

## Na pytanie co to jest fizyka odpowiada

prof. dr Grzegorz BIAŁKOWSKI



Każdy z nas przychodząc na świat, a właściwie należałoby powiedzieć: zasiadając na ławie szkolnej, zastaje pewien obraz nauk, które w sposób mniej lub bardziej schematyczny dzielą między siebie dotychczasowy dorobek myśli ludzkiej. Dowiadujemy się na przykład, że równia pochyła i kalorymetr — to fizyka, natomiast sole i kwasy — to chemia, a pływak żółto-brzeżek i moczarka kanadyjska — to biologia. Oczywiście później przekonujemy się, że fizyka, w odróżnieniu od Coca-Coli, „to nie jest to”, lecz znacznie, znacznie więcej. Podobnie jest i z innymi naukami. Faktem jest jednak, że niepostrzeżenie przyzwyczajamy się do pewnej klasyfikacji, która ukształtowała się historycznie i która, całkiem słusznie, jest podstawą nauczania szkolnego. Nie lekceważąc tej tradycji mamy jednak prawo, a nawet obowiązek, zadać sobie pytanie, czy ta klasyfikacja nauk jest całkowicie uzasadniona merytorycznie, czy też, częściowo przynajmniej, ma charakter przypadkowy.

Dzieje nauk dostarczają nam wielu pouczających przykładów, że zjawiska pozornie zupełnie ze sobą nie powiązane są w rzeczywistości pokrewne i mogą być wyjaśnione w sposób jednolity. Któż na przykład w początku XIX wieku mógł podejrzewać, że zachowanie się kompasu, skurcze żabich udek i tęcza w istocie rzeczy podlegają tym samym prawom, które później, po kilkudziesięciu latach, zostały w ostatecznej postaci sformułowane przez Maxwella? To połączenie się nauki o magnetyzmie, nauki o elektryczności, nauki o prądzie elektrycznym, optyki i innych jeszcze nauk w pewną całość, którą jest klasyczna teoria elektromagnetyzmu, najlepiej wskazuje, że dobrze jest od czasu do czasu „przewietrzyć” aparat pojęciowy odziedziczony po poprzednich pokoleniach.

Weźmy inny przykład, a mianowicie rozpatrzmy wzajemny stosunek fizyki i astronomii. Wcześniej, jeszcze w czasach starożytnych, stworzono już pewne elementy astronomii, ujęte poprawnie od strony opisowej. Natomiast fizyka istniała wówczas w postaci prawa Archimedesesa, pewnych zasad statyki i mało czego jeszcze. Astronomia była więcej niż nauką, była sztuką (miała swoją muzę!), i więcej niż sztuką, bo była częścią wierzeń religijnych. Fizyka natomiast prawie że nie była nauką — była umiejętnością, służyła budowniczym do dźwigania kamieni, jeżeli nie liczyć słynnego *quizu* ze złoto-srebrną koroną tyrana Syrakuz (był to raczej dowód wielkości Archimedesesa niż samej fizyki).

Mimo stopniowego rozwoju, głównie mechaniki i optyki, fizyka pozostawała do czasów nowożytnych taką właśnie prawie nauką świata ziemskiego, podczas gdy astronomia zajmowała się sprawami znacznie „wznioślejszymi” — sprawami niebios. Sytuacja ta zaczęła się radykalnie zmieniać od czasów Kopernika.

Odbierając Ziemi jej uprzywilejowane stanowisko we Wszechświecie, Kopernik uczynił ją jedną z planet, co musiało doprowadzić do prób wyjaśnienia zjawisk astronomicznych prawami fizyki ziemskiej. Jak wiemy, milowym krokiem w tym kierunku były odkrycia Newtona, który spadanie jabłek i ruch planet po orbicie podporządkował tym samym prawom fizycznym. Dziś jest zupełnie oczywiste dla każdego, że astronomia jest fizyką odnoszącą się do szczególnego kręgu zjawisk: wielkich mas, wielkich ciśnień, ogromnych temperatur, a może przede wszystkim przytłaczającej swymi rozmiarami próżni kosmicznej, wypełnionej niesłychanie rzadkim pyłem i promieniowaniem — głównie elektromagnetycznym.

Podobnie rzecz się ma np. z meteorologią oczywiście zakładając, że uzna się ją już dziś za „pełnokrwistą” naukę, mógłby bowiem ktoś o tym powątpiewać biorąc pod uwagę, że wróżby z przysłów ludowych o pogodzie sprawdzają się nie gorzej niż prognozy opracowywane przez sztab synoptyków i komputery. Nikt jednak nie ma wątpliwości co do tego, że zachowaniem wielkich mas powietrza rządzi prawa fizyki, a nie kaprysy istot nadludzkich.

Postawiliśmy pytanie, czym jest fizyka. Narzucają się dwa sposoby szukania odpowiedzi na to pytanie. Zastanówmy się najpierw, czy fizyka nie posługuje się jakąś szczególną, jej tylko właściwą metodą badań, która odróżnia ją od innych nauk.

Metoda taka niewątpliwie istnieje. Jest ona oparta na doświadczeniu, ale jednocześnie ujmuje jego wyniki w skomplikowanym i wysoce sformalizowanym systemie matematycznym. Wszelako inne nauki przyrodnicze także posługują się podobną metodą badań. Różnice między poszczególnymi naukami nie mają



Astronomowie nie są pewni, w jakiej odległości położone są najdalsze obserwowane dziś obiekty, należące, jak wiadomo, do kwazarów. Odległość ta wynosi zapewne około  $10^{26}$  cm.



charakteru zasadniczego, gdyż polegają głównie na stopniu zaangażowania matematyki w analizę danych czerpanych z doświadczenia. Z drugiej strony w obrębie samej fizyki ujawniają się analogiczne różnice pomiędzy jej poszczególnymi działami. Można by też jako kontrargument przytoczyć pewien fakt historyczny, a mianowicie, że stopień sformalizowania zarówno fizyki, jak i pozostałych nauk stale wzrasta; czy jednak biologia na przykład i fizyka rzeczywiście tylko tym się różnią i czy staną się tą samą nauką z chwilą, gdy pierwsza z nich osiągnie ten sam stopień nasycenia matematyką, co i druga? Wątpliwe. Tak więc, choć w metodzie badawczej dzisiejszej fizyki z pewnością jest coś specyficznego tylko dla tej nauki, można powątpiewać, czy wystarcza to do wyodrębnienia jej spośród innych nauk.

Na pierwszy rzut oka bardziej obiecujący wydaje się drugi możliwy sposób określenia fizyki, a mianowicie przez jej przedmiot. Tak można bowiem ująć wiele nauk: biologię — jako naukę o organizmach żywych, geologię — jako naukę o budowie Ziemi, astronomię — jako naukę o budowie ciał niebieskich i ich skupisk. Rychło jednak przekonujemy się, że w wypadku fizyki natrafiamy tu na jakąś istotną trudność. Przedmiotem zainteresowania fizyki są bowiem zjawiska zachodzące zarówno w skali pojedynczego elektronu, który ma rozmiary zapewne rzędu  $10^{-15}$  m, jak i całego Wszechświata: wszak kosmologia także jest działem fizyki. Fizyka zajmuje się zjawiskami w całej skali ciśnień, temperatur czy prędkości. Po tej więc drodze nie można dojść do żadnej definicji tej nauki. Nie można bowiem wskazać żadnego obiektu ani zjawiska, które nie mogłyby być badane przez fizykę. Nauka ta przyniosła wyjaśnienie budowy atomu i natury wiązania chemicznego. Tym samym chemia, nauka o ogromnych tradycjach i równie wielkim znaczeniu w życiu społecznym stała się właściwie gałęzią fizyki, stosującą, rzecz jasna, specyficzne metody, ale w swych podstawach niezrozumiałą bez mechaniki kwantowej, bez fizyki statystycznej i bez elektrodynamiki. Chemia zaś — wraz z fizyką „właściwą” — stanowi podstawę biologii. Organizm jest wszak pewną (ogromnie skomplikowaną, to prawda) strukturą atomów i cząsteczek, a szczególnie cząsteczek białka. Prawa genetyki, mające dla biologii tak zasadnicze znaczenie, mogły stać się zrozumiałe tylko dzięki fizyko-chemicznym badaniom pewnych białek i kwasów organicznych. Jeżeli przyjąć, że geny wyznaczają w jakiś, niedość jeszcze zbadany sposób rozwój i predyspozycje organizmu, to otwiera się przed nami możliwość sprowadzenia biologii do chemii i fizyki, a więc w ostatecznym bilansie do samej fizyki.

Idąc dalej można by pomyśleć, że skoro zjawiska psychiczne są pewnym przejawem działalności mózgu, a budowę tego organu stara się wyjaśnić właśnie biologia (jej dział zwany neurofizjologią), to w pewien odległy sposób także psychologia jest córką fizyki.

Nawet nie posuwając jeszcze dalej tego rozumowania widzimy, że przed fizyką otwierają się zawrotne perspektywy: jako najbardziej podstawowa i uniwersalna z istniejących obecnie nauk o przyrodzie ona jedna ma szansę stać się wszechnauką, której prawa wyjaśniałyby — potencjalnie rzecz biorąc — wszystkie zjawiska w ogóle.

Należy sobie zdać sprawę z tego, że przedstawiliśmy tutaj bardzo odległą ekstrapolację obecnego stanu nauk. Aby ekstrapolację tę uznać za poprawną, należy przyjąć szereg hipotez, które w mniejszym lub większym stopniu mają charakter też filozoficznych. Należy na przykład uznać tezę o jedności Wszechświata, zgodnie z którą nie rozpada się on na szereg nie powiązanych ze sobą dziedzin (np. „fizyczną”, „chemiczną”, „biologiczną”, „psychiczną” itd.), lecz jest w swej materialnej naturze jednolity. Należy też przyjąć, że ze wzrostem złożoności układów materialnych nie pojawiają się w tych układach zjawiska nowe, w tym sensie, że nie można ich przewidzieć na podstawie znajomości zjawisk zachodzących w układach prostszych. Właśnie ta teza musi budzić najwięcej wątpliwości.

Przypatrzmy się bowiem samej fizyce. Fizyka cząstek elementarnych daje — wprawdzie dziś jeszcze niedokładne — pojęcie o naturze sił działających między dwoma protonami czy też między protonem i neutronem. Cząstki te, jak wiadomo, są składnikami jąder atomowych, wydawałoby się więc, że fizyka jądra nie ma nic innego do roboty, jak tylko zastosować te elementarne prawa w badanej przez siebie dziedzinie. Tak jednak nie jest; już teoria najprostszych jąder (w mniejszym stopniu deuteronu, a w większym trytonu) nastrocza wiele trudności.

Źródeł tych trudności jest wiele: i kłopoty z rozwinięciem teorii wiązania jądrowego zgodnej z prawami relatywistycznymi, i konieczność badania układu

bardzo wielu ciał (złożone jądra zawierają kilkaset nukleonów), i wreszcie całkowity brak jasności co do tego, czy np. siły działające w układzie trzech nukleonów można bez reszty sprowadzić do sił między parami nukleonów wchodzących w skład tej trójki. Podobne trudności pojawiają się w innych działach fizyki. I tak np. nie zakończyły się powodzeniem dotychczasowe próby ugruntowania mechaniki statystycznej w mechanice zwykłej — klasycznej lub kwantowej. Przykładów można by podać wiele.

Ogólnie zatem trzeba powiedzieć, że nasze wątpliwości co do tego, czy układy bardziej złożone można wyjaśnić, znając zachowanie układów prostszych, pochodzą z dwu przyczyn: po pierwsze z uświadomienia sobie trudności napotykanym przy samym już tylko opisie układów złożonych zawierających bardzo wiele układów prostszych, a po drugie z niepewności co do tego, czy układy prostsze (np. nukleony w jądrze) mogą ujawniać pewne swe właściwości (np. siły trójnukleonowe), dopóki nie zgromadzi się ich w odpowiedniej liczbie (np. tworząc jądro trytu). Gdyby wątpliwości te były uzasadnione, nie moglibyśmy nigdy oczekiwać, że prawa biologii zostaną sprowadzone do praw fizyki, a to z tego powodu, że w układach biologicznych — mówiąc naiwnie — mogą działać takie siły, które ujawniają się dopiero w momencie powstania takiego układu.

Kwestii tych nie można rozwiązać inaczej, jak tylko w praktyce naukowej. Wyjaśni je dalszy rozwój nauk, a w tym również rozwój fizyki. Jest jednak rzeczą jasną, że udział fizyki w badaniach naukowych w ogóle będzie stale wzrastać, że coraz bardziej przenikać ona będzie do innych nauk, dawniej w stosunku do niej całkiem obcych, jak np. biologia.

Kończąc te uwagi uświadomiam sobie, że nie dałem ostatecznie odpowiedzi na pytanie tytułowe „Co to jest fizyka?” Chyba jednak — jest ona czymś więcej niż skrzypieniem kredą po tablicy szkolnej.



#### Rozwiązanie zadania F3

Oznaczmy odległość urzędów  $A$  i  $C$  od ulicy  $A'C'$  odpowiednio przez  $a$  i  $b$ . Niech punkt  $B'$  oznacza położenie dowolnego adresata na ulicy  $A'C'$ . W układzie współrzędnych, przedstawionym na rysunku, współrzędne punktów  $A$ ,  $B'$  i  $C$  wynoszą odpowiednio:  $A(0, a)$ ,  $B'(x, 0)$ ,  $C(A'C', b)$ , a poszczególne odcinki drogi mają długości:

$AB' = \sqrt{a^2 + x^2}$  i  $B'C = \sqrt{b^2 + (A'C' - x)^2}$ . Jeżeli listonosz idzie z przesyłką z prędkością  $v_1$ , a bez przesyłki z prędkością  $v_2$ , to czas ruchu na drodze  $AB'C$  wynosi

$$(1) \quad t = \frac{1}{v_1} \sqrt{a^2 + x^2} + \frac{1}{v_2} \sqrt{b^2 + (A'C' - x)^2},$$

gdzie  $x \in (0, A'C')$ , gdyż listonosz wybiera adresata mieszkającego przy placu (punkt  $B$ ).

Ekstremalną wartość przyjmuje czas  $t$  dla  $x$  spełniającego warunek  $\frac{dt}{dx} = 0$ , a więc

$$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{v_1} \frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} - \frac{1}{v_2} \frac{A'C' - x}{\sqrt{b^2 + (A'C' - x)^2}} = 0.$$

Warunek ten można wyrazić za pomocą kątów  $\alpha$  i  $\beta$  w postaci

$$(2) \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}, \text{ gdzie } \alpha, \beta \in \left(0, \frac{\pi}{2}\right).$$

Jest to znana postać prawa załamania światła.

Pozostaje jeszcze wykazać, że warunek (2) określa minimalny czas przejścia trasy  $AB'C$ . Funkcje  $t(x)$  oraz  $\frac{dt(x)}{dx}$

są ciągłe, zatem warunek (3) określa minimum, gdy  $\frac{d^2t}{dx^2} > 0$ , co spełnione jest dla  $x \in (0, A'C')$ , gdyż z (1)

otrzymujemy

$$\frac{d^2t}{dx^2} = \frac{1}{v_1} \frac{a^2}{(a^2 + x^2)^{3/2}} + \frac{1}{v_2} \frac{b^2}{(b^2 + (A'C' - x)^2)^{3/2}} > 0.$$

Najkrótszy czas marszu uzyskał listonosz, gdy wyszedł z urzędu  $A$  pod kątem  $\alpha = \alpha_0$ . Zatem po podstawieniu  $\alpha = \alpha_0$  z warunku (2) otrzymujemy

$$(3) \quad \sin \beta = \frac{v_2}{v_1} \sin \alpha_0.$$

Listonosz nie mógł iść na odcinku  $AB$  z paczką, gdyż wówczas  $\frac{v_2}{v_1} = 3$  i dla  $\alpha_0 = 30^\circ$  otrzymujemy z warunku (3)

$\sin \beta = \frac{3}{2} > 1$ , a więc warunek (2) może być spełniony w tym przypadku tylko dla kąta  $\alpha < \alpha_0$ .

Kontynuując analogię do biegu światła możemy stwierdzić, że zmianie prędkości ruchu listonosza po oddaniu paczki odpowiada zmiana prędkości światła przy przejściu do ośrodka o mniejszym współczynniku załamania. Niemożliwość spełnienia warunku (3) odpowiada w tej analogii niemożliwości załamania się światła; kąt padania  $\alpha_0$  jest tu większy od kąta granicznego, a w takiej sytuacji następuje całkowite wewnętrzne odbicie światła.

Warunek ekstremalny (3) przy kącie  $\alpha_0$  może być spełniony tylko wówczas, gdy  $v_2 = v_1$ , tzn. gdy listonosz idzie na odcinku  $AB$  bez paczki, z listem, a więc gdy nie zmienia swej prędkości po oddaniu przesyłki. Wówczas z warunku (3)

otrzymujemy  $\sin \beta = \sin \alpha_0$ , skąd  $\beta = \alpha_0 = 30^\circ$ , gdyż z warunków zadania wynika, że  $\beta \in \left(0, \frac{\pi}{2}\right)$ . Zatem listonosz doręczył list.

