

Ze stałą Plancka po ziemniaki

Nie znamy wszystkich powodów, dla których rok 2019 zaznaczy się w historii nauki. Jeden jest jednak już pewny – od 20 maja wejdą w życie nowe definicje niektórych jednostek układu SI. Zmiany zostały przyjęte pół roku wcześniej przez obradującą w Wersalu Generalną Konferencję Miar (*Conférence générale des poids et mesures*). Decyzja ta jest w pewnym sensie zwieńczeniem procesu zapoczątkowanego wprowadzeniem metrycznego układu jednostek w 1790 roku, który miał wyrazić je w oparciu o uniwersalne i ściśle związane z przyrodą definicje jednostek fizycznych. Przypatrzmy się zatem, jak już niebawem będziemy opisywać masę, natężenie prądu, temperaturę i ilość substancji.

Kilogram. Przez 130 lat masa 1 kg była zdefiniowana jako masa wykonanego ze stopu platyny i irydu wzorca. Istnienie jednego uniwersalnego obiektu wyznaczającego jednostki masy na całym świecie było jednak niepraktyczne, wykonano więc szereg kopii wzorca, które w miarę upływu czasu poczynaly różnić się masą od swojego protoplasty. Nie trzeba mówić, jakie problemy praktyczne czy prawne stwarzała taka sytuacja. Nowa definicja kilograma jest zupełnie inna. Stała Plancka jest z definicji równa dokładnie

$$6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}$$

i, znając definicję sekundy (obowiązującą od 1967 roku) oraz metra (obowiązującą od 1983 roku), możemy stwierdzić, czym jest kilogram.

Amper. Od 63 lat natężenie prądu 1 A było określone w następujący sposób. Braliśmy dwa nieskończone, równoległe przewodniki prostoliniowe umieszczone w próżni w odległości 1 m i przepuszczaliśmy przez nie stały prąd. Jeżeli siła działająca na 1 m takiego przewodnika była równa $2 \cdot 10^{-7}$ N, natężenie prądu było równe jednemu amperowi. Definicja ta była w oczywisty sposób problematyczna, gdyż trudno jest zrealizować doświadczalnie z dużą dokładnością przedstawioną w niej koncepcję pomiaru. W rzeczywistości najdokładniejsze pomiary pozwalające na wyznaczenie ampera opierały się na równowadze między siłami grawitacyjnymi i magnetycznymi. Nowa definicja jednostki natężenia prądu bazuje na wyznaczeniu ładunku elementarnego (np. elektronu lub protonu) jako

$$1 e = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19} \text{ C} ;$$

wówczas prąd 1 A odpowiada przepływowi $\frac{1}{1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}}$ ładunków elementarnych w ciągu sekundy.

Kelwin. Od ponad półwiecza 1 K równał się $\frac{1}{273,16}$ temperatury bezwzględnej punktu potrójnego wody (w którym może istnieć zarówno faza stała, ciekła, jak i gazowa). Nowa definicja określa stałą Boltzmanna jako

$$k_B = 1,380\,649 \cdot 10^{-23} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{K}} ,$$

zatem, znając definicję metra, sekundy i kilograma, możemy wyznaczyć także jednostkę temperatury.

Mol. Dotąd 1 mol dowolnej substancji liczył sobie tyle cząsteczek, ile jest ich w 0,012 kg węgla ^{12}C . Według

nowej definicji będzie to ilość substancji zawierającej $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ cząsteczek. Oznacza to, że liczbę Avogadro przyjmujemy jako znaną dokładnie i względem niej wyznaczamy ilości dowolnych substancji.

Wprowadzenie nowych definicji jednostek jest wyrazem zmian, jakie dokonały się w fizyce w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat. Ustępujące definicje odnoszą się do badania własności obiektów makroskopowych, podczas gdy te nowe są mocno osadzone w badaniach mikroświata. Oznacza to, że obecnie to właśnie doświadczenia w mikroskali są dokładniejsze i łatwiejsze do przeprowadzania w porównywalny sposób w laboratoriach na całym globie.

Zmiana ma też charakter filozoficzno-poznawczy. Dotychczasowe definicje odpowiadały wyobrażeniom i intuicjom, jakie można w łatwy sposób wytworzyć, gdy myślimy o tym, czym jest masa, prąd, temperatura czy ilość substancji. Nowe wzorce rezygnują z tych intuicji i odnoszą się bezpośrednio do wartości stałych fizycznych. Dołączają w ten sposób do trendu wyznaczonego przez sekundę i metr: ta pierwsza to 9 192 631 770 okresów drgań fali elektromagnetycznej odpowiadającej promieniowaniu elektromagnetycznemu przy przejściu między dwoma poziomami struktury nadsubtelnej stanu podstawowego atomu cezu ^{133}Cs ; ten drugi jest zaś drogą pokonywaną w próżni przez światło w ciągu $\frac{1}{299\,792\,458}$ sekundy.

Ma to jeszcze jedną konsekwencję. Już nigdy nie wyznaczymy dokładniej stałej Plancka, ładunku elementarnego, stałej Boltzmanna czy liczby Avogadro – będziemy mogli co najwyżej coraz dokładniej wyznaczać, czym jest kilogram, amper, kelwin i mol. Co więcej, nowe definicje odchodzą od konkretnych układów pomiarowych. Oznacza to, że jeśli w przyszłości naukowcy obmyślą nowe, dokładniejsze metody pomiarowe parametrów mikroświata, nie będzie trzeba się zastanawiać, czy jednostki fizyczne są wyznaczone z dokładnością zgodną z tymi pomiarami.

A zatem – żegnajcie, już na zawsze, wzorce z Sèvres! Fizyka jest przecież bardziej fundamentalna od jakichkolwiek obiektów rządzonych jej prawami.

Krzysztof TURZYŃSKI