

## c - tej stałej poświęćmy więcej uwagi

Wojciech Dindorf

W przyrodzie jest kilka zdecydowanych ograniczeń. Kilka wielkości ekstremalnych, największych lub najmniejszych. Są lokalne ograniczenia, jak np. maksymalne przyspieszenie, jakie można osiągnąć, spadając swobodnie na ziemię (około  $10 \text{ m/s}^2$ ), oraz uniwersalne wszechświatowe, takie jak np. najniższa temperatura. Ta ostatnia, nazywana **zerem bezwzględnym** (0 K), wynosi w znanej nam skali Celsjusza - 273 stopnie i choć potrafimy w zasadzie osiągnąć w laboratoriach temperatury dowolnie bliskie tej wielkości, to tej granicy „dotknąć” się nie da.

Nie znamy ograniczeń dla takich wielkości jak siła, masa, odległość czy czas. Oczywiście, w wielu przypadkach dolna granica jest najłatwiejsza do określenia - zero, brak, nieobecność. I tak, np. próżnię nazywamy przestrzeń, gdzie brak jest materii. Nieważkość to nazwa przypisywana stanowi, w którym ciału brak jest podparcia.

**Granica górną** dla tych wielkości jest nieskończoność. Galileusz powiedział podobno: dajcie mi punkt podparcia, a poruszę Ziemię - dając do zrozumienia, że nie ma granicy dla wielkości siły. W praktyce jednak siłę ograniczają takie właściwości materiałów (czy mięśni), jak wytrzymałość na nacisk, na rozciąganie itp.

Najpóźniej odkryte i z kłopotami zaakceptowane ograniczenie występujące w przyrodzie to ograniczenie prędkości (czy szybkości). Ograniczenie od góry, oczywiście.

Dziwne jest to, że prędkość zawsze była i jest traktowana jako wielkość względna, czyli uzależniona od punktu widzenia. Aby mówić o prędkości, a co dopiero ją mierzyć, trzeba się gdzieś ulokować, czyli wybrać układ odniesienia. Wiadomo, że jeśli z punktu widzenia stacji Zimna Woda jeden pociąg jechał na wschód z szybkością 60 km/h, a drugi na zachód z szybkością 80 km/h, to w danej chwili pociągi oddalały się od siebie z szybkością  $v_1 + v_2 = v = 140 \text{ km/h}$ . Co znaczy 140 km/h? Znaczący to, że z punktu widzenia jednego pociągu drugi jechał z szybkością 140 km/h. Pasażer jednego pociągu (gdyby go to interesowało) wiedziałby i mógłby to nawet zmierzyć, że jego najdroższa, znajdująca się w drugim pociągu, w każdej godzinie jest od niego o 140 km dalej.

Tak można było rozumować do czasu, gdy przyszedł Albert Einstein i powiedział; jesteście mało precyzyjni,  $v$  nie wynosi  $v_1 + v_2$ , a tylko:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$$

Dlaczego? Dlatego, aby wynik nigdy nie był większy niż dozwolone  $c$  (tymczasem wszystko jedno, ile to  $c$  wynosi). Matematycznie ten wzór gwarantuje, że jeśli  $c$  ma taki sam wymiar jak  $v_1$  i  $v_2$  (a inaczej cała sprawa nie miałaby sensu), to zawsze  $v \leq c$ .

Bardzo ciekawą sytuację przedstawił George Gamow w książeczce pt. *Mister Tompkins w Krainie Czarów*. Jego bajka rozgrywa się w dziwnym świecie, w którym stała  $c$ , czyli prędkość światła w próżni, wynosi tylko 5 km/h. Wyobraź sobie różne sytuacje, które mogłyby być spowodowane taką zmianą!

Nieczęsto znajdujemy czas i nastrój, by pomyśleć, jak bardzo nasza sytuacja tu na Ziemi zależy od wartości stałych fizycznych. Jak inaczej, na przykład, mógłby wyglądać człowiek, gdyby z jakiegoś powodu stała grawitacji  $G$  zwiększyła się dwukrotnie. Wówczas na Ziemi ciała spadające swobodnie zwiększałyby w każdej sekundzie prędkość nie o 10 m/s (36 km/h), a dwa razy tyle. Nasze kręgosłupy musiałyby być dwukrotnie wytrzymalsze. Komary i krowy, domy i mosty, auta i rowery, musiałyby wyglądać inaczej - byłyby cięższe i mocniejszej konstrukcji. Człowiek o masie 70 kg ważyłby nie około 700, a prawie 1400 niutonów, Księżyc musiałby szybciej obiegać Ziemię, a ciśnienie atmosferyczne byłoby co najmniej dwa razy większe. Na pewno kasza czy ziemniaki

szybciej by się ugotowały, bo wrząca woda miałyby temperaturę nie 100, a blisko 120 stopni Celsjusza.

Wróćmy jednak do zasadniczego tematu. Jakie są konsekwencje ograniczenia „dozwolonej prędkości” do 300 000 km/s i ani trochę więcej? Tę **największą szybkość może osiągać tylko fala elektromagnetyczna, a więc i światło, ale w próżni**. Konsekwencji jest wiele. Zastanówmy się nad kilkoma.

Gdyby Księżyc, jak w piosence, okiem mrugał, to takie mrugnięcie zarejestrowalibyśmy na Ziemi po około 1,3 s. Musimy czekać 2,6 sekundy, by laserowy sygnał wysłany do lustra na Księżycu wrócił po odbiciu na Ziemię.

Sygnały wysyłane do nas przez Słońce, które, niestety, tak często rozpraszają nam chmury, docierają do Ziemi w 8 minut (480 sekund) po opuszczeniu Słońca. A e-mail wysłany dzisiaj z najbliższej gwiazdy (nie Słońca) dotarłby do nas za 4 lata i 90 dni. Te wielkości dają nam pojęcie o relacjach między odległościami, które nas dzielą od naszych niebieskich sąsiadów.

Jeśli dowiadujemy się, że jakaś galaktyka Andromeda oddalona jest od nas 2,4 miliony lat świetlnych, to nie tylko daje nam pojęcie o odległości, ale uświadamia nam to, że nigdy się nie dowiemy, co dzisiaj się dzieje z tą nieprawdopodobnie dużą ilością materii. Podobnie ma się sprawa z większością obiektów we wszechświecie. Widzimy je w różnych miejscach w przestrzeni i w różnym dla nich czasie.

Wyobraź sobie, że każde ciało niebieskie to duży zegar atomowy. Wszystkie zegary są doskonałe i chodzą równo, wyświetlając na ekranie wiek wszechświata, licząc od Wielkiego Wybuchu, na przykład w sekundach. Kiedy wykonano fotografię naszego ziemskiego zegara, wskazywał on, powiedzmy, 162 534 891 234 567 301 s (wiek wszechświata w sekundach wymaga 18 cyfr). W tym samym czasie wszystkie zegary, a są ich miliardy we wszechświecie, powinny pokazać dokładnie to samo. Popatrz na Słońce - wskazuje 480 s opóźnienia. Na zegarze umieszczonym na Alfa Centauri, gwiazdzie najbliższej Słońca, odczytamy (nie dla krótkowidzów!) czas około 126 milionów sekund wcześniej, niż czas, jaki pokazuje nam ziemski zegar.

Można zapytać: a w takim razie co z oddziaływaniem np. grawitacyjnym? Czy też przychodzi z opóźnieniem? Czy teraz te dalekie ciała niebieskie - które widzimy, a które mogły (teoretycznie) przestać istnieć, zanim powstało życie na Ziemi - jeszcze oddziałują na nas? Może tak i może przestaną na nas działać, kiedy „zgasną”, czyli dopiero wtedy, gdy dojdzie do nas wiadomość o tym, że to coś przestało istnieć.

Można w ten sposób też myśleć na przykład o znanych wszystkim gwiazdozbiorach. Widzimy dzisiaj określony wzajemny układ gwiazd. Każdą widzimy teraz, ale każda „melduje się nam” z innej epoki. Nie przeszkadza to nam nadawać im nazwy i przypisywać im szczególną rolę w kształtowaniu życia ludzkiego. Większość (chyba) poważnych ludzi nie traktuje astrologii (bo o niej mowa) poważnie.

Wyobraź sobie, że myślące istoty, przebywające w różnych miejscach we wszechświecie, mogą się informować nawzajem natychmiast, bez czasowych opóźnień. Wszyscy obserwują więc „teraz” Ziemię niezwykle czułymi teleskopami i wymieniają informacje. Gdy jedni mówią o potopie na Ziemi, inni opisują wyprawę Kolumba, a jeszcze inni wybuch bomby atomowej w Hiroszimie. Wszystko w tym samym czasie!

Pomyśl, co znaczy „w tym samym czasie”? Pewnie Einstein miał się nad czym zastanawiać, tworząc własny nowy „światopogląd”, a ściślej pogląd na czas i przestrzeń, i na rolę czy miejsce grawitacji, czyli oddziaływań między ciałami niebieskimi.

Pamiętaj, że ty też jesteś ciałem niebieskim. Niezwykłym, jedynym, niepowtarzalnym. Chyba słusznie zauważył Einstein, że te trzy elementy - czas, przestrzeń i grawitacja - są nierozłączne, stanowią jedno wielkie środowisko, w którym wszystko się dzieje.

## Podsumowanie

Informacje, które do nas docierają z wszystkich rejonów wszechświata, nie docierają szybciej niż z prędkością  $c = 300\,000\text{ km/s} = 3 \cdot 10^8\text{ m/s}$ .

Jeszcze nie tak dawno określało się wzorzec metra jako odległość między kreskami zarysowanymi na szynie z bardzo twardego metalu, szynie przechowywanej w szczególnych warunkach w Międzynarodowym Biurze Miar w Paryżu. Odległość ta to był najlepszy, najdokładniejszy na świecie metr.

Dziś dalej ten metr istnieje, ale najlepszym wzorcem jest - niby zwyczajnie i prosto - odległość, jaką światło przebiega w czasie  $1/299\,792\,458$  s, czyli ciut większym, niż w jednej trzystumilionowej części sekundy! Bo tak naprawdę, to  $c$  jest tylko przybliżane do  $300\,000$  km/s i wynosi:

$$c = 299\,792,458 \text{ km/s.}$$

Wzorzec paryski, oczywiście, nadal się przechowuje dla wygody, ale już bez obawy, że może w razie jakiegoś kataklizmu przepaść - i co wtedy? Ten nowy wzorzec, oparty na wartości  $c$ , jest niezniszczalny.