

Aby dzielenie wielomianów pokrywało się z dzieleniem liczb, reszta musi być mniejsza od dzielnika, czyli w naszym przypadku

$$(x+b) > W(-b) = b(b-a),$$

czyli

$$x > b(b-a-1).$$

W naszym przykładzie reszta będzie więc równa 10, gdy  $k$  będzie większe od  $5 = 5(5-3-1)$ . Dla rozpatrzonych poprzednio przykładów, wobec

$$W_1(x) = x + (a-b) \text{ mamy}$$

$$x(x+a) = (x+(a-b))(x+b) + b(b-a)$$

i dla  $x = 1$  mamy

$$1(1+3) = (1+3-5)(1+5) + 10,$$

czyli

$$4 = -6 + 10.$$

i

$$3(3+3) = (3+3-5)(3+5) + 10.$$

czyli

$$18 = 8 + 10,$$

co jest prawdą, tyle że nie ma związku z naszym zadaniem. Widać więc, że dzielenie liczb i wielomianów to różne dzielenia, choć często można z dzielenia wielomianów przy dzieleniu liczb korzystać. Tylko ostrożnie.

Gdyby ktoś chciał mieć wynik początkowego zadania dany „jednym wzorem”, to można to już teraz zrealizować. Wynikiem jest

$$b(b-a) \bmod (k+b)$$

i wobec tego, począwszy od momentu, gdy  $k+b > b(b-a)$ , nie zależy on od  $k$ .

Okazuje się bowiem, że ogromna klasa takich realistycznych teorii nie może być tożsama doświadczalnie z mechaniką kwantową. Są to tzw. teorie lokalne. W celu zdefiniowania ich wróćmy do naszego doświadczenia z kaskadowym rozpadem wapnia. Wyobraźmy sobie, że stan dwu fotonów jest dodatkowo określony przez pewien zbiór parametrów ukrytych  $\lambda$ . Dopuszcmy możliwość dowolnego ustawienia obu pryzmatów — w kierunku, powiedzmy,  $a$  i  $b$ . Warunek lokalności oznacza wtedy, że prawdopodobieństwo uzyskania każdego wyniku polaryzacyjnego w pryzmacie  $a$  ( $b$ ) zależy tylko od ustawienia tego pryzmatu i od wartości  $\lambda$  (po której uśredniamy), a nie zależy od ustawienia drugiego pryzmatu  $b$  ( $a$ ). Bez żadnych w zasadzie dodatkowych założeń można wtedy wyprowadzić nierówność, zwaną nierównością Bella, wiążącą średnią wartość polaryzacji obu fotonów  $E(a, b)$  dla czterech różnych konfiguracji ustawienia ( $a$  i  $b$ ) obu pryzmatów:

$$|E(a, b) - E(a, b') + E(a', b) + E(a', b')| \leq 2.$$

Mechanika kwantowa dopuszcza przekroczenie tej dwójki.

Dla kątów między kierunkami

$(a, b)$ ,  $(b, a')$ ,  $(a', b')$  równych  $\pi/8$  oraz między  $(a, b') - 3\pi/8$ ,

kwantowomechaniczna wartość powyższego wyrażenia wynosi  $2\sqrt{2}$ .

Doświadczenie przeprowadzone według poprzednio zamieszczonego schematu dało, dla tych właśnie kątów, wartość  $2,697 \pm 0,015$ . Należy jeszcze dodać, że w realnych warunkach tego doświadczenia wartość przewidywana przez mechanikę kwantową zmniejsza się z  $2\sqrt{2}$  do  $2,70 \pm 0,05$ . Zgodność jest doskonała, a kłeska jakiegokolwiek rozsądnego modelu świata wydaje się całkowita.

Powiedzieliśmy poprzednio, że szybkość rejestracji pary fotonów jest na tyle duża, iż wyklucza możliwość jakiegokolwiek wolniejszego od światła kontaktu między nimi. Pryzmaty są jednak ustawiane na dłuższy czas i mogą w zasadzie zarówno wpływać na siebie, jak i na całą przestrzeń otaczającą doświadczenie. Nie wiadomo, jak mogłoby się to odbywać, ale możliwość taka, naruszająca lokalność pozostaje. Jeśli przyszłe doświadczenia wykluczą i tę ewentualność, przyjdzie nam chyba pogodzić się z faktem, że obserwowane w naszych doświadczeniach własności mikroświata nie dadzą się pogodzić z żadnym rozsądnym i lokalnym realistycznym modelem świata. Rezygnacja z lokalności byłaby z pewnością przewrotem w fizyce (ruch szybszy niż światło). Rezygnacja z realności byłaby jej kłeską.

## Patrz w niebo

Czarne dziury były wielokrotnie opisywane w *Delcie*. Jednak rozmawiając ze znajomymi, którzy nie są astronomami, odnoszę wrażenie, że traktują oni te obiekty podobnie jak dziurę, do której wpadła Alicja w swej niezamierzonej podróży do Krainy Czarów.

Odczuwam więc ogromną potrzebę wyraźnego powiedzenia: *czarne dziury po prostu istnieją w przyrodzie*. Liczba źródeł promieniowania rentgenowskiego, które uważane są za czarne dziury, stale rośnie, a liczba „Don Kichotów”, którzy muszą wymyślać coraz bardziej egzotyczne hipotezy, aby wytłumaczyć obserwowane własności badanych obiektów nie uciekając się do przyjęcia istnienia czarnej dziury, szybko maleje. W chwili obecnej hipotezy te *muszą* być oparte na alternatywnych do teorii względności modelach grawitacji, w które prawie nikt nie wierzy.

Pierwszym, już klasycznym kandydatem na czarną dziurę było najjaśniejsze źródło rentgenowskie w gwiazdozbiornie Łabędzia, o nazwie Cyg X-1. W latach siedemdziesiątych dyskutowano nad innymi obiektami i możliwością interpretacji ich własności przy założeniu identyfikacji ich z czarnymi dziurami. Należą do nich takie układy jak Cir X-1 i GX 339-4. Ostatnio (w 1983 r.) polski astronom Bohdan Paczyński wykazał, że najlepszym kandydatem na czarną dziurę jest rentgenowskie źródło w bliskiej galaktyce, Wielkim Obłoku Magellana (LMC), o nazwie LMC X-3.

W nazwach wszystkich tych obiektów powtarza się litera X. Oznacza to, że są one jasnymi źródłami rentgenowskimi. Jest to związane z faktem, że znacznie łatwiej jest odkryć czarną dziurę w układzie podwójnym, gdy obiega normalną, najczęściej gorącą i jasną gwiazdę. W systemie takim następuje przepływ masy z gwiazdy normalnej do czarnej dziury (opisując podobne zjawisko w podobnych układach zawierających jednak białe karły zamiast czarnych dziur, amerykański astronom Joe Patterson zatytułował swój artykuł: „Kanibalizm wśród degeneratów”). Przepływająca materia, mając znaczny moment pędu, tworzy dysk wokół czarnej dziury będący źródłem promieni Roentgena.

Jak jednak stwierdzić, czy dany obiekt jest czarną dziurą? Potrzebne jest spełnienie jednocześnie dwóch warunków: 1) bardzo małe rozmiary; 2) bardzo duża masa. Istnieje wiele metod wyznaczania obu tych parametrów. Górne ograniczenie na rozmiary można np. uzyskać przez analizę zmienności czasowej jasności obiektu. Jeśli zmienia on znacznie jasność w czasie, powiedzmy, jednej stutysięcznej sekundy, to można stwierdzić, że jego rozmiary są mniejsze niż kilka kilometrów (dlaczego?). Masy można wyznaczyć z badania orbity widocznego towarzysza.

A więc czarna dziura w układzie LMC X-3 ma masę równą co najmniej dziesięciu masom Słońca i promień około 30 km.

mgr Tomasz CHLEBOWSKI