



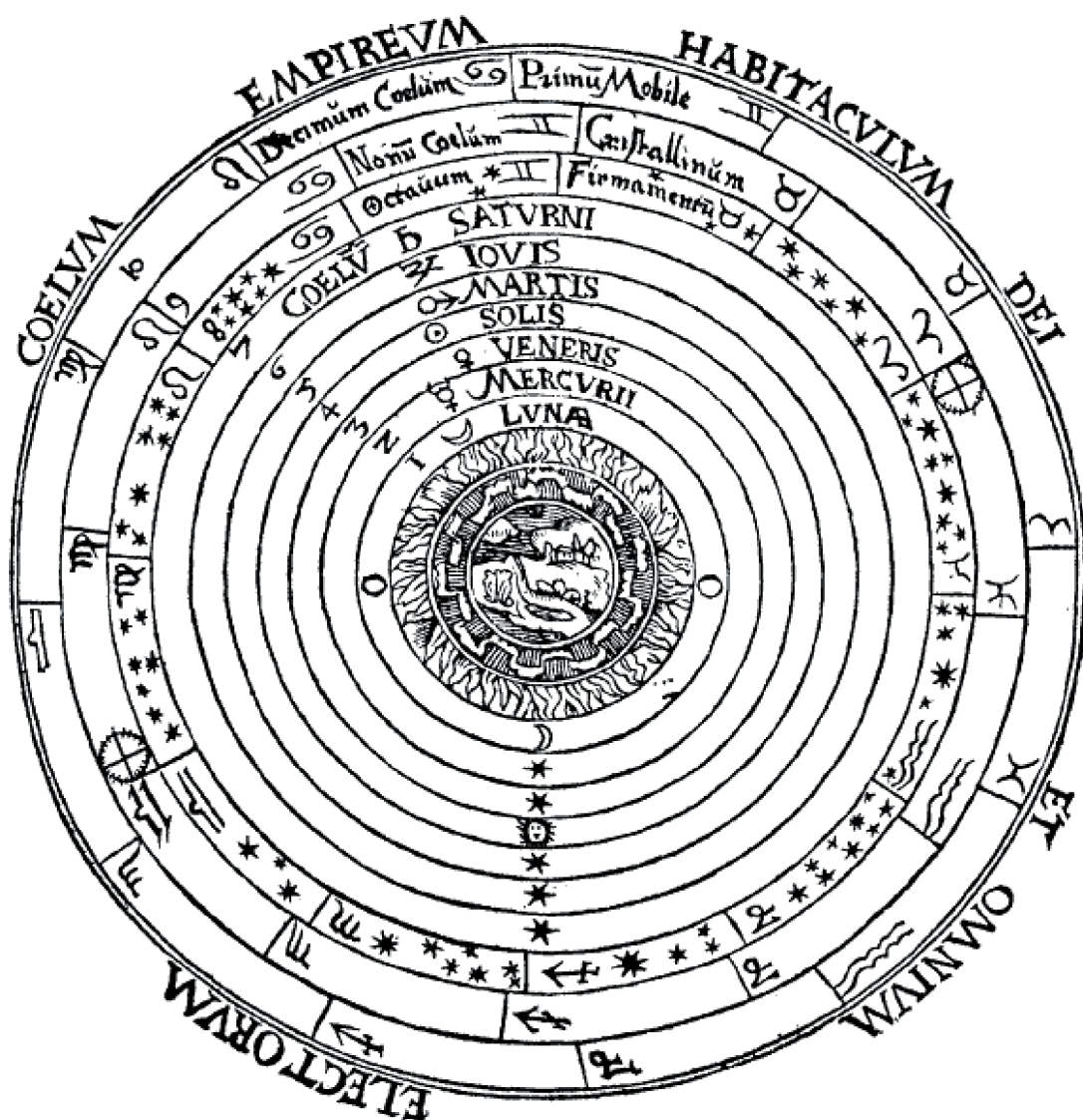
prof. dr hab.  
Andrzej Kajetan  
Wróblewski

Jest fizykiem i historykiem fizyki, profesorem na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, obecnie emerytowanym. Jest członkiem rzeczywistym Polskiej Akademii Nauk, członkiem czynnym Polskiej Akademii Umiejętności i członkiem honorowym Towarzystwa Naukowego Warszawskiego. W latach 1989–1993 był rektorem UW. Autor licznych publikacji z fizyki cząstek elementarnych i wielkich energii. Opublikował m.in. książki *Historia fizyki* (2006) i *Historia fizyki w Polsce* (2020).  
akw@fuw.edu.pl

# GRANICE NAUKI

Czyli o tym, czy istnieją ograniczenia w naukach z dziedzin, które obejmuje termin *science*, gdzie znajduje się granica naszego wszechświata i co jest poza nią oraz czym będzie kres nauki.

Schema huius præmissæ diuisionis Sphærarum .



Schemat podziału sfer niebieskich, rysunek pochodzi z publikacji Petrusa Apianusa i Gemmana Frisiusa *Petri Apiani cosmographia, per Gemman Phrysius, apud Louanienses medicum ac mathematicum insignem, restituta: additis de adem re ipsius Gemmae Phry. libellis, ut sequens pagina docet*, Antwerpia 1539, źródło: Edward Grant, *Celestial Orbs in the Latin Middle Ages*, „*Isis*”, t. 78, nr 2 (1987), s. 152–173, za: Wikimedia Commons

O pisać granice nauki jest trudno choćby ze względu na to, że w języku polskim termin „nauka” jest bardzo pojemny i ma kilka znaczeń. Ograniczę się do jego głównego znaczenia, którym według słownika jest to, że „nauka to studia nad rzeczami i zjawiskami oraz wiedza, która z tych studiów wynika”.

Nawet przy tym ograniczeniu polski termin „nauka” pozostaje bardzo pojemny. Obejmuje bardzo wiele różnorodnych dziedzin, nawet teologię czy nauki o sporcie.

Nie mam ani przygotowania, ani kompetencji, by dyskutować o granicach badań we wszystkich dziedzinach, które w Polsce zalicza się do nauki. Mogę się z grubsza rozsądnie wypowiedzieć tylko o tych z nich, które w językach angielskim czy francuskim są objęte terminem „science”.

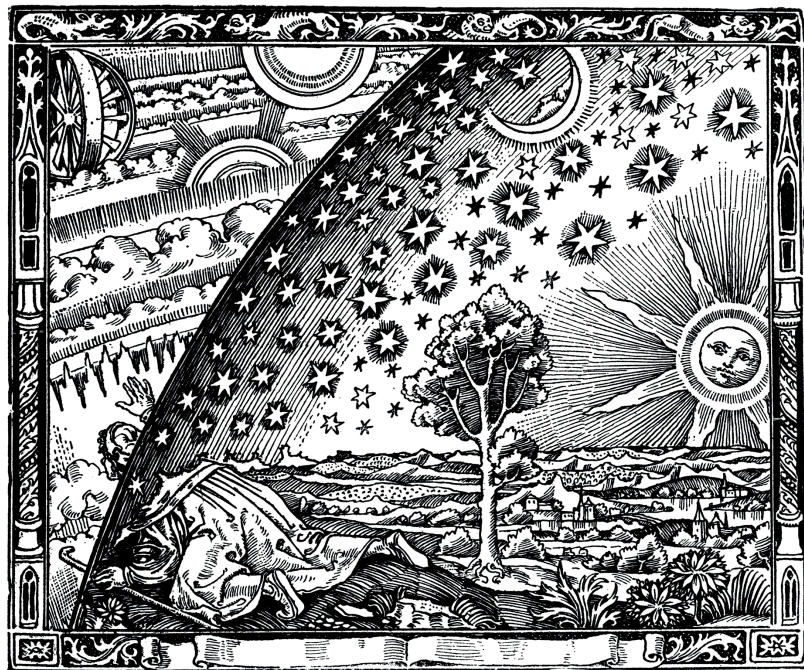
## Przedmiot badań i jego granica

Granica badań w jakiejś dziedzinie może wynikać z istnienia granic przedmiotu badań. Jako przykład podam geografię opisową, która moim zdaniem jest nauką bliską zakończenia. Oczywiście pozostaje jeszcze wiele do zbadania na naszej planecie. Wprawdzie znamy obecnie z ogromną dokładnością niemal całą powierzchnię lądów, ale pozostają mało zbadane oceany. Mogę sobie jednak wyobrazić, że w przyszłości, może już niezbyt odległej, cała geografia opisowa przekształci się w zbiór informacji zebranych na twardej dyskach lub w opasłych tomach.

Inny przykład wezmę z chemii. Przez wiele stuleci alchemicy przekonywali, że wszystkie otaczające nas rzeczy są złożone z czterech tylko podstawowych elementów: wody, ziemi, powietrza i ognia. Byli jednak przekonani, że liczba możliwych kombinacji tych czterech składników jest nieskończenie wielka. Nawet metale uważano wtedy za mieszaniny tych elementów.

Rozwój chemii pokazał, że alchemicy byli w błędzie. Dzisiaj jesteśmy przekonani, że podstawowych elementów, to jest pierwiastków chemicznych, istnieje więcej niż cztery, ale ich liczba jest skończona. Pierwiastki są uporządkowane w układzie okresowym, odkrytym przez Dymitra Mendelejewa. Numer albo liczba porządkowa pierwiastka w tym układzie to liczba protonów skupionych w jądrze jego atomów. Jeszcze kilkadziesiąt lat temu ostatnim i najcięższym znanym pierwiastkiem był uran, o numerze 92.

Począwszy od lat 40. ubiegłego stulecia, fizycy zaczęli wytwarzać pierwiastki cięższe od uranu w eks-



perymentach zderzeń jonów przy coraz większych energiach. Pierwszymi tak wytworzonymi pierwiastkami były neptun i pluton, mające odpowiednio 93 i 94 protony w jądrze. Te pierwiastki są nietrwałe i ulegają szybkiemu rozpadowi promieniotwórczemu, dlatego też nie występują trwale w przyrodzie.

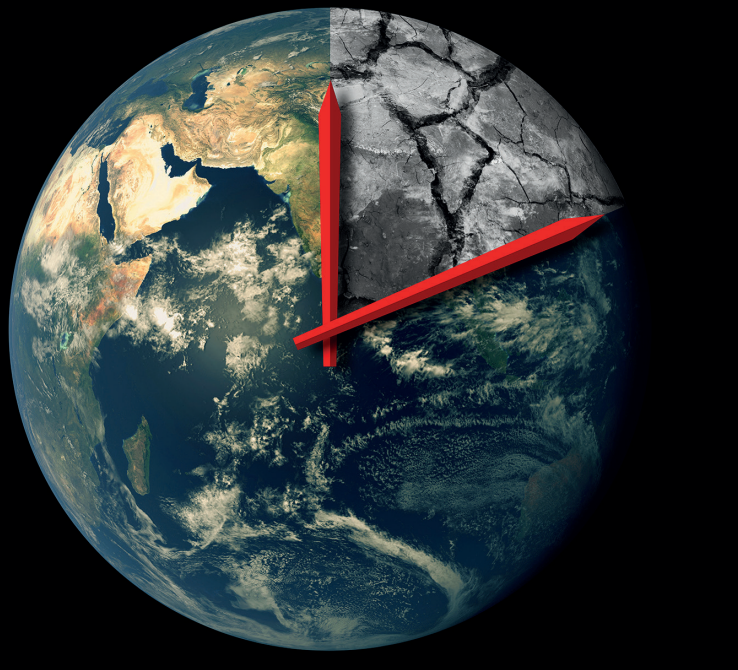
Dzisiaj znamy już 118 pierwiastków. Te najcięższe są bardzo nietrwałe. Pierwiastek numer 118, oganeson, trwa zaledwie ułamek milisekundy. Mamy podstawy przypuszczać, że doszliśmy już niemal do granicy liczby pierwiastków; są podejrzenia, że może jeszcze istnieć „wyspa stabilności” z kilkoma pierwiastkami wokół liczby porządkowej 124. Cięższe pierwiastki nie mogą istnieć, ponieważ siły jądrowe nie są w stanie utrzymać razem zbyt wielkiej liczby protonów i neutronów. Podsumujmy zatem, że ciężkie pierwiastki mogą się tworzyć w zderzeniach jonów w laboratoriach fizycznych albo w gwałtownych procesach astrofizycznych i znikają po bardzo drobnym ułamku sekundy, zamieniając się w pierwiastki lżejsze i trwalsze.

Liczba pierwiastków chemicznych jest ograniczona, choć może być nieco większa od 118. Jesteśmy również przekonani, że liczba związków chemicznych, tj. układów związanych atomów dwóch lub więcej pierwiastków, jest bardzo wielka, ale także skończona. Nie wiadomo, czy kiedykolwiek poznamy wszystkie możliwe związki chemiczne, ale wiemy, że nie może ich być nieskończenie wiele. To zatem wyznacza istnienie granicy badań, choć jest ona bardzo, bardzo odległa. Być może nigdy jej nie osiągniemy.

## Czy istnieje granica poznawania naszego wszechświata?

Arystoteles odpowiadał twierdząco, gdyż był pewny, że nasz wszechświat jest sferyczny, niewielki, a poza nim nie ma niczego, „ani próżni, ani czasu”.

Der Himmelsgucker (Obserwator nieba), rysunek pochodzi z magazynu „Flammarion” *L' Atmosphere, meteorologie populaire*, Paryż 1888, źródło: Wolfgang Bickel, *Das kanonische Bild – ein problematischer Gegenstand*, „Praxis Geschichte”, nr 11 (1998), zeszyt 5, s. 57, za: Wikimedia Commons



Ten pogląd utrzymywał się przez wiele stuleci, chociaż potem „zaludniano” przestrzeń poza tą granicą wszechświata, umieszczając w niej bóstwa, aniołów, wszystkich świętych i maszynę poruszającą świat. Jeszcze Johannes Kepler na początku XVII wieku ocenił, że grubość zamykającej wszechświat sfery, do której są przymocowane gwiazdy, wynosi zaledwie 15 kilometrów.

Dzisiaj patrzymy na wszechświat inaczej. Najpierw przypomnienie niektórych faktów.

Informacje o otaczającym nas świecie dochodzą do nas niemal wyłącznie za pośrednictwem fal elektromagnetycznych. Pewien zakres tych fal postrzegamy jako światło widzialne, resztę rejestrujemy przy użyciu instrumentów – możemy to nazwać światłem niewidzialnym. Przypomnijmy, że światło biegnie z ogromną prędkością, około 300 tys. kilometrów na sekundę. Jest to prędkość trudna do wyobrażenia, jednak nie nieskończenie wielka. Na przebycie długości strony, którą teraz ma przed oczami czytelnik, światło potrzebuje jedną nanosekundę, czyli miliardową część sekundy. Przebycie tam i z powrotem odległości Ziemia – Księżyc zajmuje już prawie 3 sekundy, co można było zauważyć przy okazji misji kosmicznych z serii Apollo w latach 1969–1972. Niedawne lądowanie łazika marsjańskiego Perseverance musiało się odbywać automatycznie, ponieważ w tym czasie odległość Marsa od Ziemi wynosiła aż 11 minut świetlnych.

Nasze codzienne miary odległości niezbyt dobrze nadają się do wyrażania ogromnych odległości astronomicznych, dlatego też posługujemy się specjalnymi jednostkami. Pierwszą z nich jest tzw. rok świetlny. Jest to odległość, którą w ciągu roku przebywa świa-

to w próżni, rozprzestrzeniając się – powtórzmy – z ogromną prędkością około 300 tys. kilometrów na sekundę. Jest to zatem odległość blisko 10 trylionów kilometrów ( $10^{13}$  km).

Żeby wyrazić odległości we wszechświecie, używa się jeszcze większej jednostki, tzw. megaparseka, który równa się 3,26 mln lat świetlnych.

Wiadomo, że atomy wysyłają i pochłaniają światło o określonych długościach fal charakterystycznych dla danego pierwiastka. Są to tzw. linie widmowe. Można je zaobserwować w świetle ciał niebieskich i na tej podstawie dowiedzieć się o występujących tam pierwiastkach.

Mniej więcej 100 lat temu zaczęto badać widma galaktyk i stwierdzono, że linie w ich widmach są przesunięte ku czerwieni w stosunku do ich położenia wyznaczonych w pomiarach laboratoryjnych na Ziemi. Amerykański astronom Edwin Hubble dokładniej wyznaczył odległości kilkudziesięciu galaktyk i w 1929 roku ogłosił, że przesunięcie linii widmowych galaktyk ku czerwieni jest wprost proporcjonalne do ich odległości.

Nasuwało się od razu proste wyjaśnienie, że jest to zjawisko Dopplera przy ruchu obserwatora względem źródła. Obserwujemy je na co dzień dla fal dźwiękowych: kiedy mija nas pędząca karetka pogotowia, częstość dźwięku jej syreny skokowo się zmienia i ton zmienia się na niższy. Zmiana częstości fali jest proporcjonalna do prędkości. Zjawisko Dopplera dla fal świetlnych polega na tym, że przy zwiększaniu odległości między obserwatorem i źródłem światła długość fali zwiększa się, czyli następuje przesunięcie linii widmowych ku czerwieni.

Hubble przyjął tę interpretację i ogłosił, że galaktyki oddalają się od nas z prędkością  $v$  proporcjonalną do ich odległości  $r$ . Zależność ta ma postać prostego wzoru  $v = H r$ . W tym wzorze współczynnik  $H$  – zwany stałą Hubble’a – ma wymiar odwrotności czasu, co jednak zapisuje się w postaci trochę zawikłanej jako (km/s)/megaparsek. Według obecnych pomiarów wynosi ona około 70 (km/s)/megaparsek. Oznacza to, że przy wzroście odległości galaktyki o jeden megaparsek, jej prędkość oddalania się rośnie o mniej więcej 70 km/s.

Wobec uzyskanych później danych obserwacyjnych trzeba było zmodyfikować początkową interpretację tego zjawiska jako wyniku ruchu galaktyk w przestrzeni. Wiemy, że to sama przestrzeń się rozszerza.

Odwrotność stałej Hubble’a wynosi około 13,8 mld lat. Jest to tzw. wiek Hubble’a, charakterystyczny czas ekspansji wszechświata. Skoro galaktyki obecnie się od nas oddalają, to w przeszłości musiały być bliżej nas i siebie nawzajem. Około 13,8 mld lat temu cała materia widzialnego wszechświata była bardzo gęsto „upakowana”. Wtedy nastąpił „wielki wybuch”, który zapoczątkował rozszerzanie się wszechświata.

Trzeba wiedzieć, że ten wielki wybuch różnił się od wybuchów, które znamy na Ziemi. Zaczynają się one od określonego środka i rozprzestrzeniają, obejmując coraz większą przestrzeń. Natomiast wielki wybuch na początku wszechświata nastąpił jednocześnie w całej przestrzeni, gdy każda cząstka materii zaczęła się oddalać od wszystkich innych cząstek. Przypuszczamy, że w tamtej chwili przestrzeń wypełniona gęstą i gorącą materią być może była nieskończona. Przecież jeśli nieskończoną przestrzeń skurczymy o dowolny czynnik, to nadal pozostanie ona nieskończona.

Proces rozszerzania się przestrzeni jest jednakowy we wszystkich kierunkach. Niezależnie od kierunku, w którym patrzymy, jest spełniona ta sama zależność między odległością a prędkością oddalania się galaktyk. Wydawać by się mogło, że zajmujemy we wszechświecie jakieś wyjątkowe miejsce, tak jednak nie jest.

Żeby przedstawić zjawisko rozszerzania się wszechświata, jako przykład podaje się często obrazek gumowego balonika, na którego powierzchni są namalowane kropki. Przy nadmuchiwanym baloniku jego powierzchnia rośnie i poszczególne kropki oddalają się od siebie tym bardziej, im większa jest odległość

między nimi. Nie ma na powierzchni balonika żadnej wyróżnionej kropki, którą można by uznać za początek rozszerzania się.

Ta analogia nie jest jednak poprawna, ponieważ przy rozszerzaniu się gumowej powłoki balonika zwiększa się także rozmiar narysowanych kropek. Tymczasem we wszechświecie jest inaczej: rozszerza się tylko pusta przestrzeń między galaktykami, a ich rozmiary pozostają niezmiennie. Są to bowiem układy gwiazd związane grawitacyjnie, a czynnik powodujący ekspansję przestrzeni – niektórzy nazywają go „ciemną energią” – jest dużo słabszy od przyciągającego oddziaływania grawitacyjnego.

Nieco lepszy jest inny obrazek – włożonego do pieca ciasta z rodzynkami. Gdy ciasto rośnie, powiększają się odległości między rodzynkami i obserwator znajdujący się na dowolnym rodzynku mógłby stwierdzić, że wszystkie pozostałe oddalają się od niego. Gdyby ciasto to rosło w sposób jednorodny (tzn. jednakowo we wszystkich kierunkach), nasz hipotetyczny obserwator znalazłby właśnie liniową zależność między prędkością ucieczki i odległością od niego pozostałych rodzynek, dokładnie tak jak



Na tej fotografii uzyskanej przy użyciu teleskopu Hubble'a (Hubble Space Telescope) widać setki odległych galaktyk. Jeśli w którejś galaktyce istnieją istoty rozumne, to także widzą swój wszechświat w postaci sfery o promieniu około 46 mld lat świetlnych

MOHAMED ELKHAMIS/SHUTTERSTOCK.COM

to znaleziono dla galaktyk. Trzeba by jednak wyobrazić sobie ciasto z rodzynkami nie w zamkniętej formie, lecz rozciągające się dowolnie daleko we wszystkich kierunkach.

Od chwili wielkiego wybuchu około 13,8 mld lat temu widoczny obszar wszechświata rozszerzał się. W miarę oddalania się galaktyk od siebie światło potrzebuje coraz więcej czasu, by podróżować między nimi. Najdalsze widoczne obiekty wszechświata, które obecnie widzimy, patrząc w dowolnym kierunku, znajdują się w odległości około 46 mld lat świetlnych. To jest granica naszego wszechświata. Nie możemy się dowiedzieć, co jest poza nią.

## Gdzieś daleko we wszechświecie

Jeżeli w jakiejś odległej o kilka miliardów lat świetlnych galaktyce żyją istoty rozumne, to także widzą swój wszechświat w postaci sfery o promieniu około 46 mld lat świetlnych. Tylko w części pokrywa się on z wszechświatem widzianym przez nas.

W końcu przestrzeń kosmiczna rozszerzy się tak bardzo, że światło nie będzie w stanie pokonać stale poszerzającej się przepaści między galaktykami. Takie symulacje ewolucji wszechświata są utrudnione, ponieważ pozostaje jeszcze sporo niewiadomych. Stała Hubble'a, miara obecnego tempa rozszerzania się wszechświata, była do niedawna przyjmowana za wielkość niezmienną w czasie. Niedawno jednak pojawiły się obserwacje wskazujące, że obecnie ekspansja przestrzeni jest szybsza. Nie wiemy, jak to było w przeszłości.

## Granice ludzkiego umysłu

Dotychczas rozważaliśmy niektóre granice badań wynikające z natury ich przedmiotu. A co można powiedzieć o granicy badań wynikającej z natury ludzkiego umysłu? Wiemy, że wykorzystujemy tylko niewielki procent naszych komórek mózgowych. Zapewne możemy ten ułamek powiększyć, by uwzględnić coraz większą liczbę coraz bardziej skomplikowanych informacji. Możemy konstruować coraz potężniejsze komputery. Nie wiemy, jakie są granice sztucznej inteligencji. Muszą jednak istnieć, ponieważ granicę szybkości działania procesorów wyznacza prędkość światła, z którą wymieniane są impulsy między poszczególnymi elementami.

## Granica naszej cywilizacji – koniec nauki

Granicę nauki przyniosłaby oczywiście zagłada naszej cywilizacji. Do niedawna rozważano tylko ewentualne, bardzo rzadkie kataklizmy wywołane przyczynami astronomicznymi. Kreślono idylliczny obraz rozwoju

cywilizacji, jak opisany przez Erazma Majewskiego w książce *Koniec świata. Przegląd wypadków, jakie mogą sprowadzić zagładę Ziemi* (Warszawa 1887):

*To pewne, że ludzkość dojdzie do udoskonalenia, jakiego my dziś pojąć nawet nie umiemy. (...) Ustrój społeczny udoskonali się. Oświata stanie się powszechną. (...) Zapewne i narodów nie będzie, znikną też najsromotniejsze międzynarodowe boje, a ziemia stanie się wspólną ojczyzną jednego ludu, któremu „ludzkość” na imię. Zetrą się nawet z pamięci strumienie krwi, przelewanej niegdyś hojnie w bratobójczych walkach.*

Dziś patrzymy na te sprawy inaczej. Uczony angielski, prof. Martin Rees, pełniący funkcję astronoma królewskiego, wydał w 2003 roku w Nowym Jorku poruszającą książkę *Our Final Hour. A Scientist's Warning* (Nasza ostatnia godzina. Ostrzeżenie naukowca). Omówił w niej zjawiska, które obecnie zagrażają życiu ludzi na Ziemi. Oceniał, że w najbliższych dekadach kataklizmy spowodowane zmianami klimatu zagrażają nam bardziej niż przyczyny astronomiczne. W XXI wieku obserwujemy ponadto szybkie wyczerpywanie się paliw kopalnych i innych surowców, wzrost liczby klęsk żywiołowych, niedostatek wody słodkiej, żywności.

Niestety, gatunek *homo sapiens* zwykle rozwiązuje trudności, uciekając się do agresji. Nie musi konieczności dojść do wybuchu otwartej wojny. Wystarczą akty terrorystyczne: „konwencjonalne”, nuklearne, biologiczne czy cyberataki.

Wiele dla opamiętania ludzkości mogłyby zdziałać religie, ale one są głównie zajęte przekonywaniem ludzi, jak to dobrze będzie im po śmierci.

Końcowy wniosek profesora Reesa jest więc dosyć pesymistyczny:

*Myszę, że szanse przetrwania naszej cywilizacji do końca obecnego stulecia są nie większe niż 50 proc. (I think that the odds are no better than fifty-fifty that our present civilisation on earth will survive to the end of the present century).*

Jest zatem prawdopodobne, że niedługo może dojść do kataklizmu, który zniszczy obecną cywilizację. W pojęciu prostych ludzi winą za to mogą być obciążeni naukowcy. Mogłoby to oznaczać koniec nauki.

W 1975 roku Ursula Le Guin opublikowała w zbiorze *The Wind's Twelve Quarters* (wydanie polskie *Wszystkie strony świata*, Warszawa 1997) wstrząsające opowiadanie *The Masters* (*Mistrzowie*) o postapokaliptycznym świecie, w którym działalność naukowa jest zabroniona pod karą śmierci. Czy taki będzie koniec nauki? Może warto jednak zachować optymizm. W końcu szanse przetrwania wynoszą podobno około 50 proc. ■