

# Kot Hawkinga: żywy czy martwy?

Marek A. ABRAMOWICZ i Marcus J. PERCIVAL

Skrócona wersja tego artykułu ukazała się w szwedzkim miesięczniku *Forskning och framsteg* w numerze 12/1997.

W końcu dziewiętnastego wieku fizycy sądzili, że wszystkie podstawowe prawa przyrody zostały już odkryte, a przyszłym pokoleniom pozostaje jedynie prawa te objaśniać i nieco poprawiać. A jednak, odkrycia dokonane w pierwszych kilku latach dwudziestego wieku obaliły ten pogląd i całkowicie zmieniły sposób widzenia przyrody przez fizyków. W roku 1900 Max Planck uznał za możliwe, że energia światła może być wysyłana i pochłaniana wyłącznie małymi porcjami, które dziś nazywamy kwantami. Był to ważny krok w kierunku zrozumienia, że nie w przyrodzie nie może być dzielone *ad infinitum* na coraz to mniejsze części, materia zaś i energia składa się z niepodzielnych kwantów. Kwanty te są niewiarygodnie małe, tak małe, że w codziennym życiu nie ma znaczenia, iż ich rozmiar jest większy od zera. A jednak dla przyrody to ma znaczenie.

W roku 1905 hipoteza kwantów światła została użyta przez Alberta Einsteina do olśniewającego wyjaśnienia zjawiska fotoelektrycznego. Einstein nazwał kwanty światła fotonami. W roku 1913 Niels Bohr skorzystał z pojęcia fotonów, aby wyjaśnić układ linii widmowych światła wysyłanego przez atom wodoru. W taki sposób narodziła się mechanika kwantowa. W roku 1905 Einstein dokonał jeszcze jednego odkrycia, zbierając swe poglądy na czas, przestrzeń i ruch w monumentalnym dziele – szczególnej teorii względności (STW). STW i mechanika kwantowa zostały mocno powiązane w ramach relatywistycznej mechaniki kwantowej w pracach Wolfganga Pauliego, Paula Diraca, Wernera Heisenberga i innych. Zapoczątkowało to proces intelektualny, który zdominował rozwój fizyki w naszym stuleciu, a mianowicie wielką unifikację w poglądach fizyków na całą przyrodę. Wielu fizyków wierzy, że obecnie, u końca tego wieku, unifikacja ta jest prawie zupełna, a od ostatecznego sukcesu dzieli nas tylko krok. Tylko grawitacja nie została jeszcze połączona z ideami kwantowymi, a przez to z resztą fizyki. Klasyczne (tutaj znaczy to: jeszcze nie kwantowe) rozumienie grawitacji opiera się na innym epokowym osiągnięciu Alberta Einsteina – na ogólnej teorii względności (OTW). Teorię kwantowej grawitacji trzeba jeszcze odkryć.

## Mechanika kwantowa

W przeszłości uczeni często wyrażali odmienne opinie co do natury światła. Jedni, idąc za poglądem dobitnie wyrażanym przez Izaaka Newtona, uznawali, że światło składa się z cząstek, inni zaś akceptowali

pogląd Christiaana Huygensa, który opowiadał się za falami. Dzisiaj wiemy, że w rzeczywistości jest tak, iż światło może być zarówno falą, jak i zbiorem cząstek. Ta charakterystyczna dla światła dualność jest uznawana przez mechanikę kwantową za jedną z podstawowych własności przyrody. Przy czym, dzięki Louisowi de Broglie wiadomo, że ta schizofreniczna własność dotyczy nie tylko światła, lecz *wszelkiej materii*. A więc elektrony i inne *cząstki* elementarne zachowują się w określonych doświadczeniach jak *fale*. Ale jeśli elektron jest falą, to nie może zajmować określonego miejsca w danej chwili, lecz musi być w pewnej mierze wszędzie, jak to fale mają w zwyczaju. Gdzie więc tak naprawdę jest elektron? Według mechaniki kwantowej nie możemy jednoznacznie powiedzieć, gdzie jest elektron, lecz możemy obliczyć, ile wynosi *prawdopodobieństwo*, że elektron w określonej chwili znajdzie się w określonym miejscu. Równanie rządzące tym rozkładem prawdopodobieństwa zostało wprowadzone przez Erwina Schrödingera. Matematycznie rozwiązania tego równania opisują superpozycję fal zwanych *stanami własnymi*. Różne stany własne odpowiadają różnym możliwościom tego, co może się z elektronem wydarzyć. A więc istota rzeczy opisanej przez stany własne równania Schrödingera jest w jakiejś mierze niepewna, ponieważ znamy jedynie superpozycję możliwości, nie wiedząc przy tym, która z nich istotnie zachodzi. Także doświadczenia nie mogą dać jednoznacznego wyniku. Niepewności ich wyniku nie można uczynić mniejszej, niż wynika to ze słynnej zasady nieoznaczoności Wernera Heisenberga.

Większość fizyków sądzi, że stany własne równania falowego Schrödingera mogą opisać wszystkie istotne aspekty fizycznej rzeczywistości. O tej rzeczywistości uzyskujemy wiedzę, wykonując doświadczenia. Zanim nie dokonamy pomiaru, nie możemy być pewni tych aspektów rzeczywistości, które ma określić ten pomiar – istnieje więc wtedy jednocześnie wiele możliwości odpowiadających rozmaitym stanom własnym. Ale gdy pomiar jest już przeprowadzony, to jesteśmy *pewni* jego wyniku – czyli pomiar usuwa nasz brak wiedzy o stanie rzeczy. Odpowiednio, fala Schrödingera musi ulec redukcji – nie może wszak już odpowiadać zbiorowisku wszelkich możliwych stanów własnych, lecz musi odpowiadać temu *szczególnemu* stanowi własnemu, który opisuje wynik pomiaru. Rzeczy są takie, za jakie je mamy, ale dopiero po dokonaniu obserwacji.

## Doświadczenie z kotem Schrödingera

Bohr, de Broglie, Dirac, Heisenberg i Pauli, gdy dokonywali swych najważniejszych dla fizyki kwantowej odkryć, byli ludźmi zdecydowanie młodymi, powiedzmy sobie – chłopcami – w wieku dwudziestu kilku lat. Mechanika kwantowa była ich wspaniałą zabawą, a o chłopcach wiadomo, że uwielbiają bawić się i eksperymentować z kotami. Schrödinger, który jako jedyny przekroczył wtedy trzydzieści lat, wyobraził sobie kota zamkniętego w pudełku. Pudełko to zawierało śmiertcionośne urządzenie – kapsułkę z trującym gazem. Porcja gazu była wdmuchiwana do pudełka zawsze wtedy, gdy rozpadał się atom substancji radioaktywnej, która też była umieszczona w pudełku. Porcja ta wystarczała do natychmiastowego zabicia kota, po czym gaz stawał się nieszkodliwy. Tak wyglądał pomysł tej zabawy. Według mechaniki kwantowej niemożliwe jest dokładne określenie chwili, w której następuje rozpad radioaktywny. Ale możemy tak dobrać ilość substancji, że w ciągu np. jednej godziny prawdopodobieństwo tego, że nastąpił dokładnie jeden rozpad, wynosi 50 %. Po upływie jednej godziny od czasu zamknięcia kota w pudełku stawiamy pytanie, czy kot jest żywy, czy martwy. Zanim nie otworzymy pudełka, rozwiązanie równania Schrödingera jest superpozycją dwóch możliwych stanów własnych:

$$\left| \begin{array}{l} \text{atom się nie rozpadł,} \\ \text{kot jest żywy} \end{array} \right\rangle + \left| \begin{array}{l} \text{atom się rozpadł,} \\ \text{kot jest martwy} \end{array} \right\rangle.$$

Nie ma sposobu odseparowania tych stanów, gdy pudełko jest zamknięte. Więc jeśli się zgodzimy, że równanie Schrödingera opisuje wszystkie istotne elementy rzeczywistości w zaistniałej sytuacji, to musimy się zgodzić również z tym, że kot w pudełku żyje, a jednocześnie jest martwy!

Ktoś może teraz zaprotestować: „Stop, czy nie jest *oczywiste*, że jeśli zamknę kota w pudełku i potem nie oglądam go przez chwilę, to tak czy owak nie będę umiał powiedzieć, czy kot jeszcze jest żywy, czy już martwy. Po co mieszać do tego mechanikę kwantową, równanie Schrödingera i tajemnicze stany własne?”. Odpowiedź na tę wątpliwość jest taka, że sprawa z kotem nie dotyczy prawdopodobieństw, ale jego rzeczywistego stanu. Mechanika kwantowa nie mówi, że „istnieje 50 % szans, iż kot jest żywy i 50 % szans, że jest martwy”, ale że *w istocie* dwa różne stany nakładają się. Czy to nie jest nonsens, który świadczy o tym, że cała mechanika kwantowa wpadła w pułapkę; bo przecież Einstein zwykł mawiać: *Der Herr Gott würfelt nicht* – Pan Bóg nie gra w kości. Czy też znaczy to, że – jak zasugerował Hugh Everett III – kwantowe niepewności rozszczepiają prawdziwą istotę bytów na wiele niezależnie istniejących bytów odpowiadających rozmaitym stanom własnym; wtedy w połowie z tych niezależnie istniejących wielu światów kot byłby żywy, a w drugiej połowie byłby

martwy. A może jest tak, że całe złożone otoczenie pudełka powoduje niespójność kwantowych stanów własnych – pogląd taki przedstawił Wojtek Żurek. Nikt nie jest pewny, jak powinna wyglądać właściwa odpowiedź, a cała ta sprawa irytuje wielkich fizyków o poglądach pragmatycznych; np. Stephen Hawking mówi: „Gdy słyszę o kocie Schrödingera, odbezpieczam rewolwer”. Większość fizyków uważa obecnie, że ponieważ konwencjonalna interpretacja mechaniki kwantowej została sprawdzona w licznych doświadczeniach z wysoką dokładnością, to *powinniśmy* traktować poważnie jej wskazania. Ale musimy przy tym pamiętać, że historia dowodzi, iż większość się często myli. Przyjmując konwencjonalną interpretację doświadczenia z kotem Schrödingera, dochodzimy do wniosku, że dwa stany własne są *istotnie* nałożone.

W powyższej dyskusji nie braliśmy pod uwagę, że kot może mieć dziewięć (lub ogólniej  $N$ ) żyć. Proponujemy więc naszym Czytelnikom niewielkie zadanie: przyjmując, że kot ma  $N$  żyć, obliczyć jak długo należy trzymać kota w pudełku (urządzenie jest takie samo, jak opisane w tekście), aby otrzymać mieszaninę stanów [kot żywy] i [kot martwy] dokładnie pół na pół. Dla autora najlepszej odpowiedzi na to pytanie autorzy fundują małą nagrodę pod warunkiem, że odpowiedź dotrze do redakcji przed 1 stycznia 1999 roku.

Oczywiście, *po* otwarciu pudełka i sprawdzeniu stanu kota fala Schrödingera ulegnie redukcji. Wtedy dozwolony jest już tylko jeden stan własny kota, mieszanina dwóch stanów nie jest możliwa; mamy więc rozłącznie: albo [atom się nie rozpadł, kot jest żywy], albo też (jeśli kot był z rodzaju nieszczęśliwych) [atom się rozpadł, kot jest martwy].

## Czarne dziury: supermasywne, gwiazdowe, mini i wirtualne

OTW była godnym uwagi osiągnięciem geniuszu Einsteina i zabrała mu dziesięć lat ciężkiej pracy. Jest to teoria geometryczna, która wyjaśnia grawitację jako przejaw krzywizny czasoprzestrzeni. Jednym z jej zdumiewających wskazań jest istnienie czarnych dziur. Dopiero od niedawna możemy mówić z dużą wiarygodnością, że czarne dziury rzeczywiście istnieją. To bowiem w ostatnich latach astronomowie znaleźli na niebie obiekty wysokoenergetyczne, które nie mogą być niczym innym niż czarnymi dziurami. Wniosek ten uzyskano stosunkowo niedawno, gdyż przedtem nie dysponowano dostatecznie zaawansowanym technologicznie sprzętem, który pozwoliłby na zebranie istotnych danych obserwacyjnych. Obecnie sprzęt taki istnieje: satelity zbierające dane o źródłach promieni X, teleskop kosmiczny Hubble'a i kilka wielkich radioteleskopów na Ziemi. Energia promieniowana przez obiekty astronomiczne zawierające czarne dziury z pewnością *nie* powstaje w czarnych dziurach. Pochodzi ona z energii grawitacyjnej uwalnianej w procesie spadania materii na czarną dziurę.

Astronomowie obserwują kandydatki na czarne dziury w dwóch przedziałach mas. Mówią w związku z tym albo o *czarnych dziurach o masie gwiazdowej*, tj. takich, których masy w przybliżeniu są dziesięć razy większe od masy Słońca, lub o *supermasywnych czarnych dziurach*, których masy są miliony do miliardów razy większe od masy Słońca. Jest możliwe, że istnieją *mini czarne dziury* – o masach mniejszych od masy Słońca, lecz odkrycie ich jest raczej niemożliwe za pomocą obecnie istniejącej technologii. Z tego powodu nie ma obserwacyjnych argumentów ani za ich istnieniem, ani przeciw.

Czarne dziury o masach gwiazdowych znaleziono w kilku układach podwójnych w naszej własnej Galaktyce. Należą one do najsilniejszych źródeł promieni X na niebie. Typowy rozmiar takiej czarnej dziury wynosi około 30 km. Supermasywne czarne dziury są rozmieszczone w niektórych odległych galaktykach. Grają one rolę centralnych silników kwazarów i innych aktywnych jąder galaktyk, będących najsilniejszymi źródłami energii we Wszechświecie. Ich typowe rozmiary wahają się od  $10^6$  km do  $10^9$  km. Dla porównania, odległość Ziemi od Słońca wynosi  $1,5 \cdot 10^8$  km.

### Trzy szczególne własności czarnych dziur

będą istotne w naszej dyskusji:

(1) Zewnętrzny obserwator, obserwujący obiekt wpadający do czarnej dziury, nigdy nie doczeka się jego wpadnięcia, musiałby bowiem czekać na to *nieskończony* czas. Nikt nie ma aż tyle czasu na czekanie. Z drugiej strony obiektowi wpadającemu swobodnie (tzn. tylko pod wpływem grawitacji) do czarnej dziury zajmie to wpadanie *skończony* czas – tak wskażą zegary umieszczone na tym obiekcie. Przykładowo, w układzie planetarnym takim jak nasz, ze Słońcem zastąpionym Czarną Dziurą o jego masie, swobodne spadanie z Ziemi na Czarną Dziurę (start z zerową prędkością) zajęłoby – według zegara podróżnika – około roku. Według zaś zegarów ziemskich trwałoby to wieczność. Dla tych, którzy pożegnali podróżnika i pozostali na Ziemi, pozostawałby on w zasadzie *zawsze widoczny na zewnątrz* Czarnej Dziury.

(2) Każdy obiekt materialny (a zwłaszcza nasz podróżnik), który wpadł do czarnej dziury, po skończonym czasie według wskazań własnych zegarów będzie zupełnie zniszczony. Nie chodzi tu o to, że będzie uszkodzony, ale *zupełnie zniszczony* – jego istnienie dobiegnie końca. Nie pomoże nawet dziewięć żyć. I zajdzie to dość szybko: obiekt zakończy swe istnienie po około  $10^{-4}$  s po wpadnięciu do czarnej dziury o masie gwiazdowej lub po czasie rzędu minut lub dni w przypadku supermasywnej czarnej dziury. Żaden obiekt, który wpadł do czarnej dziury, nie może się z niej wydostać.

(3) Wszystkie czarne dziury promieniają. Tego ważnego odkrycia dokonał Stephen Hawking, który na podstawie połączonych pojęć mechaniki kwantowej, OTW i termodynamiki głęboko uzasadnił, że efekty kwantowe zmuszają czarną dziurę do promieniowania. Wykazał on też, że im mniejsza (tj. mniej masywna) jest czarna dziura, tym szybciej promieniuje. Lecz to, że szybciej, wcale nie oznacza, że szybko; promieniowanie Hawkinga jest niewiarygodnie powolnym procesem dla astronomicznych czarnych dziur. Hipotetyczna mini czarna dziura o masie porównywalnej z masą dużej ziemskiej góry (w przybliżeniu miliard ton) potrzebuje całego czasu istnienia świata (od Wielkiego Wybuchu do chwili obecnej), aby zupełnie wypromieniować swą masę i przez to całkowicie zniknąć. Czas potrzebny na wyparowanie czarnej dziury jest proporcjonalny do trzeciej potęgi jej masy. Ponieważ czarne dziury o masach gwiazdowych są  $10^{19}$  razy bardziej masywne od gór, wyparowywałyby one po czasie odpowiednio dłuższym: dokładnie  $(10^{19})^3 = 10^{57}$  razy dłuższym niż obecny wiek Wszechświata. Rzecz jasna, jest to czas absurdalnie długi, a nauka płynąca z tych rachunków jest następująca: promieniowanie Hawkinga jest *całkiem nieistotne* dla czarnych dziur o masach gwiazdowych i supermasywnych. Astronomiczne czarne dziury są istotnie czarne, nie promieniają one w żaden zauważalny sposób. Ale dla hipotetycznych mini czarnych dziur o masie góry promieniowanie Hawkinga jest istotne. Mogłoby zatem być tak, że w przyrodzie jest pełno skrajnie małych *wirtualnych czarnych dziur*, dla których promieniowanie Hawkinga jest procesem przeważającym. Jeśli by tak było, to promieniowanie Hawkinga byłoby jednym z najbardziej podstawowych i powszechnych procesów w przyrodzie.

### Próżnia współczesnej fizyki nie jest pusta

Zasada nieoznaczoności Heisenberga dopuszcza spontaniczne powstawanie w próżni cząstek. Zgodnie z tą zasadą im bardziej energetyczne (bardziej masywne) są te cząstki, tym krócej żyją. Wirtualne czarne dziury mogłyby także spontanicznie powstawać, a następnie ginąć. Najbardziej typową masą takiej wirtualnej czarnej dziury jest masa Plancka  $m_{\text{P}} = 2,2 \cdot 10^{-8}$  kg. Odpowiednio, typowy ich rozmiar określa długość Plancka  $l_{\text{P}} = 1,6 \cdot 10^{-35}$  m, a czas życia jest rzędu czasu Plancka  $t_{\text{P}} = 5,4 \cdot 10^{-44}$  s. Mogłoby być tak, że na najbardziej podstawowym poziomie przyrody próżnia jest pełna tych wirtualnych czarnych dziur – nosi to nazwę piany czasoprzestrzennej. Piana ta nie wpływałaby na własności czasoprzestrzeni w skalach dużo większych od długości i czasu Plancka, lecz miałyby istotne znaczenie na poziomie sub-planckowskim. Hawking zasugerował w jednym ze swych ostatnich artykułów, że „duża” czarna dziura po wyparowaniu nie znika

całkowicie. Zamiast tego jej rozmiar kurczy się do długości Plancka i w rezultacie staje się ona kropką w oceanie wirtualnych czarnych dziur. Można porównać pianę czasoprzestrzenną z morzem piłeczek pingpongowych. Gdy obserwuje się je z pewnej odległości, wydaje się ono gładką, sfalowaną powierzchnią. Fale w tej analogii odpowiadają wielkoskalowej krzywiznie czasoprzestrzeni. Bliższe zbadanie morza pokazuje jednak, że jego powierzchnia wcale nie jest gładka, ale wyraźnie zakrzywiona w skali odpowiadającej promieniowi piłeczki.

### Doświadczenie z kotem Hawkinga

Wyobraźmy sobie dr. Hawkinga (jest to osoba fikcyjna, nie mająca nic wspólnego z kimkolwiek), który patrzy, jak jego kot skacze do czarnej dziury. Koty są niezwykle dociekliwe i często robią rzeczy tego typu. Z punktu widzenia dr. Hawkinga kot jest stale widoczny na zewnątrz czarnej dziury. Ale w końcowym efekcie wszystkie czarne dziury powinny wyparować na skutek promieniowania Hawkinga. Nie jest tu istotne, że wyparowywanie to może trwać absurdalnie długo, ważne jest, iż trwać to będzie *skończony* czas – rozważamy wszak problem z punktu widzenia podstawowych zasad. Gdy ostatnia fala promieniowania Hawkinga mijają dr. Hawkinga, sytuacja wydaje się bardzo prosta. Dr. Hawking wciąż widzi kota, ale kot jest teraz w przestrzeni bez czarnej dziury i jej pola grawitacyjnego. Zatem dr. Hawking może poprosić (np. za pomocą telefonu komórkowego) kota o powrót. Z punktu widzenia dr. Hawkinga *nie istnieje* żaden zasadniczy powód, dla którego kot miałby nie powrócić. Lecz kot opowiedziałby (jeśli martwy kot mógłby mówić) tę historię całkiem inaczej: on wpadł do czarnej dziury i został unicestwiony dokładnie minutę później. Zauważył to na swoim zegarze.

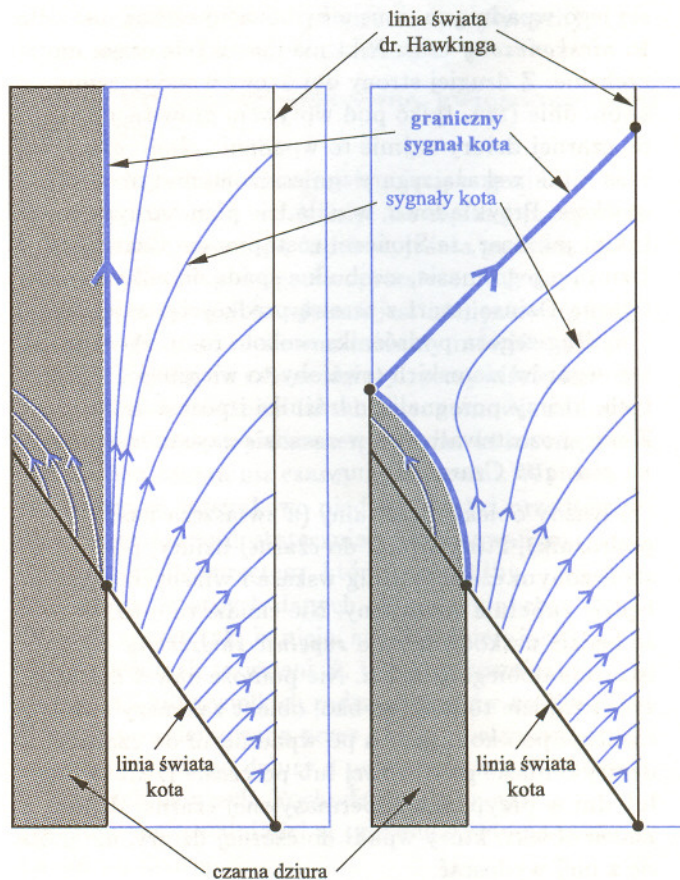
Test dla naszych Czytelników: jaka była masa tej czarnej dziury?

A więc według dr. Hawkinga kot żyje, według zaś samego kota – nie. Wypada zatem spytać, jak jest naprawdę: kot żyje, czy też nie?

Chociaż pytanie to wygląda na podobne do pytania postawionego w przypadku doświadczenia z kotem Schrödingera, występuje tu istotna różnica: u podstaw doświadczenia z kotem Schrödingera leżą zjawiska kwantowe, a w przypadku kota Hawkinga – klasyczne. W przypadku kota Hawkinga nie ma superpozycji stanów własnych rozwiązujących równanie Schrödingera typu  $|\text{żywy kot Hawkinga}\rangle + |\text{martwy kot Hawkinga}\rangle$ . Rozważania nasze dotyczą natomiast skomplikowanej sytuacji wywołanej promieniowaniem czarnych dziur. Analizę przeprowadzamy w dwóch różnych układach odniesienia: za pierwszym razem w układzie dr. Hawkinga, za drugim razem w układzie kota. Analizowanie tej samej sytuacji z punktu widzenia

kilku układów odniesienia jest typowe zarówno w STW, jak i w OTW. Czasami prowadzi to do paradoksów. Spowodowane są one niepoprawnym rozumowaniem opartym zazwyczaj na naszej nierelatywistycznej intuicji. Dobrze znanym przykładem jest tu paradoks bliźniąt. Z drugiej strony, paradoksy prawdziwie kwantowe – jak ten z kotem Schrödingera – odzwierciedlają prawdziwie głęboką i dziwną strukturę przyrody.

W przypadku doświadczenia z kotem Hawkinga prawidłowa jest analiza kota, analiza dr. Hawkinga taka nie jest. Kot dr. Hawkinga istotnie nie żyje. Poprawna analiza sytuacji jest dość złożona matematycznie i zależy od tego, czy wyparowująca czarna dziura znika całkowicie, czy też łączy się w skali Plancka z pianą wirtualnych czarnych dziur. W pierwszym przypadku (łatwiejszym do przeanalizowania) można zastosować przemyślną metodę Rogera Penrose'a (zwaną diagramem Penrose'a), czyli narysować rodzaj mapy całej czasoprzestrzeni zawierającej wyparowującą czarną dziurę. Na mapie tej historii kota i jego właściciela, a także wszelkie promienie świetlne reprezentowane byłyby przez linie. Rozmiar parującej czarnej dziury zmniejsza się w pewnej chwili do punktu. Jest to *ostatnie* zdarzenie w historii czarnej dziury. Diagram Penrose'a pokazuje, że sygnał świetlny wysłany dokładnie z tego zdarzenia z pewnością dotrze do dr. Hawkinga.



Oznacza to, że dr Hawking widzi, iż kot wchodzi do czarnej dziury dokładnie w ostatniej chwili jej istnienia. Czyli jest tak, jak być powinno: z punktu widzenia dr. Hawkinga kot nigdy nie wpadł do czarnej dziury, ale też nie jest w stanie powrócić. Dr Hawking zauważył, że kot znikł wraz z ostatnim rozbłyskiem promieniowania Hawkinga. Może nawet podejrzewać, że to *promieniowanie Hawkinga zabiło kota*.

Różne wersje tego doświadczenia były dyskutowane w kilku uniwersytetach w późnych latach siedemdziesiątych, zwłaszcza zaś na Uniwersytecie Teksaskim w Austin przez Wojtkę Żurka, Johna Archibalda Wheelera i Marka Abramowicza, który pierwszy odpowiedział poprawnie na pytanie „czy kot żyje, czy też nie”. W roku 1992 wymyślił on fikcyjnego dr. Hawkinga i jego kota, będącego odpowiednikiem kota Schrödingera, w celu lepszego wyjaśnienia swej czternastoletniej córce Weronice różnicy między klasycznym a prawdziwie kwantowym paradoksem.

### Czy nowa fizyka potrzebuje nowych kotów?

Na początku naszego wieku fizycy zmienili swój sposób widzenia świata: z deterministycznego na kwantowy i z absolutnego na relatywistyczny. Ten punkt widzenia stał się obowiązującą prawdą

przez cały wiek dwudziesty. Niektórzy fizycy są obecnie przekonani, podobnie jak byli przekonani ich poprzednicy u schyłku dziewiętnastego wieku (pozostając, rzecz jasna, w kręgu innych idei), że wystarczy tylko ustalić, czym jest kwantowa grawitacja – stosując teorię strun lub inny udany pomysł – i już będziemy mieć **TEORIĘ WSZYSTKIEGO**, a więc nic fundamentalnie ważnego w fizyce nie pozostanie już do odkrycia dla przyszłych pokoleń. Fizycy ci mogą mieć rację, lecz może też być tak, że świat w swojej istocie jest niewyobrażalnie bogatszy niż świat opisywany przez mechanikę kwantową i teorię względności: *Istnieją rzeczy na niebie i na ziemi, o których nie śniło się naszym filozofom*. Możliwe, że przyszłość przyniesie nam zadziwiające niespodzianki – idee, o których nie jesteśmy w stanie obecnie pomyśleć. Być może nowe pokolenia wspaniałych młodych ludzi znów stworzą swą własną *chłopięcą fizykę* – inną niż nasza. Czy znów narażą oni nowe pokolenia kotów na śmiertelne niebezpieczeństwo paradoksalnych doświadczeń?

*Z angielskiego przetłumaczył W.K.*



## Zadania

*Redaguje Łukasz WIECHECKI*

**M 847.** Znaleźć wszystkie funkcje ciągłe  $f : \mathbf{R} \rightarrow \mathbf{R}$ , spełniające równanie  $f(x + y) = f(x) + f(y)$  dla wszystkich  $x, y \in \mathbf{R}$ .

Rozwiązanie na str. 15

**M 848.** Znaleźć wszystkie funkcje ciągłe  $f : (1, +\infty) \rightarrow \mathbf{R}$ , spełniające równanie

$$f(xy) = xf(y) + yf(x)$$

dla wszystkich  $x, y \in (1, +\infty)$ .

Rozwiązanie na str. 11

**M 849.** Znaleźć wszystkie funkcje ciągłe  $f : (-1, +\infty) \rightarrow (-1, +\infty)$ , takie że

$$(*) \quad f(x + y + xy) = f(x) + f(y) + f(x)f(y)$$

dla wszystkich  $x, y \in (-1, \infty)$ .

Rozwiązanie na str. 12

*Redaguje Ewa CZUCHRY*

**F 477.** W nowoczesnych aparatach fotograficznych używa się błon fotograficznych o rozmiarze jednej klatki  $24 \times 36$  mm. Aparaty te są standardowo wyposażone w tzw. obiektywy normalne o ogniskowej 50 mm, co daje kąt widzenia  $47^\circ$  i obraz porównywalny z widzianym przez ludzkie oko. Jaka była ogniskowa obiektywów normalnych do starych aparatów na płyty szklane o rozmiarach  $9 \times 12$  cm?

Rozwiązanie na str. 12

**F 478.** Jasność obiektywu określa się przez stosunek średnicy otworu przesłony do ogniskowej. W pewnych typach obiektywów o zmiennej ogniskowej największy możliwy otwór przesłony jest taki sam dla wszystkich ustawień ogniskowej. Jak zmienia się jasność w takiego typu obiektywie o ogniskowej 70–200 mm?

Rozwiązanie na str. 13

