszy, przeżywając żałobę? Myślimy tak, bo szympanse nie spisują testamentów? I tu płynnie przechodzimy do innego wielkiego pytania – o świadomość (*s. 50*).

To zagadnienie jest co najmniej podwójnie trudne – zastanawiamy się, czy zwierzęta są świadome (może nawet rośliny?), czy świadome są malutkie dzieci (a jeśli tak, to od jakiego momentu?), ludzie w śpiączce (gdzie w mózgu tkwi źródło świadomości?), a ostatnio nawet, czy świadoma może być sztuczna inteligencja. Jednocześnie spieramy się o samą definicję świadomości. Stąd już niedaleko rozważań o Wszechświecie i zagadki stają się proporcjonalnie jeszcze większe. Obecnie najgorętszym tematem jest ciemna materia (*s. 40*). Istnieje, ale oddziałuje wyłącznie grawitacyjnie, nie da się jej inaczej zaobserwować, uchwycić. Niektórzy nawet się już zastanawiają, czy tego stanu nie zaakceptować – dinozaurów też nie widzieliśmy na własne oczy, wnioskujemy o ich istnieniu ze skamieniałości. Nie są sądzę jednak, by taka odpowiedź zadowoliła badaczy.

Podobnie naukowcy nie ustaną w poszukiwaniu najbardziej fundamentalnych składników natury (*s. 34*). Obecnie naszą wiedzę o cząstkach elementarnych opisuje Model Standardowy, ale może nie się sięga on wystarczajaco głęboko? To w zasadzie pytanie o zasady organizacji Wszechświata, tego, który, jak się domniemywa, zaczął się od Wielkiego Wybuchu. Ale co był przedtem? (*s. 54*) NIc? Ale co to jest nic? A może przed Wilkim Wybuchem istniał inny wszechświat, tylko jakby odwrotny? A może żyjemy w w wieloświecie? I czy to da się jakkolwiek sprawdzić? Niektórzy widzą szklankę do połowy pełną, inni do połowy pustą. A mnie się wydaje, że choć osiągnięcia nauki są imponujące, to szklanka jest ledwo wilgotna na dnie, ale to i tak powód do dumy.

Zachęcam do lektury naszego Raportu, jak również do przeczytania pozostałych artykułów – w tym o usiłowaniach „topienia" węgla z atmosfery w oceanach (*s. 58*) i fascynujących odkryciach dotyczących sieci dróg Cesarstwa Rzymskiego (*s. 64*).

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 STALI WSPÓŁPRACOWNICY

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 4916a4856f

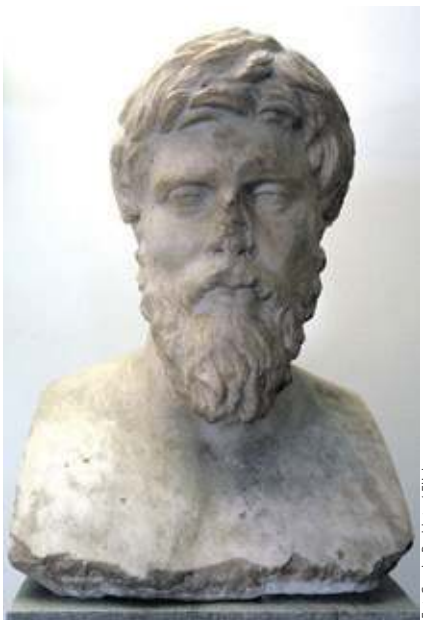
Terapia Plutarchem.

Jak starożytne metafory mogą uzdrowić nasze umysły

Dla antycznych myślicieli metafory nie były jedynie ozdobnikami literackimi, ale stanowiły środki leczenia cierpienia, stymulowania rozwoju i porządkowania myśli. Czy dziś też możemy stosować filozofię jak lekarstwo?

Aby odkryć antyczną instrukcję obsługi naszej psychiki naukowcy pod kierownictwem dr Julii Doroszewskiej z Wydziału Historii Uniwersytetu Warszawskiego w ramach międzynarodowego projektu „Myśląc o myśleniu: pojęciowe metafory poznania w korpusie Plutarcha" przeanalizowali ponad 1700 metafor kognitywnych w pismach wybitnego filozofa z Cheronei: – *Celem tych badań jest zrekonstruowanie czegoś, co można określić jako „potoczne wyobrażenie umysłu"* – mówi dr Julia Doroszewska.

Każdy z nas posługuje się pewną teorią umysłu. Mówimy, np. że coś „nie mieści się w głowie", a wiec w tym wypadku o umyśle myślimy przestrzennie, jak o jakimś miejscu. Ponieważ i umysł, i myśli są pojęciami abstrakcyjnymi, nie można ich zobaczyć ani dotknąć, próbujemy wyobrazić je sobie za pomocą rzeczy widzialnych. Innymi słowy, posługujemy się metaforami.



Fot. Carole Raddato / Flickr

Popiersie przedstawiające Plutarcha, Muzeum Archeologiczne w Delfach, Grecja.

Detektywistyczna praca nad tekstem

Zespół dr Doroszewskiej zastosował metody językoznawstwa kognitywnego. *Metafora to (...) podstawowe narzędzie, po które człowiek sięga, żeby zwizualizować swoje myśli. (...) postanowiliśmy wraz z zespołem sprawdzić, w jaki sposób w starożytności konceptualizowano sferę umysłu i procesów poznawczych* – opowiada dr Doroszewska.

Badacze żmudnie, linijka po linijce sczytywali dziesiątki pism Plutarcha z Cheronei, wyjątkowo płodnego filozofa, który żył na przełomie I i II wieku naszej ery. Każdy fragment tekstu był analizowany niezależnie przez dwóch badaczy, a ich pracę weryfikował dodatkowo trzeci naukowiec. Wszelkie wątpliwości omawiane były przez cały zespół. W ten sposób powstała unikalna cyfrowa baza precyzyjnie sklasyfikowanych metafor pojęciowych.

Gdy głowa przecieka

Jedną z najbardziej uniwersalnych metafor okazało się wyobrażenie umysłu jako pojemnika. Do dziś mówimy, że „coś nam wpadło do głowy" albo „wyleciało z pamięci". Słabo wyćwiczony umysł porównywany był do nieszczelnego dzbana, z którego wyciekają wiedza i dobre rady. Zaś zaniedbaną psychikę myśliciel opisywał jako zanieczyszczony dom albo błotniste wgłębienie terenu, ze spływającymi doń ściekami. W ten sposób obrazował to, jak dopuszczanie do siebie szkodliwych myśli zanieczyszcza naszą wewnętrzną przestrzeń. Czyż nie brzmi współcześnie? W ujęciu Plutarcha umysł ma też swoją przestrzenną geometrię: może być prosty lub skrzywiony. Samo pojęcie poprawności myślenia wyrażane było słowem *orthos*, co dosłownie oznacza „pionowo", „prosto". Filozof np. zachęcał młodzieńców nadmiernie przeglądających się w lustrze, aby „naprostowywali swój charakter za pomocą cnoty".

Częstym modelem do opisywania psychiki były dla starożytnych zwierzęta, jak konie, ale nie tylko: – *Gdy zaczynaliśmy pracę, kura znajdowała się w „Top 10" najdziwniejszych metafor. Człowiek o wścibskim charakterze to ten, który odrzuca to, co jest podane na tacy, a poszukuje brzydkich sekretów, bo tylko te najbardziej skandalizujące rzeczy go interesują. A znajdują się one w kupie gnoju, gdzie ta kura dziobie* – mówi badaczka. Filozof przewidział także szczepionki dla umysłu – bolesne słowa konstruktywnej krytyki przyrównywał do uzdrawiającego ugryzienia zwierzęcia.

W stronę światła

Na szczycie hierarchii poznania Plutarch umieścił światło i wzrok. Cnota i mądrość są opisywane jako blask rozświetlający wnętrze naszej duszy. Przytoczone obrazy miały charakter terapeutyczny. Filozof uważał, że wady charakteru, takie jak przesadna ambicja czy wścibstwo, to prawdziwe choroby duszy. – *Plutarch był geniuszem metafor. Stosował je programowo, ponieważ był świadom ich ogromnej mocy poznawczej. Jeśli użyjemy metafory nośnej, trafnej, ciekawej, chwytającej nas jakoś – co też jest oczywiście metaforą – za serce, to lepiej zapamiętamy, uwewnętrznimy i poznamy* – twierdzi dr Doroszewska.

Cały proces moralnego uzdrawiania opiera się na triadzie: *krisis* (moment bolesnej diagnozy), *askēsis* (codzienne ćwiczenia) oraz *epilogismos* (refleksja i utrwalenie zmiany). Współcześnie, pod wpływem między innymi technologii, postrzegamy umysł często jako komputer. Gdy czujemy się źle, szukamy resetu. Starożytny model umysłu przypomina nam jednak o czymś bardzo ważnym – nasza psychika nie zawsze traktowana była jak maszyna. Kiedyś postrzegano ją jako wrażliwy krajobraz, który wymaga nieustannej, cierpliwej pielęgnacji. Może i dziś powinniśmy przepisywać sobie filozofię na bolączki duszy?

UNIWERSYTET WARSZAWSKI | SERWIS NAUKOWY

Artykuł jest częścią cyklu poświęconego badaniom realizowanym na Uniwersytecie Warszawskim.

eprasa.pl 4916a4856f



Bezmiar tajemnic

Wielu kwestii, zarówno fundamentalnych, jak i całkiem, wydawałoby się, banalnych, wciąż nie potrafimy rozwikłać. I być może nigdy to nam się nie uda

CLARA MOSKOWITZ

NAJBARDZIEJ FASCYNUJĄCE PYTANIA są często najtrudniejsze. Jak powstał Wszechświat? Jak ewoluowało życie? Czym jest świadomość?

Były one dla nas inspiracją do opracowania raportu specjalnego „Pytania o absolut", s. 24. Przyglądamy się w nim zagadkom, które są nie tylko nierozwiązane, lecz być może także nierozwiązywalne.

Takie tematy są również siłą napędową podcastu Vox *Unexplainable* poświęconego naukowym tajemnicom – zarówno wielkim, jak i małym – od natury ciemnej materii po funkcjonowanie ludzkich komórek. Program, który zadebiutował ponad pięć lat temu, niedawno pojawił się również jako podcast wideo na Netfliksie. Jego twórcy zajmowali się najróżniejszymi kwestiami, jak na przykład tym, czy rośliny widzą, dlaczego ludzie płaczą i jak brzmi cisza.

„Scientific American" rozmawiał z prowadzącym *Unexplainable* Noamem Hassenfeldem o pytaniach, na które odpowiedzi mogą stanowić zagrożenie, o wciąż nierozwiązanej zagadce działania roweru oraz o tym, jak mało nadal wiemy o Wszechświecie.

Poniżej zamieszczamy zredagowany zapis rozmowy.

Clara Moskowitz jest szefem reporterów „Scientific American".

Jaka jest główna idea podcastu?

Nasz program wystartował na początku 2021 roku, kiedy pandemia była w pełnym rozkwicie. Wszędzie toczyły się wtedy dyskusje o tym, jak nauka działa, a jak powinna. Bardzo zależało nam na tym, żeby uczciwie pokazać, że naukę tworzą omylni ludzie – naukowcy, którzy mają własne życie, popełniają błędy i po prostu starają się robić wszystko jak najlepiej. Najważniejsze jest, żeby otwarcie przyznawać się do pomyłek i mówić wprost o tym, czego nie wiemy.

Są naprawdę wielkie pytania, na które być może jeszcze długo nie znajdziemy odpowiedzi. Jak wielki jest Wszechświat? Jak powstało życie? Jaki jest sens tego wszystkiego? W gruncie rzeczy wszystkie sprowadzają się do próby zrozumienia naszego istnienia.

Ale nie trzeba też sięgać po wielkie kosmiczne problemy egzystencjalne, żeby znaleźć fascynujące zagadki, z którymi nauka wciąż sobie nie radzi. Zauważyłem, że nasi słuchacze bardzo lubią dowiadywać się o rzeczach, nad którymi wcześniej się nie zastanawiali. Na przykład o tym, że nie do końca wiadomo, jak działa rower. To jeden z moich ulubionych przykładów.

Zaraz, zaraz. Nie wiemy, jak działa rower?

Nie. To trochę skomplikowane. Chodzi o to, która teoria fizyczna właściwie tłumaczy,

Ilustracja Shideh Ghandeharizadeh

eprasa.pl 4916a4856f

dlaczego rower nie przewraca się podczas jazdy. Na najbardziej podstawowym poziomie nie ma chyba żadnego prostego wyjaśnienia tego zjawiska.

Niesamowite! A to przecież zupełnie inny rodzaj zagadki niż na przykład pytanie o to, jak powstał Wszechświat.

Łatwo ulec złudzeniu, że jeśli czegoś nie potrafimy wyjaśnić, to musi chodzić o sprawy wielkie, kosmiczne albo egzystencjalne. Tymczasem zajmujemy się też mnóstwem zupełnie przyziemnych zagadek. Dlaczego płaczemy? Czy jogurt można uznać za odrębny stan skupienia materii? Albo – to jeden z moich ulubionych tematów – dlaczego niektórzy ludzie mają zablokowany odruch odbijania.

Takie proste pytania są dla nas równie zagadkowe, jak pytania o pochodzenie Wszechświata czy życia. Kiedy zastanawiamy się, dlaczego wciąż nie znamy na nie odpowiedzi, łatwiej zobaczyć, czego jeszcze nie rozumiemy. A mnie osobiście pomaga to patrzeć na codzienny świat z większym zdumieniem, zamiast uznawać go za coś oczywistego.

Czy w trakcie pracy nad tymi tematami natknąłeś się na zagadkę naukową, której nie tylko dziś nie potrafimy wyjaśnić, ale której być może w ogóle nie da się rozwiązać?

Chciałbym powiedzieć: „Nigdy nie mów nigdy". Wiele problemów, które kiedyś uznawano za nierozwiązywalne, z czasem udało nam się rozstrzygnąć. Co więcej, znaleźliśmy odpowiedzi na pytania, których wcześniej nawet nie potrafiliśmy sobie wyobrazić.

Przychodzi mi jednak na myśl odcinek poświęcony pytaniu, czy cały obserwowalny Wszechświat znajduje się wewnątrz czarnej dziury. Czy Wszechświat jest po prostu czarną dziurą wewnątrz innego Wszechświata, który z kolei znajduje się wewnątrz kolejnej czarnej dziury i tak dalej, w nieskończoność? W pewnym sensie to pytanie jest nierozstrzygalne, bo nie możemy wydostać się poza czarną dziurę.

Naukowiec, z którym rozmawiałem, zasugerował zbudowanie akceleratora cząstek, który okrążałby Księżyc. To jeden z tych przypadków, kiedy być może dałoby się znaleźć odpowiedź, gdybyśmy zrobili coś absolutnie absurdalnego.

Czy są pytania, na które lepiej nie szukać odpowiedzi, bo próba jej znalezienia mogłaby okazać się zbyt niebezpieczna? Klasycznym przykładem są badania, które doprowadziły do skonstruowania bomby jądrowej. Czy niektóre pytania powinniśmy pozostawić bez odpowiedzi?

To naprawdę dylemat. Sądzę, że istnieją pytania, których rozstrzygnięcie może być niebezpieczne – tak jak w przypadku bomby jądrowej, choć te same badania dały nam również bezemisyjne źródło energii. Są też pytania, na które być może możemy odpowiedzieć tylko wtedy, gdy przestaniemy przestrzegać zasad etycznego prowadzenia badań.

W przeszłości zdarzało się, że wiedzę zdobywano w sposób skrajnie nieetyczny. Pewna pani zwróciła się kiedyś do rubryki porad Vox z pytaniem: skoro korzystam z zapłodnienia in vitro, czy powinnam zrobić wszystko, co w mojej mocy, żeby wybrać zarodek o najmniejszym ryzyku chorób? A jeśli tak, to gdzie postawić granicę? Czy powinnam wybrać wzrost, płeć i kolor oczu? Widać, jak łatwo jest się zagalopować. Myślę, że potrzeba znalezienia idealnego rozwiązania może być z jednej strony niemożliwa do zaspokojenia, a z drugiej – prowadzić w bardzo niebezpieczne rejony.

Czy kiedykolwiek zaskoczyło Cię, jak wiele rzeczy wciąż pozostaje dla nas zagadką?

Wciąż pamiętam odcinek, w którym rozmawialiśmy z naukowcami o tym, czy przed pojawieniem się ludzi – być może miliony lat temu – mogła istnieć cywilizacja techniczna. Wydaje nam się, że o przeszłości wiemy prawie wszystko: mamy przecież skamieniałości, wiemy, co się wtedy działo. Tymczasem tak naprawdę znaleźliśmy zaledwie niewielką część tego, co kiedyś istniało. Zmapowaliśmy mniej niż jedną trzecią dna oceanów. Nie wiemy nawet dokładnie, jak działa węch. Wszystko okazuje się znacznie bardziej skomplikowane, niż nam się wydaje. Dziewięćdziesiąt pięć procent Wszechświata stanowią ciemna materia i ciemna energia, więc o ogromnej większości tego, co istnieje, wiemy właściwie bardzo mało.

Nie zdajemy sobie sprawy, że nasza wiedza przypomina małą świecę rozświetlającą ciemność. Kiedy stoimy tuż obok niej, może nam się wydawać, że jest jasno. Ale wystarczy się oddalić i spojrzeć z szerszej perspektywy, żeby zobaczyć, jak niewiele tak naprawdę wiemy. Bardzo łatwo przeżyć cały dzień, nie uświadamiając sobie tej podstawowej prawdy: niemal wszystko wokół nas pozostaje nieznane.

Czy to Cię czasem zniechęca?

Nie wiem. Z jednej strony sprawia, że jeszcze bardziej doceniam to, co już udało nam się odkryć. To niesamowite, że mimo ogromu niewiadomych krok po kroku zbudowaliśmy tak wielki zasób wiedzy. Dzięki temu zdecydowanie bardziej ją doceniam.

Z drugiej strony fascynuje mnie, jak dużo jeszcze mamy do odkrycia. Wiem, że kiedy umrę, nadal będziemy w zasadzie bardzo niewiele rozumieć z tego, co dzieje się wokół nas. Ale będziemy wiedzieć więcej niż dzisiaj. A ludziom, którzy przyjdą po nas, zostanie mnóstwo miejsca na kolejne odkrycia i nowe odpowiedzi.

Kiedy zaczynaliśmy ten program, zastanawialiśmy się, czy w końcu nie zabraknie nam tematów, których nie da się wyjaśnić. Bardzo szybko przekonaliśmy się, że nic takiego nam nie grozi. To w pewnym sensie przywraca światu odrobinę magii. Uświadamia, jak niewiarygodnie jest złożony i jak wielu ludzi z pełnym zaangażowaniem próbuje go zrozumieć.

Zaszliśmy przecież naprawdę, naprawdę daleko, prawda? Nasza wiedza urosła do wręcz absurdalnych rozmiarów. A mimo to przed nami wciąż ogrom pracy. ■

> Bardzo łatwo przeżyć cały dzień, nie uświadamiając sobie tej podstawowej prawdy: niemal wszystko wokół nas pozostaje nieznane.
>
> NOAM HASSENFELD, PODCAST *UNEXPLAINABLE*

eprasa.pl 4916a4856f



Jak mentalne zmęczenie wpływa na podejmowanie decyzji

Badacze zidentyfikowali obszary mózgu, które uaktywniają się, gdy jesteśmy poznawczo wyczerpani i zastanawiamy się, czy kolejny wysiłek się nam opłaca

VIKRAM CHIB

TEN SCENARIUSZ BĘDZIE ZNAJOMY WIELU RODZICOM: Wyobraź sobie, że spędzasz cały dzień z dziećmi – robisz im śniadanie, rozstrzygasz kłótnie, odpowiadasz na ich pytania i starasz się, żeby się nie nudziły. Pod koniec dnia wreszcie znajdujesz chwilę, by się zastanowić, co podać im na kolację, a przy tym sprawdzić, czy masz wszystkie potrzebne składniki, ile czasu zajmie przygotowanie posiłku i czy dzieci w ogóle będą chciały go zjeść. Po wyczerpującym dniu nawet tak prosta czynność, jak przygotowanie kolacji, może wydawać się ponad siły.

To właśnie zmęczenie poznawcze. Może pojawić się w każdej dziedzinie życia. Dlatego pracownik biurowy, który przez cały dzień wykonuje proste, rutynowe czynności przy komputerze, po pracy może nie mieć już siły, żeby wyjść ze znajomymi na miasto. Podobnie pielęgniarka po długiej i wymagającej zmianie może zrezygnować z dodatkowej wizyty u pacjenta, mimo że wcześniej planowała jeszcze do niego zajrzeć.

W badaniach prowadzonych przez nasz zespół z Johns Hopkins University i Kennedy Krieger Institute wraz ze współpracownikami przyjrzeliśmy się bliżej temu, co dzieje się w mózgu, gdy ludzie muszą podejmować decyzje w stanie psychicznego wyczerpania. Zmęczenie poznawcze to nie tylko poczucie zmęczenia. Nasze badania pokazują, że w istotny sposób wpływa ono na podejmowanie decyzji i gotowość do wysiłku. Stwierdziliśmy, że powtarzający się wysiłek umysłowy może znacznie zmniejszać motywację do podejmowania trudnych zadań. Udało nam się również wskazać obszary mózgu odpowiedzialne za to zjawisko.

Za pomocą czynnościowego jądrowego rezonansu magnetycznego (fMRI) monitorowaliśmy aktywność mózgu 28 osób. Najpierw uczestnicy wykonywali zadania wymagające wysiłku umysłowego, a następnie decydowali, czy są gotowi podjąć większy wysiłek poznawczy w zamian za pieniądze. Nagrody pieniężne pozwoliły nam dokładnie określić, jak zmieniała się motywacja uczestników do podejmowania wysiłku w miarę narastania zmęczenia.

Podczas badania w skanerze uczestnicy odpowiadali na pytania sprawdzające pamięć roboczą – rodzaj pamięci, który pozwala jednocześnie przechowywać w umyśle kilka informacji. Ich zadaniem było zapamiętywanie ciągów liter o różnym stopniu trudności. Kiedy badani wykonali już kilka takich zadań i byli nieco zmęczeni, dawaliśmy im do wyboru łatwy test pamięci, za którego poprawne rozwiązanie mogli otrzymać dolara, albo trudniejszy test, za który można było zarobić nawet 8 dolarów. W miarę narastania zmęczenia poznawczego uczestnicy znacznie rzadziej wybierali trudniejszą opcję, mimo że wiązała się z wyższą nagrodą. Ich wybór pozwolił nam lepiej zrozumieć, jak zmęczenie poznawcze wpływa na gotowość do podejmowania większego wysiłku w zamian za potencjalną nagrodę.

Co więc dzieje się w wyczerpanym mózgu, że zaczynamy zachowywać się inaczej?

Okazuje się, że działa nim układ odpowiedzialny za podejmowanie decyzji, który uwzględnia stopień zmęczenia. W miarę jak uczestnicy wykonywali coraz bardziej wyczerpujące zadania związane z pamięcią, znajdująca się z przodu mózgu grzbietowo-boczna kora przedczołowa wysyłała coraz silniejsze sygnały do prawej przedniej wyspy – obszaru położonego w środkowej części prawej półkuli, który między innymi monitoruje stan organizmu, w tym poziom zmęczenia.

Na podstawie obserwowanych wzorców aktywności wykorzystaliśmy sygnały

Vikram Chib jest profesorem nadzwyczajnym inżynierii biomedycznej na Johns Hopkins University oraz w Kennedy Krieger Institute. Zajmuje się neuronalnymi mechanizmami umotywowanego działania i podejmowania decyzji.

Organic Media/Getty Images

eprasa.pl 4916a4856f

wymieniane między tymi dwiema strukturami, aby określić, w jakim stopniu dana osoba jest skłonna podjąć wysiłek umysłowy w zamian za nagrodę. Wraz z narastającym wyczerpaniem aktywność między nimi rosła, co oznaczało, że grzbietowo-boczna kora przedczołowa i prawa przednia wyspa wymieniały coraz więcej sygnałów. Im silniejsze było połączenie między tymi strukturami, tym mniejsza była skłonność uczestników badania do podejmowania trudniejszego testu pamięci.

Wyniki te pozwalają lepiej badać zmęczenie poznawcze – zarówno towarzyszące codziennym doświadczeniom, jak i występujące w niektórych stanach, w których jego skutki są szczególnie nasilone, takich jak depresja, długi COVID czy stwardnienie rozsiane. Wciąż niewiele wiemy o skrajnym wyczerpaniu psychicznym, ale nasze badania otwierają drogę do lepszego poznania tego zjawiska. Możliwe na przykład, że osoby z depresją podejmują decyzje inaczej, gdy są wyczerpane psychicznie. Ustalenie, które obwody nerwowe odpowiadają za podejmowanie wysiłku poznawczego w depresji i innych zaburzeniach, może w przyszłości przyczynić się do opracowania leków i terapii oddziałujących na te obwody.

Badane przez nas układy mózgu wspólnie pomagają ocenić, czy dana nagroda jest warta zachodu. Sygnały związane ze zmęczeniem prawdopodobnie wyewoluowały jako mechanizm chroniący nas przed nadmiernym obciążeniem organizmu – zarówno psychicznym, jak i fizycznym. Gdy stają się silniejsze, rośnie również koszt podejmowania kolejnych działań.

Możemy jednak zmobilizować się do działania nawet wtedy, gdy jesteśmy zmęczeni – zwłaszcza jeśli dodatkowy wysiłek rzeczywiście ma sens. Wyczerpanie psychiczne często powstrzymuje nas nawet przed czynnościami, które mogłyby pomóc odzyskać siły, takimi jak spacer w słońcu. A przecież nawet po długim dniu pracy zawodowej czy po całym dniu opieki nad bliskimi czekają na nas ważne, choć wymagające zadania, na przykład przygotowanie zdrowego posiłku. Badania pokazują, że świadomość znaczenia jakiejś czynności albo zwykłe nią zainteresowanie może pomóc przełamać znużenie. Innymi słowy, jeśli uświadomimy sobie, co robimy i dlaczego ma to znaczenie, łatwiej będzie nam zdobyć się na dodatkowy wysiłek. ■



Ilustracja Jay Bendt

Czy ultraprzetworzona żywność naprawdę szkodzi?

Naukowcy nie wiedzą, dlaczego miałaby być niezdrowa, a nowe badania wskazują, że to nie samo „przetworzenie" stanowi problem

LORI YOUMSHAJEKIAN

NA ŚNIADANIE – płatki owsiane błyskawiczne. Na lunch – kanapka z indykiem na pełnoziarnistym pieczywie. Na kolację – zapiekanka makaronowa z mozzarellą, a na deser – jogurt niskotłuszczowy i suszone owoce. Taka dieta jest całkiem zdrowa i spełnia amerykańskie federalne zalecenia żywieniowe – a jednak niemal wszystkie kalorie pochodzą w niej z żywności ultraprzetworzonej.

W krajach takich, jak USA i Wielka Brytania, żywność ultraprzetworzona stanowi co najmniej połowę przeciętnej diety. Badania prowadzone w ciągu ostatnich kilku lat wiązały spożywanie jej dużych ilości z chorobami serca, cukrzycą i przedwczesną śmiercią.

Wyniki te sprawiły, że żywność ultraprzetworzona znalazła się w centrum uwagi – także amerykańskich federalnych decydentów zajmujących się polityką żywieniową. W opublikowanych w tym roku nowych zaleceniach żywieniowych wezwali oni społeczeństwo do unikania wysokoprzetworzonej żywności.

Chodzi o to, że samo przetwarzanie może zmieniać żywność w sposób, który sprawia, że łatwiej zjeść jej znacznie więcej, nawet tego nie zauważając, a organizm może ją szybciej strawić. Możliwe też, że niektóre dodawane składniki, takie jak konserwanty i emulgatory, wpływają na mikrobiom jelitowy i sposób, w jaki organizm radzi sobie z poziomem stężenia glukozy we krwi.

Ale czy rzeczywiście problemem jest samo przetwarzanie, czy może rodzaje substancji, które zwykle zawiera wysokoprzetworzona żywność? Produkty ultraprzetworzone często obfitują w składniki odżywcze, których zaleca się unikać, a nowe wyniki badań dostarczają kolejnych dowodów na to, że na nasze zdrowie w dłuższej perspektywie wpływa raczej profil odżywczy żywności – na przykład niska zawartość błonnika oraz duża

Lori Youmshajekian jest dziennikarką naukową, która zajmuje się tematami z zakresu zdrowia, ochrony środowiska oraz nadużyć w świecie nauki. Ukończyła studia magisterskie na wydziale dziennikarstwa naukowego na York University. Publikowała m.in. w „National Geographic", „Wired" oraz „Retraction Watch".

eprasa.pl 4916a4856f

ilość cukru i tłuszczów nasyconych – niż sam sposób jej przetwarzania. Mogłoby to wyjaśniać istnienie „zdrowej" żywności ultraprzetworzonej, takiej jak jogurty czy pieczywo pełnoziarniste, a także sugerować, że klasyfikowanie produktów na podstawie stopnia ich przetworzenia jest bardziej skomplikowane, niż się wydaje. Może bowiem skłaniać ludzi do rezygnacji z produktów, które prawdopodobnie wcale im nie szkodzą.

Aby sprawdzić, czy wszystkie produkty ultraprzetworzone są dla nas równie niekorzystne, zespół z National Institutes of Health przeanalizował dane z krajowych badań dotyczących sposobu odżywiania ponad 5 tys. osób. Naukowcy wyodrębnili produkty zaklasyfikowane już jako „ultraprzetworzone" zgodnie z powszechnie stosowanym systemem klasyfikacji żywności Nova i sprawdzili, czy zawierały również dużo składników, których ograniczanie zalecają wytyczne żywieniowe: cukru dodanego, soli, tłuszczów nasyconych, rafinowanych produktów zbożowych i alkoholu.

Zgodnie z oczekiwaniami około 90% kalorii spożywanych przez badanych wraz z żywnością ultraprzetworzoną pochodziło z produktów bogatych w składniki, których należy unikać. Naukowcy powiązali te same produkty z wyższym wskaźnikiem masy ciała (BMI) i większą zawartością tkanki tłuszczowej, podwyższonym stężeniem insuliny oraz nasilonym stanem zapalnym.

Co jednak istotne, produkty ultraprzetworzone zawierające mniej składników, których należy unikać – takie jak fasola i warzywa w puszkach, jogurty o niskiej zawartości cukru, napoje dietetyczne i produkty niskotłuszczowe – nie wykazywały związku z tymi samymi niekorzystnymi wskaźnikami zdrowotnymi.

Wynik ten świadczy, że wpływ żywności ultraprzetworzonej na zdrowie może wynikać z jej profilu odżywczego – choć obserwacyjny charakter danych utrudnia ustalenie, co rzeczywiście odpowiada za stwierdzone efekty. Wstępne wyniki przedstawiono podczas lipcowego spotkania American Society for Nutrition.

Leah Lipsky, główna autorka badania i epidemiolożka zajmująca się żywieniem w National Institutes of Health, podkreśla, że wyniki nie oznaczają, iż powinniśmy żywić się wyłącznie ultraprzetworzoną żywnością o korzystniejszym profilu odżywczym. „Nie do końca o to nam chodzi" – mówi. Wyniki sugerują raczej, że określenie „ultraprzetworzona" nie jest najlepszym punktem wyjścia do oceny wpływu danego produktu na zdrowie. Lipsky zwraca też uwagę, że niektórzy producenci reformułują żywność ultraprzetworzoną, aby móc przedstawiać ją jako zdrowszy wybór. Jej zdaniem takie podejście rozmija się jednak z istotą problemu. „Naprawdę chcemy zachęcić ludzi, żeby jedli więcej produktów prosto z działu warzyw i owoców", mówi, a nie skupiać się na podziale na żywność „ultraprzetworzoną i nieultraprzetworzoną".

Także inne duże badania wskazują, że związek między żywnością ultraprzetworzoną a ryzykiem chorób wynika przede wszystkim z określonych rodzajów produktów należących do tej kategorii. Szczególnie niekorzystne okazują się przetworzone mięso i sery oraz słodzone napoje. Z kolei produkty takie, jak pieczywo, płatki zbożowe czy roślinne zamienniki produktów odzwierzęcych nie wykazują podobnego związku z pogorszeniem stanu zdrowia. W 2023 roku zespół z U.S. Department of Agriculture opracował jadłospis zgodny z federalnymi zaleceniami żywieniowymi, choć niemal wszystkie zawarte w nim kalorie pochodziły z żywności ultraprzetworzonej. To kolejny argument za tym, że nie wszystkie takie produkty są z definicji „złe".

Niektóre dowody wskazują jednak, że sam sposób przetwarzania również ma znaczenie. W 2019 roku inny zespół z National Institutes of Health opisał badanie z udziałem 20 dorosłych osób, które stosowały dwie diety – ultraprzetworzoną i nieprzetworzoną – starannie dopasowane pod względem zawartości kalorii, cukru, tłuszczu, soli i błonnika. Podczas stosowania diety ultraprzetworzonej uczestnicy spożywali około 500 dodatkowych kalorii dziennie i przybierali na wadze.

W podobnym badaniu, którego wyniki opublikowano w ubiegłym roku, naukowcy z Anglii poddali 50 osób dwóm różnym dietom. Obie zostały opracowane zgodnie z brytyjskimi zaleceniami dotyczącymi zdrowego odżywiania, ale jedna składała się z żywności ultraprzetworzonej, a druga z produktów minimalnie przetworzonych. Uczestnicy tracili na wadze na obu dietach, jednak osoby stosujące dietę opartą na minimalnie przetworzonych produktach schudły średnio dwa razy więcej.

Chociaż badania te trwały krótko, wszystkie prowadzą do podobnego wniosku, mówi Marion Nestle, emerytowana profesorka nauk o żywieniu na New York University: ludzie są zdrowsi, gdy ograniczają spożycie żywności ultraprzetworzonej. Ultraprzetwarzanie zmienia fizyczną strukturę niektórych cząsteczek zawartych w żywności, wyjaśnia. Chipsy kukurydziane na przykład powstają z całych ziaren kukurydzy, które najpierw gotuje się w roztworze alkalicznym, aby oddzielić łuski, a następnie się miele. Z wilgotnego ciasta formuje się odpowiednie kształty, po czym smaży. W ten sposób zanika naturalna struktura ziaren kukurydzy, a powstaje produkt przypominający żywność częściowo już strawioną – taki, który układ pokarmowy trawi szybciej niż nieprzetworzoną żywność, mówi Nestle.

Niezależnie od tego, czy z powodu miękkiej konsystencji i łatwości jedzenia, czy też smakowitego połączenia tłuszczu, soli i cukru, „jest w tych produktach coś, co sprawia, że ludzie jedzą więcej, nawet nie zdając sobie z tego sprawy", mówi Nestle.

Znaczenie może mieć zarówno sposób przetwarzania, jak i skład odżywczy. David Julian McClements, naukowiec zajmujący się żywnością na University of Massachusetts Amherst, zauważa, że do grupy żywności ultraprzetworzonej trafiają na ogół te same produkty, przed którymi dietetycy ostrzegają od dziesięcioleci – określane zwykle, choć niezbyt precyzyjnie, mianem „śmieciowych". Jego zdaniem sam proces przetwarzania rzeczywiście ma wpływ na zdrowie, ale jest on „znacznie mniejszy niż wpływ wartości odżywczych".

Eksperci nie uważają, że całkowite wyeliminowanie żywności ultraprzetworzonej jest realnym rozwiązaniem dla większości ludzi. „Wielu z nas nie ma czasu, energii, pieniędzy ani ochoty, żeby wszystko przygotowywać od podstaw" – mówi McClements. Jego zdaniem naukowcy powinni najpierw ustalić, które produkty przetworzone szkodzą i z jakiego powodu, następnie opracować ich zdrowsze wersje, a na koniec sprawdzić, czy takie zmiany rzeczywiście poprawiają stan zdrowia – ale, jak wiadomo, tego rodzaju badania są czasochłonne i kosztowne.

Nestle ma więc dla nas prostszą radę. „Aby być zdrowym, trzeba rzadziej sięgać po śmieciowe jedzenie" – mówi. ■

eprasa.pl 4916a4856f

„Patologia" nigdy nie wybierze tych perfum!

Hermès, Sisley, Nicolaï i Frederic Malle – cóż łączy te cztery marki i sprawia, że pachną ponad trendami? Dlaczego do tego grona nie zalicza się ani Chanel, ani Dior, ani nawet Amouage czy Creed?

Nie jest to zatem francuski rodowód.
Nie jest to też cena. Tajemnicą jest styl kreacji.



Patricia de Nicolaï podczas pracy

Jean-Claude Ellena – naczelny nos marki Hermès w latach 2004-2016 – stworzył swój nurt, który opisujemy jako pastelowy, nieagresywny, ale z wielką wartością. Każdą z nut przedstawiał w formie naturalnej. Napełniał swoje kompozycje światłem, co zapewniało im sznyt nie do podrobienia. Później wizję tę nieco zmieniła Christine Nagel, ale wciąż zachowała ramy, które stoją w opozycji do słodkich lub syntetycznych nut ambrowo-piżmowych. Dobrym przykładem niech będzie **Barenia – szypr zbudowany na kanwie Akigalawood**. Zapach jednak nie razi, a zachwyca. Nie chodzi zatem o to, żeby nie korzystać z nowoczesnych składników, ale aby robić to z klasą.



Frederic Malle i Jean-Claude Ellena

Po odejściu z firmy Guerlain ostatniego perfumiarza z rodu – Jean-Paula – koneserzy takich kompozycji jak Nahema czy L'Heure Bleue nie mogli czuć się ukontentowani kolejnymi interpretacjami nut słodkich lub kwiatowych. W tym wypadku zwrócili się w stronę marki Nicolaï, w której **prawnuczka Pierre'a Guerlaina w swoim małym laboratorium w sercu Paryża wciąż tworzy perfumy o dawnej złożoności i sile wyrazu. Patricia de Nicolaï wyczarowała wszak zapachy wybitne**, które trafiają do wrażliwości koneserów *haute-parfumerie*. Warto wspomnieć o Caravansérail – **uważanych przez wielu za najlepszy zapach światowej perfumerii lat 20. XXI wieku**. To niebywałe połączenie kawy, śliwki i paczuli na bazie z nieśmiertelników i drewna sandałowego.

Sisley i Frederic Malle to inne przypadki, ponieważ nie zatrudniają własnych perfumiarzy. Kiedy jednak współpracują z innymi nosami, to kierują się swoim stylem, który również opisać możemy jako elegancki, niegłośny, zapierający dech w piersiach, ale bez agresji. **Warto wspomnieć, że obie marki zaprosiły niegdyś do współpracy Jean-Claude'a Ellenę** – tego, który przez 12 lat był naczelnym twórcą Hermès. Przyjrzyjmy się najnowszej kompozycji Malle'a. Agnieszka Łukasik, CEO perfumerii Galilu, mówi o Contre-Jour tak: (...) *przyniósł powiew klasyki Frederica Malle'a, w której zakochałam się dwadzieścia lat temu. Mamy tu drzewo sandałowe, kocankę i różę – a przynajmniej tyle zdradzono. Całość jest odważna, konkretna i wyrazista. Mocna, ale szlachetna.*

I szlachetność widać też w perfumach Sisley. **W Eau du Soir powracamy do wielkiej klasyki jaką jest akord szyprowy**. Założycielka marki, Isabelle d'Ornano mówi wprost: *Wzbudził on ogromne zainteresowanie. To właśnie przekonało nas do jego wprowadzenia na rynek, ponad piętnaście lat po Eau de Campagne*. Eau du Soir debiutowały w 1990 roku i od tego czasu są ich wielkim sztandarem.

Wspomniane powyżej perfumy to zapachy o niesamowitej głębi, ale bez taniej głośności, z jaką dziś utożsamiamy wiele marek premium. Nie trafiają one w gusta mas. **I powiedzmy sobie wprost – są zbyt trudne dla obwieszonych fałszywym złotem klonów Donatelli Versace**.



Hermès Barénia Pleine Fleur
(woda perfumowana, sephora.pl)



Frederic Malle Contre-Jour
(woda perfumowana, galilu.pl)



Nicolaï Caravansérail
(woda perfumowana, impressium.pl)



Sisley Eau du Soir
(woda perfumowana, sephora.pl)

MARCIN BUDZYK-WERMIŃSKI
jest chemikiem i inżynierem oraz niezależnym ekspertem perfumeryjnym, autorem najpopularniejszego bloga o perfumach w Europie – nezdeluxe.pl. Publikował w polskich i zagranicznych edycjach Harper's Bazaar, Elle czy L'Officiel. Ukończył Technologię Chemiczną na Politechnice Warszawskiej.

eprasa.pl 4916a4856f

FIZYKA WYSOKICH ENERGII

Błysk ciemności

Czy w końcu odkryliśmy, czym jest ciemna materia?



Matthew Kapust/Sanford Underground Research Facility

16 CZERWCA 2023 ROKU, 39 s po godzinie 15:22 czasu MDT, na głębokości jednej mili w górach Black Hills w stanie Południowa Dakota, nastąpił nagły błysk światła.

Zdarzyło się to w ciemnym, szczelnie zamkniętym zbiorniku ze skrajnie zimną cieczą, znajdującym się w jaskini, gdzie niegdyś górnicy wydłubywali złoto ze ścian. Błysk ten, uchwycony przez szereg kamer zainstalowanych wokół zbiornika, wywołał przepływ ładunku elektrycznego przez cienkie jak włos przewody zanurzone w cieczy.

Zbiornik ten stanowi centralny element projektu LUX-ZEPLIN (LZ) – jednego z wielu przeprowadzanych przez fizyków eksperymentów mających na celu uchwycenie i zbadanie ciemnej materii, zagadkowego czegoś, co, jak podejrzewają, jest wszędzie – a jednak jakoś nigdzie nie można tego wykryć. Badacze umieszczają detektory w jednych z najcichszych miejsc na Ziemi, gdzie powinno dać się usłyszeć subtelne szepty ciemnej materii. Jednak dotychczas nie uzyskano żadnych rezultatów, gdyż dla każdego rozbłysku świetlnego lub skoku napięcia można było podać bardziej prozaiczne wyjaśnienie.

Ów błysk sprzed trzech lat był jednak inny. Ładunek elektryczny i promieniowanie łącznie wydają się wskazywać na gwałtowne zderzenie cząstki nieznanego typu z jądrem jednego z atomów detektora. Zjawisko to nie ma prawie żadnego podobieństwa do któregokolwiek z elementów „tła" – zwyczajnych źródeł błysków przypominających efekty ciemnej materii – z którymi setki badaczy uczestniczących w projekcie LZ zmagały się przez całą swoją karierę.

Tymczasem zderzenie to nie pasuje również do rodzaju sygnału ciemnej materii, jakiego wypatrywali. Oznacza to, że jest z gruntu zagadkowe. Jednakże po czterech dekadach bezowocnych prób nowa zagadka jest mile widziana.

„Mój Boże, czekam na jakikolwiek pozytywny wynik od 40 lat – mówi Katherine Freese, fizyczka teoretyczna z University of Texas w Austin, której badania pomogły zainspirować te poszukiwania. – Można więc w ciemno zakładać, że wyniki LZ bardzo, ale to bardzo mnie ekscytują".

Zespół LZ doniósł o tym odkryciu podczas niedawnej prezentacji na konferencji TeVPA w Japonii. Dotyczący go artykuł został przesłany do czasopisma

eprasa.pl 4916a4856f



LUX-ZEPLIN poszukuje ciemnej materii, wykorzystując zbiornik zawierający siedem ton ciekłego ksenonu umieszczony pod ziemią w opuszczonej kopalni złota.

„Physical Review Letters". Według najlepszych szacunków uczestników projektu prawdopodobieństwo, że błysk ten jest statystycznym przypadkiem, wynosi około pół procent (co nadal znacznie przewyższa próg 0,00003% przyjmowany w eksperymentach z fizyki wysokich energii za uprawniający do ogłoszenia odkrycia).

Wszechświat, który widzimy, spoglądając w przestrzeń kosmiczną, jest niemal niemożliwy do wytłumaczenia bez ciemnej materii. Materia, którą śledzą nasze teleskopy, wiruje zbyt szybko i zbyt gwałtownie tworzy skupiska zbyt gęste, by to się dało łatwo wyjaśnić. Wystarczy w istocie powiedzieć, że w porównaniu z materią, którą widzimy, musi istnieć pięć razy więcej materii niewidocznej i nieaktywnej, która pomimo to oddziałuje grawitacyjnie, nie emitując żadnego promieniowania. Ciemna materia jest wszechobecna i występuje w ogromnych ilościach, lecz nie mamy pojęcia, jaka jest jej natura.

Detektory, takie jak LZ, opierają się na hipotezie, że ciemna materia składa się ze słabo oddziałujących cząstek o dużej masie (WIMP). Są to hipotetyczne cząstki, które normalnie przechodzą swobodnie przez zwykłą materię niczym duchy, ale w rzadkich przypadkach zderzają się losowo z jakimś atomem – dlatego LZ i analogiczne eksperymenty upychają jak najwięcej atomów w miejscach o najmniejszej ilości zakłóceń, jakie uda im się znaleźć, aby zarejestrować te oddziaływania.

Zderzenie z czerwca 2023 roku spełnia większość przypuszczeń zespołu, co do WIMP-ów, poza tym że jest o wiele zbyt gwałtowne. Większość standardowych teorii głosi, że jeśli LZ wykrył zdarzenie z udziałem WIMP-a o tak wysokiej energii, powinien był już wcześniej zaobserwować dziesiątki czy nawet setki kolizji o łagodniejszym charakterze – a nic podobnego nie miało miejsca. Jeśli zatem to, co zarejestrował LZ, faktycznie jest WIMP-em, cząstka ta musi być skrajnie osobliwa – oddziałująca ze zwykłą materią nieco inaczej, niż przewidywano, lub w niewiadomy sposób przyspieszona do większej energii.

„Biorąc pod uwagę, że kompletnie nie wiemy, czym jest ciemna materia, nie jestem wcale zaskoczony, że nie odpowiada ona dokładnie temu, czego się spodziewamy" – mówi Hugh Lippincott, profesor University of California w Santa Barbara i uczestnik projektu LZ.

Inni uczestnicy również zalecają ostrożność. „Nie powinniśmy pochopnie wysuwać konkretnych twierdzeń dotyczących ciemnej materii lub nowej fizyki na podstawie pojedynczego zdarzenia"

eprasa.pl 4916a4856f

– mówi Knut Dundas Morå, fizyk z Universität Zürich biorący udział w LZ. Ponadto członkowie zespołu analizowali dane bez „zaślepienia" – uznawanego za złoty standard w fizyce wysokich energii podejścia stosowanego w celu uniknięcia stronniczości.

Na szczęście w najbliższej przyszłości powinno pojawić się więcej odpowiedzi, opartych na większym zbiorze danych z zastosowaniem prawidłowego zaślepienia. „To były dane z 220 dni. W istocie dysponujemy zaślepionymi danymi z ponad 700 dni – mówi Richard Gaitskell, profesor na Brown University i rzecznik LZ. – To ustawia nas w korzystnej pozycji wyjściowej do zbadania tej kwestii".

Dane te albo wykażą, że to pojedyncze zdarzenie było anomalią, albo ujawnią więcej podobnych przypadków. W tym drugim przypadku dwa konkurencyjne eksperymenty, PandaX-4T i XENONnT, pomogą ustalić, czy LZ rzeczywiście zaobserwował cząstki WIMP, czy też jakiś nieznany wcześniej efekt tła.

Na razie badacze z LZ starają się racjonalnie zarządzać oczekiwaniami. „Przechodzi nam niekiedy przez myśl, że to może być to – mówi Morå. – Jednak takie nastawienie mogłoby zaszkodzić analizie i nie sądzę, by wielu z nas tak do tego podchodziło". Lippincott zgadza się z tym, choć nie wyklucza możliwości, że w grę wchodzi coś niezwykłego. „To zjawisko znacznie odbiega od wszystkich znanych efektów tła – mówi. – Trudno zatem nie zachodzić w głowę, w czym rzecz".

Ta zagadkowa kolizja pojawia się w kluczowym momencie wyścigu o wyjaśnienie ciemnej materii. „Najwyższy czas, by przyroda dała nam ten prezent" – mówi Juan Collar, fizyk z Chicago University, który nie uczestniczy w projekcie LZ. Detektory stają się tak potężne i czułe, że wkrótce zostaną zalane sygnałami pochodzącymi od innych widmowych cząstek zwanych neutrinami, które są generowane zarówno w Słońcu, jak i w atmosferze ziemskiej. W tym momencie wyścig będzie musiał się zakończyć – lub przynajmniej trzeba będzie odejść od poszukiwań WIMP-ów na rzecz jakiejś innej, nieuchwytnej zdobyczy.

„To wasza ostatnia szansa na zaobserwowanie jakiegoś WIMP-a – jeśli go nie ma, w ciągu najbliższych 10 lat będziecie musieli zwinąć interes – mówi Collar. – Może to stanowić początek czegoś spektakularnego". *Joseph Howlett*

NAUKA W OBRAZACH

Kosmiczny drapieżnik

Nowe fotografie ukazują Mgławicę Lew w całej jej majestatycznej okazałości

WYOBRAŹCIE SOBIE LWA z umierającą gwiazdą jako nosem oraz grzywą z kosmicznego pyłu, oddalonego o 10 tys. lat świetlnych od Ziemi. Podczas galaktycznego safari w podczerwieni należący do NASA James Webb Space Telescope (JWST) właśnie uchwycił na zdjęciu taką bestię.

Mgławica planetarna NGC 2392, nazywana Mgławicą Lew ze względu na podobieństwo do tego zwierzęcia, została wcześniej sfotografowana w 2000 roku przez Hubble Space Telescope. Teraz astronomowie uzyskali jeszcze wyraźniejszy jej obraz (*po lewej*).

Mgławica Lew, podobnie jak inne mgławice planetarne, jest świecącą powłoką otaczającą białego karła znajdującego się w jej centrum. Ta umierająca gwiazda emituje promieniowanie i tworzy gigantyczny bąbel gazowy – „głowę lwa" – który ekspandując, eliminuje pył na swojej drodze. Obrzeże, czyli „grzywa" mgławicy planetarnej, to powłoka pyłu otaczająca białego karła.

Nowe zdjęcia ukazują zjonizowany gaz i skupiska pyłu wyraźniej niż poprzednie wykonane teleskopem Hubble'a. Ta astronomiczna struktura, widoczna w nowych obserwacjach jako zestaw złożonych pierścieni i powłok wokół białego karła, jest zjawiskiem, którego naukowcy do tej pory nie potrafią w pełni wyjaśnić.

Gdy gwiazda ostatecznie umrze, wizerunek lwa zniknie, a cały gaz i pył ulegną rozproszeniu w przestrzeni międzygwiazdowej. Astronomowie szacują, że Lew zaryczy po raz ostatni za około 10 tys. lat.

Mary Randolph



NASA

ASTROFIZYKA

Osobliwe duety

W całym kosmosie powstają niepasujące do siebie pary czarnych dziur



GDY DWIE CZARNE DZIURY spotkają się w bezkresnej przestrzeni kosmicznej, mogą utworzyć nietypową parę – i zdarza się to częściej, niż można by oczekiwać.

Naukowcy uważają, że większość czarnych dziur powstaje wtedy, gdy umiera gwiazda, a jej jądro się zapada. Podobnie jest w przypadku układów podwójnych czarnych dziur – par, które obiegają się wzajemnie, powoli się do siebie zbliżając. Pary te są często pozostałościami gwiazd, które żyły razem, razem umarły i nadal współistnieją po kolapsie. W końcu zbliżają się do siebie na tak, by połączyć się w jedną, szybciej rotującą czarną dziurę, która czasami zostaje wyrzucona w przestrzeń kosmiczną.

Obecnie wiadomo, że te wirujące single mogą ponownie napotkać swoją miłość. Najnowsze badania wskazują, że wiele par czarnych dziur to tzw. fuzje hierarchiczne – jedna duża, szybko wirująca czarna dziura powstała w wyniku wcześniejszej fuzji oraz partner w jakiś sposób odnaleziony w kosmosie. Naukowcy twierdzą, że ten obraz historii formacji czarnych dziur może pomóc wyjaśnić procesy fizyczne zachodzące w supernowych i ewolucję galaktyk. Znajomość tego, jak powstają i zmieniają się czarne dziury, ma również kluczowe znaczenie dla zrozumienia ogólnej teorii względności i historii Wszechświata.

W dwóch pracach, które ukazały się niedawno w „Physical Review Letters", autorzy opisują, w jaki sposób wykorzystali opublikowane dane z Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO), które śledzi czarne dziury będące w trakcie łączenia się na podstawie generowanych przez nie zaburzeń czasoprzestrzeni, oraz dane z innych obserwatoriów, aby zidentyfikować tę subpopulację. Każdy z zespołów zastosował inną technikę do określenia masy, prędkości obrotowej i nachylenia osi rotacji czarnych dziur, przy czym oba zidentyfikowały odrębną grupę podwójnych czarnych dziur, które wykazują „wyraźne oznaki" hierarchicznego łączenia się – jeden ze składników pary jest znacznie większy, rotuje szybciej i krąży po orbicie niepokrywającej się z orbitą partnera.

„Przynajmniej znajdujemy dowody na to, że w zbiorze danych występują te szybko wirujące i osobliwie nachylone czarne dziury, a najprostszym sposobem interpretacji tego zjawiska, zgodnie z brzytwą Ockhama, jest założenie, że prawdopodobnie powstały w wyniku wcześniejszych fuzji" – mówi Cailin Plunkett, główna autorka jednej z najnowszych prac i doktorantka w Massachusetts Institute of Technology. Wyniki jej badań wskazują, że około 14% par czarnych dziur może stanowić fuzje hierarchiczne.

Fizycy przewidywali już wcześniej, że potomstwo fuzji czarnych dziur w gęstych środowiskach gwiezdnych znajdzie w przyszłości własnych partnerów do połączenia się w pary. A ich odmienna historia astrofizyczna sprawi, że będą one zachowywać się „w dziwny i niesamowity sposób" – co naukowcy właśnie zaobserwowali, mówi Paul Lasky, astrofizyk z Monash University w Melbourne i współautor drugiej z tych najnowszych prac.

Fakt, że dwie różne techniki badawcze dostarczyły dowodów na takie pochodzenie czarnych dziur, jest „konkretnym przykładem tego, jak astrofizyka robi postępy", mówi Maximiliano Isi, astrofizyk z Columbia University, który nie brał udziału w ani jednym, ani drugim badaniu, lecz w przeszłości pracował z danymi z LIGO. „To trochę tak, jak gdyby próbować coś zobaczyć przed sobą na drodze podczas mgły – mówi Isi. – Wszyscy mrużymy oczy na różne sposoby, patrzymy pod różnymi kątami i próbujemy ustalić, jak wygląda okolica, a nasze spostrzeżenia składają się w elegancki obraz, który częściowo pokrywa się z przewidywaniami teoretycznymi".

Mary Randolph

Ilustracje Thomas Fuchs

eprasa.pl 4916a4856f



BIOTECHNOLOGIA

Mięsna sałata

Naukowcy próbują uzyskać hybrydową zieleninę

BYĆ MOŻE OD CZASU DO CZASU lubisz zjeść burgera w liściach sałaty zamiast w bułce – jeśli warzywa byłyby również ważnym składnikiem samego kotleta? To właśnie ostateczny cel nowych badań, które pokazują, że sałatę można zmodyfikować tak, by produkowała mioglobinę – białko występujące w mięsie.

Mioglobina (i jej lepiej znana krewna, hemoglobina) zawiera hem, związek nadający krwi czerwoną barwę. Dodanie hemu może nadać roślinnym zamiennikom mięsa mięsny smak i sprawić, że będą „krwawić". Na przykład Impossible Foods wykorzystuje do nadawania smaku swoim zamiennikom mięsa związek zwany leghemoglobiną – białko hemowe pozyskiwane z soi. Wykorzystanie mioglobiny, która występuje w tkankach zwierzęcych, mogłoby jednak doprowadzić do powstania wegetariańskich produktów, które nie tylko wyglądałyby i „krwawiły" jak czerwone mięso, lecz także bardziej przypominały je zapachem.

W badaniu opublikowanym w czasopiśmie „Frontiers in Plant Science" naukowcy opisują, jak po raz pierwszy udało im się skłonić sałatę i tytoń do produkcji mioglobiny – mówi główna autorka pracy, Alexia Groff, która zajmowała się tym projektem jako doktorantka w Imperial College London. Zespół zmodyfikował chloroplasty roślin – struktury komórkowe odpowiedzialne za fotosyntezę, które zazwyczaj przekształcają energię światła słonecznego w energię chemiczną wykorzystywaną przez roślinę – tak, aby mogły produkować mioglobinę.

We wcześniejszych próbach wytwarzania mioglobiny ze źródeł niezwierzęcych, takich jak drożdże, instrukcje produkcji tego białka umieszczano w genomie jądra komórkowego. Groff i jej współpracownicy odkryli jednak, że umieszczenie ich w genomie chloroplastów może pozwolić na uzyskanie większej ilości białka – być może nawet z większą wydajnością, niż produkują je zwierzęta.

Obecnie standardową metodą produkcji hemu (w postaci leghemoglobiny) jest fermentacja drożdży, ale do jej prowadzenia są niezbędne sterylne warunki i specjalistyczna aparatura przemysłowa, co może być kosztowne. Rośliny są znacznie łatwiejsze w uprawie.

„Produkcja białka w roślinach uprawianych na dużą skalę prawdopodobnie byłaby szybsza niż produkcja metodą opartą na fermentacji – mówi Adam Leman, główny naukowiec w Good Food Institute, który nie brał udziału w badaniu. – Jeśli dałoby się wykorzystać istniejące urządzenia służące przetwarzaniu roślin uprawnych, koszty wyodrębniania i oczyszczania frakcji bogatej w mioglobinę mogłyby być bardzo niskie".

Szczególnie obiecująca jest sałata: sama roślina jest jadalna, co oznacza, że mioglobina produkowana przez sałatę mogłaby łatwiej przejść przez kolejne etapy procesu regulacyjnego, który może wydłużać drogę od laboratorium do rynku. Uproszczenie tego procesu mogłoby również obniżyć koszty produkcji i (znacznie) zużycie energii.

Przemysł mięsny jest jej ogromnym konsumentem: 60% energii zużywanej w rolnictwie przypada na hodowlę zwierząt i transport produktów pochodzenia zwierzęcego. Ograniczenie zasobochłonności produkcji zamienników mięsa jest krokiem w stronę bardziej zrównoważonego systemu żywnościowego – nawet jeśli oznacza wytwarzanie białek mięsa w warzywie.

„Niektóre rzeczy kiedyś uważaliśmy za niemożliwe, a dziś są codziennością – mówi Groff. – Bardzo ekscytuje mnie, jak będzie wyglądała przyszłość tej dziedziny".

Lila Magbilang

eprasa.pl 4916a4856f

ROBOTYKA

Klocki z IQ

Inteligentne sześciany zachowują się jak żywe komórki

KOMÓRKI NIE MAJĄ MÓZGÓW. A jednak w miarę jak organizm rośnie, wiedzą, dokąd mają się udać i czym się stać. Działając wspólnie, wykazują zbiorową inteligencję. Naśladowanie tej zdolności w maszynach mogłoby doprowadzić do powstania samonaprawiających się układów elektronicznych. Nowe badanie opublikowane w „Nature Communications" pokazuje, jak „inteligentne" klocki mogą przybliżyć nas do osiągnięcia tego celu.

Przyszłość, w której maszyny budują się same, „opiera się przede wszystkim na lokalnej samoorganizacji, dzięki której nie ma elementu, którego awaria mogłaby unieruchomić cały system" – mówi Sebastian Risi, główny autor pracy, informatyk z IT University of Copenhagen i firmy Sakana AI.

Najpierw naukowcy stworzyli symulacje sześcianów, z niezależnie działającymi sieciami neuronowymi. Z sześcianów tych zbudowano niemal 500 trójwymiarowych kształtów należących do siedmiu kategorii: łodzi, samochodów, krzeseł, gitar, domów, samolotów i stołów. Następnie sprawdzano, czy sześciany potrafią rozpoznać, do której kategorii należy utworzony z nich obiekt. Każdy wirtualny sześcian zawierał zestaw liczb zwany wektorem, w którym zapisywana była jego pamięć oraz przypuszczenie dotyczące kategorii obiektu. Te informacje mogły z czasem się zmieniać. Sieć neuronowa każdego sześcianu określała, jak powinien on aktualizować swój wektor na podstawie informacji otrzymywanych od sąsiadów. Wspólnie sześciany tworzyły coś, co nazywa się neuronowym automatem komórkowym. (Klasycznym automatem komórkowym jest „Gra w życie" Johna Conwaya z 1970 roku.)

Symulowane sześciany przekazywały sobie informacje i zmieniały swoje wektory, uwzględniając najpierw własne bezpośrednie otoczenie, na przykład to, czy znajdują się na krawędzi, a następnie informacje o sąsiadach. Po wytrenowaniu sieci neuronowej rozpoznawały kategorię obiektu z dokładnością od 85 do 100% – najtrudniejsze okazały się domy. „To niezwykłe, że klocki potrafią odtworzyć kształt całej konstrukcji, korzystając wyłącznie z lokalnych informacji" – mówi Sabine Hauert, która zajmuje się robotyką roju na University of Bristol i nie brała udziału w badaniu.

Wirtualne sześciany często potrafiły rozpoznać kształt nawet po usunięciu 15% z nich, a także ustalić, których sześcianów brakuje, i odtworzyć brakujące elementy. Stwierdzono również, że systemy składające się z ponad 18 tys. sześcianów wciąż potrafiły rozpoznać obiekty, których były częścią.

Na koniec naukowcy przetestowali swój system z wykorzystaniem rzeczywistych klocków, z których każdy zawierał układ elektroniczny wykonujący obliczenia lokalnie. Gdy łączono klocki (maksymalnie 197) w jeden kształt, za każdym razem bezbłędnie rozpoznawały, jaki obiekt wspólnie tworzą.

Zdaniem Risiego możliwym zastosowaniem takich klocków w najbliższej przyszłości jest edukacja połączona z zabawą. W dalszej perspektywie naukowcy wyobrażają sobie modułowe roboty, które będą potrafiły samodzielnie się składać.

Matthew Hutson

REKLAMA



Pierwsza popularnonaukowa i wyjątkowo przystępna książka geniusza matematyki

W swojej książce Terence Tao – jeden z najwybitniejszych matematyków naszych czasów i laureat Medalu Fieldsa – zaprasza nas do podróży przez niesamowity świat matematyki: pełny piękna, kreatywności i zaskakujących powiązań i analogii.

Przedstawia sześć fundamentalnych idei – sześć kluczy – które pomagają nam opisywać i rozumieć rzeczywistość. Pisze o niezwykłej wszechstronności liczb, uniwersalności algebry, wielowymiarowości geometrii, upraszczającej mocy rachunku prawdopodobieństwa, precyzji analizy matematycznej oraz zaskakujących prawach dynamiki.

Nazywany Mozartem matematyki Tao odsłania przed nami fascynującą „symfonię" nauki, którą się zajmuje: to istne bogactwo motywów, tematów i wariacji, które daleko wykracza poza schematyczne rozwiązywanie zadań znane ze szkolnych lekcji.

Sześć kluczy to wyjątkowa okazja, by zajrzeć do umysłu genialnego matematyka i zobaczyć, jak za pomocą kilku podstawowych idei można rozjaśnić najbardziej złożone aspekty naszego świata.
Bo matematyka – przekonuje Tao – to nie magia.
To sposób myślenia. I każdy może się tego sposobu myślenia nauczyć.

eprasa.pl 4916a4855f

KOGNITYWISTYKA

Gołębie nie znoszą rutyny

Czego możemy się od nich nauczyć?

ZADOMOWIŁY SIĘ W MIASTACH, przystosowując się do nieustannie zmieniającego się środowiska. Zmienność jest jednak nie tylko cechą ich otoczenia: wyniki nowych badań wskazują, że same ptaki unikają stałości w podejmowaniu decyzji, wybierając życie na skraju chaosu. Jako gatunek modelowy w badaniach nad uczeniem się i zachowaniem pomagają naukowcom weryfikować obowiązujące od stulecia prawo opisujące sposób przyswajania informacji.

Kiedy ludzie i zwierzęta uczą się czegoś nowego, mają tendencję do powtarzania zachowań, za które otrzymują nagrodę. Zasada ta, po raz pierwszy sformułowana przez Edwarda Thorndike'a w 1898 roku, jest tak dobrze ugruntowana w psychologii, że zyskała miano prawa efektu. Zgodnie z nim nagrody nie tylko zwiększają częstość danego zachowania, lecz także sprawiają, że z czasem staje się ono bardziej powtarzalne.

Chociaż naukowcy wielokrotnie sprawdzali, czy nagrody zwiększają częstość nagradzanych zachowań, znacznie mniej wiadomo o ich wpływie na powtarzalność. Psycholog eksperymentalny Edward A. Wasserman z University of Iowa wraz ze współpracownikami postanowił zbadać to zagadnienie na gołębiach – gatunku, który od ponad 50 lat jest ważnym obiektem badań nad uczeniem się prowadzonych w uniwersyteckim Comparative Cognition Laboratory. Wyniki, opublikowane w „Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition", świadczą, że dla tych ptaków zmienność jest solą życia.



Ucząc się czegoś nowego, gołębie preferują chaos.

Richard Bailey/Getty Images

Aby sprawdzić, jak nagrody wpływają na powtarzalność zachowań, naukowcy wyświetlili gołębiom na ekranach dotykowych pięć kolorowych przycisków. Ptaki miały za zadanie dziobnąć je w dowolnej kolejności – każda ukończona seria pięciu kliknięć była natychmiast nagradzana smakołykiem. Matematycznie oznaczało to aż 120 różnych kombinacji, a każda z nich gwarantowała sukces. Zgodnie z dotychczasową wiedzą gołębie powinny szybko wybrać jeden najprostszy schemat i powtarzać go jak maszyna. Eksperyment trwający 250 dni przyniósł jednak zaskoczenie: choć ptaki wyłoniły grupę swoich ulubionych układów, nigdy nie popadły w rutynę. Nieustannie żonglowały kombinacjami, co dowodzi, że ich mózgi są zaprogramowane do ciągłego testowania rzeczywistości.

„Nie było powodu, by oczekiwać, że zwierzęta z czasem nie wybiorą jednego schematu, ale tak się nie stało – mówi Wasserman. – Można powiedzieć, że te ptaki są całkowicie odporne na rutynę".

Zespół przypuszcza, że zamiłowanie gołębi do zmienności może być ewolucyjną zaletą, która pomaga im radzić sobie z nowymi wyzwaniami środowiska. Naukowcy sądzą, że ptaki nie są jedynymi zwierzętami, które unikają powtarzalności. Obecnie zespół prowadzi badania sprawdzające, czy nagradzane zachowania pozostają zmienne również u innych zwierząt. Zdaniem ekspertów z tej dziedziny wyniki takich eksperymentów mogą pomóc wyjaśnić, jak mózg podejmuje decyzje dotyczące zachowania podczas uczenia się.

Profesor psychologii na University of California w Los Angeles, Aaron Blaisdell, który nie brał udziału w nowym eksperymencie, nie jest szczególnie zaskoczony jego wynikami. „Ten artykuł pozostawia jednak wiele pytań dotyczących [neurologicznych] mechanizmów", które w przyszłości będzie można zbadać, dodaje.

K. R. Callaway

ZAGADKA MATEMATYCZNA

Łamigłówka obrazowa

Emma R. Hasson

POWIEŚ OBRAZ NA TRZECH GWOŹDZIACH tak, aby po usunięciu dowolnych dwóch obraz spadł; nie powinien jednak spaść po usunięciu któregokolwiek jednego gwoździa.

PODPOWIEDŹ: warto skorzystać z rozwiązania dla dwóch gwoździ zamieszczonego w artykule w numerze październikowym i podać symboliczny zapis zaplatania sznurka (w artykule: (+a+b–a–b)).

TWARDY ORZECH: powieś obraz na trzech gwoździach tak, aby usunięcie dowolnego jednego gwoździa spowodowało, że obraz spadnie.

Rozwiązanie na stronie 77.

eprasa.pl 4916a4856f

POSZERZAMY HORYZONTY



Już w sprzedaży w punktach z prasą

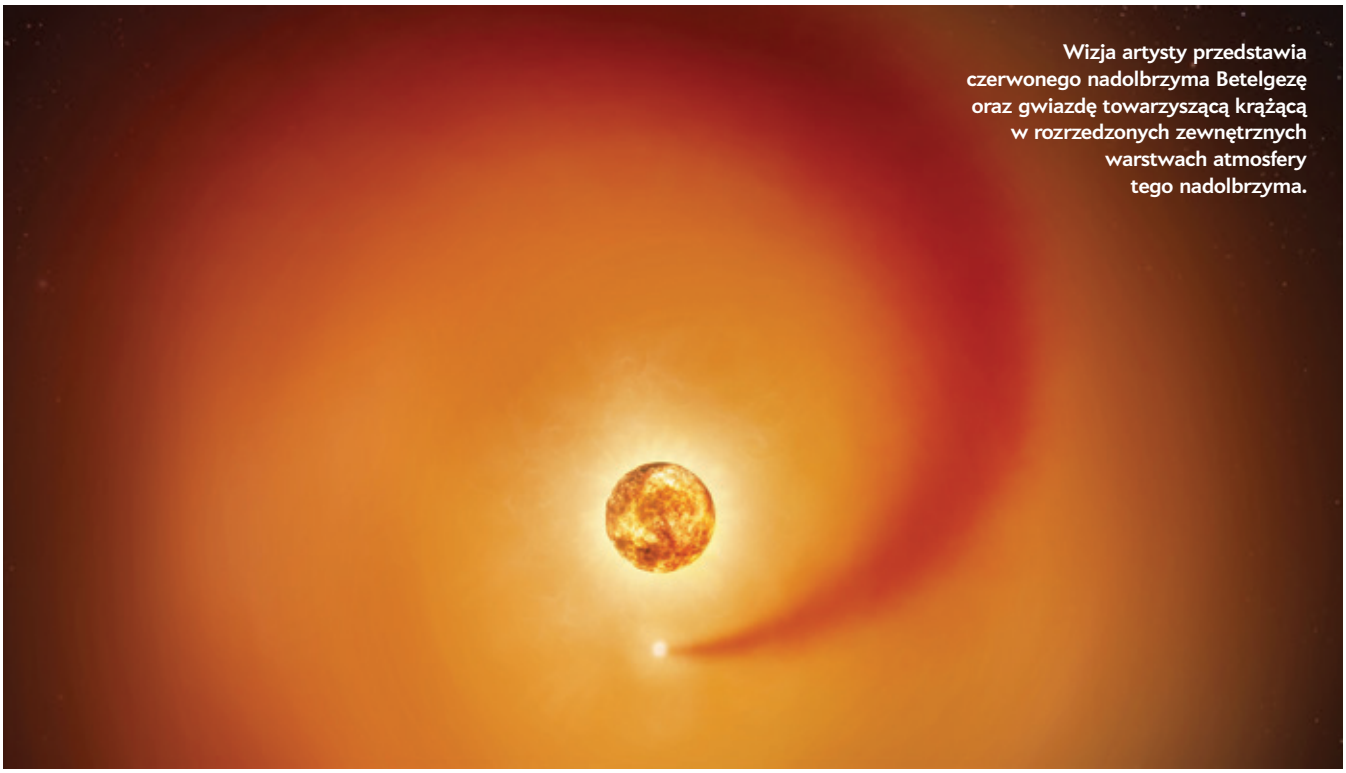
Numer 11/2026
KUP TERAZ

Bieżące wydanie możecie kupić także we wszystkich sklepach sieci Lidl.

Prenumerata cyfrowa:
projektpulsar.pl

Prenumerata papierowa:
sklep.polityka.pl/wiz

eprasa.pl 4916a4856f



Wizja artysty przedstawia czerwonego nadolbrzyma Betelgezę oraz gwiazdę towarzyszącą krążącą w rozrzedzonych zewnętrznych warstwach atmosfery tego nadolbrzyma.

NASA, ESA, Elizabeth Wheatley (STScI); Nauka: Andrea Dupree (CfA)

Czekając na supernową

Kiedy wybuchnie Betelgeza?

PHIL PLAIT

BETELGEZA ZAWSZE STANOWIŁA swego rodzaju zagadkę. A mówiąc „zagadka", mam na myśli źródło niekończącej się frajdy, fascynacji i frustracji dla astronomów.

Ta jedna z najjaśniejszych gwiazd na niebie, którą widać w prawym ramieniu gwiazdozbioru Oriona. Jest czerwonym nadolbrzymem – masywną gwiazdą o masie kilkunastokrotnie większej od Słońca, emitującą dziesiątki tysięcy razy więcej od niego promieniowania. Gwiazda ta właśnie umiera i jest już na zaawansowanym etapie transformacji w supernową.

Choć należy do najczęściej badanych gwiazd na niebie, wciąż nasza wiedza o niej jest zastanawiająco skąpa.

Około dwa tysiące lat temu chińscy astronomowie opisywali Betelgezę jako żółtą. Czyżby na przestrzeni wieków zmieniła barwę? Co to oznaczałoby to dla jej struktury wewnętrznej i sposobu emitowania światła? Pod koniec 2019 roku jasność gwiazdy znacznie spadła i powróciła do normalnego poziomu dopiero na początku 2020 roku, co wywołało sporą konsternację w kręgach obserwatorów nieba. Zajęło dobrych parę lat, zanim wykazano, że gwiazda wyrzuciła z siebie ogromną chmurę nieprzejrzystego pyłu, która przesłaniała jej światło, dopóki chmura nie rozproszyła się wystarczająco, by Betelgeza mogła znów zabłysnąć. Czy może się to powtórzyć?

Astronomowie od dawna wiedzą, że Betelgeza wykazuje niewyjaśnione wahania jasności o okresie sześciu lat, obok mniej dramatycznego cyklu 400-dniowego. Podejrzewali, że przyczyną jest druga gwiazda – „kumpelka Betel", jak można by ją nazwać – krążąca wokół tego nadolbrzyma; cały układ ciemnieje, gdy gwiazda towarzysząca znajduje się za nadolbrzymem i jest zasłonięta przed naszym wzrokiem. Obserwacje Betelgezy w 2024 roku wykazały oznaki drugiej gwiazdy, a artykuł opublikowany w „Astronomy and Astrophysics" zdecydowanie potwierdza jej istnienie. Ten gwiezdny towarzysz jest ewidentnie jasną gwiazdą o masie trzykrotnie większej od Słońca, ale znajduje się tak blisko znacznie jaśniejszego nadolbrzyma, że jej światło przez cały ten czas pozostawało ukryte w jego blasku. Potwierdzenie tożsamości tego tajemniczego obiektu będzie stosunkowo łatwe – wystarczy obserwować Betelgezę w 2027 roku, gdy znajdzie się ona o połowę orbity dalej w stosunku do miejsca jego pierwszego wykrycia. Jeśli obiekt pojawi się po drugiej stronie gwiazdy, oznacza to, że jest to składnik układu podwójnego.

W takim przypadku orbituje on wokół czerwonego nadolbrzyma (zwanego obecnie Betelgezą A) w minimalnej odległości około 1,3 mld km, co odpowiada mniej więcej średniej odległości Saturna

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

eprasa.pl 4916a4856f

od Słońca. Jednak z perspektywy tej gwiazdy towarzyszącej – Betelgezy B – nadolbrzym jest tak spuchnięty, że zajmuje połowę nieba. Czerwone nadolbrzymy to doprawdy straszliwe potwory.

Pomimo wszystkich związanych z nią zagadek, o Betelgezie A wiemy jedno na pewno – któregoś dnia wybuchnie jako supernowa w jednej z najpotężniejszych eksplozji, jaka może się wydarzyć w tym Wszechświecie. Nie wiemy dokładnie, kiedy to nastąpi – to kolejna zagadka. Może to być równie dobrze już dziś w nocy, lecz większość oznak wskazuje, że raczej za jakieś 100 tys. lat.

Ten kataklizmiczny kres ewolucji gwiazdy jest nieunikniony. W jądrze Betelgezy A zachodzą procesy termojądrowe – wręcz niewyobrażalna temperatura i ciśnienie powodują, że jądra helu dynamicznie łączą się w jądra węgla. W końcu węgiel ten zacznie się łączyć w neon, następnie neon połączy się w magnez i tak dalej w górę układu okresowego pierwiastków, aż w jądrze zgromadzi się żelazo. Żelazo nie uwalnia energii w reakcji syntezy; w istocie pochłania energię, która mogłaby posłużyć do podtrzymania kolosalnej masy otaczającej go powłoki gwiazdy. To podebranie energii zaburzy równowagę w całej gwieździe, powodując kolaps jądra. Temperatura osiągnie niebotyczny poziom – powyżej 100 mld stopni Celsjusza – co wyzwoli wybuch unicestwiający gwiazdę, który nazywamy supernową.

Przybór energii będzie wręcz niewyobrażalny. W ciągu kilku minut rodząca się supernowa uwolni tyle energii, ile Słońce wyemituje przez całe swoje życie. Nastąpi rozbłysk tak jaskrawy, że będzie widoczny z odległości równej połowie średnicy obserwowalnego Wszechświata.

Astronomowie wciąż debatują nad skutkami, jakie ta eksplozja będzie miała dla Ziemi – prawdopodobnie będą one minimalne, zważywszy jej odległość od naszej planety. Łatwo jednak przypuścić, że dla gwiazdy znajdującej się dosłownie tuż obok zdarzenie to mogłoby okazać się katastrofalne, choć gwiazdy mają jednak solidną budowę i nawet wybuch supernowej w bezpośrednim sąsiedztwie nie jest równoznaczny z zagładą. Nie będzie to nic przyjemnego, ale też nie oznacza wyroku śmierci.

Co ciekawe, przeprowadzono bardzo niewiele badań dotyczących konsekwencji, jakie takie zdarzenie wywiera na gwiazdę towarzyszącą w szerokim układzie podwójnym. Poniżej przedstawiam wyniki moich własnych pobieżnych obliczeń – wystarczających, by dać nam wyobrażenie o tym, co czeka Betelgezę B.

Z góry wiadomo, że gwiazdy towarzyszące są w stanie przetrwać – istnieje klasa obiektów zwanych gwiazdami uciekającymi, które mkną przez przestrzeń kosmiczną w tempie setek kilometrów na sekundę, znacznie szybciej od typowej gwiazdy. Istnieje kilka sposobów, w jakie gwiazdy te mogą zostać rozpędzone do tak olbrzymich prędkości, a jednym z nich jest orbitowanie wokół gwiazdy, która wybucha jako supernowa. Nagła utrata masy oznacza, że siła grawitacji gwiazdy głównej gwałtownie spada, co powoduje wyrzucenie gwiazdy towarzyszącej w przestrzeń kosmiczną z zawrotną prędkością. Wiemy, że takie gwiazdy istnieją i prawdopodobnie krążyły one po orbitach bliższych swojej macierzystej gwieździe niż w przypadku Betelgezy B. Skoro przetrwały eksplozję, daje to nam podstawy do przypuszczenia, że Betelgeza B również się z tej katastrofy wykaraska.

O Betelgezie A wiemy jedno na pewno – pewnego dnia wybuchnie ona jako supernowa w jednej z najpotężniejszych eksplozji.

Nie wyjdzie jednak tak zupełnie bez szwanku. Nagły napływ energii cieplnej będzie ogromny, niemniej tymczasowy i raczej niepozostawiający długotrwałych skutków. Wybuchająca gwiazda wyrzuci również duże ilości materii, lecz jej gęstość będzie się szybko zmniejszać w miarę ekspansji, a ilość, która fizycznie uderzy w Betelgezę B, będzie stanowiła znikomą część masy całkowitej gwiazdy. Oczywiście materia ta będzie poruszać się z prędkością kilku tysięcy kilometrów na sekundę. Fizyczne uderzenie będzie zatem nadal potężne – wprawdzie niewystarczające, by gwiazda się rozpadła (jak pamiętamy, gwiazdy są w stanie wiele wytrzymać), ale niewątpliwie spowoduje silne jej nagrzanie i najprawdopodobniej pozbawi części masy. Skutki będą porównywalne z kolizją z ciałem niebieskim.

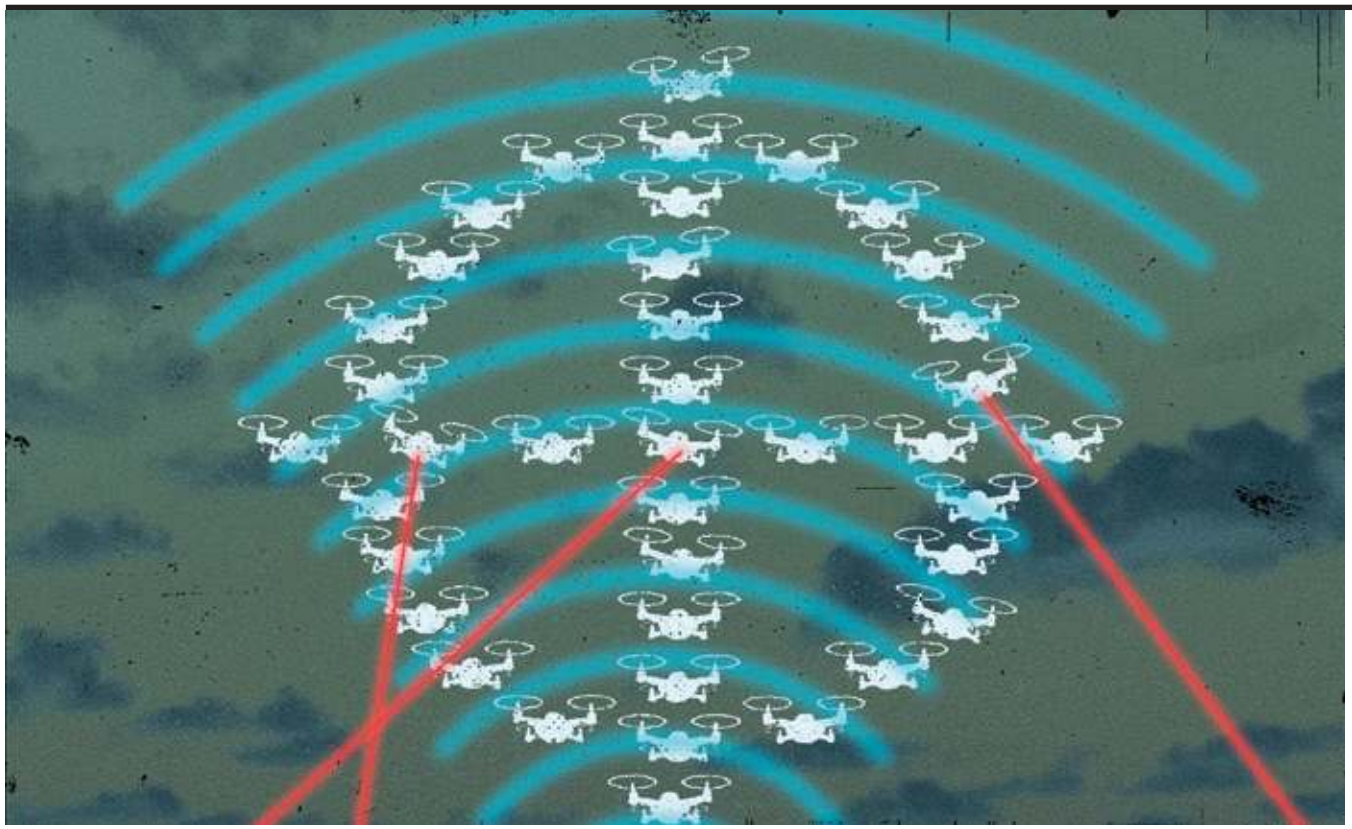
Co zdumiewające, cała ta energia przejęta od supernowej stanowi jedynie niewielki ułamek (około 1%) całkowitej wyemitowanej energii. Większość ulatuje w przestrzeń w postaci cząstek subatomowych zwanych neutrinami, które pojedynczo niosą znikomą energię. Neutrina, jak powszechnie wiadomo, nie oddziałują ze zwykłą materią – większość z nich po prostu przez nią swobodnie przechodzi. Mimo to podczas eksplozji gwiazdy powstaje ich tak wiele (około 10^{58} – liczba tak ogromna, że aż włosy na karku stanęły mi dęba, gdy ją wpisywałem), że na odcinku dzielącym Betelgezę B od nieistniejącej już Betelgezy A człowiek otrzymałby praktycznie śmiertelną dawkę promieniowania wyłącznie w postaci neutrin (nie licząc innych silnie zabójczych oddziaływań). Ilość energii neutrin pochłoniętej przez gwiazdę towarzyszącą byłaby jednak znikoma w porównaniu z energią, jaką gwiazda ta emituje sama z siebie, zatem i tym razem przypuszczalnie jej wpływ pozostałby nieznaczny.

Po wybuchu Betelgeza A prawdopodobnie pozostawi po sobie supergęstą gwiazdę neutronową o niewiarygodnie silnym polu magnetycznym. Nie ulega wątpliwości, że wpłynie to na Betelgezę B, ale w jaki konkretnie sposób – to zależeć będzie od dokładnych parametrów wybuchu oraz właściwości gwiazdy neutronowej, które na razie są trudne, jeśli nie niemożliwe, do oszacowania.

Ostatecznie zatem gwiazda taka jak Betelgeza B przetrwa, nawet będąc bezpośrednio narażona na piekielną furię supernowej, ale konkretne skutki nadal nie są jasne.

Nasza niepewność, co do tej gwiazdy i jej potencjalnych losów, przypomina nam, jak skąpą wiedzą dysponujemy o tym układzie gwiezdnym – pomimo że znajduje się on stosunkowo blisko. Nawet jego odległość nie jest dokładnie wyznaczona. Jedna z najbardziej spektakularnych gwiazd na sferze niebieskiej nadal skrywa przed nami dużo tajemnic – i to jest jeden z głównych powodów, dla których dla astronomów tak wielkim źródłem satysfakcji jest jej badanie. ■

eprasa.pl 4916a4856f



Z armatą na wróble

Masowe ataki tanich dronów wyczerpują system obronny. Sytuację mogą zmienić broń mikrofalowa i lasery

SARAH SCOLES

W CZERWCU SEKRETARZ OBRONY Pete Hegseth odwiedził White Sands Missile Range w południowym Nowym Meksyku. Ten pustynny obszar był poligonem doświadczalnym zaledwie od tygodnia, gdy w 1945 roku naukowcy pracujący nad Projektem Manhattan zdetonowali w tym miejscu, w rejonie Trinity Site, pierwszą bombę atomową, uwalniając niszczycielską energię rozszczepienia jądrowego. Niemal 81 lat później na poligonie White Sands przeprowadzono zupełnie inny eksperyment polegający na skupianiu energii elektromagnetycznej: pokaz działania laserów i broni mikrofalowej dużej mocy przeznaczonych do zwalczania dronów.

Kiedy operatorzy uruchomili prototyp armii amerykańskiej oparty na systemie Leonidas firmy Epirus przeciwko rojowi 12 dronów, wszystkie spadły z nieba. Niewidzialne mikrofale zakłóciły działanie elektroniki, która utrzymywała je w powietrzu. Hegseth osobiście przejął następnie sterowanie innym systemem, nazwanym LOCUST, i za pomocą lasera dużej mocy zniszczył drona.

Broń wykorzystująca energię skierowaną od dawna była raczej obietnicą niż rzeczywistym narzędziem walki. Inżynierowie roztaczali śmiałe wizje, ale do służby trafiało niewiele takich systemów. Tanie drony mogły wreszcie nadać tej technice praktyczne zastosowanie.

Drony mogą zbierać informacje o ruchach wojsk i atakować żołnierzy. Tradycyjne amerykańskie systemy obrony nie zawsze są w stanie sprostać temu zagrożeniu. Drony są dziś tanie i powszechnie dostępne, podczas gdy pociski używane do ich zestrzeliwania często kosztują znacznie więcej i są dostępne w ograniczonych ilościach.

System obronny może więc działać skutecznie, a mimo to przegrywać pod względem ekonomicznym i logistycznym. „Obrońcy – stworzeni do polowania na lwy czy słonie – dostają łupnia od myszy – mówi Andy Lowery, dyrektor generalny firmy Epirus. – Myszy nadchodzą, więc musimy bronić się przed myszami". Ma nadzieję, że broń mikrofalowa opracowana przez Epirus pozwoli właśnie na taką obronę – na stworzenie pułapki na myszy, jak sam to określa.

Pentagon zdaje sobie sprawę, że musi znaleźć rozwiązanie problemu „myszy". Drony odgrywają kluczową rolę w wojnie w Ukrainie i konfliktach na całym Bliskim Wschodzie. Stanowią również zagrożenie w samych Stanach Zjednoczonych: każdy może kupić drona przez Internet i skierować go w stronę bazy wojskowej lub dużego zgromadzenia ludzi. „Małe bezzałogowe systemy są charakterystycznym zagrożeniem naszych czasów – mówi

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

Ilustracja Richard Mia

eprasa.pl 4916a4856f

podpułkownik armii Adam Scher, cytując generała Matthew Rossa. – Jest ich mnóstwo, szybko się rozwijają i uczestniczą nie tylko w działaniach wojennych".

W sierpniu 2025 roku Departament Obrony utworzył Joint Interagency Task Force 401 – jednostkę zajmującą się opracowywaniem nowych rozwiązań do zwalczania dronów. Scher jest jej doradcą do spraw komunikacji strategicznej. Jednym z elementów strategii jednostki jest broń wykorzystująca energię skierowaną – lasery, wypalające elementy konstrukcji dronów, oraz mikrofale, które w praktyce niszczą ich elektronikę.

Task Force 401 wybrała pięć amerykańskich baz – w Arizonie, Teksasie, stanie Waszyngton, Dakocie Północnej i Missouri – do pilotażowego programu wykorzystania broni energii skierowanej. Jak mówi Scher, program pozwoli operatorom przekazywać informacje zwrotne na temat działania tych systemów i pomoże opracować przyszłe zasady ich wykorzystania oraz programy szkoleniowe. Pomoże także wojsku koordynować działania z Federalną Administracją Lotnictwa (FAA) w sytuacjach, gdy lasery i mikrofale będą wykorzystywane w przestrzeni powietrznej nad terytorium Stanów Zjednoczonych. Scher mówi, że grupa intensywnie pracuje nad tym, by jak najszybciej wprowadzić systemy wykorzystujące energię skierowaną do rzeczywistego użycia.

W LUTYM Służba Celna i Ochrony Granic (CBP) użyła systemu LOCUST w pobliżu bazy Fort Bliss w Teksasie przeciwko obiektowi, który funkcjonariusze uznali za potencjalne zagrożenie. Okazało się jednak, że mógł to być foliowy balon imprezowy. Ponieważ użycie systemu nie zostało wcześniej uzgodnione z Federalną Administracją Lotnictwa (FAA), agencja zamknęła przestrzeń powietrzną wokół międzynarodowego lotniska w El Paso. Dwa tygodnie później amerykańskie wojsko użyło lasera w pobliżu Fort Hancock w Teksasie, aby zestrzelić kolejny obiekt uznany za zagrożenie. Tym razem był to dron należący do CBP.

W następnym miesiącu Pentagon i FAA wspólnie przetestowały LOCUST na poligonie White Sands, sprawdzając, jak system może działać w pobliżu cywilnych statków powietrznych. Firma Leonardo DRS, dostawca sprzętu dla wojska, zintegrowała również LOCUST z prototypem pojazdu opancerzonego Stryker, łącząc laser z systemami wykrywającymi, śledzącymi i identyfikującymi drony.

Zainteresowanie armii bronią energii skierowanej nie jest niczym nowym, wyjaśnia Philip Perconti, starszy wiceprezes i dyrektor ds. technicznych w Leonardo DRS. Wie, o czym mówi: wcześniej był zastępcą sekretarza armii ds. badań i techniki oraz głównym naukowcem armii. Przez lata zainteresowanie tą techniką nie przekładało się jednak na jej szerokie wykorzystanie w praktyce.

„Zbudowanie precyzyjnego systemu optycznego z laserem dużej mocy wcale nie jest proste" – mówi Perconti. Lasery przez długi czas były urządzeniami niezwykle delikatnymi i wymagającymi. Inżynierowie musieli przystosować je do trudnych warunków, nie zakłócając przy tym działania układów optycznych i zasilania, które są niezbędne do ich funkcjonowania. Potem trzeba było umieścić je na przykład na czołgach, zamiast w bezpiecznym laboratorium.

Samo zamontowanie lasera na czołgu nie oznacza jednak, że będzie on trafiał w cel – zwłaszcza gdy celem jest dron.

„To małe, szybko poruszające się obiekty. Mogą lecieć prosto na nas albo przemieszczać się w poprzek naszego kierunku ruchu – mówi Perconti. – Bardzo trudno je wykryć". Stryker wyposażony w LOCUST wykorzystuje radar do lokalizowania i śledzenia dronów. Następnie system działający w podczerwieni drona rozpoznaje. „Dopiero wtedy uruchamiamy laser, żeby go zestrzelić" – mówi Perconti.

To dość brutalny sposób zwalczania celu. „Dosłownie wypalasz w nim otwór, więc musisz utrzymywać wiązkę lasera na celu przez pewien czas, żeby stopić tworzywo sztuczne albo przeciąć metal – mówi Perconti. – Ludzie nie zdają sobie sprawy, że światło może coś takiego zrobić, ale przecież wystarczy pobyć dłużej na słońcu, gdy mocno świeci, i można się poparzyć". Leonardo DRS pracuje nad tym, by lasery można było montować na bardziej mobilnych urządzeniach, które będą zdolne do szybkiego zwalczania wielu dronów.

JEDNOCZESNE ZWALCZANIE wielu dronów to specjalność firmy Epirus. W przeciwieństwie do lasera broń mikrofalowa może oddziaływać na znacznie większy obszar nieba. W sierpniu 2025 roku, jak twierdzi Epirus, system Leonidas unieszkodliwił rój 49 dronów za pomocą pojedynczego impulsu. Drony widoczne na niebie przestały działać i niemal jednocześnie spadły na ziemię – jak żołnierze na rozkaz padnij.

Pomysł na system Leonidas zrodził się podczas pracy Lowery'ego w firmie Raytheon. Zauważył tam zjawisko, które określa mianem „efektu bratobójczego", wywoływane przez budowane przez firmę radary okrętowe. „Kiedy zbliżasz się na odległość dwóch czy trzech kilometrów od brzegu, zaczynasz wyłączać różne urządzenia elektroniczne – stacje radiowe, telewizyjne, a nawet maszty telefonii komórkowej – mówi Lowery. – Trzeba więc zmniejszyć moc". Nikt przecież nie chce, żeby amerykańska marynarka wojenna przerwała komuś ulubiony sitcom w połowie sceny. Lowery zaczął się zastanawiać, dlaczego inżynierowie nie badają możliwości wykorzystania takich zakłóceń jako broni.

Kiedy odszedł z firmy i założył Epirus, jego zespół postanowił sam opracować taką technikę.

Leonidas wytwarza impulsy mikrofalowe trwające milisekundy – w przypadku broni energii skierowanej to bardzo długo. „Podczas naszych testów żaden dron nie przeleciał nad systemem; nic nigdy nam nie uciekło" – mówi Lowery. Niektóre drony zbliżyły się do Leonidasa na odległość mniej więcej długości boiska do futbolu, zanim system je unieszkodliwił. Podobnie jak Leonardo DRS, Epirus zamierza zwiększyć mobilność swoich systemów.

Ani lasery, ani mikrofale same nie wystarczą do obrony bazy czy pola walki. Zwalczanie dronów wymaga obrony warstwowej – niczym cebula złożonej z kolejnych warstw zabezpieczeń: środków kinetycznych i broni energii skierowanej, systemów dalekiego zasięgu oraz środków do zwalczania celów z bliska. W grę wchodzą rozwiązania, które topią, wypalają urządzenia albo zakłócają działanie układów elektronicznych.

Stany Zjednoczone nie tylko zwalczają drony. Same również ich używają, więc będą musiały chronić własne statki powietrzne przed systemami takimi, jak te opracowywane przez firmy Epirus i Leonardo DRS.

Drony wymagają systemów do ich zwalczania, a to z kolei prowadzi do opracowywania systemów zdolnych do ich przełamywania. Na poligonie White Sands doskonale to widać. ■

eprasa.pl 4916a4856f

W POG ZA ABS

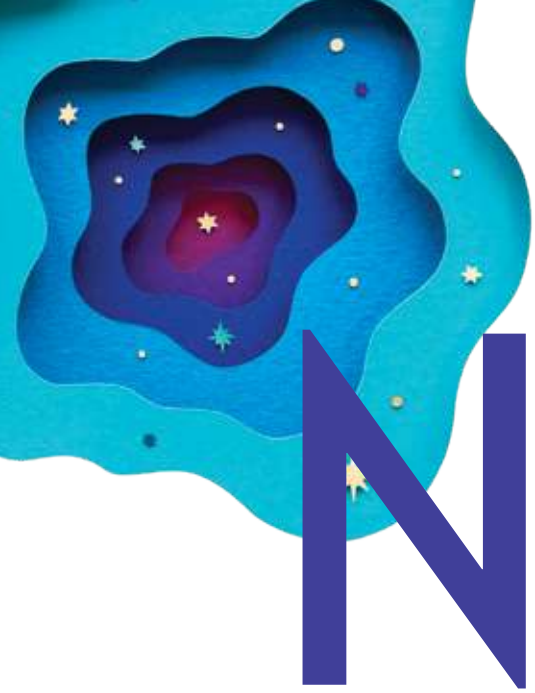
eprasa.pl 4916a4856f

ONI OLUTEM

Czy niektóre z największych tajemnic nauki pozostaną tajemnicami na zawsze?

SARAH SCOLES
Ilustracja OWEN GILDERSLEEVE

eprasa.pl 4916a4856f



NAUKA W SWOIM NAJLEPSZYM WYDANIU jest dążeniem do prawdy. Jest procesem systematycznego gromadzenia i interpretowania danych o Wszechświecie, w celu zrozumienia jego przeszłości i teraźniejszości oraz przewidywania przyszłości. W rezultacie otrzymujemy najlepsze przybliżenie rzeczywistości, do jakiego możemy dojść w danej chwili, korzystając z dostępnych informacji, metod i narzędzi.

A to, co uznajemy za najlepsze przybliżenie prawdy, często się zmienia. Izaak Newton w XVII wieku formułował swoją teorię grawitacji, zainspirowany spadającym jabłkiem. Długo sprawdzała się wystarczająco dobrze, by służyć wszystkim praktycznym celom. Około 250 lat później pojawił się jednak Albert Einstein z lepszym przybliżeniem: ogólną teorią względności. Dziś niektórzy naukowcy próbują znaleźć sposób na połączenie teorii względności z mechaniką kwantową, poszukując nowego przybliżenia „prawdy" o grawitacji.

Nie na wszystkie pytania znajdziemy odpowiedzi. Niektóre prawdopodobnie pozostaną poza zasięgiem ludzkiego poznania, mimo postępu metod badawczych i rozwoju współpracy między różnymi dziedzinami.

Ale czy istnieją pytania, na które nauka nigdy nie zdoła w pełni odpowiedzieć? Z pewnością są problemy, które dla naukowców stanowią do dzisiaj tajemnicę. Są też takie kwestie, które kiedyś uważano za niemożliwe do rozstrzygnięcia, a jednak to się udało. W 1835 roku filozof Auguste Comte stwierdził na przykład, że ludzie nigdy się nie dowiedzą, z czego są zbudowane gwiazdy. Ale potem pojawiła się spektroskopia, która pozwoliła astronomom analizować światło gwiazd i rozpoznawać w nim charakterystyczne ślady różnych pierwiastków chemicznych.

Większość rzeczy, które wydają się absolutnie niepoznawalne, prędzej czy później wypada z tej kategorii. Nowe sposoby myślenia i nowe metody pomiaru poszerzają granice nauki. Teza ta stanowi podstawę najnowszej książki badacza Alexandra Kraussa *The Engine of Scientific Discovery*. Dopóki nie powstały anteny radiowe, dopóty astronomowie nie wiedzieli na przykład, że Wszechświat emituje fale radiowe, a tym samym nie mogli się zastanawiać, co napędza gigantyczne strugi materii, wystrzeliwujące z centrów galaktyk z prędkościami bliskimi prędkości światła. Zanim wynaleziono mikroskopy, biolodzy nie mieli pojęcia o istnieniu „animalcules" – jak początkowo nazywano mikroorganizmy – nie mogli więc przewidzieć, że kiedyś będą badać, jak mikrobiom wpływa na zdrowie psychiczne. „Kiedy badacze wynajdują nowe przyrządy oraz opracowują nowe techniki obliczeniowe i eksperymentalne, w praktyce poszerzają zasięg zmysłów i możliwości poznawcze samej nauki" – mówi Krauss.

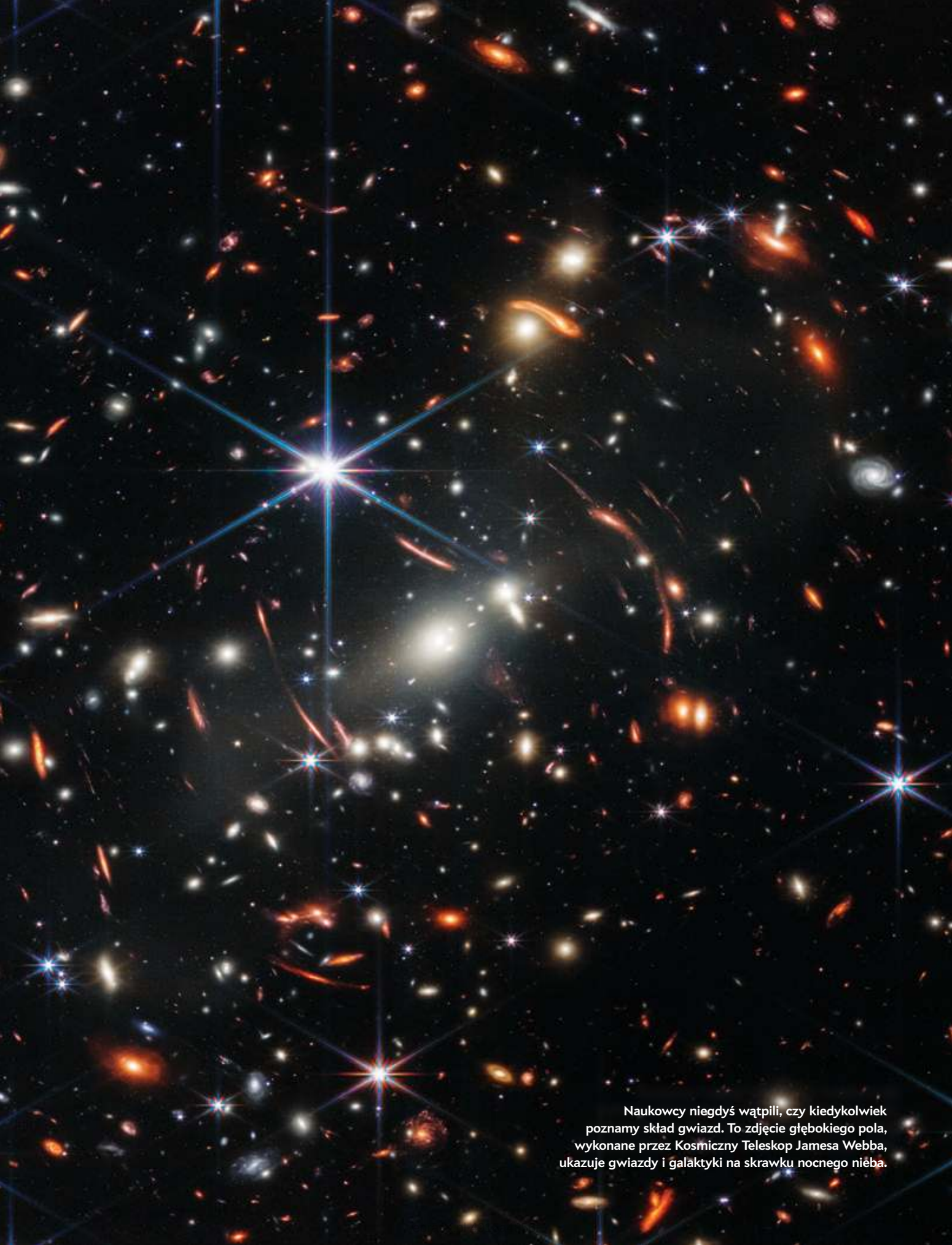
Mimo to nie na wszystkie pytania znajdziemy odpowiedzi. Niektóre prawdopodobnie pozostaną poza zasięgiem ludzkiego poznania, nawet mimo postępu metod badawczych i rozwoju współpracy między różnymi dziedzinami. Niektóre będą tak bardzo wykraczały poza granice naszej wyobraźni, że na zawsze pozostaną niewiadomymi. To frustrujące. Nauka dąży do zrozumienia Wszechświata poprzez obserwację, eksperymenty, interpretację i iterację. Jednak ten proces napotyka nieprzekraczalne granice wtedy, gdy nie ma czego obserwować ani na czym eksperymentować, gdy coś znajduje się po drugiej stronie fundamentalnej bariery albo gdy sama obserwacja lub eksperyment zmienia to, co obserwujemy lub badamy.

Jak więc pogodzić się z nieuniknionymi lukami w naszej wiedzy i nadać im sens? Być może trzeba zaakceptować fakt, że nauka nie polega na poszukiwaniu prawdy, całej prawdy i tylko prawdy. Będziemy raczej dysponować zbiorem wciąż zmieniających się najlepszych ustaleń, które – miejmy nadzieję – będą nas nieustannie przybliżać – niezupełnie losowymi drogami, jak w przypadku ruchów Browna – ku kolejnym celom. ■

NASA, ESA, CSA and STScI

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

eprasa.pl 4916a4856f



Naukowcy niegdyś wątpili, czy kiedykolwiek poznamy skład gwiazd. To zdjęcie głębokiego pola, wykonane przez Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba, ukazuje gwiazdy i galaktyki na skrawku nocnego nieba.

W POGONI ZA ABSOLUTEM

BIOLOGIA

Jak powstało życie?

Naukowcy nie mają jednej odpowiedzi na to podstawowe dla biologii pytanie – nie są nawet pewni, czy kiedykolwiek się tego dowiemy

SARAH SCOLES
Ilustracje DEENA SO'OTEH



eprasa.pl



W LABORATORIUM MCMASTER UNIVERSITY W STANIE ONTARIO można podziwiać tajemnicze urządzenie świecące fioletowym światłem i zachowujące się jak żywa istota. Na szczycie pudełkowatej podstawy, przypominającej kuchenny mebel, spoczywa półkulista komora z otworami, z których wystają, niczym płatki kwiatów, kable i różne instrumenty. Z jej dna bucha gaz. Cel tej dziwnej instalacji jest dla postronnego obserwatora trudny do pojęcia, nawet jeśli słyszał o jej istnieniu. W środku tej niewielkiej komory mieści się bowiem cały świat. Nazywa się to, jakże trafnie, Planet Simulator (symulator warunków planetarnych).

Maikel Rheinstädter, profesor na Wydziale Fizyki i Astronomii McMaster University, wraz ze swoim zespołem, potrafi zaprogramować symulator tak, aby naśladował wiele różnych środowisk. Można w nim przestawiać temperatury w zakresie od poniżej zera do punktu wrzenia wody i więcej, zmieniać skład wypełniającej komorę namiastki atmosfery, spuszczać deszcz, a potem imitować suszę, oświetlać owe symulowane światy całą paletą promieni, od ultrafioletu po podczerwień, zgodnie z charakterem różnych gwiazd. Na płytce chipu, na środku komory, znajduje się kropla wody, a w niej chemiczna sygnatura dowolnej ery ziemskiej stratygrafii lub jednej z egzoplanet, której symulację grupa akurat zamierza przeprowadzić. Badacze sprawdzają, jakie związki powstają w tej odrobinie cieczy – chcą określić, które składniki i warunki pozwalają na wytworzenie cegiełek życia, sprawić, by się ze sobą połączyły, i być może kiedyś powołać je do życia. Jeśli się to uda, Planet Simulator będzie mógł odpowiedzieć na jedno z najważniejszych pytań: jak powstało życie na Ziemi?

Pozostaje pytanie, czy ktokolwiek będzie potrafił, nawet sprawując kontrolę nad wszystkimi symulacjami innych światów, znaleźć ostateczną odpowiedź, która zaspokoi naszą ciekawość. Czy dowiemy się kiedykolwiek, jak wyglądały początki życia na naszej planecie lub zdołamy przynajmniej określić potencjalne i wiarygodne scenariusze? Są to na razie pytania otwarte. W końcu tego naturalnego eksperymentu, który u zarania historii naszej planety doprowadził do powstania życia, nie da się powtórzyć nawet w najlepiej przygotowanym laboratorium.

NIEKTÓRE PYTANIA towarzyszyły ludziom od tysiącleci, jeśli nie dłużej. Jak i dlaczego powstaliśmy? Czy jesteśmy sami? Co się dzieje po śmierci? Skąd pochodzimy? Wszystkie te niewiadome, w pewnym sensie, towarzyszą też pracom Rheinstädtera: co to jest życie i jak powstało?

W wielu tradycyjnych kulturach odpowiedź ma wymiar duchowy. Mity dotyczące stworzenia świata stanowią podwalinę większości religii. Nawet w historii nauki można mówić o swego rodzaju micie stworzenia pod postacią poglądu zwanego samorództwem, zaproponowanego już ponad 2000 lat temu przez Arystotelesa. Zwolennicy idei samorództwa głosili, że żywe organizmy mogą powstawać z materii nieożywionej: w rozkładających się ciałach lub śmieciach lęgną się robaki; małże spontanicznie pojawiają się w wilgotnych piaskach. Takie myślenie panowało przez tysiąclecia, aż do czasu, gdy w roku 1859 Louis Pasteur wysterylizował organiczną zawiesinę, rodzaj bulionu, i umieścił ją w szklanym pojemniku. Kiedy odciął ów płyn od wszelkich wpływów zewnętrznych, nie pojawił się w nim żaden żywy organizm. Kiedy jednak pozwolił na kontakt ze światem zewnętrznym, bulion szybko zmętniał – zaroiło się w nim od mikroorganizmów. Eksperyment Pasteura wykazał, że życie jest na swój sposób dziedziczne – organizmy powstają z innych organizmów, a nie z martwej materii.

Jeśli tak, skąd wzięły się żywe istoty w czasach, gdy życie jeszcze się nie narodziło? Jak i z czego powstał pierwszy organizm? Czyż nie było to samorództwo? Musiał istnieć czas, gdy siły fizyki i chemii splotły się i dały początek czemuś, co mieści się już w pojęciu biologii. „Kiedy w szkole uczymy się biologii, podają nam ją jako coś całkiem odrębnego od chemii czy fizyki – mówi Harrison B. Smith, astrobiolog i badacz złożonych systemów w tokijskim Instytucie Nauk o Życiu i Ziemi. – Nie zapominajmy jednak, że biologia wyłoniła się i opisuje byty, które podlegają tym samym ograniczeniom chemii i fizyki, co wszystkie inne na Ziemi”.

Trudno określić, kiedy i jak to się stało. Pomimo dziesięcioleci intensywnych badań w artykule przeglądowym z 2020 roku mogliśmy przeczytać, że licząca już wówczas 45 lat deklaracja, wciąż pozostaje aktualna. W klasycznej dziś książce z 1974 roku *Pochodzenie życia na Ziemi*, dwaj jej autorzy i wybitni chemicy Stanley Miller i Leslie Orgel napisali: „Musimy na samym wstępie przyznać, że nie wiemy, jak powstało życie”. Miller w latach 50. przeprowadził eksperyment, w którym wykazał, że symulując warunki chemiczne panujące na wczesnej Ziemi – to taki prototyp Planet Simulator – i przepuszczając przez te substancje wyładowania elektryczne, otrzymamy w efekcie cząsteczki organiczne. „Powszechnie uważa się, że różnorodne procesy doprowadziły do powstania prostych związków organicznych na pierwotnej Ziemi – czytamy w dalszej części cytowanego dzieła. – Związki te łączyły się, tworząc coraz bardziej złożone struktury, aż w końcu powstało coś, co można już nazwać ożywionym bytem”.

eprasa.pl 4916a4856f

Zaraz jednak autorzy dodawali: „Nikt nie powinien zadowalać się tak ogólnym wyjaśnieniem”.

I naukowcy, rzecz jasna, się nie zadowolili.

NIEKOŃCZĄCE SIĘ I BYĆ MOŻE niedające się w pełni zakończyć poszukiwania tajemnicy narodzin życia to domena dziedziny naukowej, którą można nazwać angielskim akronimem OoL (od Origin of Life, czyli Pochodzenie Życia; skądinąd skrót OoL brzmi nieźle jako nazwa pierwszego organizmu). Niewiele na tym polu można uznać za pewnik. Panuje powszechna zgoda, co do stosunkowo kilku punktów, inne prowokują nieustające kontrowersje.

Zacznijmy od konsensu: najstarsze skamieniałości na Ziemi pochodzą sprzed co najmniej 3,4 mld lat, a istnieją przesłanki, że życie mogło powstać ponad pół miliarda lat wcześniej. Naukowcy są również w zasadzie zgodni, że życie nie jest dziełem jednorazowego aktu, lecz powstawało stopniowo, poprzez sekwencję kolejnych zdarzeń. Z czasem reakcje chemiczne wytworzyły wczesne wersje metabolizmu, zdolność cząsteczek do przekazywania, a więc dziedziczenia, informacji i powstały ograniczone przestrzennie przedziały, które stały się pierwowzorami komórek.

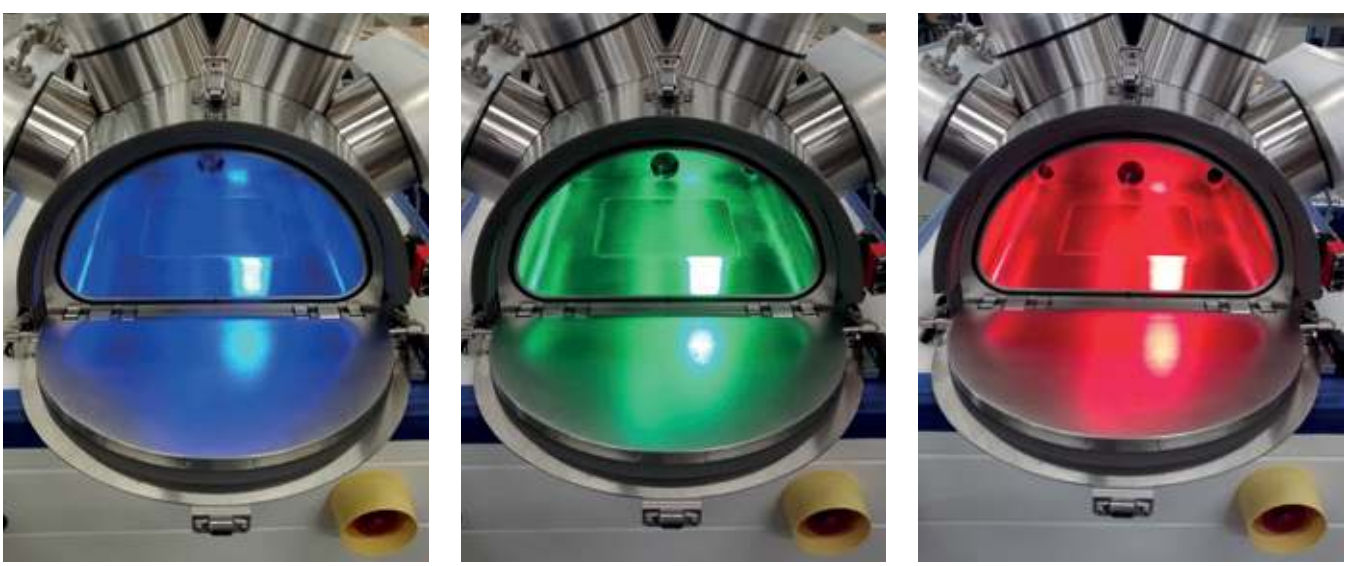
I na tym w zasadzie kończy się powszechna zgoda. Co do reszty, naukowcy nie mogą się nawet pogodzić, w kwestii właściwego sposobu podejścia do otwartych pytań. Niektórzy preferują scenariusz, który można by nazwać „od góry do dołu”, a więc próbując określić cechy, które są wspólne dla wszystkich współczesnych organizmów, takie jak struktura komórkowa, DNA i RNA oraz specyficzne cząsteczki biorące udział w transferze energii. Te wspólne cechy – głoszą zwolennicy takiego podejścia – są prawdopodobnie dziedzictwem fundamentalnych właściwości najwcześniejszych ożywionych bytów.

Inni naukowcy skłaniają się do scenariusza „od dołu do góry”, naśladując w laboratorium warunki na Ziemi sprzed miliardów lat i próbując w ten sposób – idąc śladami Millera i Rheinstädtera – odtworzyć kolejne kroki na drodze od chemii do biologii. Zabieg ten nie zakłada, że współczesne życie jest w dużym stopniu odzwierciedleniem jego najwcześniejszych etapów. Wynika raczej z przekonania, że współczesna biochemia może być w dużej mierze wynikiem ewolucji.

David Catling z University of Washington należy do tej drugiej grupy, a do badań nad OoL trafił dzięki swym pracom planetologicznym. Zaczęło się to wcześnie: na studiach licencjackich z astronomii Catling musiał wymyślić projekt teleskopu. „Inni obserwowali bardzo słabe gwiazdy, których nawet nie widać w wizjerze – mówi. – A ja pomyślałem: »No dobrze, w takim razie zajmę się Jowiszem. Tego przynajmniej nie da się przegapić«”. Po zmierzeniu stężenia metanu nad chmurami Jowisza zainteresował się atmosferami planet, a ostatecznie klimatem wczesnej Ziemi.

Początkowo Catling nie był pewien, czy ma wiele do zaoferowania w projekcie OoL. „Nie jestem biochemikiem. Nie jestem chemikiem zajmującym się syntezą organiczną” – mówi. Zorientował się jednak, że ludzie OoL potrzebują naukowców takich, jak on, by móc rozwijać program odpowiadający dokładnie jego zainteresowaniom: chcą dowiedzieć się więcej o przeszłości Ziemi. „Pytają: co było prawdopodobne, a co nie bardzo” – mówi Catling. Trzynaście lat temu Fundacja Simonsa rozpoczęła duży projekt dotyczący pochodzenia życia, a Catling dołączył do niego kilka lat później. Prywatne pieniądze, jak twierdzi, mogłyby podwoić środki dostępne na badania OoL, które są czasami zaniedbywane, ponieważ pokrywają się z różnymi dyscyplinami. Jednak, jak pokazuje projekt Simonsa, próby zrozumienia pochodzenia życia są z konieczności interdyscyplinarne, łącząc fundamentalne siły i zasady, które kształtują

Niektóre pytania towarzyszyły nam od tysiącleci, jeśli nie dłużej. Jak i dlaczego powstaliśmy? Czy jesteśmy sami? Co się dzieje po śmierci? Skąd pochodzimy?



Angstrom Engineering, Inc.

Planet Simulator na McMaster University w stanie Ontario może imitować promieniowanie różnych gwiazd, a także docierające do powierzchni różnych planet światło filtrowane przez ich atmosfery, by badać prawdopodobieństwo powstania tam życia.

eprasa.pl 4916a4856f



planetę i Wszechświat, a które same w sobie nie uznają granic akademickich ani społecznych.

NAUKOWCY RÓŻNIĄ SIĘ nie tylko metodami badań nad OoL. Ich hipotezy dotyczące przyczyn biogenezy również pozostają często ze sobą w sprzeczności. Pytanie „jak" ma, zależnie od obozu, różną odpowiedź, a hasłowe nazwy hipotez z góry zwiastują nieporozumienia: „Najpierw metabolizm" i „Najpierw RNA".

W tym drugim przypadku to RNA miało być najwcześniejszym elementem biologii, który zapoczątkował historię życia. RNA to jednoniciowy materiał genetyczny, który gromadzi informacje zawarte w sekwencji czterech zasad nukleinowych: adeniny, cytozyny, guaniny i uracylu. (DNA składa się z tych trzech pierwszych zasad, ale zastępuje uracyl tyminą i ma dwie skręcone nici zamiast jednej).

W naukowej wizji „świata RNA", na wczesnych etapach ewolucji życia, zanim pojawiło się DNA i białka, RNA przechowywało informacje i katalizowało reakcje chemiczne. RNA poniekąd samoistnie składało swe pojedyncze nici, które mogły tworzyć kopie samych siebie. To kopiowanie, czy powielanie, będące podstawą rozmnażania i ewolucji, było rodzajem spustu, który zapoczątkował historię życia. Bardziej złożone strukturalnie DNA pojawiło się później (w sposób, który naukowcy nie do końca rozumieją) i odegrało główną rolę w przechowywaniu i przekazywaniu informacji genetycznej, a białka przejęły funkcje katalizatorów reakcji chemicznych.

Hipoteza „najpierw metabolizm" sugeruje, że kluczowym, pierwszym krokiem na drodze biogenezy była zdolność przekształcania podstawowych substancji chemicznych w bardziej złożone związki. Zgodnie z tym scenariuszem, na wczesnej Ziemi zachodziły spontanicznie reakcje chemiczne między pierwiastkami i związkami. Większość z nich stanowiły proste i powtarzalne reakcje, ale niektóre doprowadziły do powstania cząsteczek magazynujących energię. Te cząsteczki inicjowały kolejne reakcje chemiczne, które stawały się coraz bardziej złożone w miarę trwania cyklu. Ostatecznie samopodtrzymujące się reakcje doprowadziły do powstania struktur przypominających RNA. A przynajmniej tak głosi teoria.

Przestrzenna lokalizacja któregokolwiek z tych pierwszych wydarzeń jest przedmiotem kolejnej kontrowersji. Niektórzy uważają, że epicentrum zdarzeń znajdowało się w wodach powierzchniowych Ziemi: ciepłym stawie lub kałuży (pomysł, który po raz pierwszy przedstawił Karol Darwin) lub gorącym źródle; inni dowodzą, że mogło to mieć miejsce w podwodnych kominach hydrotermalnych, choć ta hipoteza powoli odchodzi do lamusa. Ciepło, wspólne dla wszystkich tych teorii, miało pobudzić kaskadę reakcji chemicznych.

Innym pomysłem tracącym popularność jest przypuszczenie, że to meteoryty mogły zapoczątkować życie na naszej planecie. Próbki pobrane z planetoid i meteorytów sugerują, że chociaż zawierają one cząsteczki organiczne, to nie są to te same związki, z których korzysta życie na Ziemi. „Z pewnością, w środowisku, w którym powstało życie, potrzebujemy czegoś innego – mówi Catling. – Czegoś, co spełniło swoje zadanie na planecie Ziemia, ale nie zadziałało nigdzie indziej w Układzie Słonecznym".

Catling podejrzewa, że różnica polega na tym, że planetoidy nie wykazują takich samych warunków środowiskowych, jakie występują na Ziemi – ani na wirtualnych planetach w obrębie Planet Simulator. Jednym z przykładów są powtarzające się cykle wilgotny-suchy: w stawie lub na chipie symulatora woda może parować lub zamarzać, pozostawiając po sobie substancje inne niż H_2O, których koncentracja w ten sposób z czasem wzrasta. Za sprawą energii promieni słonecznych substancje te reagują między sobą, co może prowadzić do powstawania polimerów, czyli dłuższych łańcuchów cząsteczkowych.

Podobne rozumowanie, zdaniem Catlinga, można odnieść w stosunku do szczelin i kominów hydrotermalnych. Jako potencjalne miejsca narodzin życia również tracą obecnie na popularności i to z podobnego powodu: struktury te, otoczone bezkresnym oceanem, nie dawały podstaw do wystarczającej koncentracji związków chemicznych.

NIEZALEŻNIE OD PREFEROWANEGO wariantu OoL – jak, w jakiej kolejności i gdzie narodziło się życie – wciąż istnieje fundamentalny problem: kiedy badacze tacy jak Rheinstädter odtwarzają warunki panujące na wczesnej Ziemi, poszczególne składniki bez większego trudu łączą się w prostsze cegiełki życia, w tym aminokwasy, tworząc nawet błoniaste przedziały komórkowe, zbudowane z tłuszczów i innych lipidów. Jednak sprawienie, by te substancje wchodziły ze sobą w ściślejsze związki i zachowywały się w sposób przywołujący na myśl życie, to zupełnie inna historia. „To, jak te prostsze elementy stają się bardziej złożone, wciąż pozostaje zagadką" – mówi Joana Xavier, niezależna badaczka początków życia. Rheinstädter potwierdza: „Myślę, że nasz problem polega na tym, że te główne cegiełki życia – aminokwasy i nukleotydy – tworzą się bardzo łatwo. Ciepły staw czy kałuża z pewnością je zawierają".

Rheinstädter używa Planet Simulator, aby dowiedzieć się, jak sprawić, by te elementy składowe zawarte w „ciepłym stawie" uległy samoorganizacji, w szczególności utworzyły RNA. Na kanwie swych zamierzeń formułuje następującą myśl: być może konstruując potencjalne wersje pierwotnych bulionów lub zup, naukowcy

eprasa.pl 4916a4856f

już stworzyli wystarczająco złożone zawiesiny, ale nie zdają sobie z tego sprawy, ponieważ szukają nie tego, co trzeba. „Ludzie zawsze szukają, by tak rzec, klasycznego RNA – mówi – takiego, który można by zamówić z katalogu. Ideału."

Ale taki rodzaj RNA nie sprawdziłby się na Ziemi sprzed czterech miliardów lat. Jest zbyt delikatny. „Gdy wyjmiemy go z lodówki, natychmiast się rozkłada" – mówi Rheinstädter. Być może RNA z czasów świata RNA to zupełnie inne RNA niż to, które dobrze znamy z naszego świata. Na ten pomysł wpadł niejako przypadkiem, bawiąc się Planet Simulator. Gdy symulator miał imitować czasy u zarania istnienia Ziemi, badacz zauważył, że cząsteczki łączą się, tworząc nici RNA długości około 100 zasad azotowych. „Nie są jednak idealne – mówi. – W ich strukturze widoczne są błędy". Pod względem estetyki nie wygląda to najlepiej, ale ten brak nadrabiają odpornością. „Nie da się ich zniszczyć".

Zastanawiając się nad tym, Rheinstädter mówi: „Może właśnie takich niedoskonałości powinniśmy oczekiwać?". Może na początku była taka prekursorska, niedoskonała wersja materiału genetycznego, a dzisiejsza wersja RNA pojawiła się później, za sprawą działania doboru naturalnego. „Może po prostu mieliśmy naiwne oczekiwania". Być może taki pionierski, „ułomny" RNA, produkowany przez Planet Simulator, przypomina tę jego odmianę, która kiedyś pojawiła się w którymś z ziemskich „ciepłych stawów". W końcu tylko w legendach i mitach stworzenia życie wyłania się od razu we w pełni uformowanych kształtach.

Rheinstädter zakłada, że inni naukowcy mogli w rzeczywistości tworzyć ten ułomny RNA przez cały czas w podobnych eksperymentach, nieświadomie – ponieważ go nie szukali. Teraz zespół bada, czy niedoskonałe RNA może faktycznie robić to, co w pełni funkcjonalne RNA: katalizować i przekazywać informacje.

Catling tymczasem pracuje nad własnym radykalnym pomysłem, koncentrując się nad innym pytaniem: „gdzie". Ostatnimi czasy zajmuje się tym, co naukowcy nazywają „problemem fosforanów", po raz pierwszy zidentyfikowanym w latach 50. Problem jest jasny: fosforany są kluczowe dla wielu procesów i potrzeb życia – stanowią na przykład podstawowe elementy genomu, wchodzą w skład błon wewnątrzkomórkowych i biorą udział w procesach metabolicznych. „Jednak w środowisku życia, na przykład w rzekach lub oceanach, poziom rozpuszczonych fosforanów jest doprawdy niewielki" – mówi Catling.

Skoro w wodzie jest ich tak mało, trudno zrozumieć, jak wczesne formy życia mogły zgromadzić je w wystarczającej ilości. Jednak kiedy Catling pracował nad projektem Simonsa, wraz z kolegami odkrył rodzaj zbiorników wodnych z dużą zawartością fosforanów: to jeziora sodowe, które przypominają duże stawy, w których ktoś rozpuścił ogromne ilości sody oczyszczonej. Te zbiorniki o dużej zawartości węglanów i wyjątkowo wysokiej zasadowości występują na całym świecie; najbardziej znane przykłady znajdują się w Afryce i Ameryce Północnej. Wapń w nich wiąże się z węglanami z sody, umożliwiając akumulację naturalnych fosforanów, które dzięki temu się z nim nie wiążą, jak miałoby to miejsce w wodzie mniej wysyconej węglanami.

Najbogatszym w fosforany jeziorem na świecie jest Last Chance Lake w Kanadzie. Latem – podobnie jak większość jezior sodowych – paruje, pozostawiając po sobie białe, solne naskorupienia; wraz z nadejściem deszczów zagłębienia nabierają wody i znów przypominają jeziora. Powtarzające się cykle wilgoci i suszy prowadzą do postępującej koncentracji fosforanów. Catling uważa, że niemal dokładnie przypomina to miejsca, gdzie chemia i fizyka mogłyby współdziałać w kierunku biologii. Być może więc bardziej trafna byłaby nazwa First, a nie Last Chance Lake. Jezioro Pierwszej Szansy.

Oczywiście ani Rheinstädter, ani Catling nie wiedzą, czy ich pomysły odzwierciedlają prawdziwe zdarzenia – jak i gdzie to się zaczęło. Nikt tego nie wie i nie wiadomo nawet, czy kiedykolwiek się dowiemy. Nawet gdyby badaczom udało się odtworzyć warunki panujące na wczesnej Ziemi i gdyby w jakiś sposób wyłoniło się z nich życie, nie oznaczałoby to od razu, że poznaliśmy tajemnicę biogenezy. Możliwość i pewność to dwie różne historie. Taśmy życia nie da się puścić powtórnie.

Wielu naukowców pracujących nad OoL uważa jednak, że te wątpliwości są przesadzone. W końcu, jeśli biologia komórki wypływa z fizyki i chemii poprzez zestaw logicznych praw i procesów, być może istnieje tylko jedna ścieżka dojścia. „Diament powstaje w bardzo specyficznych warunkach i tylko jeśli wszystkie są spełnione – mówi Xavier. – Diamenty są rzadkie, bo i takie warunki zdarzają się rzadko. Myślę, że na powstawanie komórek można spojrzeć w dokładnie ten sam sposób". Catling jednak zgłasza wątpliwości. „Myślę, że takie rozumowanie jest uprawnione, ale pewności nie ma żadnej". Jego zdaniem, by można było mówić o nieuchronności, trzeba spojrzeć poza Ziemię, bo tylko tak da się zbliżyć do odpowiedzi na pytanie, czy pochodzenie życia komórkowego jest rzeczywiście zdeterminowane – to znaczy, czy pojawia się zawsze w określonych warunkach. Jeśli na przykład zaobserwujemy je na innych planetach o podobnej historii i zbliżonym środowisku i jeśli by się okazało, że wykazuje ono taki sam zestaw biochemiczny, jak na Ziemi, można by dowodzić, że proces powstania życia podlega deterministycznym regułom.

To są ogromne „jeśli": jeśli istnieje życie, jeśli wiemy, jak i gdzie go szukać, i wreszcie – jak możemy je znaleźć. Wszystko to wymaga połączenia i przezwyciężenia wielu fizycznych i filozoficznych problemów. Ale nie jest to niemożliwe. „Historia nauki uczy nas, by raczej nie mówić, że czegoś nigdy nie poznamy, bo później okazuje się, że ludzie właśnie to odkryli" – mówi David Dunér, historyk i filozof nauki z Lunds universitet w Szwecji.

Zanim jednak dziedzina OoL zbliży się do tego punktu, potrzebuje zmiany kulturowej. Obecnie jest to dość kontrowersyjna dyscyplina, w której badacze osobiście angażują się w promocję swoich wersji, a więc obronę tego co, jak i gdzie. Tę konkurencję, jak zauważa Xavier w komentarzu w „Nature", wzmacnia niewielka dostępność bezpośrednich dowodów. Aby pomóc naukowcom współpracować i skupić się na szerszym obrazie zagadnienia, współtworzyła zrzeszającą młodszych naukowców sieć o nazwie Origin of Life Early-career Network. Jednak w tak pełnych kontrowersji dziedzinach rozłamy i wzajemne niesnaski są prawdopodobnie nieuniknione, mówi Catling.

Być może nowe dowody pokazujące, jak powstało życie, nadejdą z jeziora sodowego lub Planet Simulator, a może z jakiejś prawdziwej planety bardzo daleko od nas. Ale przynajmniej dla niektórych naukowców te pokłady niepewności nie stanowią problemu. „Czasami myślę, że spotkało mnie wielkie szczęście, że żyję w czasie, gdy wiele pytań wciąż pozostaje bez odpowiedzi i tak dużo jest do odkrycia – mówi Smith. – Myślę, że odpowiedzi w końcu znajdziemy, ale zajmie to z pewnością trochę czasu, ponieważ wielu pytań wciąż nawet nie udało nam się sformułować". ■

eprasa.pl 4916a4856f

W POGONI ZA ABSOLUTEM

ZDROWIE

Jak długo może żyć człowiek?

Badacze sondują limity długowieczności

VENKI RAMAKRISHNAN

Ilustracje ADA ZEJUN SHEN

eprasa.pl 4916a



LUDZIE MOGĄ BYĆ JEDYNYMI ISTOTAMI, które są świadome własnej śmiertelności. Nie ma dowodów na to, że inne zwierzęta wiedzą, iż ich czas na Ziemi jest ograniczony. Uświadomienie sobie, że zarówno my, jak i wszyscy, których znamy, pewnego dnia umrzemy, musi być jednym z bardziej niepokojących odkryć dzieciństwa.

Odkąd ludzie zrozumieli, że długość naszego życia jest ograniczona, wiedza ta kształtuje nasze kultury, religie i filozofie. Choć planujemy, robimy kariery i zachowujemy się tak, jakbyśmy mieli żyć bez końca, lęk przed śmiercią i pragnienie, by ją przezwyciężyć, pozostają niezmienne.

Jako gatunek poczyniliśmy ogromne postępy w walce ze śmiertelnością. W czasach współczesnych śmierć w wyniku przemocy, chorób i głodu stała się rzadsza niż dawniej. Jednocześnie postęp medycyny i gwałtowny spadek współczynników dzietności doprowadziły do starzenia się społeczeństw. Odsetek osób w wieku powyżej 65 lat szybko rośnie, podczas gdy liczba osób w wieku produkcyjnym, które je utrzymują, maleje. Zrozumienie procesu starzenia się jest więc pilnym wyzwaniem praktycznym. Jeśli uda nam się opóźnić jego skutki, osoby starsze mogą dłużej pozostawać zdrowe, niezależne i aktywne zawodowo.

Obok tego imperatywu zdrowia publicznego istnieje jednak odwieczne marzenie. Coraz więcej technologicznych potentatów finansuje przedsięwzięcia, których celem jest nie tylko spowolnienie starzenia się, lecz całkowite jego pokonanie. Dążeniem jest radykalne wydłużenie życia, a ostatecznie coś zbliżonego do nieśmiertelności. Ale czy to w ogóle możliwe?

Działania te sprawiają, że naukowcy próbują rozwikłać jedną z największych zagadek samego życia: czy istnieje biologiczny powód, dla którego ludzie muszą umierać? A jeśli nie, czy w przyszłości moglibyśmy zacząć żyć wiecznie?

RÓŻNORODNOŚĆ DŁUGOŚCI ŻYCIA występująca w przyrodzie sugeruje, że starzenie się nie jest z góry ustalone. Mimo że wszystkie organizmy zbudowane są z tych samych chemicznych cegiełek, poszczególne gatunki mogą żyć skrajnie różnie długo. Jętki żyją zaledwie kilka dni, myszy około dwóch lat, natomiast wieloryby grenlandzkie i rekiny grenlandzkie – nawet kilka stuleci. Galapagos żyją tak długo, że jeden z osobników, który padł dopiero na początku XXI wieku, przyszedł na świat w czasach, gdy Charles Darwin osobiście badał ten archipelag.

Różnice te nie są przypadkowe. Długość życia jest ściśle związana z metabolizmem. Mniejsze zwierzęta na ogół mają wyższe tempo metabolizmu i żyją krócej; większe zwykle wolniej przetwarzają energię i żyją dłużej.

Dobór naturalny nie przejmuje się tym, jak długo żyje organizm. Faworyzuje cechy zwiększające sukces reprodukcyjny. Każdy gatunek musi dokonywać kompromisów w sposobie rozdysponowania zasobów między wzrost, rozmnażanie i utrzymanie organizmu. Mysz nie zwiększy swojej zdolności do wydania na świat większej liczby potomstwa, inwestując w długowieczność, jeśli wcześniej prawdopodobnie zginie z głodu albo padnie ofiarą drapieżnika. Dla myszy korzystniejsze jest więc inwestowanie w szybki wzrost i rozmnażanie. Większe zwierzęta, takie jak wieloryby, dojrzewają jednak powoli i później przystępują do rozmnażania. Ich ogromne rozmiary zmniejszają również ryzyko, że zwierzęta te padną ofiarą drapieżników, przez co bardziej opłaca się im inwestować w długotrwałe utrzymanie organizmu.

Ta sama logika wyjaśnia niektóre znaczące wyjątki. Ptaki i nietoperze często żyją znacznie dłużej niż podobnej wielkości ssaki lądowe, ponieważ latanie zmniejsza ryzyko zostania ofiarą, a także pozwala żerować na dużym obszarze, ograniczając ryzyko śmierci z głodu. Kiedy dłuższe przeżycie zwiększa sukces reprodukcyjny, ewolucja faworyzuje wolniejsze starzenie.

Ewolucja może również sprzyjać genom, które przynoszą korzyści we wczesnym okresie życia, nawet jeśli w późniejszym wieku zaczynają działać na naszą niekorzyść. Na przykład te same geny, które w młodości przyspieszają wzrost lub chronią przed nowotworami, mogą później przyczyniać się do starzenia. Ta ewolucyjna koncepcja starzenia się znana jest jako teoria antagonistycznej plejotropii.

„Plejotropia" oznacza, że jeden gen może wywoływać więcej niż jeden skutek, a „antagonistyczna" – że niektóre z tych skutków mogą być szkodliwe. Teoria ta zakłada, że starzenie się nie jest samo w sobie przystosowaniem, lecz niezamierzonym skutkiem kompromisów, jakie wymusza ewolucja. W rezultacie każdy gatunek ma określoną maksymalną długość życia.

Venki Ramakrishnan – biolog strukturalny pracujący w Laboratorium Biologii Molekularnej MRC w Cambridge w Anglii oraz członek zewnętrznego grona profesorskiego („fractal faculty") w Santa Fe Institute. W 2009 roku został laureatem Nagrody Nobla (wraz z Thomasem A. Steitzem i Adą E. Yonath) w dziedzinie chemii za pionierskie badania nad strukturą i funkcją rybosomów. Jest autorem książki *Dlaczego umieramy. Co nauka mówi nam o starzeniu się i dążeniu do nieśmiertelności* (Wydawnictwo Naukowe PWN, 2025).

eprasa.pl 4916a4856f

A jak jest z nami? W ciągu ostatnich 150 lat oczekiwana długość życia człowieka mniej więcej się podwoiła dzięki postępom w dziedzinie zdrowia publicznego, odżywiania i medycyny. Czym innym jest jednak oczekiwana długość życia, a czym innym biologiczna granica ludzkiej długowieczności. Już przed wiekami niektórzy ludzie dożywali niezwykle sędziwego wieku. Michał Anioł żył prawie 90 lat. Najdłużej udokumentowane życie ludzkie było udziałem Jeanne Calment, która zmarła w 1997 roku w wieku 122 lat. Od tamtej pory nikt nie dożył ponad 120 lat. Przy obecnych ograniczeniach biologicznych wydaje się mało prawdopodobne, by człowiek mógł żyć znacznie dłużej. Przekroczenie tej granicy wymagałoby zmiany samej biologii starzenia.

W miarę starzenia się tracimy masę mięśniową, a wraz z nią siłę, sprawność ruchową i zdolność utrzymywania równowagi. Szybciej się męczymy i coraz trudniej przychodzi nam wykonywanie codziennych czynności. Coraz częściej pojawiają się choroby przewlekłe, a odporność na infekcje słabnie. Pogarszają się również funkcje poznawcze. Objawy te są jedynie zewnętrznymi oznakami stopniowego pogarszania się funkcjonowania komórek i tkanek. U podstaw tego procesu leżą zmiany i uszkodzenia zachodzące w cząsteczkach tworzących nasz organizm oraz zaburzenia w sposobie, w jaki ich funkcjonowanie jest regulowane przez geny.

Kiedyś starzenie się postrzegano jako zużywanie się organizmu – coś w rodzaju stopniowego psucia się maszyny. Współczesna biologia pokazuje jednak znacznie bardziej złożony obraz. Komórki mają wyrafinowane mechanizmy naprawy uszkodzeń, dbania o prawidłowy zestaw białek, odzyskiwania i ponownego wykorzystywania zużytych elementów oraz regulowania metabolizmu. Starzenie się zachodzi nie tylko dlatego, że z czasem narasta liczba uszkodzeń. Przyczyną jest również to, że same mechanizmy chroniące organizm stają się stopniowo coraz mniej skuteczne.

Charakterystyczne oznaki biologicznego starzenia się pojawiają się w wielu układach organizmu. Należą do nich uszkodzenia i zmiany w DNA, pogorszenie jakości białek i zaburzenia ich rozmieszczenia, nieprawidłowe funkcjonowanie mitochondriów, osłabienie reakcji organizmu na składniki odżywcze, przewlekły stan zapalny oraz zmniejszająca się liczba komórek macierzystych. Wszystkie te procesy są ze sobą ściśle powiązane – zaburzenie jednego z nich często wpływa na wiele pozostałych.

DOBRA WIADOMOŚĆ JEST TAKA, że nie istnieje żadne prawo fizyki ani chemii, które uniemożliwiałoby nam wpływanie na te procesy i ich modyfikowanie. Problem w tym, że starzenie się jest niezwykle złożonym zjawiskiem.

Jedną z najskuteczniejszych metod, jakie dotąd odkryto, jest ograniczenie podaży kalorii. Zwierzęta otrzymujące tylko tyle kalorii, ile potrzeba do prawidłowego odżywienia organizmu, często dłużej zachowują dobre zdrowie i żyją znacznie dłużej. Ograniczenie podaży kalorii upośledza syntezę białek i pobudza autofagię – proces komórkowego recyklingu, podczas którego usuwane są uszkodzone cząsteczki i organelle.

U gatunków od robaków i much po gryzonie i naczelne ograniczenie podaży kalorii sprawia, że zwierzęta zachowują biologiczne cechy młodszego wieku. Ta metoda ma jednak istotne wady. Ciągłe uczucie głodu, większa wrażliwość na zimno, wolniejsze gojenie się ran i obniżone libido sprawiają, że ścisłe ograniczenie kalorii jest trudne do utrzymania.

Naukowcy poszukiwali leków, które naśladowałyby niektóre efekty ograniczenia podaży kalorii, ale nie powodowały związanych z nim działań niepożądanych. Jedną z obiecujących substancji jest rapamycyna, odkryta pierwotnie w próbkach gleby pobranych z Wyspy Wielkanocnej, zwanej przez jej rdzennych mieszkańców Rapa Nui. Związek ten wpływa na szlak komórkowy zwany TOR (lub mTOR, mechanistic target of rapamycin), który odgrywa ważną rolę w regulowaniu wzrostu i metabolizmu. U myszy rapamycyna wydłuża życie i poprawia kilka parametrów zdrowotnych. Jest jednak również lekiem immunosupresyjnym, co budzi obawy związane z ryzykiem infekcji i bezpieczeństwem długotrwałego stosowania. Obecnie naukowcy sprawdzają, czy zmniejszenie dawki rapamycyny albo opracowanie jej chemicznych odpowiedników pozwoli uzyskać korzystne efekty bez związanych z nią zagrożeń.

W ciągu ostatnich 150 lat oczekiwana długość życia człowieka mniej więcej się podwoiła.

Zainteresowanie wzbudza również metformina, powszechnie stosowany lek przeciwcukrzycowy. Działa ona na białko znajdujące się w mitochondriach i uczestniczące w oddychaniu komórkowym, przez co pośrednio wpływa na szlaki uruchamiane w odpowiedzi na ograniczenie podaży kalorii. Dowody na jej korzystne działanie u zdrowych osób są jednak niejednoznaczne. Nowsze leki z grupy agonistów GLP-1, stosowane w leczeniu cukrzycy i otyłości, również wydają się korzystnie wpływać na wiele narządów, w tym mózg. One także mają jednak działania niepożądane, m.in. mogą powodować utratę masy mięśniowej. Zanim metformina i leki z grupy GLP-1 będą mogły być stosowane jako terapie przeciwstarzeniowe, trzeba je dokładnie sprawdzić w badaniach klinicznych.

Jednym z głównych kierunków badań nad starzeniem się jest senescencja komórkowa. Komórki uszkodzone lub poddane działaniu stresu mogą przejść w stan senescencji: przestają się dzielić i zaczynają wydzielać cząsteczki wywołujące stan zapalny. We wczesnym okresie życia jest to korzystna reakcja, która wspomaga rozwój, gojenie ran i ochronę przed nowotworami. Z wiekiem jednak komórki senescentne gromadzą się szybciej, niż organizm jest w stanie je usuwać.

Wywoływany przez nie stan zapalny przyczynia się do zaburzeń funkcjonowania tkanek w całym

eprasa.pl 4916a4856f

organizmie. U myszy usunięcie komórek senescentnych może łagodzić wiele oznak starzenia się. Odkrycie to wzbudziło ogromne zainteresowanie tzw. lekami senolitycznymi, których zadaniem jest wybiórcze usuwanie tych komórek. Kilka takich substancji jest obecnie badanych pod kątem ich zastosowania w leczeniu chorób związanych z wiekiem, takich jak choroba zwyrodnieniowa stawów czy włóknienie. Trzeba oczywiście przede wszystkim sprawdzić, czy leki te są bezpieczne, ale równie ważne jest znalezienie właściwej równowagi: komórki senescentne pełnią określone funkcje biologiczne, więc ich bezkrytyczne usuwanie mogłoby wywołać nowe problemy.

Kolejny, dość niezwykły eksperyment zwrócił uwagę na zupełnie inną możliwość spowalniania starzenia. W procesie zwanym parabiozą naukowcy chirurgicznie połączyli pary szczurów w taki sposób, aby miały wspólny układ krążenia. Starsze szczury połączone z młodszymi żyły dłużej niż te, które połączono ze zwierzętami w podobnym wieku. Wyniki tych badań zainspirowały później wiele firm oferujących przetaczanie osocza pochodzącego od młodych dawców. Nie ma jednak przekonujących dowodów na to, że takie zabiegi spowalniają starzenie się u ludzi. Badania te zapoczątkowały natomiast intensywne poszukiwania substancji obecnych we krwi, których poziom zmienia się wraz z wiekiem i które w przyszłości mogłyby znaleźć zastosowanie jako leki.

Większość tych metod ma na celu spowolnienie starzenia. Bardziej radykalnym celem jest jego odwrócenie.

Możliwość ta wyłoniła się z serii odkryć dokonywanych na przestrzeni dziesięcioleci, dotyczących komórek wczesnego zarodka, które odznaczają się niezwykłą plastycznością. Te tak zwane pluripotentne komórki macierzyste mogą dać początek dowolnej tkance organizmu. W późniejszych stadiach komórki macierzyste stopniowo się specjalizują, a każda ich klasa wytwarza określone rodzaje tkanek, takie jak komórki układu nerwowego czy krwi.

W 1958 roku brytyjski biolog John Gurdon wykazał, że jądro komórki kijanki można przeszczepić do komórki jajowej i w ten sposób stworzyć zupełnie nowy żabi organizm. Później, w 1997 roku, owca Dolly stała się dowodem na możliwość klonowania ssaków. Dokładny sposób cofania dojrzałych komórek do wczesnego stadium embrionalnego pozostawał jednak niejasny.

Przełom nastąpił w 2006 roku, kiedy japoński biolog Shinya Yamanaka (noblista z 2012 roku) odkrył, że aktywacja zaledwie czterech genów może przekształcić dojrzałe komórki w pluripotencjalne komórki macierzyste. Te tzw. czynniki Yamanaki skutecznie skłaniają komórki do powrotu do wcześniejszego stadium embrionalnego poprzez ich przeprogramowanie genetyczne. Odkrycie to dało nadzieję – skoro potrafimy



eprasa.pl 4916a4856f

wyzerować wiek komórkowy, być może będziemy w stanie odwrócić samo starzenie.

Zastosowanie pełnego procesu przeprogramowania u dorosłego organizmu byłoby niebezpieczne, ponieważ powstające w jego wyniku komórki pluripotentne mogłyby tworzyć guzy zwane potworniakami. Naukowcy zaczęli więc badać częściowe przeprogramowanie, polegające na krótkotrwałej aktywacji czynników Yamanaki w sposób, który wydaje się odmładzać komórki, a jednocześnie zachowywać ich wyspecjalizowaną tożsamość.

Wyniki uzyskane u myszy są niezwykle obiecujące. U leczonych zwierząt często obserwuje się poprawę funkcjonowania tkanek oraz zmianę wskaźników wieku biologicznego. W jednym z eksperymentów naukowcy mieli zregenerować uszkodzony nerw wzrokowy, wprowadzając czynniki Yamanaki do oka za pośrednictwem nośnika wirusowego. Obecnie prowadzone są badania kliniczne mające sprawdzić, czy procedura ta może odwrócić degenerację siatkówki lub nerwu wzrokowego.

Nadal jednak pozostają poważne przeszkody. Obecnie zazwyczaj wykorzystuje się w tych metodach systemy dostarczania genów, które nie są idealne pod względem powszechnego stosowania u ludzi. Przeprogramowanie często przebiega nierównomiernie, obejmując skupiska komórek, podczas gdy inne komórki w tym samym narządzie pozostają niezmienione. Poszczególne narządy starzeją się w różnym tempie i mogą wymagać specyficznego ukierunkowania terapii. Naukowcy poszukują bezpieczniejszych i łatwiejszych do kontrolowania metod, w tym małych cząsteczek, które mogłyby wywoływać przeprogramowanie bez wprowadzania nowych genów.

Mimo tych wyzwań przeprogramowanie komórkowe stanowi dotąd najbardziej obiecującą drogę do rzeczywistego odmłodzenia, a nie tylko spowolnienia pogarszania się funkcjonowania organizmu.

NAWET JEŚLI TAKIE INTERWENCJE okażą się skuteczne, ich przełożenie na medycynę będzie trudne. Terapie przeciwstarzeniowe muszą spełniać wyższe wymagania niż leczenie chorób zagrażających życiu. Pacjenci z zaawansowanym nowotworem mogą zaakceptować znaczne ryzyko związane z eksperymentalnymi lekami, ponieważ inaczej czeka ich pewna śmierć. Zdrowi ludzie prawdopodobnie nie będą skłonni tolerować poważnych działań niepożądanych leków, które być może musieliby przyjmować przez dziesięciolecia. Kolejną przeszkodą są badania kliniczne. Organy regulacyjne zazwyczaj zatwierdzają terapie przeznaczone do leczenia konkretnych chorób, a nie starzenia jako takiego. W rezultacie naukowcy często badają interwencje przeciwstarzeniowe pośrednio, prowadząc badania nad chorobami związanymi z wiekiem.

Wiele badań nad przeciwdziałaniem starzeniu motywuje idea wydłużenia „healthspan” – liczby lat, które przeżywamy w zdrowiu – bez konieczności wydłużania długości życia. Zgodnie z tą koncepcją ludzie powinni dążyć do tego, by jak najdłużej zachować zdrowie i samodzielność, a następnie doświadczać stosunkowo krótkiego okresu pogorszenia stanu zdrowia przed śmiercią. To atrakcyjna idea, ale mało jest dowodów na to, że jest możliwa do zrealizowania. W wielu krajach ludzie żyją coraz dłużej, ale zwiększył się odsetek długości życia z wieloma przewlekłymi chorobami. Chociaż między poszczególnymi krajami występują uderzające różnice pod względem odsetka długości życia w dobrym zdrowiu. Na przykład mieszkańcy Szwecji przez znacznie krótszy okres pod koniec życia doświadczają niepełnosprawności niż mieszkańcy Wielkiej Brytanii. Różnice te świadczą, że polityka zdrowia publicznego, styl życia i opieka medyczna mogą wpływać nie tylko na to, jak długo żyjemy, lecz także na to, w jakim stanie zdrowia.

Ostatecznie jednak, czy którekolwiek z tych odkryć pozwoli nam znacząco wydłużyć ludzkie życie? Nie ma naukowej reguły, która wykluczałaby taką opcję, podobnie jak nie ma naukowej reguły, która nakazywałaby uznać podróże międzygwiezdne za niemożliwe. Problem polega na tym, że praktyczne komplikacje są ogromne. Starzenie obejmuje niezliczone wzajemnie oddziałujące procesy w komórkach, tkankach i narządach. Znaczące wydłużenie życia wymagałoby jednoczesnego opanowania wielu z nich. Mało prawdopodobne jest, by pojedyncza interwencja mogła wyłączyć starzenie, nie wywołując przy tym innych zmian w naszym organizmie.

Większość tych metod ma na celu spowolnienie starzenia. Bardziej radykalnym celem jest jego odwrócenie.

Tymczasem, czekając na przełomowe postępy medycyny, wszyscy możemy na własną skalę stosować podstawowe strategie przeciwdziałania starzeniu. Naukowcy wiedzą, że umiarkowanie kaloryczna dieta, zapewniająca odpowiednią ilość owoców i warzyw, wpływa na szlaki związane z ograniczeniem podaży kalorii. Znaczna część procesów naprawczych i regeneracyjnych zachodzących w naszym organizmie odbywa się podczas snu, a aktywność fizyczna pomaga w regeneracji tkanek, w tym mięśni i mitochondriów. Na razie najlepiej udokumentowanymi sposobami wspierania zdrowego starzenia pozostają trzy elementy: dieta, aktywność fizyczna i sen. Ponadto istnieją mocne dowody na to, że unikanie izolacji społecznej i poczucie celu wiąże się z lepszym zdrowiem i dłuższym życiem.

Dopóki wypadki, klęski żywiołowe, choroby i wojny mogą nas zabijać, prawdziwa nieśmiertelność pozostaje poza naszym zasięgiem. Również życie przez setki lat w najbliższej przyszłości wydaje się mało prawdopodobne. Zamiast tego możemy myśleć o życiu jak o niekończącym się bankiecie, na który kolejne osoby przybywają i po pewnym czasie go opuszczają. Powinniśmy uważać się za szczęśliwców, że w ogóle możemy być jego uczestnikami, i cieszyć się ucztą, dopóki możemy. ■

eprasa.pl 4916a4856f

FIZYKA CZĄSTEK ELEMENTARNYCH

Czym jest ciemna materia?

Coraz więcej ekspertów obawia się, że nigdy się tego nie dowiemy

JOSEPH HOWLETT

eprasa.pl 4916a4856f



W eksperymencie XENONnT, prowadzonym we włoskim Laboratori Nazionali del Gran Sasso, fotopowielacze mają za zadanie rejestrować oddziaływania cząstek ciemnej materii z ciekłym ksenonem.

eprasa.pl 4916a4856f

KIEDYŚ MOJA PORANNA DROGA DO PRACY BYŁA CIEKAWSZA. O świcie wsiadałem do ciasnego Fiata, zabierając ze sobą tylu fizyków, ilu tylko się dało. Jechaliśmy krętymi włoskimi drogami na przecinającą półwysep autostradę, która prowadziła przez tunel wydrążony w masywie Gran Sasso – najwyższym szczycie w tym rejonie. W najgłębszym punkcie tunelu, mając nad głowami blisko półtora kilometra skał, skręcaliśmy przez strzeżoną bramę i wkraczaliśmy do jednego z najcichszych miejsc na Ziemi.

Wtedy, w 2019 roku, chcieliśmy stworzyć najczulszy detektor cząstek w historii. Spędzaliśmy w tej jaskini długie dni, noce i większość weekendów, ścigając się z rywalami z całego świata w poszukiwaniu brakujących pięciu szóstych materii we Wszechświecie.

W wolnych chwilach, kiedy regulowałem aparaturę lub wpatrywałem się w manometr, zdarzało mi się pytać kolegów z zespołu, jakie mamy szanse na wygranie tego wyścigu. „Zerowe" – odpowiadali zazwyczaj. Zaskoczony, zacząłem wypytywać naukowców spoza grona moich kilkuset współpracowników, przeprowadzając ankiety podczas konferencji i spotkań towarzyskich, i odkryłem, że nie tylko my tak myśleliśmy. Niewielu ekspertów – a wśród młodszego pokolenia praktycznie nikt – uważało, że prowadzone badania naukowe zbliżają nas do odkrycia ciemnej materii.

W ciągu ostatnich siedmiu lat głosy te stawały się coraz donośniejsze. Od czterech dekad nie udaje nam się zidentyfikować cząstek tworzących ciemną materię – tę niewidzialną część Wszechświata, o której wiemy, że istnieje, i która wypełnia każdą obserwowaną przez nas galaktykę. Coraz więcej fizyków przyznaje, że ta sytuacja może się nigdy nie zmienić. „Natura nie zawsze zapewnia nam wyniki, jakich byśmy sobie życzyli" – mówi fizyk i matematyk Edward Witten. To jego artykuł z 1985 roku, w którym przedstawił pomysł, że słabo oddziałujące cząstki masywne (weakly interacting massive particles, WIMP) można zaobserwować na Ziemi, dał początek dziedzinie, którą rozwijałem w mojej pracy doktorskiej. „Jest to przykre, ale z pewnością możliwe, że natura wybrała taką cząstkę, której nie będziemy w stanie wykryć" – uważa Witten.

Wielu wciąż wierzy. Poszukiwacze ciemnej materii desperacko przemierzają niezliczone ścieżki – zarówno te stare, jak i nowe – mając nadzieję, że natura nie zdoła zachować tej tajemnicy na zawsze. Zacząłem jednak zastanawiać się nad źródłem ich optymizmu i podałem w wątpliwość jedno z moich najgłębszych przekonań: że dzięki metodzie naukowej, przy udziale odpowiedniej liczby bystrych umysłów i mając wystarczającą ilość czasu, zdołamy pokonać każdą przeszkodę i zbliżyć się do istoty rzeczy.

Jeśli ciemna materia obali to przekonanie – jeśli pięć szóstych całej materii będzie się nadal ukrywać przez resztę ludzkiej historii za nieprzeniknioną ścianą niewiedzy – to być może przez cały czas myliłem się, co do samej nauki. Być może wszyscy naukowcy powinni zmierzyć się z możliwością, którą ignorowali, a którą wielu filozofów już dawno zaakceptowało: że nauka nigdy nie da nam pełnego obrazu rzeczywistości. Albo, posuwając tę ideę do skrajności – jak zacząłem to robić w moich mroczniejszych chwilach – że nasze teorie są jedynie użyteczną, ale ostatecznie bezsensowną kopią świata. Doszedłem do wniosku, że ciemna materia może okazać się dla nauki najważniejszą lekcją.

PIERWSZY PROBLEM JEST TAKI, że ciemna materia na pewno istnieje. W latach 70. astronomka Vera C. Rubin skrupulatnie katalogowała obroty galaktyk – tak wielu, ile tylko się dało. Odkryła, że gwiazdy znajdujące się na obrzeżach wszystkich galaktyk poruszają się zdecydowanie zbyt szybko. Podobnie jak samochód wyścigowy wchodzący w zakręt z nadmierną prędkością, gwiazdy te powinny wypadać ze swoich orbit i uciec w przestrzeń. Przyciąganie grawitacyjne wytwarzane w tych galaktykach przez całą widzialną materię nie wystarcza, żeby je zatrzymać.

Joseph Howlett jest starszym reporterem „Scientific American".

Dane zgromadzone przez Rubin były bezdyskusyjne. Pozostawały dwie możliwości: albo grawitacja nie działa tak, jak dotąd sądzili fizycy, albo w każdej galaktyce znajduje się ogromna ilość materii, której nie potrafimy dostrzec.

Kolejne dziesięciolecia praktycznie wykluczyły pierwszą możliwość. Astronomowie tworzą grawitacyjne „mapy" gromad galaktyk, wykorzystując niewielkie odchylenia światła przechodzącego przez te galaktyki, wywołane przez zawartą w nich materię. Większość materii występuje w postaci gigantycznego, niewidzialnego obłoku nakładającego się na obiekty, które możemy dojrzeć za pomocą teleskopów.

Mapy ciemnej materii potwierdzają wniosek Rubin: grawitacja galaktyk jest około pięć razy silniejsza, niż wynikałoby to z obecności widocznych gwiazd i pyłu. A kiedy astronomowie zaobserwowali zderzenie dwóch skupisk galaktyk, uzyskali mocny dowód na to, że nie myliliśmy się, co do natury grawitacji, ale materii.

W wyniku kataklizmu, jaki zaszedł w Gromadzie Pocisk, zwykła materia każdego z obu składników została oddzielona od nakładającego się na nie obłoku ciemnej materii. Gaz, gwiazdy i galaktyki wyhamowały, tworząc kipiący, gorący wir, podczas gdy dwie widmowe otoczki niewidzialnej materii przemknęły obok siebie, pozostawiając za sobą swoje widzialne odpowiedniki. Jeśli rozwiązaniem zagadki Rubin jest nowe prawo grawitacji, a nie dodatkowa materia, to co kryje się w tych oddalających się obłokach?

Zjawiska obserwowane w Gromadzie Pocisk niezwykle trudno wyjaśnić przez modyfikację teorii grawitacji Newtona czy Einsteina. Podobnie rzecz ma się z innymi niedawnymi obserwacjami – na przykład galaktyk wykazujących anomalie w dynamice ruchu (tzw. problem samochodów wyścigowych): w różnych miejscach ilość

XENON Collaboration (*poprzednie strony*)

eprasa.pl 4916a4856f



W obrębie Gromady Pocisk (Bullet Cluster) doszło do zderzenia dwóch gromad galaktyk, w wyniku którego zwykła materia (*różowy*) rozdzieliła się z ciemną materią (*niebieski*).

NASA, ESA, CSA, STScI, CXC, Science: James Jee/ Yonsei University, U.C. Davis ,Sangjun Cha/Yonsei University, Kyle Finner/ Caltech/IPAC

brakującej materii może być odmienna, jednak grawitacja wszędzie powinna zachowywać się tak samo.

Nawet na naszym najstarszym obrazie wczesnego Wszechświata – tzw. kosmicznym mikrofalowym promieniowaniu tła – widać niezaprzeczalny wpływ ciemnej materii. Kilkaset tysięcy lat po Wielkim Wybuchu „zwykła materia" (czyli 16 rodzajów cząstek tworzących Model Standardowy fizyki cząstek elementarnych) wciąż stanowiła wirującą „zupę", zbyt gorącą, by mogła się skupiać pod wpływem grawitacji. Dane wskazują jednak, że ciemna materia zaczynała gromadzić się już wtedy.

Wszystkie te dowody doprowadziły fizyków do wyjaśnienia prostego i spójnego, a zarazem frustrującego. Pięć szóstych materii we Wszechświecie stanowi rodzaj materii, której nie widzimy – a jednak to dzięki niej powstały wszystkie struktury, i w każdej chwili przenika ona przez nasze ciała. Z czego jednak się składa?

Na szczęście teoretycy mieli gotową odpowiedź. Ich ulubiona teoria materii – zwana supersymetrią – przewidywała istnienie nieodkrytej jeszcze cząstki o masie około 50 razy większej od masy protonu, która mogłaby bez trudu wyjaśnić wszelkie pozorne sprzeczności odnotowane przez Rubin i jej następców. Cząstki WIMP tak doskonale wypełniały tę kosmiczną lukę, że zyskały miano „cudu WIMP". Co więcej – i to zakrawało na kolejny cud – istniała szansa na ich wykrycie.

Cząstki WIMP oddziaływałyby ze zwykłą materią głównie poprzez swoje zbiorowe przyciąganie grawitacyjne, ale pojedyncze cząstki miały też nikłe powiązanie z Modelem Standardowym: mogły oddziaływać z jego cząstkami za pośrednictwem oddziaływania słabego. Oznaczało to, że WIMP przemieszczający się przez blok zwykłej materii zazwyczaj przelatywałby przezeń niczym duch, lecz w bardzo rzadkich przypadkach ten duch na moment zyskiwałby materialną postać – dochodziłoby wówczas do zderzenia cząstki WIMP z atomem.

W 1985 roku Witten i Mark Goodman wpadli na dość prosty pomysł: należy wypełnić zbiornik atomami, które pod wpływem uderzenia emitują błysk światła, umieścić go pod ziemią – gdzie promieniowanie kosmiczne nie mogłoby wywołać takich rozbłysków – i czekać, aż cząstki ciemnej materii dadzą o sobie znać. Wydawało się to logicznym kolejnym krokiem, zgodnym z praktyką stosowaną przez cały XX wiek, kiedy to fizycy wykorzystywali podobne detektory do kolejnego identyfikowania poszczególnych składników Modelu Standardowego. Fizycy zakładali, że w przypadku ciemnej materii sprawa potoczy się tak samo, jak przy rozwiązywaniu wcześniejszych zagadek – takich jak natura spinu czy budowa protonów i neutronów. Zamierzano schwytać ten tajemniczy obiekt w laboratorium, a następnie starannie zbadać zasady jego funkcjonowania.

„Na wykładach mówiłam wtedy: »odkryjemy go w ciągu 10 lat«, i wszyscy uważali, że tak może być" – opowiada Katherine Freese, astrofizyczka teoretyczna z University of Texas. Freese była współautorką artykułu z 1986 roku, w którym doprecyzowano szczegóły propozycji Goodmana i Wittena, przez co stała się prekursorką „bezpośredniej" detekcji ciemnej materii. „Byliśmy naprawdę przekonani, że damy radę – mówi. – Wydawało nam się wtedy, że to kwestia chwili".

DOŁĄCZYŁEM DO TEGO WYŚCIGU zbrojeń niemal w jego apogeum – prawie dwie dekady po tym, jak Freese i jej zespół go rozpoczęli. Co roku powstawały nowe eksperymenty, rywalizujące o to, by objąć badaniami pełen zakres możliwych wartości masy i przekroju czynnego cząstek WIMP (czyli parametrów określających, jak bardzo są one „widmowe").

Jedna z technik wyraźnie wysunęła się na prowadzenie: detektory wypełnione ciekłym ksenonem. Ich pionierką była fizyczka z Columbia University, Elena Aprile. Trudno wskazać inną osobę, która w równym stopniu przyczyniła się do tak szybkiego i gruntownego zbadania ogromnej przestrzeni parametrów, jakie mogłyby mieć cząstki WIMP. „Tak naprawdę to ona zapoczątkowała wykorzystanie ksenonu" – mówi Freese. Dlatego w 2015 roku poprosiłem Aprile, by została moją promotorką. Uważałem ciemną materię za największy powód do wstydu dla fizyki i nie wyobrażałem sobie ważniejszego zadania niż wykorzystanie metody naukowej do rozwiązania tej zagadki.

Pierwszy cios nadszedł w 2018 roku. Dysponowaliśmy bezprecedensową

eprasa.pl 4916a4856f

ilością danych z najbardziej czułego eksperymentu w historii – XENON1T. Miał on pozwolić na zbadanie znacznego zakresu mas i przekrojów czynnych, jakie mogłyby mieć WIMP-y. Aby uniknąć nieświadomego sugerowania się wynikami, opracowaliśmy złożony system automatycznej analizy, wykorzystując wcześniej zasymulowane dane. Cały nasz zespół wziął udział w telekonferencji, w której trakcie uruchomiliśmy procedurę i wspólnie śledziliśmy pojawiające się wyniki. Po kilku sekundach wiedzieliśmy już, że lata naszej pracy poszły na marne. Nigdy nie zapomnę wyrazu rozpaczy malującego się na twarzach pokazywanych przez aplikację Zoom, gdy okazało się, że nasze poszukiwania nie przyniosły żadnych efektów.

Kiedy wyjechałem do Włoch, by współtworzyć następcę tego eksperymentu – XENONnT – zacząłem wypytywać współpracowników o ich odczucia. Szybko zdałem sobie sprawę, jak niewiele pozostało z pewności siebie, o której mówiła Freese. Również i to przedsięwzięcie nie przyniosło żadnych odkryć, podobnie jak wiele konkurencyjnych projektów.

Fizycy planują już kolejną serię doświadczeń, opartą na zaktualizowanych szacunkach teoretycznych, jak mogą oddziaływać cząstki WIMP. Jednak pierwotna koncepcja – ten „cud", który wyciągnięto niczym asa z rękawa – odeszła do lamusa. Zmodyfikowane cząstki WIMP muszą być jeszcze słabiej powiązane z Modelem Standardowym, za pośrednictwem jakichś dodatkowych, nieznanych cząstek.

Nawet jeśli nowe przewidywania okażą się trafne, istnieje spore ryzyko, że nigdy nie znajdziemy tego, czego szukamy. Zarówno nasze ciała, jak i podziemne detektory są nieustannie bombardowane miliardami neutrin powstających w Słońcu i w atmosferze. Neutrina oddziałują o wiele rzadziej niż pierwotnie zakładane WIMP-y, ale w sposób zbliżony lub częstszy niż wszystkie odmiany WIMP-ów, które wytrzymały weryfikację w drugiej dekadzie XXI wieku. Co więcej, ich oddziaływań nie sposób odróżnić od oddziaływań cząstek ciemnej materii. W eksperymentach wykorzystujących ksenon zaczęto już dostrzegać ślady tej nieprzekraczalnej bariery, zwanej „dnem neutrinowym".

Naukowcy zwrócili się zatem ku innym hipotezom – na przykład ku aksjonom (alternatywnej koncepcji, którą teoretycy wysunęli już w 1977 roku), czy też ku cząstkom WIMP o mniejszej masie, których oddziaływanie byłoby zbyt słabe, by wywołać reakcję w atomach ksenonu. Coraz większą uwagę poświęca się również możliwości, że ciemna materia składa się z pierwotnych czarnych dziur – hipotetycznych obiektów powstałych w Wielkim Wybuchu, których istnienie zaproponował Stephen Hawking w 1971 roku. Każda z takich czarnych dziur, krążących w obrębie galaktyki, miałaby masę nieco mniejszą od masy Księżyca i mikroskopijne rozmiary.

A jeśli ciemna materia nie jest żadną z tych rzeczy? Jeżeli komunikuje się z naszym światem jedynie poprzez grawitację? W takim przypadku żadna metoda nie wykryłaby choćby jednej jej cząstki. Ciemna materia przypominałaby wówczas sferę cienia nałożoną na nasz świat, i – nie licząc oddziaływania grawitacyjnego – od niego odseparowaną – a jej składniki pozostałyby dla nas całkowicie niepoznawalne.

Można mnie uznać za naiwnego, ale nigdy nie przypuszczałem, że mogłoby do tego dojść. Istotą metody naukowej jest konfrontacja z każdą napotkaną zagadką, poddanie jej wnikliwej analizie i znalezienie ostatecznego wyjaśnienia. Zakładałem więc, że ciemna materia okaże się jedynie kolejnym progiem spowalniającym na drodze do poznania. Abyśmy ją rozgryźli, wystarczy tylko dać nam odpowiednio dużo czasu – tak jak wcześniej rozwiązywano mnóstwo innych łamigłówek.

Teraz widzę, że zwieść mnie mogły wcześniejsze osiągnięcia. „W XX wieku fizyka cząstek elementarnych odnosiła niebywałe sukcesy" – zauważa Simon Allzén, filozof ze Stockholms universitet w Szwecji. Używając ołówków i akceleratorów, moi poprzednicy uporządkowali całe zoo cząstek, układając je w elegancki i spójny Model Standardowy. Przyjęli przy tym rygorystyczny próg dowodu na poziomie „pięciu sigma", co oznacza, że szansa, iż prawdziwe odkrycie okaże się jedynie



Elena Aprile

W laboratorium Gran Sasso autor wraz z innymi fizykami zamyka komorę, w której ma być prowadzony eksperyment XENONnT (2019 rok).

eprasa.pl 4916a4856f

statystycznym przypadkiem, wynosi zaledwie jeden do kilku milionów. Być może poprzeczka ta wisi obecnie zbyt wysoko. „Naśladowanie dzisiaj metody naukowej na procedurach złotej ery tworzenia Modelu Standardowego to kiepski pomysł" – twierdzi Allzén.

Zacznijmy traktować fizykę jak inne dziedziny wiedzy – wszak, jak zauważa Allzén, wierzymy w istnienie dinozaurów, mimo że nie możemy żadnego z nich zamknąć w laboratorium – a wówczas może się okazać, że ciemna materia wcale nie stanowi aż tak wielkiego problemu. „Ona została już odkryta – przekonuje Siska De Baerdemaeker, filozofka ze Stockholms universitet. – Pogląd, że czegoś nie odkryto, dopóki nie uda się tego zbadać w laboratorium, jest dziwnym lekceważeniem detekcji grawitacyjnej".

Ciemna materia istnieje. Opierając się wyłącznie na jej oddziaływaniu grawitacyjnym, stworzyliśmy obszerne katalogi dokumentujące obecność i ewolucję tej tajemniczej substancji w ciągu życia Wszechświata. Być może powinniśmy pogodzić się z faktem, że cel drugorzędny – ustalenie, z czego się ona składa – może okazać się nieosiągalny. „Dla fizyki, a zwłaszcza dla fizyki cząstek elementarnych, byłby to najgorszy możliwy scenariusz – mówi De Baerdemaeker. – Ale natura nie musi być dla nas łaskawa".

Mimo wszystko wciąż nie potrafię uwolnić się całkowicie od tego, czego mnie uczono. Atomy zbudowane są z elektronów i nukleonów, a te z kolei z kwarków górnych i dolnych. Jak możemy mówić o sukcesie nauki, skoro nigdy nie dowiemy się, z czego zbudowana jest ciemna materia – stanowiąca przecież zdecydowaną większość wszystkiego, co istnieje?

Kwestia ciemnej materii skłania mnie do refleksji, czy aby nie myliłem się co do samego celu nauki. Uważałem ją za najważniejszą dziedzinę, w której ludzkość może szukać odpowiedzi na fundamentalne pytania (Skąd się wzięliśmy? Z czego zbudowany jest Wszechświat? Jak to wszystko działa?), ponieważ tylko tam można uzyskać odpowiedzi, które są prawdziwe. Ale czy faktycznie tak jest? Każda dotychczasowa teoria była w gruncie rzeczy błędna – stanowiła jedynie niedoskonałe przybliżenie rzeczywistości – i możemy być pewni, że z Modelem Standardowym jest tak samo. Ciemna materia to po prostu najbardziej rzucająca się w oczy luka; różni się ona jedynie skalą niewiedzy od innych nieprecyzyjnych obrazów świata – od elektronu po bozon Higgsa.



Masaki Yamashita

Głęboko pod górą Gran Sasso autor (*pośrodku*) i inni naukowcy gromadzą się wokół ekranu komputera, śledząc wyniki kluczowego testu aparatury.

Zaczynam sądzić, że żaden z tych obiektów nie jest bardziej „rzeczywisty" niż WIMP. To tylko teoretyczne koncepcje, które pomagają nam przewidywać przyszłe zdarzenia – podobnie jak po kursie mechaniki ze szkoły średniej umiemy obliczyć, gdzie spadnie kopnięta piłka. Zaczynam myśleć, że na tym właśnie polega istota nauki: na przewidywaniu tego, co się wydarzy. Model Standardowy to po prostu bardziej zaawansowana wersja szkolnych równań; to niezawodny schemat pozwalający określić, co powstanie w wyniku zderzenia niezwykle szybkich cząstek materii. Być może dążenie do poznania absolutnej prawdy – nie tylko obrazu świata, który pozwala na trafne przewidywania, ale takiego, który ma głębszy sens – było zawsze zamierzeniem zbyt ambitnym.

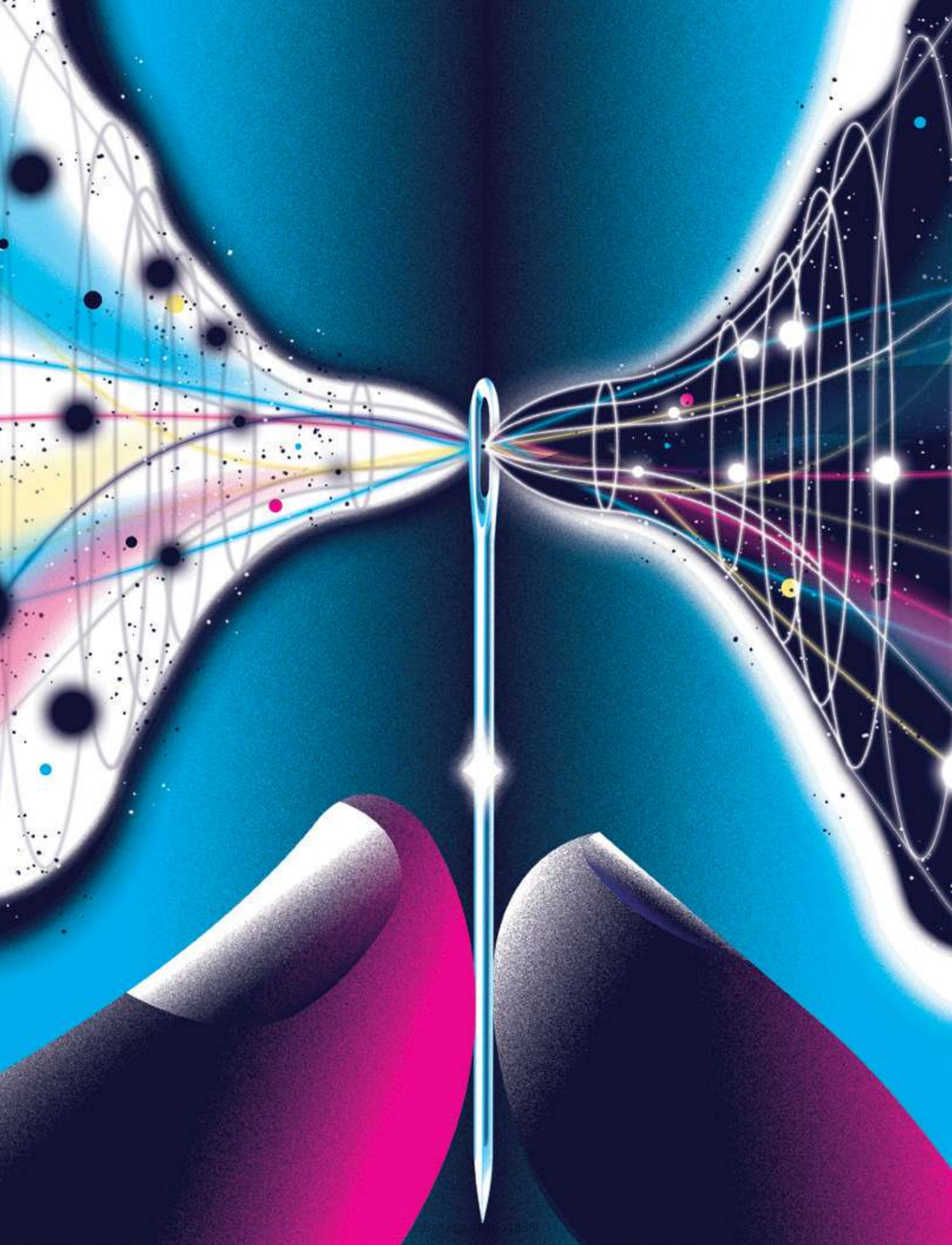
Tim Maudlin, filozof nauki z New York University, uważa, że w swoim wycofaniu posunąłem się zbyt daleko i że powinienem „trochę wyluzować". Twierdzi, że choć nasza teoria może nigdy nie zostać w pełni ukończona, nie oznacza to, iż byty takie jak elektron nie mają żadnego związku z rzeczywistością. Maudlin przestrzega jednak również przed niezachwianym optymizmem, określając go mianem swego rodzaju „tezy teologicznej". Mogą istnieć fundamentalne lub praktyczne ograniczenia, które uniemożliwią nam kiedykolwiek znalezienie odpowiedzi na zadane pytanie naukowe. „Takie jest życie, stary – mówi. – Świat się nami nie przejmuje".

Bycie naukowcem może w rzeczywistości wymagać czegoś na kształt wiary, nawet jeśli nie zawsze jest ona racjonalna. W istocie większość fizyków, z którymi rozmawiałem, wciąż myśli, że pewnego dnia zrozumiemy naturę ciemnej materii. „Wierzę, że nam się to uda – mówi Freese. – To, że nie udało się rozwiązać jakiegoś problemu, nie oznacza, iż kolejne pokolenie go nie rozgryzie". Aprile, moja dawna promotorka, uważa, że brakuje jedynie sprytnego pomysłu. „Musimy wymyślić odpowiednie narzędzie. Postęp zawsze dokonywał się dzięki temu, że jakiś Galileusz wynajdywał teleskop – twierdzi. – Któregoś dnia pewien bystry młody człowiek na to wpadnie. Wiem, że na pewno tak będzie."

Tak naprawdę naukowców nigdy nie motywowała chęć przewidzenia, gdzie spadnie piłka. To marzyciele poszukujący odpowiedzi i sensu – niezależnie od tego, czy one istnieją, czy nie – nawet jeśli muszą gonić za uciekającym horyzontem. „Czy mamy się poddać? A potem co? Zająć się czymś innym?" – pyta mnie retorycznie Aprile. Jej droga nigdy nie była kwestią wyboru. „W rzeczywistości nigdy nie czuję się szczęśliwa – i w tym tkwi problem – wyznaje. – Od młodości chciałam osiągnąć coś więcej".

Ktoś kiedyś mi powiedział, że najpiękniejsze w nauce jest to, iż pokazuje ona swoje własne ograniczenia. Być może właśnie na tym polega piękno ciemnej materii. Być może Aprile i inni niepokorni marzyciele doszli do definitywnej granicy – granicy, której nie można zignorować. ■

eprasa.pl 4916a4856f



FIZYKA

Jakie są najmniejsze cegiełki Wszechświata?

Fizycy poszukują elementów składowych znanych nam cząstek

JAY BENNETT
Ilustracje NEIL WEBB

eprasa.pl 4916a4856f



DWUDZIESTEGO PIĄTEGO CZERWCA 2012 ROKU fizyczka Sau Lan Wu przebywała w budynku nr 32 w CERN-ie – położonym niedaleko Genewy europejskim laboratorium fizyki cząstek elementarnych. Setki metrów niżej, w Wielkim Zderzaczu Hadronów (Large Hadron Collider, LHC) – największym na świecie urządzeniu badawczym – od ponad dwóch lat zderzano ze sobą cząstki o wysokiej energii. Maszyna ta rozpędza protony do prędkości bliskiej prędkości światła, po czym je zderza, wytwarzając w ten sposób strumienie cząstek elementarnych i promieniowania. „Nagle zrobiło się głośno – wspomina Wu. – Usłyszeliśmy krzyk jednego z doktorantów".

Wu kazała jednemu ze swoich najzdolniejszych statystyków, doktorantowi Haoshuangowi Ji, sprawdzić, czy długo poszukiwany bozon Higgsa pojawił się choćby na krótko wśród strumieni cząstek subatomowych wytwarzanych przez zderzacz. Ji pracował przez całą noc, analizując dwa zestawy danych, zawierające potencjalnie sygnały, które mogłyby świadczyć o wykryciu bozonu Higgsa.

Łączna istotność statystyczna obu zestawów danych przekroczyła próg wymagany do ogłoszenia odkrycia. Bozon Higgsa istniał naprawdę. Na korytarzu rozległy się okrzyki radości. „Wszyscy uśmiechali się coraz szerzej – opowiada Wu. – To właśnie nazywa się radością odkrywania".

Odkrycie bozonu Higgsa, o którym świat dowiedział się dziewięć dni później, zwiększyło do 17 liczbę znanych cząstek elementarnych we Wszechświecie. Była to ostatnia cząstka przewidziana przez Model Standardowy – do tej pory najlepszy opracowany przez teoretyków opis fundamentalnych składników natury. W modelu tym istnieją dwa rodzaje cząstek: fermiony (budulce materii, takie jak kwarki) oraz bozony (cząstki przenoszące oddziaływania, takie jak fotony).

Cząstki te są najmniejszymi znanymi elementami natury. Czy jednak można je jeszcze bardziej podzielić? „Właśnie tego szukamy w eksperymentach – mówi James Beacham, fizyk z CERN. – Istnieje pewne wyobrażenie, co oznacza określenie »najmniejszy możliwy obiekt«. Tak naprawdę pytamy: jakie są najbardziej fundamentalne zasady organizacji Wszechświata? Czym jest rzeczywistość fizyczna? To naprawdę głębokie, niemal filozoficzne kwestie".

Naukowcy zastanawiają się, czy mając więcej czasu i bardziej zaawansowane narzędzia, będziemy nadal odkrywać kolejne, coraz mniejsze elementy Wszechświata. Czy kiedykolwiek osiągniemy granicę – ostateczny budulec natury? Skąd możemy mieć pewność, że dotarliśmy do samego dna, przebijając się przez wszystkie warstwy subatomowe?

FIZYCY SZUKAJĄ najmniejszych składników znanych cząstek, przypuszczają jednak, że oprócz nich mogą istnieć jeszcze inne cząstki elementarne, których dotąd nie zidentyfikowano. Dla przykładu, hipotetyczna cząstka ciemnej materii może składać się z mniejszych elementów, które można by określić mianem „ciemnych kwarków", wyjaśnia Beacham.

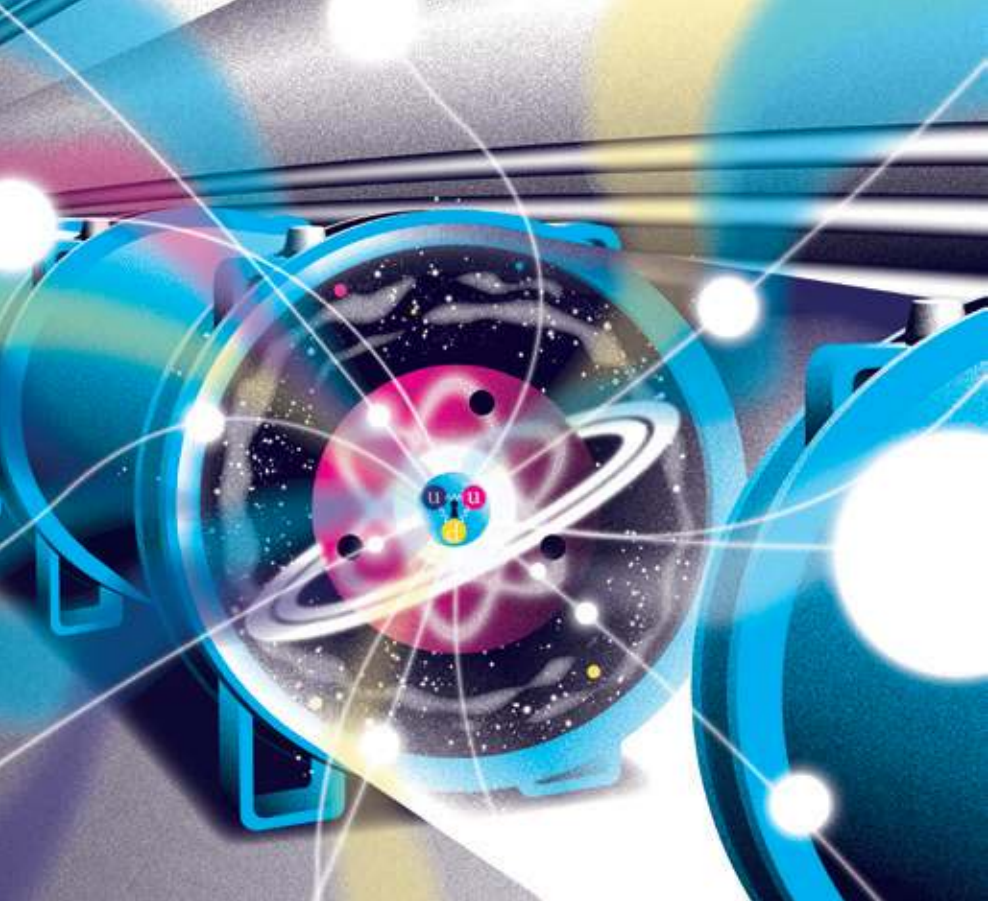
Poszukiwanie nowych elementów rzeczywistości może ujawnić, że nasza wiedza o cząstkach elementarnych jest niepełna. Model Standardowy przedstawia cząstki jako punkty, co oznacza, że nie mają one objętości. Naukowcy wiedzą jednak, że w rzeczywistości ich objętość nie może wynosić dokładnie zero; są one po prostu tak małe, że pod względem matematycznym w modelu fizycznym nie ma potrzeby uwzględniania ich rozmiarów. (Zgodnie z tym modelem cząstki są jedynie „wzbudzeniami" fundamentalnych pól kwantowych przenikających cały Wszechświat).

Co jednak, jeśli te porcje masy i energii nie są punktami, lecz czymś zupełnie innym – na przykład maleńkimi, drgającymi strunami? W świetle teorii strun charakterystyka cząstki zależałaby wówczas od właściwości samej struny oraz od sposobu jej oddziaływania z innymi strunami – a wszystko to odbywałoby się w skali zbliżonej do granicy nieskończenie małych rozmiarów fizycznych.

„Wyobraźmy sobie oddziałujące ze sobą struny – mówi specjalizująca się w teorii strun Mirjam Cvetič, fizyczka teoretyczna z University of Pennsylvania. – Struny otwarte mogą się łączyć i dzielić. Gdy się łączą, mogą tworzyć struny zamknięte". Jak wyjaśnia badaczka, z większości strun otwartych powstają cząstki elementarne, natomiast struny zamknięte tworzą hipotetyczne nośniki oddziaływania grawitacyjnego, zwane grawitonami.

Jay Bennett to mieszkający w Kopenhadze dziennikarz popularnonaukowy. Pracował jako redaktor działów naukowych w magazynach „National Geographic", „Smithsonian" i „Popular Mechanics".

eprasa.pl 4916a4856f



Aby poprawnie opisywać znane zjawiska fizyczne, struny te muszą funkcjonować w co najmniej 10 wymiarach – w strukturze geometrycznej, która według założeń istnieje jedynie w mikroskali. Struny te – rozpinające się, łączące i drgające niczym w gitarze – pozwalają wyjaśnić znane prawa fizyki na dosłownie biliard różnych sposobów. Krytycy uważają, że przez to hipoteza ta jest nie tylko niemożliwa do zweryfikowania, ale wręcz bezwartościowa. Zwolennicy dostrzegają jednak w tej koncepcji swoiste piękno, wynikające z jej zdolności do wyjaśniania rozmaitych aspektów Wszechświata. „Nie jest to dowód – mówi Cvetič – ale bardzo przekonujący argument".

ALTERNATYWNĄ IDEĄ dla teorii strun jest koncepcja, według której sama czasoprzestrzeń jest zbudowana z maleńkich pętli. Hipoteza ta, znana jako pętlowa grawitacja kwantowa, zakłada, że przestrzeń nie jest gładka, lecz daje się podzielić na dyskretne elementy.

W ujęciu pętlowej grawitacji kwantowej czasoprzestrzeń to „morze grawitacji targane burzą", mówi Francesca Vidotto, fizyczka teoretyczna z Western University w Ontario. Splecione ze sobą, fundamentalne pętle grawitacji pozwalają matematycznie opisać krzywiznę czasoprzestrzeni.

Zdaniem Vidotto sytuacja ta przypomina kąpiel w świetle, które opisuje się za pomocą oddziaływania elektromagnetycznego. „Jesteśmy zanurzeni w polu elektromagnetycznym – stwierdza badaczka. – A kiedy próbujemy oddziaływać z tym polem na poziomie kwantowym, jedyne możliwe interakcje zachodzą za pośrednictwem dyskretnych obiektów – fotonów". Podobna zależność może występować w przypadku grawitacji. „Uważam, że w odniesieniu do czasoprzestrzeni powinniśmy przyjąć podobną intuicję: jesteśmy zanurzeni w polu grawitacyjnym – mówi Vidotto. – A gdy próbujemy oddziaływać z tym polem w najmniejszej możliwej skali, odkrywamy istnienie ziarnistej czasoprzestrzeni kwantowej".

Jeden z intrygujących wniosków pętlowej grawitacji kwantowej jest taki, że niewielkie pozostałości czarnych dziur mogłyby współistnieć z tzw. białymi dziurami – obszarami czasoprzestrzeni stanowiącymi w istocie przeciwieństwo czarnych dziur. Do białych dziur nie mogą wniknąć ani promieniowanie, ani materia. Obiekty te mogłyby łączyć się na drodze superpozycji kwantowej (zdolności obiektów kwantowych do jednoczesnego przebywania w wielu stanach), tworząc stabilne cząstki. Cząstki te stanowią teoretycznego kandydata na ciemną materię. „Jeśli mamy rację – mówi Vidotto, – oznaczałoby to, że, nie zdając sobie sprawy, przez cały czas mieliśmy grawitację kwantową na wyciągnięcie dłoni".

JEŚLI STRUNY LUB PĘTLE KWANTOWE faktycznie istnieją, to, jak sądzą naukowcy, miałyby one rozmiar zbliżony do długości Plancka, uznawanej za minimalną granicę fizycznych rozmiarów. Wynosi ona około $1{,}6\times10^{-35}$ m. Zgodnie z teorią kwantową przekroczenie tej granicy jest niemożliwe, ponieważ dla wszystkich obiektów, które byłyby mniejsze, zasada nieoznaczoności uniemożliwia określenie ich dokładnych rozmiarów.

Beacham wyjaśnia, że do przeprowadzenia eksperymentów w skali zbliżonej do skali Plancka potrzebowalibyśmy kolistego zderzacza cząstek, którego środek znajdowałby się w Słońcu, a promień sięgałby „nieco poza orbitę Neptuna". Tak wielki kosmiczny akcelerator nie będzie możliwy do zrealizowania w żadnym przewidywalnym czasie, ale naukowcy pracują nad modernizacją Wielkiego Zderzacza Hadronów, która ma zostać ukończona w 2030 roku. Modyfikacje te pozwolą urządzeniu rejestrować jeszcze więcej cząstek, które powstają w wyniku zderzeń. Głównym celem jest rozszerzenie naszej wiedzy na temat bozonu Higgsa; może okazać się, że nie jest to jedna cząstka, lecz wiele, lub że sam składa się z kilku części.

„Jakie są subtelności w zachowaniu bozonu Higgsa? – zastanawia się Archana Sharma, fizyczka z CERN, która brała udział w projektowaniu, budowie i obsłudze jednego z głównych detektorów LHC. – Jak przebiega jego rozpad? Jak oddziałuje on sam ze sobą? Czy mogą powstawać dwa bozony, czy nie?"

Ponieważ Higgs ma spin kwantowy równy zeru, jest jedyną znaną skalarną cząstką elementarną. Poznanie jego zachowania ma kluczowe znaczenie dla zrozumienia owego nieuchwytnego medium, które obiektom we Wszechświecie nadaje masę. „Bozon Higgsa może być bramą do zupełnie nowej fizyki – mówi Sharma. – Nie przypomina żadnej innej znanej cząstki".

Jeśli dopisze nam szczęście, zwiększenie możliwości badawczych LHC może ujawnić nowe oblicza rzeczywistości. To, czy kiedykolwiek w pełni zrozumiemy fundamenty istnienia, pozostaje jednak wielką niewiadomą. „Na niektóre pytania być może nie da się znaleźć odpowiedzi. Oczywiście trzeba będzie to zaakceptować – stwierdza Sharma. – Mimo to musimy wciąż je zadawać". ■

eprasa.pl 4916a4856f

W POGONI ZA ABSOLUTEM

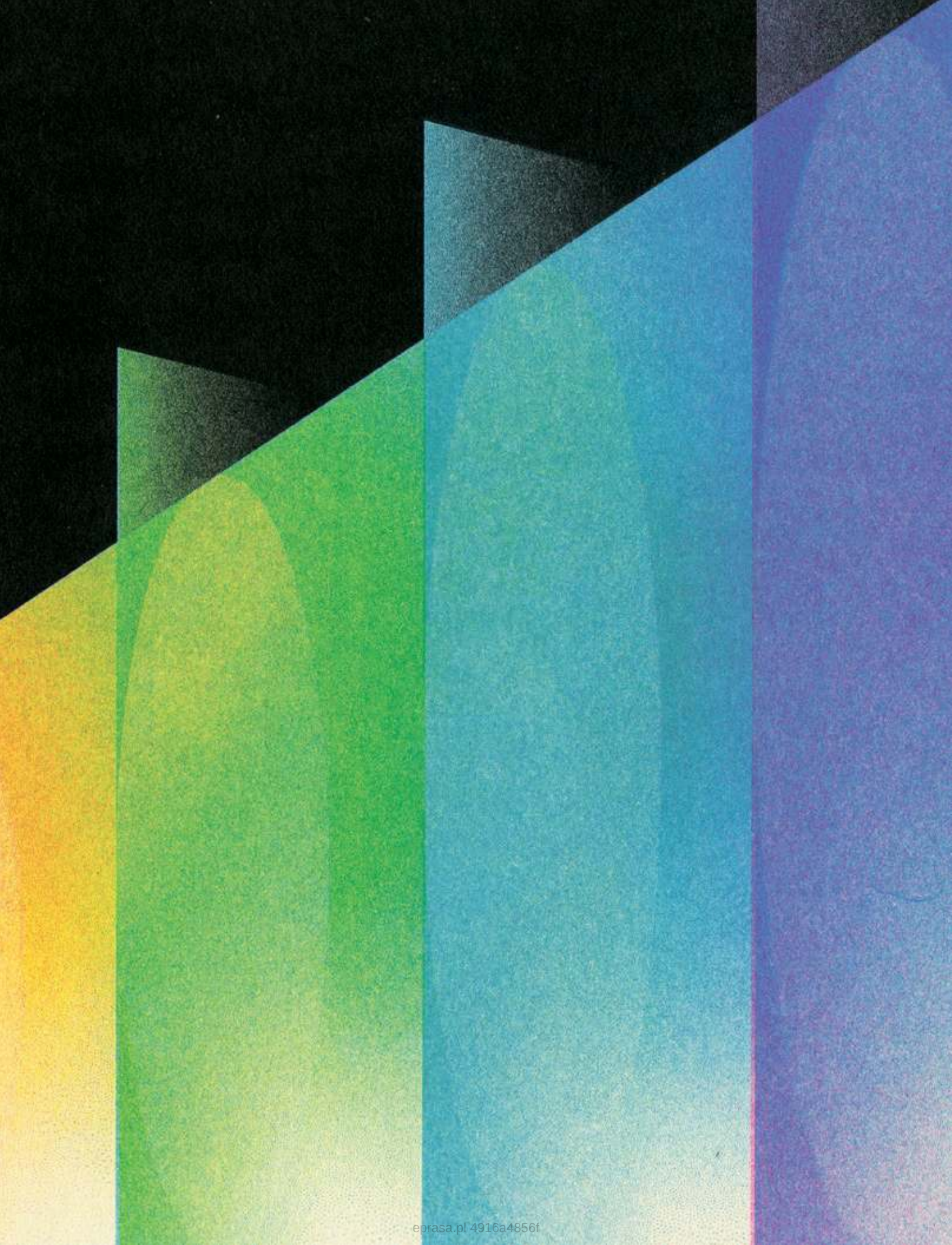
UMYSŁ

Czym naprawdę jest świadomość?

Być może już samo rozumienie przez nas tego pojęcia jest fundamentalnie błędne

TIM BAYNE
Ilustracje DTAN STUDIO

eprasa.pl 4916a4856f


eprasa.pl 4916a4856f

PISZĘ TE SŁOWA W SANTIAGO, położonym między pokrytymi śniegiem Andami na wschodzie a Kordylierą Nadbrzeżną na zachodzie. Jestem tu wraz z około 500 innymi badaczami świadomości na naszym najważniejszym dorocznym spotkaniu. Jednym z głównych tematów tegorocznej konferencji jest występowanie świadomości: kiedy po raz pierwszy pojawia się ona w rozwoju człowieka? Które zwierzęta są świadome oraz czy świadomość może zaistnieć również w systemach sztucznej inteligencji? I czy możemy skonstruować detektor świadomości – urządzenie, które pozwoliłoby stwierdzić, czy na przykład niemowlęta, pszczoły lub boty są członkami „klubu świadomych”?

Pytania te należą do najtrudniejszych problemów nauki. Badacze świadomości, tacy jak ja, próbują je rozstrzygnąć od dziesięcioleci. Udało nam się poczynić pewne postępy, wciąż jednak nie ma zgody, co do tego, jak stwierdzić, czy dany organizm lub maszyna są świadome. Być może część problemu tkwi w samym pytaniu. Być może „świadomość” jako termin w ogóle nie przynależy do języka nauki.

Badacze świadomości nigdy nie byli zgodni w kwestii, co właściwie mamy na myśli, używając tego słowa. W niektórych dziedzinach „świadomość” oznacza „zdolność do odczuwania”, w innych – „zdawanie sobie sprawy z czegoś”. Jeszcze inni używają tego terminu zamiennie ze słowami „doświadczenie” lub „qualia”. Ta nieprecyzyjna terminologia utrudnia ustalenie, czy różne dziedziny badań nad świadomością w ogóle zajmują się tym samym przedmiotem.

Jeśli odwoływanie się do synonimów nie pomaga, lepszą strategią wyjaśnienia, co mamy na myśli, mówiąc „świadomość”, może być wskazanie jasnych, bezspornych przykładów. Tak jak można wyjaśnić, co oznacza „jazz”, wskazując muzykę Milesa Davisa czy Elli Fitzgerald, tak samo można wyjaśnić, czym jest „świadomość”, wskazując dobrze znane doświadczenia – czucie piasku między palcami stóp, smaku dojrzałej truskawki, widzenie słońca odbijającego się od pokrytego śniegiem górskiego szczytu.

We wszystkich tych przypadkach mamy do czynienia ze stanami, którym towarzyszy określone subiektywne odczucie. Natomiast nie ma żadnego odczucia związanego ze snem bez marzeń sennych ani z głęboką sedacją. W latach 90. filozof Ned Block, pracujący wówczas w Massachusetts Institute of Technology, na określenie tego stanu wprowadził termin „świadomość fenomenalna”. Jest to proste pojęcie, które odegrało kluczową rolę w rozwoju nauki o świadomości w ciągu ostatnich trzech dekad i ukierunkowało dyskusję na temat tego, komu lub czemu można przypisać świadomość. Uważa się powszechnie, że debaty o tym, czy bycie niemowlęciem, pszczołą lub botem wiąże się z jakimś subiektywnym odczuciem, mają istotne znaczenie etyczne, ponieważ pozwalają odróżnić istoty mające samoistny status moralny od tych, którym taki status nie przysługuje.

MIMO POZORNEJ UNIWERSALNOŚCI świadomość fenomenalna nie zawsze jednak zajmowała centralne miejsce w sposobie, w jaki ludzie podchodzili do umysłu. W rzeczywistości nie jest to pojęcie uniwersalne.

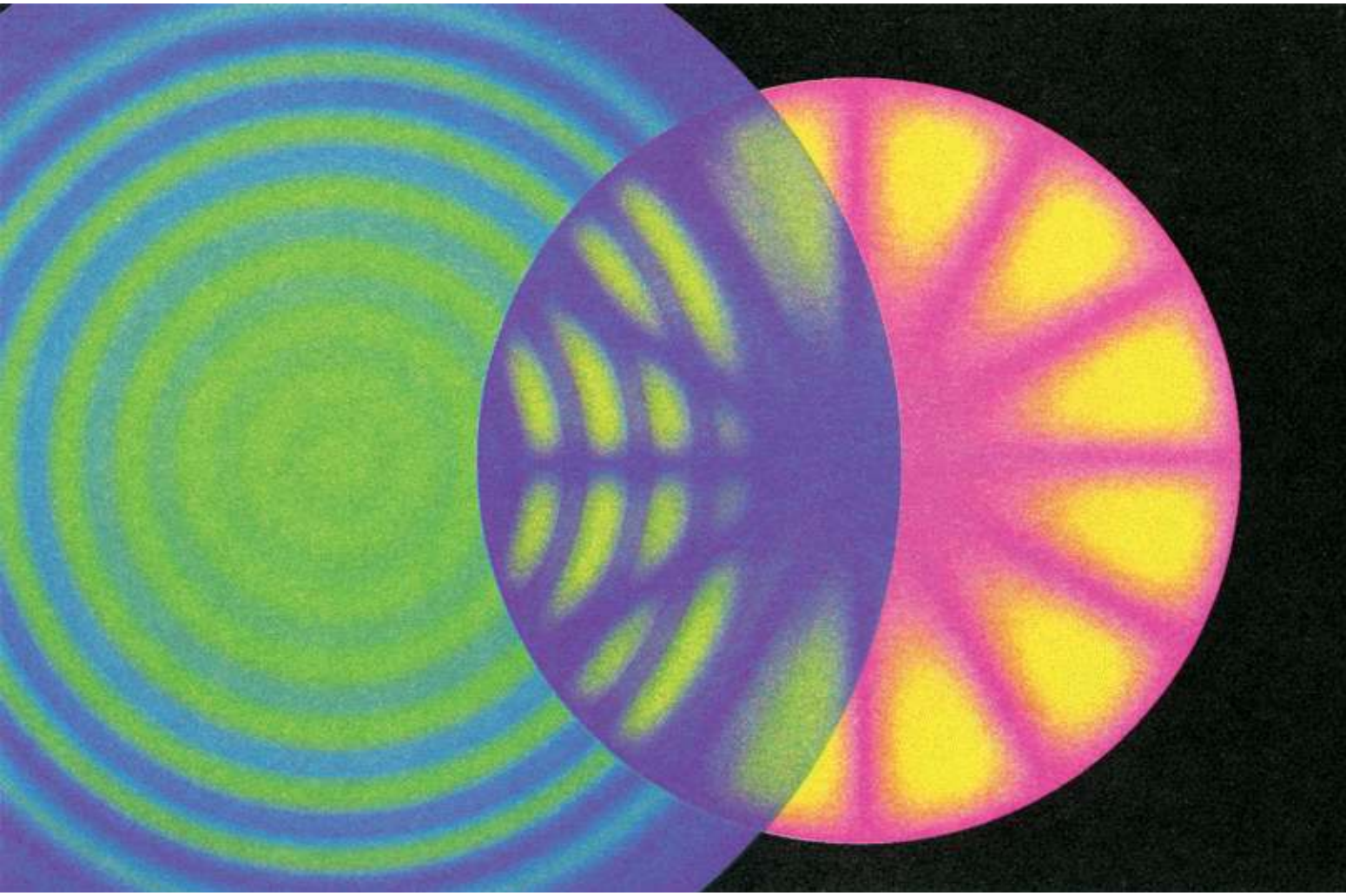
W artykule z 1988 roku zatytułowanym „Yishi, Duh, Um, and Consciousness” („Yishi, duh, um i świadomość”) filozofka Kathleen V. Wilkes z University of Oxford argumentowała, że w starożytnej grece, mandaryńskim, chorwackim, a nawet w angielszczyźnie sprzed XVII wieku nie ma odpowiedników terminu „świadomość fenomenalna”. („Yishi” z artykułu Wilkes to być może słowo, które w języku mandaryńskim jest najbliższe znaczeniowo terminowi oznaczającemu świadomość; „duh” i „um” to chorwackie słowa, które proponowano jako możliwe odpowiedniki słowa „umysł”).

Tutaj, w regionie Santiago, rdzenna ludność posługująca się językiem mapudungun mówi o kwestiach związanych z umysłem, używając słowa „rakizuam”. Obejmuje ono część znaczeń przypisywanych „świadomości”, ale zawiera również refleksyjną świadomość współzależności z innymi ludźmi i światem przyrody – elementy relacyjne, których pojęcie „świadomości” nie obejmuje. Można się zastanawiać, jak wyglądałyby debaty o innych umysłach, gdyby to mapudungun, a nie angielski, stał się językiem nauki.

Brak synonimów terminu „świadomość fenomenalna” sam w sobie niczego nie rozstrzyga. (W żadnym z tych języków nie ma przecież również synonimów

Tim Bayne jest filozofem umysłu i kognitywistyki z Monash University w Melbourne w Australii.

eprasa.pl 4916a4856f



słów „kwarki” czy „apoptoza”). Podważa jednak naturalne założenie, że aby zrozumieć przestrzeń możliwych umysłów, musimy odwoływać się do pojęcia świadomości. Świadomość – a przynajmniej nasze wyobrażenie o tym, czym ona jest – nie zawsze odgrywała centralną rolę w rozważaniach nad umysłem. Być może nie powinna jej odgrywać.

NAUKA POTRZEBUJE POJĘĆ, które pomagają przewidywać, wyjaśniać i rozumieć zjawiska. Dobre pojęcie naukowe pozwala wyodrębnić w przyrodzie rzeczy, które rzeczywiście mają ze sobą coś wspólnego, i połączyć je w jedną kategorię.

Angielski termin „consciousness” może się okazać pojęciem spełniającym to zadanie. Możliwe jednak również, że się do tego nie nadaje – albo dlatego, że łączy zjawiska, które w istocie nie mają ze sobą wiele wspólnego, albo dlatego, że nie obejmuje zjawisk, które powinny być zaliczane do tej samej kategorii (lub z obu tych powodów).

W historii nauki nietrudno znaleźć podobne przykłady. Jak zauważyła niegdyś filozofka Patricia Churchland, starożytni zaliczali do zjawisk związanych z ogniem wiele bardzo różnych procesów: spalanie drewna, syntezę jądrową zachodzącą na Słońcu, wyładowania koronowe poprzedzające burzę, bioluminescencję, czyli zjawisko występujące u świetlików, a także emisję światła przez zorze polarne.

Galileusz zmienił nasze rozumienie prędkości, rozróżniając prędkość średnią i chwilową. Z kolei osiemnastowieczny fizyk Joseph Black zmienił sposób, w jaki rozumiemy ciepło, wykazując, że należy odróżniać je od temperatury.

Pojęcia są narzędziami. „Świadomość” jest niezwykle użytecznym, niewykluczone, że wręcz niezbędnym narzędziem do opisywania struktury naszego własnego umysłu. Aby jednak zrozumieć systemy radykalnie różniące się od nas samych, być może będziemy musieli wypracować nowe pojęcia.

Wraz z coraz większym zaawansowaniem sztucznej inteligencji możemy odczuwać silną pokusę, by opisywać takie systemy za pomocą języka świadomości – podobnie jak często przychodzi nam używać tego języka w odniesieniu do pszczół czy nowo narodzonych dzieci. Musimy jednak pamiętać o ograniczeniach takiego sposobu mówienia.

Oczywiście powinniśmy pytać, czy pszczoły, niemowlęta lub boty są świadome. Zadając to pytanie, musimy jednak brać pod uwagę możliwość, że należałoby zastąpić je innym. ■

eprasa.pl 4916a4856f

W POGONI ZA ABSOLUTEM

KOSMOLOGIA

Co było przed Wielkim Wybuchem?

Czy kiedykolwiek dowiemy się, jak powstał Wszechświat?

SARAH SCOLES

eprasa.pl 4916a4856f



WIELKI WYBUCH NIE BYŁ WYBUCHEM w zwykłym rozumieniu, lecz stanowił początek szeregu ważnych rzeczy. Na przykład przestrzeni. Albo i czasu. To właśnie on zainicjował warunki i procesy, które ostatecznie doprowadziły do powstania nas, ludzi, którzy możemy tu sobie teraz snuć rozważania nad przestrzenią i czasem. Wielki Wybuch był w istocie początkiem Wszechświata. Ludzka logika podpowiada nam, że przed Wielkim Wybuchem musiało coś istnieć, nawet jeśli słowo „przed” nie jest tu na miejscu, ponieważ czasu wcześniej nie było.

Dobrą wiadomością jest to, że fizycy dysponują sposobami pozwalającymi rozważać – a nawet empirycznie badać – sam początek Wszechświata. Choć może się to wydawać sprzeczne z intuicją i niemożliwe, kosmolodzy poczynili nawet postępy w ustalaniu, które z tych szalonych pomysłów mogłyby uchylić nieco zasłonę nad tą wczesną erą, mimo że pozostaje ona dla nas niedostępna.

Przez tysiąclecia to, co działo się przed powstaniem Wszechświata i w jego początkach, nie było zagadnieniem, którego ludzie zajmujący się nauką byliby w stanie choćby dotknąć. Spekulacje kosmologiczne należały do domeny filozofów, mówi Jenann Ismael zajmująca się filozofią fizyki na Johns Hopkins University. Najbardziej fundamentalnym pytaniem było oczywiście to, skąd się wzięliśmy – kwestia równie popularna wśród filozofów, jak i nas wszystkich. Ismael dodaje, że inne pytania to tak trudne zagadnienia, jak: „Czym są przestrzeń i czas? Czy czas ma początek? Czy przestrzeń jest ograniczona?”.

Nawet po tym, jak kosmologia stała się rygorystyczną nauką opartą na precyzyjnych danych, wciąż miała nieco spekulatywny status, utrzymuje Ismael. „Jej podstawą było co najwyżej półtora faktu” – dodaje. Jak twierdzi, stwierdzenie to przypisuje się zazwyczaj brytyjskiemu fizykowi z XX wieku, Jamesowi Jeansowi. Sytuacja ta uległa jednak zmianie w ciągu ostatniego stulecia, gdy rozważania filozofów wkroczyły w sferę teorii, eksperymentów i danych. „Dawne pytania konceptualne stawiane są obecnie w sposób, który oferuje nowe perspektywy, nowe ujęcie i nowe ramy” – kontynuuje Ismael.

Nie jest pewne, czy kosmolodzy będą kiedykolwiek w stanie ostatecznie odpowiedzieć na niektóre pytania. W końcu nie można „zobaczyć”, co działo się przed Wielkim Wybuchem, i nikt nigdy nie będzie mógł tego zrobić, a przynajmniej nie bezpośrednio. Jednak, jak dowiadują się badacze, obecny i przyszły Wszechświat może zawierać wskazówki dotyczące tak odległej przeszłości oraz sposoby na zweryfikowanie teorii dotyczących tego, co było jeszcze wcześniej. „Chętnie wysłuchuję każdej koncepcji, jednak zaczynam traktować ją poważnie dopiero wtedy, gdy wyznacza ona jasny cel obserwacyjny, który można zbadać dostępnymi instrumentami – mówi Brian Keating, kosmolog z University of California w San Diego. – Jeśli nie ma żadnego

epitaxx 4916a4856f

mierzalnego kryterium, to uprawia się metafizykę za pomocą równań".

Oto trzy koncepcje dotyczące ostatecznych początków kosmosu, które on i inni naukowcy traktują serio:

BRAK GRANIC Mechanika kwantowa to fizyka skrajnie małych skal rządzona przez statystykę i nieokreśloność. Przypuszczalnie również ona ukształtowała wczesny Wszechświat. Aby zrozumieć kwantowy kosmos, naukowcy obliczają prawdopodobieństwo uzyskania konkretnego wyniku po podaniu określonych danych na wejściu.

W kosmologii „wynikiem" jest Wszechświat w jego aktualnym kształcie. „Pytanie brzmi – jakie powinny być dane wejściowe?" – mówi Jean-Luc Lehners, były kierownik grupy kosmologii teoretycznej w Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut) w Niemczech.

Fizycy mogą rozbić wyniki i dane wejściowe na mniejsze problemy. Przyjmując współczesny Wszechświat za wynik, próbują ustalić, jakie dane wejściowe go wytworzyły. Następnie cofają się w czasie, traktując je jako nowe wyjście, i obliczają, jakie warunki panujące we Wszechświecie na wcześniejszym etapie mogły doprowadzić do tego stanu, i tak dalej. Teoretycznie (gdyby mieli do dyspozycji mnóstwo czasu) mogliby to robić bez końca, krok po kroku docierając do tego, co było przedtem – a nawet jeszcze wcześniej.

Ta nieskończona regresja nie miała jednak sensu dla fizyków Stephena Hawkinga i Jamesa Hartle'a, którzy wspólnie zajmowali się tą kwestią w latach 80. Postanowili wyeliminować ostateczny element wejściowy Wszechświata – sam „początek". W tym celu stworzyli model zwany hipotezą braku granic. Sugerowali, że czas i przestrzeń tworzą zamkniętą zakrzywioną powierzchnię – czterowymiarową półkulę czasoprzestrzeni.

Wyobraźmy sobie Wszechświat na podobieństwo kuli ziemskiej. Wielki Wybuch to biegun północny. Nie ma niczego „przed" nim, tak samo jak nic nie jest położone bardziej na północ od bieguna. Pojęcie „przed" staje się pozbawione sensu. „To niemal jak idea zen" – mówi Lehners. I właśnie taką ideę przyjmuje w swoich obliczeniach, aby sprawdzić, czy uda mu się odtworzyć Wszechświat, jaki widzimy dzisiaj, wychodząc z punktu, od którego nie ma nic dalej na północ.

„Hipoteza braku granic cieszy się sporym poparciem, a przynajmniej zainteresowaniem, w środowisku fizyków" – mówi Sean Carroll, profesor filozofii przyrody na Johns Hopkins University. Podkreśla, że niektórzy naukowcy mają wątpliwości co do tego, na ile koncepcja ta jest precyzyjnie zdefiniowana, lecz on sam uważa ją za „naturalny punkt wyjścia", biorąc pod uwagę to, co wiemy na temat grawitacji kwantowej.

CYKLICZNY KOSMOS Paul Steinhardt, fizyk z Princeton University, ma inną koncepcję tego, co działo się przed powstaniem Wszechświata, jaki znamy. Stoi on w opozycji do idei, którą sam pomógł ukształtować – teorii inflacji, zgodnie z którą po Wielkim Wybuchu czasoprzestrzeń rozszerzała się bardzo szybko przez bardzo krótki okres. Scenariusz inflacyjny ma wyjaśnić, dlaczego Wszechświat wydaje się płaski i podobny w każdym miejscu, do którego sięgają nasze teleskopy.

Jednak pomógłszy stworzyć teorię inflacji, Steinhardt zaczął w nią wątpić, częściowo dlatego, że wymagała ciągłego dopracowywania, by zachować spójność z pomiarami kosmosu. „Naprawdę trudno przytoczyć historyczny przykład, w którym takie postępowanie faktycznie doprowadziło do tego, co okazało się właściwą odpowiedzią – mówi Steinhardt. – Prawie zawsze jest to znak, że Titanic tonie".

Pomyślał, że nadszedł czas, by wsiąść do łodzi ratunkowej. Wymyślił zatem Wszechświat cykliczny – taki, który znacznie się powiększa, jak wydaje się to mieć miejsce obecnie, a następnie nieco kurczy, by potem znów zacząć się rozszerzać. „Kiedy ludzie myślą o kurczących się wszechświatach, zazwyczaj wyobrażają sobie, że wszystko zmierza ku katastrofie" – mówi Steinhardt – czyli że kosmos kolapsuje z powrotem do nieskończenie małego punktu. Nie to jednak ma na myśli Steinhardt – uważa on, że Wszechświat być może kurczy się powoli, do maleńkich rozmiarów, lecz nie całkiem do zera. To kurczenie się wygładza pewne zjawiska w sposób, którego teoria inflacji nie potrafi wyjaśnić – twierdzi – a jednocześnie nadal tworzy kosmos, który wydaje się płaski i taki sam we wszystkich kierunkach.

Steinhardt dodaje, że to, co wygląda jak Wielki Wybuch, tak naprawdę nim nie jest. Wszechświat rozszerza się, następnie powoli kurczy, a potem szybko wraca do rozszerzania. Szybkie przejście między kurczeniem się a rozszerzaniem nie jest żadnym wybuchem, lecz „wielkim odbiciem". Steinhardt ma nadzieję zweryfikować tę koncepcję nie tylko poprzez badanie przeszłości, lecz także analizę danych z teraźniejszości i uważną obserwację przyszłości. „Wynika z niej oczywista prognoza, a mianowicie, że obecna faza przyspieszonego rozszerzania się nie może trwać wiecznie – mówi. – Musi się skończyć". Ta koncepcja z kolei rodzi nowe pytanie: „Czyżby proces ten kończył się właśnie teraz?", pyta.

Nasze pomiary ekspansji Wszechświata pochodzą od stosunkowo odległych obiektów, które wyemitowały światło dawno temu. Sytuacja mogła ulec zmianie, tylko my jeszcze o tym nie wiemy, ponieważ skutki tych zmian są trudne do zmierzenia. „Musielibyśmy przyjrzeć się obiektom znajdującym się bardzo blisko, aby to wykryć" – mówi Steinhardt. Nie jest to mocną stroną kosmologów i musieliby oni opracować nowe techniki oraz instrumenty, które pozwoliłyby dostrzec takie efekty w najbliższym otoczeniu.

Co jeszcze bardziej intrygujące, Steinhardt twierdzi, że ponieważ „nic złego nie dzieje się z przestrzenią" podczas kurczenia się i odbicia, informacja – a nawet fizyczne obiekty, takie jak czarne dziury – mogą przenosić się z okresu przed odbiciem do okresu po nim. „W naszym obserwowalnym Wszechświecie mogą istnieć rzeczy, które pochodzą z czasów przed nim" – mówi.

WSZECHŚWIAT LUSTRZANY Latham Boyle, badacz z Higgs Center for Theoretical Physics na University of Edinburgh, który wcześniej był doktorantem

Mark Garlick/Science Photo Library/Getty Images *(poprzednie strony)*

eprasa.pl 4916a4856f



Steinhardta, ma inny niezwykły pomysł dotyczący tego, co było przed początkiem. Podobnie jak wielkie odbicie, propozycja Boyle'a jest dość prosta pod względem konceptualnym i również pozwala uniknąć inflacji. „Mamy Wszechświat po Wielkim Wybuchu i Wszechświat przed Wielkim Wybuchem – mówi – i są one swego rodzaju lustrzanymi odbiciami siebie nawzajem".

Wyobraźmy sobie, mówi Boyle, dwa rożki lodów stykające się ze sobą wierzchołkami, przy czym punkt ich styku reprezentuje Wielki Wybuch. Czas płynie od Wielkiego Wybuchu w obu kierunkach. Po naszej stronie płynie do przodu; po stronie drugiej – wstecz. To, co wydarzyło się przed Wielkim Wybuchem, jest lustrzanym przeciwieństwem tego, co wydarzyło się po nim. Dotyczy to nie tylko czasu. Tutaj mamy materię, tam – antymaterię. Nasza lewa strona jest po lewej, tam – po prawej.

Boyle ma pomysły na obserwacje, które mogłyby potwierdzić (lub obalić) jego teorię, nazywaną wszechświatem symetrycznym względem CPT (symetria ładunku, parzystości i czasu). Przede wszystkim wszechświat symetryczny względem CPT nie wysyłałby fal grawitacyjnych ściskających i rozciągających czasoprzestrzeń od swojego początku, jak to przewidują klasyczne teorie kosmologiczne. Astronomowie przez cały czas poszukują takich sygnałów. Jeśli fale te zostaną w końcu wykryte, definitywnie wykluczy to tę koncepcję.

Hipoteza Boyle'a przewiduje również, że ciemną materię można by wyjaśnić za pomocą szczególnego rodzaju neutrin. Ma on nadzieję, że instrumenty kosmologiczne wkrótce ujawnią więcej informacji na temat neutrin. Związek tego modelu z fizyką cząstek elementarnych, obok innych aspektów, sprawia, że koncepcja ta jest intrygująca, twierdzi Carroll. „Podoba mi się w tym oszczędność użytych środków", mówi Keating, „oraz to, że autor wychodzi z własnej strefy komfortu", skupiając się na konkretnych przewidywaniach fizycznych, których potrzebują eksperymentatorzy tacy, jak on.

Każdy z tych naukowców jest przywiązany do swojej koncepcji. Lehners nie jest jednak przekonany, czy którakolwiek z nich przetrwa próbę czasu – niezależnie od tego, czym w istocie jest czas. „Uważam za wręcz absurdalne, żebyśmy akurat w roku 2025 mieli zrozumieć początki Wszechświata" – mówi. Innymi słowy, w globalnej perspektywie wciąż jesteśmy co najwyżej u samego początku naszej drogi ku poznaniu. „Dlaczego nie w roku 2 000 025 czy w jakimkolwiek innym?"

Nawet jeśli badacze są święcie przekonani, że są już blisko, może być tak, że zbliżają się do fałszywego szczytu – owego frustrującego miejsca, które wędrowcom jawi się szczytem góry, lecz w istocie jest jedynie wzniesieniem przesłaniającym widok na faktyczny szczyt. „Generalnie uważam za wielce prawdopodobne, że przed Wielkim Wybuchem coś istniało – mówi Carroll – ale równie prawdopodobne jest, że Wielki Wybuch był prawdziwym początkiem. Zbyt wiele kwestii pozostaje dla nas niejasnych i jestem nieco sceptyczny, co do tego, czy obecny stan wiedzy jest wystarczający, by wyciągnąć jakiekolwiek pewne wnioski eksperymentalne lub obserwacyjne na podstawie któregokolwiek z tych modeli".

Jednak kosmolodzy nie badają naszych ostatecznych początków, ponieważ sądzą, że zagadka ta zostanie rozwiązana jeszcze za ich życia. Lehners wyobraża sobie, że uczestniczy w rozłożonym na pokolenia projekcie pomagającym ludzkości zbliżać się coraz bardziej do prawdy, której być może nigdy nie odkryjemy. To prawie tak, jak gdyby ta zagadka wykraczała poza obręb ludzkiego poznania. Jednak nauka często polega na badaniu rzeczy, do których nie mamy dostępu, przynajmniej początkowo, mówi Ismael. Naukowcy przewidzieli istnienie atomów, zanim byliśmy w stanie je zobaczyć, a czarne dziury i ciemna materia nadal pozostają poza zasięgiem naszych możliwości bezpośredniego wykrycia. „Myślę, że przesunęła się granica tego, co uchodzi za naukę" – mówi. I będzie się ona nadal przesuwać – być może nawet w przeszłość, w której nie było jeszcze czasu jako takiego. ■

Gremlin/Getty Images

eprasa.pl 4916a4856f



Naukowcy wykorzystują różowy barwnik rodaminę, aby śledzić drogę wód odprowadzonych z elektrowni nad Zatoką Halifax, do których dodano substancje alkaliczne. Termogram pokazuje różnice temperatur w zatoce.

Jak udowodnić, że oceaniczna geoinżynieria działa?

Firmy modyfikują właściwości wody morskiej, aby zwiększyć ilość CO_2 pobieranego przez nią z atmosfery. Jednakże wyzwaniem pozostaje sprawdzenie, czy ich deklaracje są wiarygodne

ALEC LUHN

eprasa.pl 4916a4856f

W DESZCZOWY PORANEK W MARCU 2025 ROKU jasnoniebieska łódź badawcza płynęła przez Zatokę Halifax w Nowej Szkocji w stronę elektrowni Tufts Cove. Minęła trzy kominy zakładu, pomalowane w czerwono-białe pasy niczym cukrowe laski, i skierowała się ku żółtej boi kołyszącej się na falach.

To kanadyjska firma Planetary Technologies dodawała alkaliczną zawiesinę do wody chłodzącej elektrownię, zanim ciecz wpłynęła do betonowego tunelu kończącego się w Zatoce. Zwiększenie alkaliczności wody miało sprawić, że rozpuszczony w niej dwutlenek węgla przejdzie w bardziej stabilne formy, dzięki czemu z atmosfery może zostać usunięta większa ilość tego gazu. Pytanie brzmiało: jak efektywny jest to sposób?

Kapitan zwiększył obroty silnika, żeby utrzymać łódź w miejscu podczas nadchodzącego przypływu. Dariia Atamanchuk, oceanografka z Dalhousie University, opuściła w niebieskozielone fale „klatkę węglową" – prostokątną ramę z przewodami i czujnikami – i sprawdziła na laptopie stężenie CO_2 w wodzie. „Jest tylko nieznacznie niższe niż w atmosferze" – powiedziała.

Za ten niewielki deficyt mogła odpowiadać aktywność fitoplanktonu. Także pobliska rzeka Sackville mogła podczas wiosennych roztopów dostarczyć słodkiej wody o niskiej zawartości węgla. Ale mogła to być również konsekwencja dodania do wody alkalicznej zawiesiny. „Trudno nam to ocenić, ponieważ sygnał jest bardzo słaby" – stwierdziła Atamanchuk.

Ta niejednoznaczność jest największym wyzwaniem, z jakim mierzą się techniki usuwania dwutlenku węgla z atmosfery z pomocą oceanu, w skrócie zwane mCDR (marine carbon dioxide removal). Według Organizacji Narodów Zjednoczonych osiągnięcie globalnych celów klimatycznych prawdopodobnie będzie wymagało wycofywania z atmosfery miliardów ton CO_2 rocznie do połowy tego stulecia. Instalacje działające na lądzie, które wykorzystują do tego celu specjalne wentylatory, ciepło oraz substancje chemiczne, usunęły dotąd zaledwie kilka tysięcy ton CO_2 – i to przy wysokich kosztach. Tymczasem ocean już teraz pochłania w sposób naturalny blisko jedną trzecią antropogenicznych emisji węgla, co czyni go potencjalnie bardzo dobrym sprzymierzeńcem w pozbyciu się jeszcze większych ilości gazów cieplarnianych. Ponieważ jednak woda morska stale się przemieszcza, firmy nie mogą po prostu zmierzyć, czy rzeczywiście usunęły z powietrza tyle dwutlenku węgla, ile deklarują.

Model biznesowy wielu tych firm opiera się na sprzedaży kredytów węglowych, z których każdy powinien odpowiadać jednej tonie CO_2 usuniętego z atmosfery. Jednakże gdy takiego efektu nie można zmierzyć bezpośrednio, wiarygodność kredytu węglowego opiera się na modelu wykorzystanym do jego obliczenia.

KILKA DNI PRZED WYPRAWĄ ŁODZIĄ odwiedziłem elektrownię Tufts Cove wraz z Willem Burtem, głównym naukowcem Planetary. Na błotnistym żwirowym podłożu znajdującym się pomiędzy kominami elektrowni a Zatoką Halifax stał wózek widłowy podtrzymujący coś, co wyglądało jak ogromny worek z piaskiem. Pracownik w masce ochronnej i kasku wszedł na rusztowanie i zaczął z całych sił okładać worek kijem do krykieta, aby usunąć zator. Do stojącego poniżej okrągłego zbiornika posypał się biały proszek.

Worek zawierał ponad tonę surowca składającego się głównie z tlenku magnezu. Po zmieszaniu z wodą tworzy on zawiesinę, którą Planetary dodaje do wody odpływającej z elektrowni. Wówczas przekształca się w wodorotlenek magnezu – substancję wykorzystywaną także w wyrobach medycznych zobojętniających kwasy, takich jak Rolaids. Takie podejście przypomina naturalne wietrzenie minerałów budujących skały, tyle że w tym przypadku w stabilne formy węgla jest przekształcany nie CO_2 rozpuszczony w maleńkich kroplach deszczu, ale ten znajdujący się w oceanie. „To pozwala na zwiększenie skali tego procesu do ogromnych rozmiarów – powiedział Burt. – Jednak z tego samego powodu trudno jest go dokładnie zmierzyć".

Rura owinięta pomarańczową izolacją doprowadzała zawiesinę do betonowej cysterny, gdzie ta mieszała się z wodą morską wykorzystywaną do chłodzenia turbin elektrowni. Wszedłem na rusztowanie i zajrzałem do odpływu. Biała piana wirowała, gdy nieco bardziej alkaliczna ciecz spływała kaskadą do szaroniebieskich wód zatoki. Kiedy mieszanina trafiła do morza,

Ocean Alk-Align Project (*poprzednie strony i strona obok*)

Alec Luhn jest dziennikarzem zajmującym się klimatem i środowiskiem. Jego teksty ukazywały się w „New Scientist", „The Atlantic" i „National Geographic". Mieszka w Londynie.

eprasa.pl 4916a4856f

Burt zauważył: „Usuwanie węgla z atmosfery zachodzi wszędzie”. Według Planetary zwiększanie zasadowości oceanów sprawiłoby, że zaczęłyby one usuwać dodatkowe miliardy ton CO_2 rocznie.

W procesie tym wykorzystuje się system obiegu węgla w oceanie. Mniej niż procent nieorganicznego węgla w wodzie morskiej występuje w postaci rozpuszczonego CO_2; większość znajduje się pod postacią jonów wodorowęglanowych i węglanowych. Zawiesina opracowana przez Planetary przesuwa dodatkową część węgla w stronę tych stabilnych form, obniżając stężenie CO_2 przy powierzchni. Ta nierównowaga pozwala rozpuścić w wodzie większą ilość atmosferycznego CO_2. W oceanie może pozostać przez tysiące lat jako wodorowęglan.

Reakcja chemiczna to dopiero początek całej historii. Wyrównywanie stężeń między powietrzem a morzem może trwać jeszcze długo po tym, jak uzdatniona woda dotrze do morza. Prądy mogą przenieść bardziej alkaliczne masy wody daleko poza strefę, w której naukowcy są w stanie pobierać próbki. Poza tym część takiej wody może opaść i zniknąć z powierzchni, zanim zdoła pobrać z atmosfery tyle CO_2, ile pozwala na to chemia. Pomiar, raportowanie i weryfikacja tego procesu – czynności określane w skrócie MRV (measuring, reporting and verifying) – wymagają od naukowców zbadania, co może się dziać z uzdatnioną wodą po tym, jak dotrze ona do Zatoki Halifax.

W jednym z eksperymentów zespół Atamanchuk dodał do wody barwnik rodaminę, aby móc śledzić wędrówkę uzdatnionej cieczy. Spieniona różowa woda rozeszła się po Zatoce Halifax; część pozostała przy powierzchni, a część opadła, pozostawiając kolorowe smugi. Naukowcy pobierali próbki i filmowali smugę kamerą umieszczoną na podwodnym dronie. Celem było stworzenie trójwymiarowej mapy zjawiska. Większość barwnika pozostała jednak przy powierzchni, choć jego rozmieszczenie w zatoce zmieniało się w zależności od stratyfikacji wody, a także wraz z każdym przypływem.

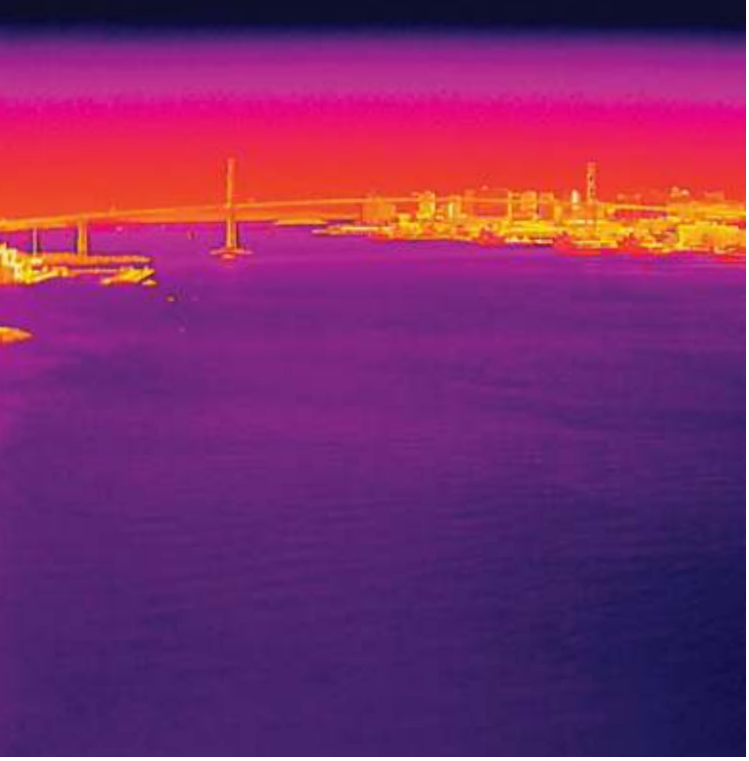
Nowe instrumenty pomiarowe zaczynają poprawiać ten obraz. W kwietniu tego roku zespół badawczy, w którego skład wchodzili naukowcy Planetary, poinformował o pierwszym terenowym zastosowaniu autonomicznego analizatora alkaliczności. Umieszczony w zatoce w 2023 roku w odległości 60 m od spustu wód z elektrowni Tufts Cove wielokrotnie wykrywał wzrost zasadowości wywołany przez Planetary – jednakże nie potrafił określić, ile dodatkowego CO_2 przedostało się z atmosfery dzięki tej ingerencji.

W tym przypadku naukowcy z Halifaxu polegają na modelu komputerowym o wysokiej rozdzielczości. Podczas mojej wizyty na Dalhousie University oceanografka Katja Fennel pokazała mi symulację eksperymentów prowadzonych przez Planetary. Alkaliczna woda pojawiała się jako fioletowa plama zarówno w widoku z góry, jak i w profilu pionowym wód zatoki. Badaczka nacisnęła przycisk odtwarzania i plama zaczęła pulsować wraz z kolejną dawką mikstury, a następnie przemieszczać się wraz z kolejnymi przypływami



Naukowcy śledzą, jak woda potraktowana związkami alkalicznymi przemieszcza się horyzontalnie i na różnych głębokościach – to kluczowa informacja pomagająca w określaniu efektywności metody oceanicznej.

eprasa.pl 4916a4856f





Ocean Alk-Align Project

Różowy znacznik trzyma się blisko linii brzegowej, ale pionowe i poziome ruchy wody stopniowo zmieniają jego drogę. Dalej od brzegu naukowcy muszą polegać na modelach.

i odpływami. Fioletowe smugi wiły się, zmierzając w kierunku Atlantyku, w którym zanikały.

Model Fennel oblicza, jak długo uzdatniona woda pozostaje wystarczająco blisko powierzchni, aby wymieniać CO_2 z powietrzem, oraz ile CO_2 pochłonęłaby zatoka bez ingerencji Planetary. W pokazanej mi symulacji uzdatniona woda osiągnęła około 60% swojego maksymalnego potencjału usuwania węgla z atmosfery w okresie objętym badaniem. Fennel zauważyła, że po tym okresie woda mogła wciąż pochłaniać CO_2.

Naukowcy z Dalhousie analizują również skutki ekologiczne. Podczas badań laboratoryjnych kontakt z wodorotlenkiem magnezu zaszkodził jednemu z lokalnych gatunków fitoplanktonu oraz jednemu gatunkowi małży. Jednakże podczas testów stężenie tej substancji było znacznie wyższe od tego, które obserwowano w zatoce w strefie sąsiadującej z Tufts Cove. „Musimy prowadzić monitoring i oceniać stan środowiska, by mieć pewność, że nie wyrządzamy szkód” – powiedział mi Hugh MacIntyre, profesor Dalhousie University, który wcześniej badał, jak ingerencje Planetary w chemizm wód zatoki wpływają na żyjące w niej organizmy. „Najważniejsze to nie szkodzić” – podkreślał.

Eksperymenty już spotkały się ze sprzeciwem lokalnych społeczności. Planetary zrezygnowała z projektu w angielskiej zatoce St. Ives Bay po protestach tamtejszych surferów domagających się, by „utrzymać nasze morze wolne od chemikaliów”; później firma uznała również, że szersze wdrożenie byłoby nieopłacalne. Z kolei w stanie Karolina Północna trzeba było znacznie ograniczyć skalę projektu zgłoszonego przez firmę Vesta zamierzającą zwiększyć potencjał oceanu do pochłaniania dwutlenku węgla poprzez dodanie do wody piasku oliwinowego. U.S. Fish and Wildlife Service uznała jednak, że taki piasek może zasypać organizmy żyjące na dnie morskim. Kraje nadzorujące przestrzeganie międzynarodowych umów zakazujących zrzucania odpadów do mórz uznały, że zwiększanie zasadowości oceanów jest jedną z czterech technik wymagających ścisłej kontroli, ponieważ mogą powodować rozległe i długotrwałe szkody. Zalecono odłożenie na bok projektów wykraczających poza uzasadnione badania. Podczas dwóch spotkań na ten temat, które odbyły się do tej pory, nie ustalono, jak regulować takie metody, opierając się na obowiązujących traktatach.

WCZEŚNIEJSZA HISTORIA PODOBNYCH PRÓB pomaga zrozumieć, skąd wzięła się ta ostrożność. Pomysł nawożenia oceanów żelazem wyrósł z hipotezy, że bogaty w żelazo pył niesiony przez wiatry ponad oceanami podczas minionej epoki lodowej dostarczał składników odżywczych fitoplanktonowi, przyczyniając się do obniżenia stężenia CO_2 w atmosferze. W latach 90. naukowcy zaczęli sprawdzać, czy dodawanie żelaza do wody morskiej może odtworzyć część tego efektu. Zakwity fitoplanktonu można było wywołać stosunkowo łatwo, ale większość eksperymentów nie wykazała, jaka część tego węgla opadła wystarczająco głęboko, by nie powrócić do atmosfery. Dodawane substancje mogły też wywoływać zmiany w łańcuchach pokarmowych lub powodować szkodliwe zakwity glonów.

W 2012 roku amerykański przedsiębiorca Russ George rozprowadził około 100 t żelaza na północnym Pacyfiku, wywołując międzynarodową krytykę, ponieważ jego z założenia komercyjne przedsięwzięcie geoinżynieryjne przeprowadzone zostało bez odpowiedniego nadzoru. Ten epizod z nawożeniem oceanu stał się przestrogą dla całej szerokiej dziedziny mCDR: widoczna reakcja biologiczna niekoniecznie oznaczała trwałe i mierzalne usunięcie węgla z atmosfery.

W innych projektach próbowano transferować węgiel w głąb oceanu z wykorzystaniem wodorostów. W ubiegłym roku odwiedziłem oceanografów Craiga Carlsona i Davida Siegela z University of California w Santa Barbara, którzy uczestniczyli w wartym 2,9 mln dolarów programie badawczym analizującym, co dzieje

eprasa.pl 4916a4856f

się z węglem związanym przez lasy wodorostów. Kiedy schodziliśmy na plażę nad Pacyfikiem, miejscowi surfowali na falach w porze przerwy obiadowej. Za strefą załamania fal rozciągały się olbrzymie zarośla wodorostów potrafiących rosnąć w tempie nawet 50 cm na dobę. Fragmenty rozpadających się wodorostów opadają na dno niczym jesienne liście. Według badania opublikowanego w 2016 roku w „Nature Geoscience" około jedna dziesiąta tej biomasy dociera w głębiny oceaniczne; reszta jest zjadana lub rozkłada się podczas opadania. Wodorosty wydzielają również rozpuszczoną „maź" złożoną z węglowodanów i białek, która jest rozkładana przez mikroorganizmy. Tutaj również wyzwaniem jest prześledzenie, dokąd trafił węgiel przejęty z atmosfery i jak długo pozostał w takim magazynie.

Ten proces próbowała przekształcić w biznes Running Tide. Firma z siedzibą w Portland w stanie Maine pozyskała 70 mln dolarów na hodowlę wodorostów na pływających bojach wykonanych z odpadowego drewna i zaprojektowanych tak, aby opadały w głębiny oceanu. Twierdziła, że usunęła z atmosfery więcej węgla niż jakakolwiek inna firma zajmująca się mCDR. Swoją działalność zakończyła w 2024 roku. Późniejsze dziennikarskie śledztwo „WIRED" wykazało, że Running Tide miała trudności z hodowaniem wodorostów na dużą skalę i przestawiła się na wykorzystanie zrębków drzewnych wymieszanych z substancjami alkalicznymi. Założyciel firmy Marty Odlin powiedział mi, że firma nie zdołała ukończyć prac nad czujnikami oraz metodami pozwalającymi na wiarygodne mierzenie kluczowych parametrów, takich jak pH i rozpuszczony węgiel nieorganiczny. Zamknięcie firmy przypisał słabemu popytowi oraz kosztom udowodnienia, że CO_2 został faktycznie usunięty w deklarowanych ilościach. Aż 30 mln dolarów poszło na pomiary. „MRV w takich otwartych systemach jest absurdalnie drogie" – stwierdził.

JEDNĄ Z ODPOWIEDZI JEST przeniesienie całego procesu na nabrzeża. W porcie Los Angeles odwiedziłem zacumowaną przy nabrzeżu 58 długą barkę z żółtymi relingami oraz plątaniną zbiorników i rur wyposażonych w liczne wskaźniki. Gaurav Sant, inżynier z University of California w Los Angeles i współzałożyciel firmy mCDR Equatic, wyraził pogląd, że młoda dziedzina, w której stawia pierwsze kroki, mierzy się z „problemem zaufania i wiarygodności".

Equatic pompuje wodę morską przez elektrolizer, w którym prąd elektryczny przepływa przez układ plastikowych i metalowych płyt, rozdzielając wodę na dwa strumienie jeden zasadowy, drugi kwaśny – i jednocześnie wytwarzając tlen i wodór. W strumieniu alkalicznym część węgla zostaje uwięziona w postaci węglanu wapnia. Wytwarzany z wody morskiej wodorotlenek magnezu pomaga również przekształcić wprowadzony do zbiornika CO_2 w wodorowęglan, zanim woda wróci do oceanu. Instalacja pilotażowa w Los Angeles wykorzystuje CO_2 w butlach, ale planowane zakłady w Singapurze i Quebecu mają pobierać dwutlenek węgla z powietrza. Kwaśny strumień jest neutralizowany za pomocą rozdrobnionego oliwinu. Ponieważ reakcje zachodzą przy kontrolowanym przepływie wody, czujniki mogą je mierzyć. „Mogę śledzić losy każdego grama dwutlenku węgla" – deklarował Sant.

Niektórzy chcą, aby cały sektor spełniał takie standardy. Na początku 2025 roku Garrett Boudinot, geochemik i założyciel firmy Vycarb, także zajmującej się zwiększaniem alkaliczności wody morskiej, argumentował na poświęconym klimatowi portalu informacyjnym *Carbon Herald*, że mCDR powinno być mierzone bezpośrednio. „Przyszłość klimatu zależy od mierzenia, a nie od modelowania rozwiązań klimatycznych" – napisał.

Jednak takie metody lądowe pochłaniają mnóstwo energii. Equatic oszacowała, że usunięcie jednej tony CO_2 to wydatek energetyczny rzędu 2,5 MWh. Przy takim zużyciu usuwanie miliarda ton dwutlenku węgla rocznie pochłaniałoby niemal 8% całego prądu produkowanego na świecie. Wytwarzany przy okazji wodór mógłby być wykorzystywany w ogniwach paliwowych lub sprzedawany, potencjalnie pokrywając część zapotrzebowania na energię. Ta perspektywa już zainteresowała Boeinga, który podpisał umowę przedwstępną na zakup kredytów węglowych odpowiadających 62 tys. tonom węgla usuniętego z atmosfery i zarazem na zakup 2100 t wodoru.

Działania podejmowane na otwartych wodach mogą być tańsze w zwiększaniu skali i obejmować rozległe obszary oceaniczne. Jednakże deklarowane ilości dwutlenku węgla odzyskanego z atmosfery są w znacznie większym stopniu oparte na wynikach symulacji komputerowych wykorzystujących dane pochodzące z małych obszarów.

Chętni już inwestują w metody, które pozostają trudne do niezależnej oceny. W 2025 roku start-up mCDR Gigablue sprzedał 200 tys. przyszłych kredytów węglowych, oferując metodę stymulowania wzrostu fitoplanktonu na drobinach mineralnych, które później opadają na dno morskie. Firma ujawniła niewiele danych na temat tych cząstek oraz wyników badań potwierdzających skuteczność metody; niezależni naukowcy powiedzieli agencji Associated Press, że publicznie dostępnych informacji jest zbyt mało, by potwierdzić wiarygodność deklaracji firmy co do ilości węgla, którą zamierza przetransferować z atmosfery do oceanu.

Fennel zauważa, że same pomiary nie mogą potwierdzić skuteczności oceanicznej sekwestracji atmosferycznego CO_2, bo nie wiadomo, jak zmieniałby się ocean bez tej ingerencji. Gdy woda o zwiększonej zasadowości miesza się z morzem, nieuniknione staje się więc modelowanie tego procesu. Według badaczki zespół z Halifaxu będzie w stanie oszacować skuteczność procesu z dokładnością najwyżej 10%. W przypadku interwencji prowadzonej w zatoce morskiej lub na otwartym morzu może to być wynik bardzo bliski tego, jaki zostanie uzyskany podczas bezpośrednich pomiarów. Na więcej ocean nie pozwoli.

Tu na łodzi instrumenty zabrane przez Atamanchuk mogły pokazać jedynie, że w powierzchniowych warstwach wody znajduje się nieco mniej CO_2 niż w powietrzu ponad zatoką. Odpowiedź na pytanie, w jakim stopniu za tę różnicę odpowiadają działania Planetary Technologies, właśnie przemieszczała się wraz z przypływem. ■

eprasa.pl 4916a4856f



ARCHEOLOGIA

Zaginione drogi Imperium Rzymskiego

Wielki projekt cyfryzacji wszystkich dostępnych danych pozwolił odkryć, że pierwsza sieć drogowa o zasięgu kontynentalnym była niemal dwukrotnie większa, niż dotychczas sądzono

TOM BRUGHMANS | MAPY DANIEL P. HUFFMAN

Via Appia, której budowę rozpoczęto w 312 roku p.n.e., to najstarsza i najbardziej znana droga Imperium Rzymskiego.

eprasa.pl 4[illegible]



PODCZAS NIEDAWNEJ WIZYTY w Rzymie spacerowałem Via Appia (zwaną również Drogą Appijską), mijałem dom, który podobno należał do filozofa, stoika Seneki Młodszego, i miałem wrażenie, jakbym przeniósł się w czasie. Budowę Via Appia rozpoczęto w 312 roku p.n.e., aby umożliwić szybki przerzut wojsk na południowy wschód, do Kapui, a z czasem także do portowego Brundyzjum, położonego na „obcasie" włoskiego buta. Jest to najstarsza i najsłynniejsza droga Cesarstwa Rzymskiego.

Badacze od dawna uważają ją za kwintesencję rzymskiej drogi: prostą arterię biegnącą aż po horyzont, wyłożoną płytami z kamienia wulkanicznego (bazaltu), obsadzoną smukłymi cyprysami i – rzecz jasna – prowadzącą do Rzymu. Świadomość, że ponad 2300 lat temu tą samą drogą chodzili Rzymianie, robi ogromne wrażenie. Nic dziwnego, że to arcydzieło starożytnej inżynierii – którego długie odcinki zachowały się do dziś w zadziwiająco dobrym stanie – nazwano Królową Dróg (*regina viarum*).

Jednak mimo całej swojej sławy Via Appia nie jest wzorcowym przykładem rzymskiej drogi, za jaki dotychczas ją uważano. Wraz z moimi współpracownikami opracowaliśmy nową mapę dróg rzymskich, która po raz pierwszy pokazuje ich przebieg z wysoką rozdzielczością w ramach jednego, ogólnodostępnego zasobu. To, co odkryliśmy, całkowicie zmieniło nasze spojrzenie na sieć dróg stanowiącą fundament potęgi tego starożytnego supermocarstwa.

Historycy i archeolodzy badają rzymskie drogi od stuleci. W tym czasie odnaleźli pozostałości samych traktów, zniszczone kamienie milowe oraz źródła pisane opisujące najważniejsze połączenia między osadami. Jednak próby odtworzenia przebiegu dróg na podstawie tych rozproszonych informacji prowadziły jedynie do powstania map o niskiej rozdzielczości, przedstawiających raczej przybliżony niż dokładny przebieg sieci drogowej.

Dokładna lokalizacja rzymskich dróg ma ogromne znaczenie dla zrozumienia sposobu, w jaki Imperium podbijało i utrzymywało pod kontrolą nowe terytoria oraz transportowało żywność niezbędną do wyżywienia mieszkańców. Powstanie tej sieci sprawiło, że po raz pierwszy w historii obszar wielkości dzisiejszej Unii Europejskiej został pokryty systemem dróg umożliwiającym swobodny przepływ ludzi, towarów, idei, a także chorób – od Egiptu po Germanię i od Hiszpanii po Anatolię. Dlatego postanowiliśmy stworzyć pierwszą cyfrową mapę dróg Cesarstwa Rzymskiego o wysokiej rozdzielczości, łącząc dane historyczne z nowoczesnymi mapami topograficznymi, obrazowaniami satelitarnymi i wieloma innymi źródłami informacji. Spodziewaliśmy się, że 200 lat badań pozwoli nam po prostu połączyć dane zgromadzone przez naszych poprzedników. Myliliśmy się.

Nasze badania wskazują, że w II wieku n.e., kiedy Cesarstwo osiągnęło największy zasięg terytorialny, jego sieć drogowa liczyła około 300 tys. km – niemal dwukrotnie więcej, niż dotąd sądzono. To odkrycie o ogromnym znaczeniu. Jest ono zarazem lekcją pokory, ponieważ mimo że udało nam się uchwycić pełną skalę tej sieci, dokładny przebieg znamy zaledwie dla 2,7% wszystkich dróg. (Do tej niewielkiej, dobrze poznanej części należą właśnie zachowane odcinki Via Appia). Jak to możliwe, że po stuleciach badań wciąż wiemy tak niewiele o tym systemie? I gdzie znajdują się zaginione drogi Cesarstwa Rzymskiego?

ZACZNIJMY OD TEGO, CO WIADOMO. Rzymianie wynaleźli znacznie mniej rzeczy, niż zwykło się im przypisywać, i z pewnością nie wynaleźli dróg. Siła Rzymu polegała raczej na umiejętności rozpoznania dobrego pomysłu i rozwinięcia go do skali całego kontynentu.

Rzymscy wodzowie i cesarze podbijali regiony, które już wcześniej dysponowały rozbudowanymi sieciami dróg łączących gęsto zaludnione obszary miejskie. Na Wschodzie hellenistyczni władcy, którzy przejęli władzę po Aleksandrze Wielkim, zakładali liczne miasta, takie jak Antiochia, i łączyli je drogami, podobnie jak wcześniej czynili Persowie, Asyryjczycy i Babilończycy. Persowie z dynastii Achemenidów zbudowali nawet swoistą „autostradę" łączącą ich stolicę – Suzę – z Sardes w zachodniej Anatolii. Trakt ten przeszedł do historii jako Droga Królewska.

Prawdziwą innowacją Rzymian było nie tyle budowanie dróg, ile zintegrowanie tych rozproszonych lokalnych sieci w pierwszy w dziejach ludzkości system drogowy obejmujący cały kontynent.

I – wbrew znanemu powiedzeniu – nie wszystkie te drogi prowadziły do Rzymu. Ogromne przedsięwzięcia infrastrukturalne celowo połączyły sieci drogowe poszczególnych prowincji w jeden spójny organizm, otwierając dostęp do najbardziej odległych zakątków imperium – od gór Atlas w Maroku po deltę Dunaju.

Tom Brughmans jest profesorem nadzwyczajnym archeologii klasycznej na Uniwersytecie w Aarhus w Danii. W swoich badaniach skupia się na analizie kultury materialnej, aby zrozumieć, jak funkcjonowały powiązania między ludźmi w Imperium Rzymskim. Brughmans jest również współdyrektorem projektu Itiner-e.

Stefano Valeri/Alamy (*poprzednie strony*)

eprasa.pl 4916a4856f



Zbudowana w celu transportu rzymskiej armii na południe i rozszerzenia wpływów imperium, Via Appia – której fragment tutaj przedstawiono – łączyła Rzym z Brindisi na wybrzeżu Adriatyku.

Przykładem może być podbój królestwa Nabatejczyków przez cesarza Trajana. Państwo to, którego centrum znajdowało się na terenach dzisiejszej Jordanii, po aneksji przesunęło wschodnią granicę Cesarstwa aż po Pustynię Arabską. Rzymskie legiony wybudowały tam drogę znaną jako *Via Nova Traiana*, biegnącą od portu Aela nad Morzem Czerwonym do Bosry na terenie dzisiejszej Syrii. Ta ważna rzymska arteria nie prowadziła do Rzymu. Była natomiast kluczowym elementem infrastruktury obronnej imperium i pozwalała na szybkie przemieszczanie wojsk, łącząc kilka prowincji wschodnich. Stanowiła część *Limes Arabicus* – rozległego, liczącego około 1500 km systemu pustynnych umocnień z fortami. Skala tego przedsięwzięcia znacznie przewyższała słynny Wał Hadriana, który miał długość zaledwie 117 km i wyznaczał północną granicę rzymskiej Brytanii.

Znaczna część wiedzy, jaką badacze zdołali odtworzyć na temat takich inwestycji, pochodzi z kamieni milowych. Podobnie jak współczesne słupki kilometrowe przy drogach, kamienie te – opatrzone wykutymi inskrypcjami – informowały podróżnych o przebytym dystansie i miejscu, w którym się znajdowali. Najstarszy znany rzymski kamień milowy pochodzi z Sycylii. Ustawiono go z polecenia konsula Gajusza Aureliusza Cotty, sprawującego urząd w latach 252 i 248 p.n.e., po zwycięstwie Rzymu nad Kartaginą podczas pierwszej wojny punickiej. Z czasem Rzymianie wprowadzili ten system na obszarze całego imperium.

Kamienie milowe pełniły jednak nie tylko funkcję drogowskazów. Były również narzędziem propagandy. Często umieszczano na nich imię cesarza lub lokalnego urzędnika, który sfinansował budowę bądź remont drogi. Na przykład w Hiszpanii pierwszy cesarz rzymski, August, polecił wybudować *Via Augusta* – wielką arterię ciągnącą się od Kadyksu na południu aż po Pireneje na północy. Jego imię widniało na kamieniach milowych ustawionych wzdłuż całej trasy. Droga ta jeszcze silniej związała mieszkańców i gospodarkę Półwyspu Iberyjskiego z resztą Cesarstwa.

Dla naszego zespołu kamienie milowe okazały się jednym z najważniejszych elementów układanki podczas poszukiwania zaginionych rzymskich dróg. Samo słowo „mila” pochodzi od łacińskiego wyrażenia *mille passus*, oznaczającego tysiąc kroków, czyli długość jednej mili rzymskiej. Jeden rzymski krok liczył pięć stóp rzymskich, dlatego mila rzymska miała 5000 stóp, co odpowiada około 1,48 km (czyli około 0,92 współczesnej mili angielskiej).

W naszych badaniach kamienie milowe pełniły funkcję starożytnych znaczników GPS. Na przykład na Bliskim Wschodzie odnalezienie dwóch konkretnych kamieni milowych pozwoliło ustalić, w jaki sposób

eprasa.pl 4916a4856f

Nowe spojrzenie na starożytną sieć

Opracowując nasz cyfrowy atlas dróg rzymskich, odkryliśmy 8 tys. km tras, których położenie znamy z całą pewnością, oraz 292 tys. km dróg, których przebieg opiera się na przypuszczeniach. Określiliśmy stopień wiarygodności danych na podstawie rzetelności naszych źródeł oraz dokładności digitalizacji. Nasza mapa da archeologom wskazówki, gdzie powinni szukać rzymskich szlaków.



eprasa.pl 4916a4856f



eprasa.pl 4916a4856f



Łuk triumfalny Arc de Berá, rzymski monument, został wzniesiony w 13 roku p.n.e. wzdłuż drogi Via Augusta w regionie Katalonii w Hiszpanii. Dziś góruje nad drogą N-340, jedną z wielu współczesnych europejskich tras wytyczonych dokładnie tam, gdzie dawniej biegły drogi rzymskie.

RichSTOCK/Alamy



Prowincja *Hispania Beatica* (dzisiejsza Andaluzja) była centrum produkcji oliwy, która miała kluczowe znaczenie dla funkcjonowania rzymskiej armii. Archeolodzy znają dokładne położenie wielu tamtejszych budowli i osad (*małe czarne kropki*), ale nie znają dróg, które musiały je ze sobą łączyć.

rzymska droga wspinała się z okolic Jeziora Galilejskiego na położony wyżej płaskowyż.

Praktyka katalogowania inskrypcji z kamieni milowych ma ponad 100 lat. Dokonanie jednak przez nas przełomu stało się możliwe dzięki znacznie nowszej rewolucji w archeologii – cyfryzacji. Łącząc bazy danych zawierające informacje o ponad 8 tys. lokalizacji kamieni milowych oraz 14 tys. starożytnych miejscowości, po raz pierwszy mogliśmy zagrać w skali całego kontynentu w „połącz kropki".

JEDNAK ŁĄCZENIE KROPEK z dużą pewnością jest możliwe tylko wtedy, gdy widać łączące je linie. A w przypadku zdecydowanej większości rzymskiej sieci drogowej linie te dawno zniknęły. Musieliśmy więc wykonać prawdziwie detektywistyczną pracę, aby je odtworzyć.

Samosata, położona na terenie dzisiejszej południowo-wschodniej Turcji, była stolicą królestwa Kommageny, dopóki w I wieku n.e. nie została włączona do Cesarstwa Rzymskiego. Chcieliśmy odnaleźć prowadzące do niej drogi. Niestety, dziś nie sposób odwiedzić tego starożytnego miasta. W latach 80., po wybudowaniu zapory Atatürka na Eufracie, znalazło się ono pod wodą. Zbiornik zaporowy pochłonął nie tylko Samosatę, lecz także obszar przekraczający 800 km^2 – odpowiadający powierzchni około 112 tys. boisk piłkarskich. W poszukiwaniach pomogły nam jednak fotografie satelitarne wykonane jeszcze w czasach zimnej wojny. Na odtajnionych zdjęciach, zrobionych przed napełnieniem zbiornika wodą, udało się odnaleźć ślady starożytnych dróg.

To nie tylko zapory przyczyniły się do zniszczenia dawnych traktów. Rosnąca liczba ludności wymusza zabudowę kolejnych terenów. Wykopy pod fundamenty niszczą ślady dawnej działalności człowieka, a przeprowadzenie badań archeologicznych przed rozpoczęciem inwestycji nie zawsze jest możliwe. W takich sytuacjach archiwalne zdjęcia satelitarne stają się swoistym wehikułem czasu, pozwalającym zobaczyć krajobraz takim, jakim był przed urbanizacją. Na tych fotografiach można dostrzec ślady dróg, które od dawna już nie istnieją – prawdziwie zaginionych dróg Cesarstwa Rzymskiego.

Archiwalne zdjęcia satelitarne nie są jednak naszym jedynym narzędziem do zaglądania w przeszłość. Cennym źródłem informacji są również szczegółowe mapy topograficzne, które często powstawały jako produkt uboczny działań wojennych. Pozwalają one zobaczyć krajobraz takim, jak wyglądał przed intensywną zabudową.

Przykładowo Francja sprawowała mandat nad Syrią i Libanem w okresie między dwiema wojnami światowymi. W tym czasie francuska armia sporządziła niezwykle dokładne mapy tych terenów.

eprasa.pl 4916a4856f

Na francuskich mapach wojskowych z okresu międzywojennego wyraźnie widać linię opisaną jako droga rzymska w okolicach Bosry w Syrii. Dziś jej fragmenty zostały częściowo przykryte przez rozrastające się przedmieścia.

Tak szczegółowe źródła kartograficzne pozwoliły nam również znacznie precyzyjniej odtworzyć przebieg dróg z uwzględnieniem ukształtowania terenu. Dotychczas podstawowym opracowaniem dotyczącym całego Cesarstwa Rzymskiego był wydany 25 lat temu *Barrington Atlas of the Greek and Roman World*. To monumentalne dzieło odegrało fundamentalną rolę w stworzeniu spójnego obrazu sieci dróg i osad starożytnego świata. Później atlas został zdigitalizowany i do dziś pozostaje jedynym tak kompleksowym opracowaniem obejmującym całe imperium. Jego mapy sporządzono jednak w skali 1:500 000 lub 1:1 000 000. Oznacza to, że jeden cal na mapie odpowiada odpowiednio około 12,7 lub 25,4 km w terenie. W rezultacie przedstawione na nich drogi mają charakter jedynie orientacyjny i często nie odzwierciedlają rzeczywistego przebiegu ukształtowania terenu.

W *Barrington Atlas* między starożytnymi greckimi miastami Mantineja i Argos, położonymi w pobliżu Myken na Peloponezie, wyrasta góra. Atlas pokazuje prowadzącą wokół niej drogę długości 62 km – jej przejście zajęłoby około 20 godzin. Starożytni wędrowcy mieli jednak inną możliwość: mogli przejść przez górskie przełęcze, skracając podróż do około 14 godzin. Na naszej mapie zaznaczyliśmy charakterystyczne ostre serpentyny takich górskich szlaków.

Mapa o tak dużej szczegółowości pełna jest podobnych zygzaków. To właśnie jeden z powodów, dla których całkowita długość rzymskiej sieci drogowej wzrosła w naszych obliczeniach aż o 111 tys. km.

Biorąc pod uwagę ukształtowanie terenu, możemy z dużą pewnością stwierdzić, że 300 tys. km znacznie lepiej oddaje rzeczywistą długość tej sieci.

Oprócz archiwalnych zdjęć satelitarnych i map topograficznych wykorzystaliśmy również narzędzia paleogeografii, czyli nauki odtwarzającej dawne krajobrazy m.in. na podstawie analiz osadów. Dzięki nim mogliśmy skuteczniej poszukiwać śladów rzymskich dróg. Wiadomo, że krajobrazy w deltach największych rzek regionu uległy ogromnym zmianom. Na przykład w południowej Holandii Ren i Moza łączyły się, tworząc nieustannie zmieniający się krajobraz mokradeł, bagien i wysp, ponieważ oba cieki wielokrotnie zmieniały swoje koryta. Holendrzy słyną z regulacji cieków wodnych. Skierowali do kanałów znaczną część swoich rzek, a umiejętność kontrolowania zalewów terenów nadrzecznych potrafili nawet wykorzystać jako broń przeciwko hiszpańskim najeźdźcom w XVII wieku. Oznacza to jednak również, że dzisiejszy krajobraz delty w niewielkim stopniu przypomina ten sprzed dwóch tysięcy lat. Holenderscy członkowie naszego zespołu sięgnęli więc po istniejące rekonstrukcje rzymskiego krajobrazu rzecznego. Pozwoliły one zidentyfikować dawne, opuszczone koryta rzek, a tym samym odnaleźć pasy suchego lądu między osadami – jedyne miejsca, którymi mogły przebiegać drogi.

DOKŁADNIE OKREŚLIĆ PRZEBIEG DROGI możemy tylko wtedy, gdy jej fragment został odkryty podczas wykopalisk albo nadal jest widoczny w terenie, jak w przypadku *Via Appia*. Archeolodzy odsłonili fragmenty dróg na obszarze całego Cesarstwa Rzymskiego i prowadzili szeroko zakrojone badania terenowe w poszukiwaniu podobnych śladów. Wykopaliska są jednak kosztowne i czasochłonne.

Nie wszystkie główne drogi rzymskie prowadziły do Rzymu. *Via Nova Traiana* biegła od portu Aela nad Morzem Czerwonym aż do Bostry w Syrii. Stanowiła część potężnej linii umocnień pustynnego pogranicza, na której wznosiły się liczne forty.



eprasa.pl 4916a4856f

Najczęściej prowadzi się je w odpowiedzi na planowane inwestycje budowlane i koncentruje na konkretnych stanowiskach, takich jak wille czy kamienie milowe. Natomiast odsłonięcie długiego, liniowego obiektu rozciągającego się przez rozległe obszary jest przedsięwzięciem niezwykle trudnym. Dlatego znacznie więcej wiemy o osadach i gospodarstwach, w których mieszkali Rzymianie, niż o drogach łączących te miejsca.

Dobrym przykładem jest dawna prowincja rzymska Betyka na południu Półwyspu Iberyjskiego (na terenach dzisiejszej Andaluzji). Miała ona ogromne znaczenie dla funkcjonowania armii rzymskiej. W dolinie rzeki Gwadalkiwir produkowano ogromne ilości oliwy. Oliwki przewożono drogami z gajów do tłoczni, gdzie wytłaczano z nich oliwę i rozlewano ją do wielkich, pękatych ceramicznych amfor. Następnie transportowano je rzeką i drogą morską do oddziałów armii rzymskiej, nawet tak daleko, jak do Germanii. Był to jeden z najgęściej zaludnionych regionów imperium. Znamy lokalizację setek gospodarstw, tłoczni oliwy, pieców garncarskich, portów rzecznych i osad. Kiedy jednak przybliżymy naszą mapę, okazuje się, że część tych położonych z dala od rzek miejsc nie jest połączona z żadną znaną drogą. Podobnych miejsc jest w całym Cesarstwie bardzo wiele. Ich mieszkańcy musieli przecież jakoś docierać do swoich domów, gospodarstw czy gajów oliwnych, więc z pewnością istniały tam drogi – w takiej czy innej postaci.

Udało nam się z całkowitą pewnością ustalić przebieg 8 tys. km rzymskich dróg. To mniej więcej tyle, ile liczy współcześnie trasa z Paryża do Nowego Delhi. Pozostałe 292 tys. km – długość odpowiadająca siedmiokrotnemu obwodowi Ziemi – opierają się na hipotezach o różnym stopniu pewności. Może się zdarzyć, że dysponujemy starożytnym źródłem pisanym potwierdzającym istnienie rzymskiej drogi w danym regionie, ale mamy bardzo niewiele informacji o jej rzeczywistym przebiegu.

Jako badacze musimy jasno oddzielać to, co zostało bezpośrednio zaobserwowane, od tego, co stanowi naukową rekonstrukcję opartą na dostępnych przesłankach. Dlatego opracowaliśmy również mapę wiarygodności, pokazującą, jak zmienia się jakość źródeł i precyzja naszej cyfrowej rekonstrukcji. Można powiedzieć, że jest to mapa naszej niewiedzy. Takie podejście daje archeologom pierwsze tak szczegółowe narzędzie wskazujące, gdzie przyszłe poszukiwania rzymskich dróg mają największą szansę przynieść przełomowe odkrycia.

Dziesiątki tysięcy kilometrów tych traktów wciąż czekają na odnalezienie. Nasz ogólnodostępny internetowy atlas, nazwany Itiner-e, pokazuje, gdzie ich szukać. I już przynosi efekty. Od czasu jego udostępnienia otrzymujemy z całego świata informacje pomagające nam odnajdywać zaginione arterie Cesarstwa Rzymskiego. Poszukiwania dróg, które zmieniły świat, trwają. ■



Rzymianie w całym imperium stawiali kamienie milowe – takie jak ten na drodze Via Domitia w departamencie Hérault we Francji – aby informować podróżnych o ich położeniu. Te kamienne znaki pomagają dziś w rekonstrukcji przebiegu rzymskich dróg.

Hemis/Alamy

Z ARCHIWUM

Pompeii Time Capsule Reveals Secrets to Durable Ancient Roman Cement. Humberto Basilio”; Scientific American.com, 9 grudnia 2025. Scientific American.com/archive

eprasa.pl 4916a4856f

Tercety, kwartety, kwintety

czyli parami do kwadratów

MAREK PENSZKO

TEORIA LICZB JEST NAJBARDZIEJ ROZRYWKOWYM działem matematyki. To nieco ryzykowne stwierdzenie, bo studiowanie podręcznika z tej dziedziny trudno nazwać zabawą. Już przy pobieżnym przeglądaniu terminologia i wzory robią wrażenie „nieprzystępnych". Jednak wielu teorioliczbowym zagadnieniom, problemom i zadaniom łatwo nadać formę zrozumiałą dla każdego i możliwą do analizowania na poziomie niemal elementarnym, co zbliża je do rozrywek umysłowych. Spektakularny przykład stanowi tzw. mocna hipoteza Goldbacha (każda liczba parzysta większa od 2 jest sumą dwóch liczb pierwszych), którą od dawna próbują udowodnić lub obalić nie tylko profesjonaliści, ale także liczni amatorzy.

Mniej znany jest inny problem teorioliczbowy, z którym dawniej mierzyły się tęgie umysły, a dziś zmagają się coraz „tęższe" komputery. Problem ten w niewielkim zakresie zaliczany jest do matematyki rekreacyjnej i głównie tego zakresu dotyczy niniejszy artykuł. Polega on na szukaniu takiego zbioru n różnych liczb całkowitych dodatnich, w którym suma liczb każdego k-liczbowego podzbioru ($n>k>1$) jest kwadratem.

* * *

Zakres rekreacyjny problemu obejmuje wartości $n=3$ i 4 przy $k=2$. W przypadku $n=3$ zaczyna się od wybrania dwóch liczb ($a<b$), których suma jest kwadratem, a kolejnym etapem są próby dołączenia do nich takiej trzeciej liczby $c>b>a$, która będzie sumować się do kwadratu zarówno z a, jak i z b, czyli $a+c=x^2$ oraz $b+c=y^2$. Stąd $(b+c)-(a+c)=b-a=y^2-x^2$. A zatem polowanie na c sprowadza się do znalezienia dwóch kwadratów, których różnica równa jest różnicy między wybranymi liczbami a i b.

Na wstępie należy rozstrzygnąć, czy każda liczba może być różnicą kwadratów, a więc także różnicą $r=b-a$. Ze wzoru $x^2-y^2=(x-y)(x+y)$ wynikają dwa przypadki: (1) r jest liczbą parzystą podzielną przez 4, gdy obie zmienne (x, y) są parzyste lub obie nieparzyste; (2) r jest nieparzyste, gdy jedna zmienna jest parzysta, a druga nieparzysta. Stąd wniosek: r nie może być liczbą parzystą niepodzielną przez 4. Takimi wykluczonymi są wszystkie dwukrotności liczb nieparzystych; tworzą one ciąg: 2, 6, 10, 14, 18, 22, 26, 30, 34, … . Zaczynając poszukiwania tercetu na przykład od duetu {1, b}, należy więc od razu odrzucić wartości b o jeden mniejsze od kwadratów liczb parzystych, czyli 3, 15, 35, 63, 99, … . Nie pasuje też $b=8$, bo wtedy $r=7$ jest różnicą między kwadratami 9 i 16, a to daje $c=b=8$, co jest sprzeczne z warunkiem $a<b<c$. Dopiero para startowa z $b=24$ generuje poprawny tercet, ponieważ $b-a=23$ jest różnicą między kwadratami 144 a 121. Stąd pierwszy zbiór {1, 24, 120} – z najmniejszym a i najmniejszą dla $a=1$ sumą trzech liczb (145), z których każda para sumuje się do kwadratu (25, 121, 144).

Tercety z dowolnym a można tworzyć w nieskończoność. Oto kilka kolejnych z $a=1$ (startowa jedynka sprzyja szybkiemu wzrostowi wartości c): {1, 48, 528}, {1, 80, 1520}, {1, 120, 3480}, … . Dla większych a kolejne liczby c z reguły „skaczą" – raz w dół, raz w górę. Mniejsze są też sumy wszystkich trzech liczb – najmniejszą (55) tworzy zbiór {6, 19, 30}.

Rekreacyjny charakter problemu dla $n=3$ i $k=2$ wynika z łatwości szukania 3-liczbowych zbiorów, Liczby a i b dobierane są dowolnie, byleby ich suma była kwadratem, a różnica nie była dwukrotnością liczby nieparzystej. Natomiast wartość c oblicza się, korzystając z dwóch łatwych do wyprowadzenia prostych wzorów. Wzory nieznacznie się różnią w zależności od różnicy $r=b-a$. Jeśli ta różnica jest nieparzysta, to wzór ma postać $c=[(r-1)/2]^2-a$. Na przykład, gdy $a=7$ i $b=42$, to $c=17^2-7=282$; w tercecie {7, 42, 282} sumy par liczb tworzą kwadraty 49, 289, 324. Dla r podzielnych przez 4 korzysta się ze wzoru $c=[(r-4)/4]^2-a$. Przykład: $a=2$, $b=34$, $c=7^2-2=47$; stąd zbiór {2, 34, 47} i kwadraty 36, 49, 81. Jeżeli natomiast r jest liczbą parzystą niepodzielną przez 4, to oczywiście wzoru nie ma, bo nie ma c, o czym była mowa wcześniej.

a	b	c	$r=b-a$	kwadraty	$a+b+c$
1	24	120	23	25, 121, 144	145
	48	528	47	49, 529, 576	577
	80	1520	79	81, 1521, 1600	1601
2	23	98	21	25, 100, 121	123
	34	47	32	36, 49, 81	83
	47	482	45	49, 484, 529	531
	62	194	60	64, 196, 256	258
	79	1442	77	81, 1444, 1521	1523
	98	527	96	100, 529, 625	627
3	22	78	19	25, 81, 100	103
	46	438	43	49, 441, 484	487
	78	118	75	81, 121, 196	199
		1366		81, 121, 1369	1372
4	21	60	17	25, 64, 81	85
	45	396	41	49, 400, 441	445
	60	165	56	64, 169, 225	229
	77	1292	73	81, 1296, 1369	1373
	96	480	92	100, 484, 576	580
5	20	44	15	25, 49, 64	69
	44	356	39	49, 361, 400	405
	76	1220	71	81, 1225, 1296	1301
6	19	30	13	25, 36, 49	55
	43	318	37	49, 324, 361	367
	58	138	52	64, 144, 196	202
	75	94	69	81, 100, 169	175
		1150		81, 1156, 1225	1231
	94	435	88	100, 441, 529	535
7	42	282	35	49, 289, 324	331
	74	1082	67	81, 1089, 1156	1163
8	41	248	33	49, 256, 289	297
	56	113	48	64, 121, 169	177
	73	1016	65	81, 1024, 1089	1097
	92	392	84	100, 400, 484	492
9	40	216	31	49, 225, 256	265
	72	952	63	81, 961, 1024	1033
10	39	186	29	49, 196, 225	235
	54	90	44	64, 100, 144	154
	71	890	61	81, 900, 961	971
	90	351	80	100, 361, 441	451

Ilustracje Marek Penszko

eprasa.pl 4916a4856f

a	*b*	*c*	*r*=*b*–*a*	kwadraty	*a*+*b*+*c*
1	24	120	23	25, 121, 144	145
	48	528	47	49, 529, 576	577
	80	1520	79	81, 1521, 1600	1601
2	23	98	21	25, 100, 121	123
	34	47	32	36, 49, 81	83
	47	482	45	49, 484, 529	531
	62	194	60	64, 196, 256	258
	79	1442	77	81, 1444, 1521	1523
	98	527	96	100, 529, 625	627
3	22	78	19	25, 81, 100	103
	46	438	43	49, 441, 484	487
	78	118	75	81, 121, 196	199
		1366		81, 121, 1369	1372
4	21	60	17	25, 64, 81	85
	45	396	41	49, 400, 441	445
	60	165	56	64, 169, 225	229
	77	1292	73	81, 1296, 1369	1373
	96	480	92	100, 484, 576	580
5	20	44	15	25, 49, 64	69
	44	356	39	49, 361, 400	405
	76	1220	71	81, 1225, 1296	1301
6	19	30	13	25, 36, 49	55
	43	318	37	49, 324, 361	367
	58	138	52	64, 144, 196	202
	75	94	69	81, 100, 169	175
		1150		81, 1156, 1225	1231
	94	435	88	100, 441, 529	535
7	42	282	35	49, 289, 324	331
	74	1082	67	81, 1089, 1156	1163
8	41	248	33	49, 256, 289	297
	56	113	48	64, 121, 169	177
	73	1016	65	81, 1024, 1089	1097
	92	392	84	100, 400, 484	492
9	40	216	31	49, 225, 256	265
	72	952	63	81, 961, 1024	1033
10	39	186	29	49, 196, 225	235
	54	90	44	64, 100, 144	154
	71	890	61	81, 900, 961	971
	90	351	80	100, 361, 441	451

Tabela 1

W tabeli 1 uwzględnione są wszystkie zbiory dla n=3 i k=2 w zakresie do $a \leq 10$ i $b<100$. Jak widać, dla duetów {3, 78} oraz {6, 75) możliwe są po dwie wartości c (118 lub 1366 oraz 94 lub 1150), czyli po dwa tercety, a to wyklucza jednoznaczność podanego wyżej wzoru na c dla nieparzystej r. Ten wzór dla pierwszego duetu daje tylko jeden tercet {3, 78, 1366} i podobnie jeden dla drugiego – {6, 75, 1150}. Aby pojawiły się inne, mniejsze liczby c, powyższy wzór należy nieco zmienić, a ściślej – uogólnić. Polega to na uzupełnieniu go liczbą q, która jest jednym z nieparzystych dzielników różnicy r. Wzór przybierze wówczas postać:

$c=[(r-q^2)/2q]^2-a$.

Dla duetu {3, 78} r=75 więc wszystkie dzielniki tej różnicy są nieparzyste: 1, 3, 5, 15, 25, 75. Wzór bez q praktycznie obsługiwał q=1, ale jeśli wykorzystamy q=3, otrzymamy drugą wartość c=118. Podstawiając do wzoru większe dzielniki, uzyskamy kolejne liczby c, ale będą one mniejsze od b, a więc sprzeczne z warunkiem $a<b<c$. Podobnie w przypadku duetu (6, 75) z r=69, którego dzielnikami są 1, 3, 23, 69, podstawienie do nowego wzoru q=3 daje drugie c=94. Dla żadnej innej różnicy r z tabeli 1 jej nieparzysty dzielnik $q>1$ nie jest dostatecznie mały, aby pojawiło się drugie całkowite $c>b$. Poza tabelą 1 są także duety (a, b), które dają więcej niż dwie liczby c. Duetem z najmniejszym r=165, który daje trzy liczby c, jest {2,167}; wartości c wynoszą wówczas 194, 674 lub 6722. Jeśli zaś duet ma oferować cztery liczby c, to jego r nie może być mniejsze niż 432, jak w duecie (26, 458).

liczba liczb *c*	min *r*	min {*a*, *b*}
1	13	{6, 19}
2	69	{6, 75}
3	165	{2, 167}
4	432	{26, 458}
5	720	{32, 752}
6	960	{32, 992}
7	1680	{42, 1722}
8	2016	{50, 2066}
9	2880	{18, 2898}
10	4320	{18, 4338}

Tabela 2

W tabeli 2 podane są najmniejsze wartości r i zawierające je najmniejsze duety {a, b}, generujące liczby c od 1 do 10; najmniejszy dla danego r duet oznacza minimalną sumę a+b. Do znajdowania wszystkich c dla nieparzystych r służy podany wcześniej wzór z q, który stanowi modyfikację jeszcze wcześniejszego wzoru. Szukanie kompletu c dla r podzielnych przez 4, których w tabeli jest większość, też wymaga zmiany wcześniejszego wzoru $c=[(r-4)/4]^2-a$, który daje tylko największą wartość c. Tym razem jednak sprawa jest bardziej złożona. Każde c można znaleźć, stosując wzór $c=[(v-u)/2]^2-a$, gdzie $u \times v=r$, ale uwzględniane są tylko parzyste u i v. Na przykład dla r=432 z duetu (26, 458) parami (u, v) są: (2, 216), (4, 108), (6, 72), (8, 54), (12, 36). Podstawiając do wzoru kolejne pary, otrzymujemy kolejne wartości c: 11 423, 2678, 1063, 503, 118; ostatnią odrzucamy, bo jest mniejsza od b. Gdyby wypisać wszystkie 55 tercetów z liczbami c według tabeli 2, obejmowałyby one zakres od {6, 19, 30} do {18, 4338, 1 164 223}. Ten drugi zbiór daje kwadraty: $4356=66^2$, $1164241=1079^2$ i $1\,168\,561=1081^2$.

Warto jeszcze wspomnieć o tercetach ekstremalnych, którym przewodzi jako najmniejszy tercet {270 400, 331 776, 618 849}. „Najmniejszy" oznacza minimalną sumę trzech liczb, a równocześnie minimalną wartość największej z nich. Natomiast kluczowa ekstremalność polega na obecności sześciu kwadratów. Poza trzema sumami par ($602\,176=776^2$, $889\,249=943^2$, $950\,625=975^2$) kwadratami są także: suma trzech liczb ($122\,1025=1105^2$) oraz liczby a ($270\,400=520^2$) i b ($331\,776=576^2$).

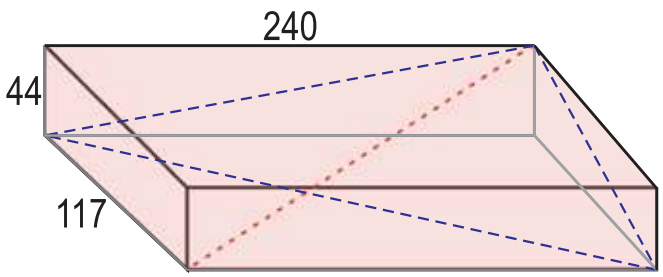
Czy kwadratów może być siedem, a więc czy kwadratami mogą być nie tylko dwie, ale wszystkie trzy liczby tworzące tercet? To jeden z nierozstrzygniętych problemów matematycznych, którego

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".

eprasa.pl 4916a4856f

geometrycznym „wcieleniem” jest poszukiwanie tzw. doskonałej cegiełki Eulera. Cegiełka jest prostopadłościanem (dotąd tylko hipotetycznym) o wyrażających się liczbami całkowitymi wymiarach A×B×C oraz o całkowitych długościach przekątnych ścian i przekątnej przestrzennej. Inaczej mówiąc, trzy kwadraty (A^2, B^2, C^2) powinny tworzyć trzy trójki pitagorejskie i jedną czwórkę:

$A^2 + B^2 = D^2$
$A^2 + C^2 = E^2$
$B^2 + C^2 = F^2$
$A^2 + B^2 + C^2 = G^2$



Rys. 1

Najmniejsza (niedoskonała) cegiełka Eulera (*rys. 1*) ma wymiary 44×117×240. Niebieskie przekątne jej ścian (D, E, F) wyrażają się liczbami całkowitymi (125, 244, 267), ale czerwona przekątna bryły nie (≈382,7). Z zaawansowanych poszukiwań komputerowych wynika, że jeśli tercet {A, B, C} generuje siedem kwadratów, to najmniejsza z tworzących go liczb jest większa niż 10^{18}.

* * *

Już dla n=4 i k=2, czyli przy szukaniu czterech liczb całkowitych dodatnich, z których każde dwie sumują się do kwadratu – problem staje się rekreacyjny inaczej, czyli algebraicznie trudny. Pozornie zadanie wydaje się proste, polega bowiem na uzupełnieniu tercetu $\{a, b, c_1\}$ do kwartetu odpowiednią liczbą c_2. W dwóch wierszach tabeli 1 są wartości (a, b, c_1, c_2), które tworzą dwa takie kwartety, ale z nieodpowiednim c_2 – {3, 78, 118, 1366} oraz {6, 75, 94, 1150}. W każdym prawie wszystkie pary sumują się do kwadratu – oprócz c_1+c_2. W pierwszym kwartecie liczby c dają sumę $118+1366=1484=39^2-37$, w drugim $94+1150=1244=35^2+19$. Sedno problemu polega więc na szukaniu tercetu z odpowiednią parą liczb c.

Teoretycznie można by skorzystać z opisanej wyżej metody tworzenia tercetów, zaczynając od duetów, które generują przynajmniej kilka wartości c, a w drugim etapie szukać wśród nich par liczb c sumujących się do kwadratu. Na przykład, podany wyżej duet (26, 458) generuje cztery liczby c: 11423, 2678, 1063, 503, jednak suma żadnych dwu z nich nie jest kwadratem. Gdyby zaangażować do pracy komputer, który szukałby w ten sposób odpowiedniej pary liczb c metodą siłową (*brute force*), w większości przypadków doszłoby do kombinatorycznej eksplozji, czyli gwałtownie rosnącej liczby kombinacji, uniemożliwiającej rozwiązanie problemu w rozsądnym czasie. Efektywny jest natomiast odpowiedni algorytm z wykorzystaniem tzw. krzywych eliptycznych. Dzięki niemu komputerowi udaje się w czasie zaledwie kilku sekund znaleźć kwartet $\{a, b, c_1, c_2\}$ – nawet zaczynający się od a=1, mimo że ta minimalna wartość a wymusza gigantyczne kolejne liczby {1, 2 449 224, 280 194 120, 30 604 353 480}. Teraz suma dwu największych liczb, czyli c_1+c_2, równa się $175\,740^2$. Oczywiście każda z pięciu pozostałych sum par liczb to także kwadrat.

Gdyby szukać metodą *brute force*, czyli praktycznie „na piechotę”, najmniejszego kwartetu zaczynającego się od a=2, należałoby korzystać z podanych wyżej wzorów na liczbę c dla kolejnych wartości b>2 oprócz wielokrotności 4 (dlaczego?), a następnie szukać wśród liczb c par, których suma byłaby kwadratem. Trafienie na pierwszy kwartet wymagałoby sprawdzenia 124 liczb b. Dopiero dla b=167 po zastosowaniu wzoru dla nieparzystego r pojawiłyby się cztery liczby c – 2, 194, 674 i 6722. Suma dwu największych jest kwadratem ($7396=86^2$), który daje kwartet {2, 167, 674, 6722}. Natomiast za najmniejszy kwartet uchodzi ten, w którym najmniejsza jest największa liczba, czyli {208, 224, 352, 737}.

* * *

Leonhard Euler jako pierwszy w połowie XVIII wieku podjął się benedyktyńskiej czynności szukania kwartetów. Poradził sobie w sposób potwierdzający jego nieprzeciętny talent. Efektem był m.in. kwartet zwany dziś ze względu na duże liczby nieco żartobliwie „straszliwym”.

Euler zaczął od wzorów dla tercetu $\{a, b, c\}$:
$a+b=x^2$, $a+c=y^2$, $b+c=z^2$,
które przekształcił do postaci:
$a=(-z^2+y^2+x^2)/2$,
$b=(z^2-y^2+x^2)/2$,
$c=(z^2+y^2-x^2)/2$.

Następnie wprowadził czwartą liczbę d i zapisał $b+d=v$, co dało:
$d=v^2-b=(2v^2-z^2+y^2-x^2)/2$
Z kolei sumy $a+d$ i $c+d$ powinny spełniać warunki:
$a+d=-z^2+y^2+v^2=u^2$
$c+d=y^2-x^2+v^2=w^2$

Potem Euler zastosował genialne uproszczenie (choć równocześnie ograniczenie zakresu poszukiwań), zakładając, że: $a+b=c+d$ – a to, po skorzystaniu z dwu poprzednich wzorów oraz z $a+b=x^2$, prowadzi do równań: $w=x$ oraz $z^2+u^2=y^2+v^2=2x^2$. Teraz wystarczy znaleźć liczbę, która może być sumą dwu kwadratów na dwa sposoby. Zadanie jest wbrew pozorom proste, jeśli się wie (Euler wiedział), że:

– każdą liczbę pierwszą postaci $4k+1$ można przedstawić jako sumę dwóch kwadratów dokładnie w jeden sposób;

– iloczyn dwóch liczb pierwszych $4k+1$ jest sumą dwóch kwadratów dokładnie na dwa sposoby (to tzw. tożsamość Brahmagupty).

Dalej Euler korzystał z par takich liczb pierwszych (5, 13, 17, 29, 37, 41, ...) oraz ich iloczynów i wspomnianej tożsamości, a potem „przetłumaczył” zadanie na... geometryczne. Ściślej: skorzystał z trójkątów tworzących ściany tetraedru. Długości krawędzi tetraedru prowadziły do rozwiązania, gdy wszystkie cztery trójkąty tworzące ściany były ostrokątne (warunkiem ostrokątności jest, aby suma kwadratów długości każdych dwu boków trójkąta była większa od kwadratu długości trzeciego boku). Najmniejszymi liczbami pierwszymi 4+1, dla których ten warunek był spełniony, okazały się 5 i 29. Efektem finalnym była „straszliwa” czwórka: {18 530, 38 114, 45 986 i 65 570}.

eprasa.pl 4916a4856f

Poza nią Euler znalazł jeszcze kilka innych kwartetów – taką samą metodą, ale bez upraszczania $a+b=c+d$. Najmniejszą największą liczbę zawierał kwartet {18, 882, 2482, 4743}.

* * *

Kwintet z kwadratami, czyli zbiór pięciu liczb dodatnich, z których suma każdych dwóch (takich sum jest 10) byłaby kwadratem, czekał na odkrycie do roku 1971. Ujawniony z wykorzystaniem programu komputerowego okaz wygląda tak: {7442, 28 658, 148 583, 177 458, 763 442}. Znalazcą jest francuski teoretyk liczb Jean-Louis Nicolas. Później ujawniono kilkanaście innych kwintetów i udowodniono, że jest ich nieskończenie wiele. Znany jest także dowód nieskończonej liczby sekstetów liczb dodatnich z kwadratami (każdy generuje 15 kwadratowych sum), tylko że dotąd żadnego takiego okazu nie udało się znaleźć. Pierwszy sekstet czeka więc na swojego odkrywcę.

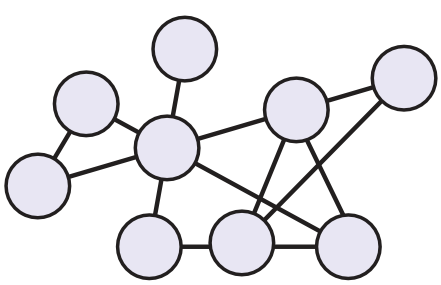
ZADANIA

1. Duety $\{a, b\}$ – {3, 78} i {6, 75} dają po dwie wartości c, a więc po dwa tercety $\{a, b, c\}$: {3, 78, 118} i {3, 78, 1366} oraz {6, 75, 94} i {6, 75, 1150}. Które najmniejsze b daje dwa tercety z a=11?

2. Wśród ośmiu liczb „obsługujących” każdy z 39 wierszy tabeli 1 są przynajmniej trzy kwadraty – oczywiście w piątej kolumnie. Przynajmniej, bo w dziesięciu wierszach kwadraty są cztery – chodzi o trzy wiersze z a=1, pięć z a=4 i dwa z a=9. Gdybyśmy kontynuowali tabelę, nie ograniczając zakresów a i b, to zaczęłyby się w niej pojawiać wiersze zawierające więcej niż cztery kwadraty. Pierwszym z pięcioma byłby wiersz z a=**16** i b=65, bo wtedy r=**49**, zaś c=560, a kwadratami tworzącymi tercet są **81**, **576**, **625**. Dla których innych wartości a i b w wierszu tabeli znalazłoby się więcej niż cztery kwadraty? Wystarczy podać jedną parę (a, b).

3. Z różnych cyfr od 1 do 9 należy utworzyć liczbę 9-cyfrową, w której będzie można wyróżnić najwięcej grup kolejnych cyfr, których suma będzie kwadratem. Za poprawne będą uznawane także liczby z liczbą takich grup mniejszą o 1 od największej w nadesłanych rozwiązaniach.

Przykład: w najmniejszej liczbie 123456789 k=4, bo kwadratowe sumy dają tylko 4 grupy kolejnych cyfr (na 36 możliwych): 45 (3^2), 234 (3^2), 34 567 (5^2), 12 345 678 (6^2).



Rys. 2

4. Do dziewięciu kółek na rys. 2 należy wpisać dziewięć różnych cyfr tak, aby każda suma cyfr w dwóch, trzech lub czterech kółkach na prostym odcinku była kwadratem; wśród tych kwadratów powinny być cztery różne. W rozwiązaniu wystarczy podać cyfrę, która nie trafi do kółek.



*Rozwiązania prosimy nadsyłać do 30 listopada 2026 roku pocztą elektroniczną (*redakcja@swiatnauki.pl*), wpisując w temacie e-maila hasło* ***UG 11/26****. Spośród autorów poprawnych rozwiązań przynajmniej dwóch zadań wyłonimy pięciu zwycięzców i nagrodzimy ich książką Jo Hedwig Teeuwisse* Fejkowa historia świata. 101 rzeczy, które jednak się nie zdarzyły *ufundowaną przez Insignis Media. 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 WRZEŚNIOWEGO

1. Przykładowe „witaminowe” alfametyki z jednym rozwiązaniem: złożony z 4 liter, w tym 3 różnych – A+B=BC (9+1=10), złożony z 5 liter, w tym 2 różnych – A+BA=AB (9+89=98).

2. Nadesłano 18 alfametyków [4, 5, 6] z jednym rozwiązaniem. Na wyróżnienie zasługuje ze względu na tematyczną zbieżność składników: KURS+JAZDA=WYRAZY (8453+97 267=105 720) autorstwa pana Grzegorza Woźniaka.

3. Alfametyk DZIECI+ZAPAŁKI=KŁOPOTY ma w systemie dwunastkowym 10 rozwiązań (wystarczyło podać jedno). Dwa z najmniejszymi i największymi KŁOPOTAMI: 724Y64+25X5134=310X098 i X86236+85Y5496=947Y710 (X=10, Y=11).

Za poprawne rozwiązanie przynajmniej dwóch zadań książkę Vaclava Smila *Jak nakarmić świat* ufundowaną przez Wydawnictwo Insignis, otrzymują: Tomasz Białorucki, Daniel Klobuszewski i Aleksander Urban – wszyscy z Warszawy, Zbigniew Woźniak z Gdańska, Zbigniew Zarzycki z Braszowic.

Rozwiązanie zagadki matematycznej ze strony 18

Jedno z możliwych rozwiązań: +a+b+c–a–b–c. Ponieważ sznurek otacza każdy gwóźdź tyle samo razy prawo- i lewoskrętnie, więc usunięcie dowolnych dwóch gwoździ sprawi, że wszystkie owinięcia wokół trzeciego gwoździa się zniosą i obraz spadnie, natomiast nie spadnie po usunięciu jednego gwoździa. Podane rozwiązanie jest jednym z najkrótszych, bo każdy gwóźdź musi zostać otoczony co najmniej raz (bez tego jego usunięcie nie „zadziała”), a liczby owinięć lewo- i prawoskrętnych muszą być równe. I jeszcze przykład jednego z wielu innych rozwiązań: 2c–3a–c+a+b+a–2b–c+b+a

Rozwiązanie „twardego orzecha”: +c+a+b–a–b–c+b+a–b–a.

eprasa.pl 4916a4856f

Zmarszczki czaso-przestrzeni

Detektory fal grawitacyjnych zarejestrowały ostatnio ślady rekordowych kataklizmów

Tekst CLARA MOSKOWITZ
Grafika LUCY READING-IKKANDA

OD CZASU PIERWSZEJ DETEKCJI fal grawitacyjnych w 2015 roku, fizycy zarejestrowali niemal 400 takich zaburzeń struktury czasoprzestrzeni. W opublikowanym w tym roku nowym katalogu odkryć znaleźć można fale powstałe w wyniku zderzenia najcięższej dotychczas pary czarnych dziur, a także sygnały pochodzące od czarnych dziur, które przed zderzeniem wirowały z prędkością wynoszącą około 40% prędkości światła.

Dane te pochodzą z trzech detektorów fal grawitacyjnych: amerykańskiego Laserowego Interferometrycznego Obserwatorium Fal Grawitacyjnych (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory; LIGO), włoskiego interferometru Virgo oraz japońskiego Detektora Fal Grawitacyjnych Kamioka (Kamioka Gravitational Wave Detector; KAGRA).

Albert Einstein przewidział istnienie fal grawitacyjnych w 1916 roku, krótko po przedstawieniu swojej ogólnej teorii względności, która opisuje, w jaki sposób grawitacja kształtuje przestrzeń wokół masy. Zderzenia masywnych obiektów, takich jak czarne dziury czy gwiazdy neutronowe, powodują tak silne zakrzywienie czasoprzestrzeni, że skutki tego zjawiska są dostrzegalne z odległości milionów, a niekiedy nawet miliardów lat świetlnych.

Naukowcy wykorzystują fale grawitacyjne do weryfikacji einsteinowskiej teorii grawitacji, mając nadzieję na wykrycie w niej nieścisłości, które mogłyby wskazywać drogę do jeszcze głębszej teorii. ■

POWSTAWANIE FAL GRAWITACYJNYCH

Fale grawitacyjne to zaburzenia struktury czasoprzestrzeni wywołane ruchem obiektów o dużej masie. Mogą ujawniać informacje o ekstremalnych zjawiskach kosmicznych, które wytwarzają znikome ilości światła lub nie wytwarzają go wcale.

Dla przykładu, układ podwójny złożony z dwóch krążących wokół siebie czarnych dziur może emitować fale grawitacyjne, skutkiem czego dochodzi do utraty energii, zacieśniania się orbit i ostatecznie do połączenia obu obiektów. Nowo powstała, masywniejsza czarna dziura osiąga następnie stan stabilny, a zaburzenia czasoprzestrzeni wygasają.

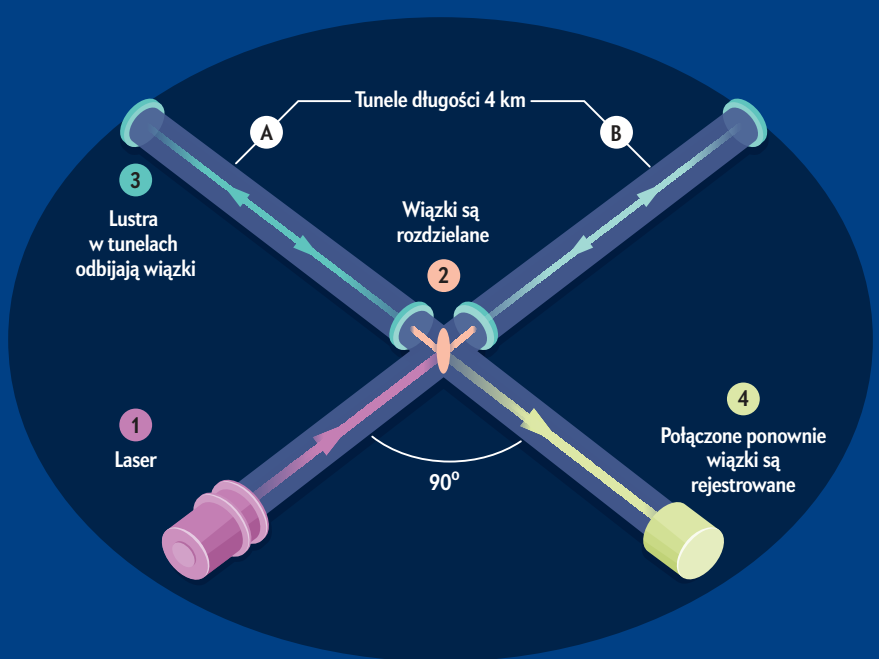


Fale grawitacyjne powstałe w wyniku takich zjawisk rozchodzą się na zewnątrz i mogą zostać wykryte przez zaawansowaną aparaturę na Ziemi. Mają charakterystyczne częstotliwości i amplitudy, zależne od źródeł, które je wyemitowały.



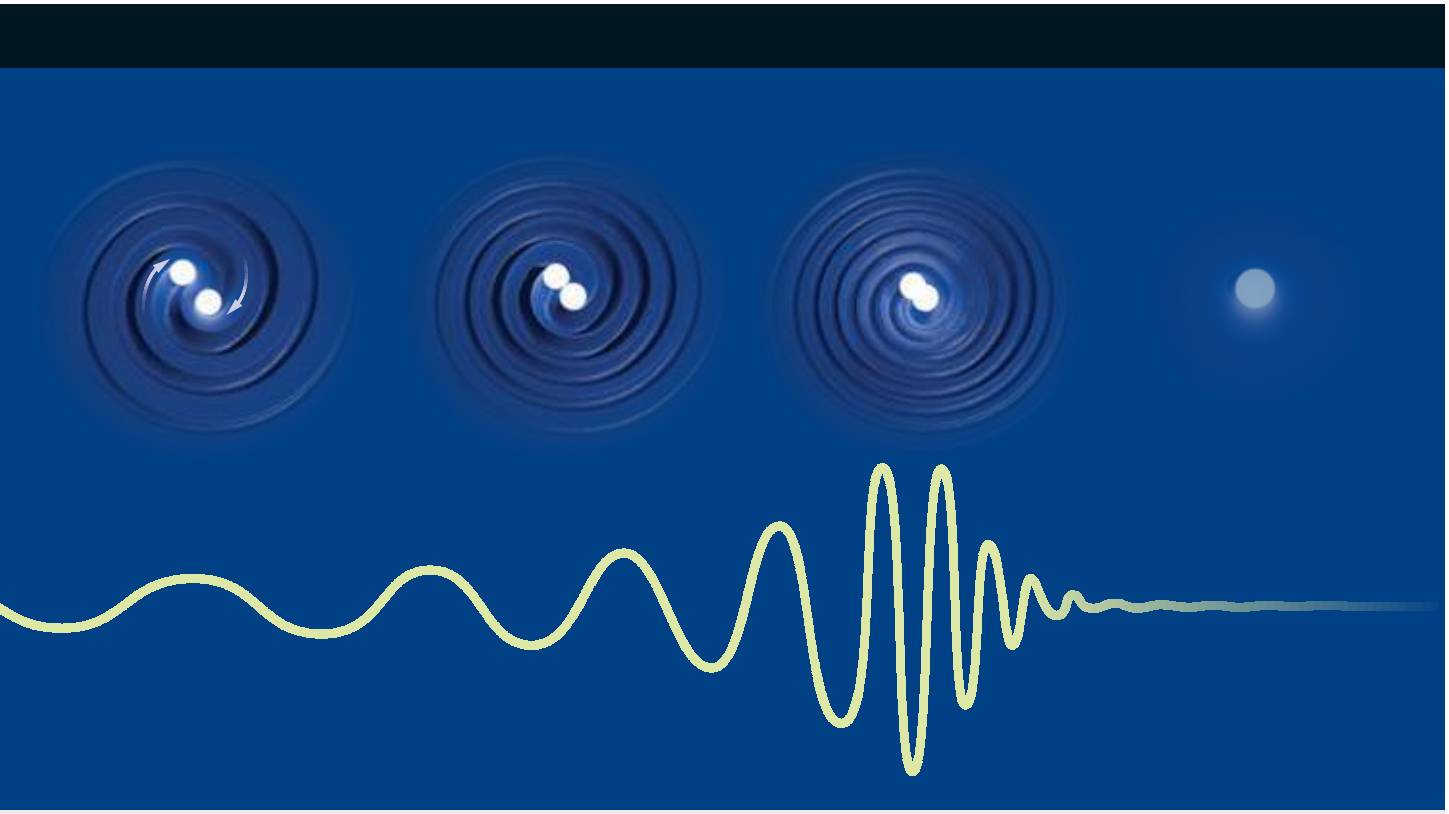
JAK WYKRYĆ FALĘ GRAWITACYJNĄ

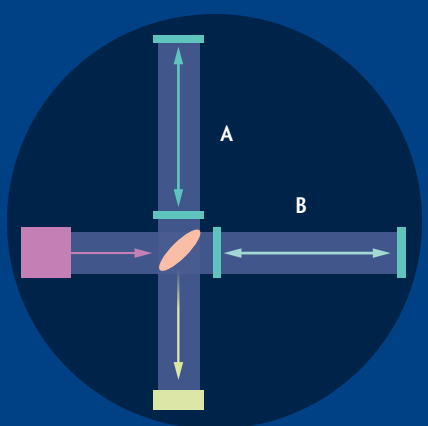
Gdy fale grawitacyjne przepływają przez Ziemię, nieznacznie rozciągają i zakrzywiają przestrzeń, powodując drobne zniekształcenia, które można wykryć eksperymentalnie.

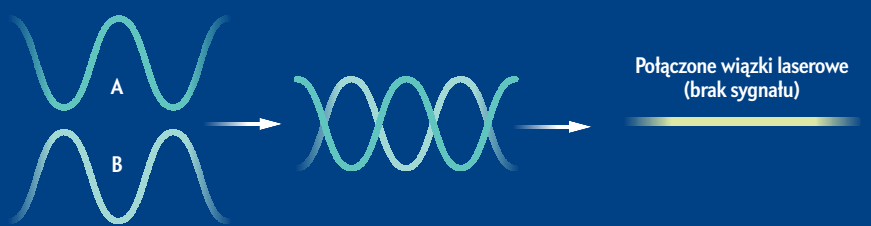


GIGANTYCZNA MIARKA
Obserwatorium LIGO po raz pierwszy zarejestrowało fale grawitacyjne w 2015 roku. Zasada działania LIGO polega na rozdzieleniu wiązki laserowej na dwie części. Każda z nich biegnie własnym, długim tunelem. Po wielokrotnym odbiciu od luster umieszczonych na końcach tuneli, wiązki są ponownie łączone w detektorze.

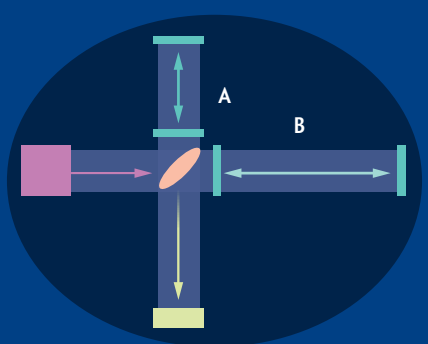
eprasa.pl 4916a4856f



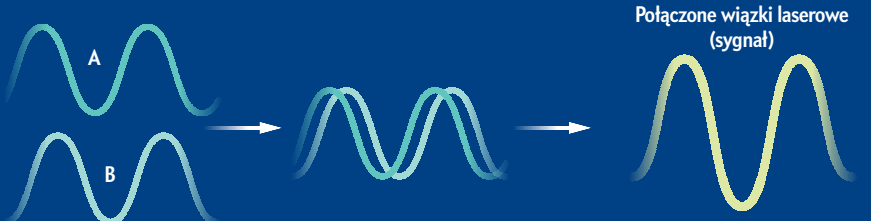




ZWYKŁA SYTUACJA
W normalnych warunkach, gdy nie ma wykrywalnych fal grawitacyjnych, wiązki laserowe pokonują identyczne drogi i w momencie ponownego połączenia w detektorze wzajemnie się znoszą.



Wygięta czasoprzestrzeń



WPŁYW FAL GRAWITACYJNYCH
Fale grawitacyjne odkształcają obszar czasoprzestrzeni, przez który przebiegają tunele. W rezultacie wiązki laserowe przed ponownym połączeniem w detektorze pokonują nieco inne odległości, tworząc charakterystyczne wzory interferencyjne, które sygnalizują wykrycie fali.

eprasa.pl 4916a4856f

50, 100 i 150 lat temu



1976 DRZEWA W MIASTACH

„Jak drzewa mogą przetrwać w miejskim środowisku? Wytwory ludzkiej działalności, które nazywamy miastami, pojawiły się po raz pierwszy niespełna 10 tys. lat temu. Przodkowie dzisiejszych drzew są około 20 tys. razy starsi od najstarszych miast. Drzewa przez ponad 100 mln lat podlegały presji selekcyjnej sprzyjającej przystosowaniu do środowisk naturalnych, dlatego graniczy z biologicznym cudem, że którekolwiek z nich jest w stanie zasiedlić tak niegościnne środowisko, jak miejska ulica.

Fakt, że drzewom miejskim udaje się przetrwać, z pewnością nie jest wynikiem szybkich przystosowań ewolucyjnych. Ani 200 lat, które wystarczyły do powstania przemysłowych metropolii, ani 10 tys. lat współistnienia drzew z miastami w jakiejkolwiek postaci, nie jest okresem wystarczająco długim, by presja selekcyjna mogła wyselekcjonować geny potrzebne do powstania drzewa odpornego na warunki miejskie. To ingerencja człowieka, a nie natury, pozwoliła drzewom pozostać w mieście”.

1926 ŻYCIE NA MARSIE – AKTUALIZACJA

„W ciągu ostatnich kilku lat zastosowano do obserwacji Marsa nowe, potężne metody. Seria ważnych badań dostarcza mocnych argumentów na rzecz teorii dotyczącej warunków panujących na Marsie, którą sformułowali obserwatorzy prowadzący obserwacje wizualne. Pomiary temperatury pozwalają praktycznie wykluczyć wątpliwości, że czapy polarne są rzeczywiście zbudowane z zamarzniętej wody. Potwierdzają to obserwacje spektroskopowe, a obecność tlenu sprawia, że istnienie roślinności na tej planecie wydaje się bardziej niż mniej prawdopodobne.

Jeśli na planecie istnieje życie roślinne, co wydaje się niewykluczone, może istnieć również życie zwierzęce. W przeciwnym razie byłoby to wykluczone. Wydaje się jednak, że wciąż daleko nam do uzyskania jakichkolwiek niepodważalnych dowodów na jego istnienie”.

Stan na jesień 2026 roku: nie ma żadnych dowodów na istnienie na Marsie fauny lub flory.

KLASYFIKACJA STAWONOGÓW

„Badania przyrody zyskałyby, gdyby termin »stawonóg« był równie powszechnie używany, znany i rozumiany, jak słowa »owad« czy »pająk«, »gad« czy »ptak«. Grupa stawonogów obejmuje zwierzęta, które nie mają kręgosłupa ani, ściśle rzecz biorąc, żadnych kości; ich ciała są zamknięte w zewnętrznym, segmentowanym oskórku; ponadto mają one nogi, a niekiedy również skrzydła. Do tego wielkiego działu należą m. in. kraby, homary i krewetki, stanowiące jedną klasę; pająki, roztocze i skorpiony – drugą; krocionogi i pareczniki, tworzące najmniej liczną grupę; oraz owady, stanowiące grupę najliczniejszą.”

1876 SUBSTYTUT MASŁA

„Od pewnego czasu panuje przekonanie, że jeśli produkcja sztucznego masła jeszcze całkowicie nie zanikła, to przynajmniej żaden produkt tego rodzaju nie jest już obecnie wytwarzany na skalę przemysłową ani nie ma znaczenia na rynku. Fakty przeczą jednak takiemu wnioskowi, ponieważ całkiem niedawno naliczono w tym mieście nie mniej niż 50 fabryk sztucznego masła, a duże jego ilości sprzedaje się klientom jako prawdziwe.

Działalność tę cechuje naganna nieuczciwość. Jeśli jednak ludzie nie potrafią odróżnić produktu sztucznego od naturalnego, a ten pierwszy jest zdrowszy, trudno byłoby dowieść, że wyrządza to jakąkolwiek szkodę poza szkodą dla moralności całej społeczności.”



1876, rodzina pluskwiaków drzewnych: „Ilustracja przedstawia *Pentatoma grisea* [obecnie noszący nazwę *Elasmucha grisea*], gatunek pluskwiaka drzewnego. Owady te można spotkać na gałęziach drzew. Młode podążają za rodzicem niczym kurczęta za kwoką.”

MIGOCZĄCE GWIAZDY

„Migotanie gwiazd i jego ścisły związek ze zmianami pogody od dawna budzą zainteresowanie wielu naukowców, a ostatnio badacze zajmujący się spektroskopią odkryli związek między migotaniem a czynnikami meteorologicznymi. Najważniejsze wyniki ich badań są następujące: intensywność migotania niezmiennie wzrasta wraz z nadejściem deszczowej pogody oraz wzrostem prężności pary wodnej w powietrzu, a także ze wzrostem ciśnienia i spadkiem temperatury.

Ciągłe badanie zjawiska migotania byłoby zatem niezwykle pomocne nie tylko w przewidywaniu pogody, lecz także w ogólnych badaniach meteorologicznych.”

„Scientific American”, tom 35, nr 19: 4 listopada 1876

eprasa.pl 4916a4856f







ŚWIAT NAUKI

POLSKA EDYCJA

SCIENTIFIC AMERICAN

W NUMERZE GRUDNIOWYM

Świat w końcu głośno przyznaje:
jako społeczeństwo jesteśmy uzależnieni.
Przełomowe wyroki i miliardowe kary nakładane na cyfrowych gigantów udowadniają, że media społecznościowe zaprojektowano tak, by więziły naszą uwagę. Kolejne kraje wprowadzają radykalne zakazy dla najmłodszych, próbując powstrzymać epidemię cyfrowego nałogu.
Jak w świecie nieskończonego przewijania odzyskać kontrolę nad własnym życiem?
O tym w kolejnym numerze,

a ponadto:

Największe kosmiczne wybuchy
Jak nasz mózg radzi sobie z chaosem
Wiele wskazuje, że żyjemy w wieloświecie
Dlaczego dopadają na choroby i starość?

Prócz tego:

Żeńskie klony mysich samców
Jak psylocybina wpływa na świadomość?
Wzbogacanie uranu krok po kroku
Laureat Nagrody Nobla ostrzega przed rewolucją AI
Prywatny biznes a atomowy arsenał USA
Mądrość korzeni
Gubienie oczek a matematyka

**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 grudniowy dostępny od 25 listopada

eprasa.pl 4916a4856f

Politechnika Wrocławska

NOC POLITECHNIKI

20.11.2026

WYKŁADY

LABORATORIA

WARSZTATY

WSTĘP WOLNY



Wiedza nie śpi

Poznaj odkrycia i technologie, które zmieniają świat. Wykłady, pokazy, warsztaty i spotkania z naukowcami. Przyjdź i zobacz, co kryje się za drzwiami naszych laboratoriów!

WIĘCEJ NA: PWR.EDU.PL/NOC-POLITECHNIKI

eprasa.pl 4916a4856f