



Problemy z jednostkami

Na początku tego roku miałem wątpliwą przyjemność wzięcia udziału w konsultacjach dotyczących zmian w programie nauczania.

Jerzy **Kuczyński**

Przyjemność była wątpliwa, bo rzuciło się w oczy, że proponowane zmiany były nieprzemyślane a wydało mi się, że zasada wybierania haseł do usunięcia (zmiany były dokonywane pod hasłem „odchudzenia programu”) sprowadzała się do wyrzucenia z programu nauczania fizyki treści nieco trudniejszych przy pozostawieniu tych łatwiej przyswajalnych. Oczywiście powinno być dokładnie na odwrót. Można usunąć to co przyszedł dorosły w razie potrzeby sam może opanować a trzeba pozostawić to do czego nauczania się potrzebna jest pomoc nauczyciela.

Równoległe do usuwania pewnych treści z programu ministerstwo powinno zadbać o obszerny i stale uaktualniany i łatwo dostępny zestaw materiałów do uzupełniania wiedzy. Konieczność uaktualniania wynika z tego, że obecny uczeń poczuje braki w swoim wykształceniu za kilka, kilkanaście lat, kiedy wiedza ulegnie

pewnym zmianom. W rzeczywistości program szkolny powinien ograniczyć się do przekazania uczniom tych elementów wiedzy, które są niezbędne by samodzielnie rozumieć teksty naukowe (na pewnym poziomie!). Oczywiście to najtrudniejsze elementy programu szkolnego. Trudne i dla większości uczniów mało ciekawe. Ale nie bez powodu szkoła jest obowiązkowa!¹

Jednym z takich „mało ciekawych” elementów fizyki są jednostki i ich przeliczanie. Tak jakoś mi trafiło, że ten problem jest dla mnie dość fascynujący i jednym z powodów mojej irytacji przy zapoznawaniu się z propozycjami zmian w programie fizyki było to, że zaproponowano usunięcie tego zagadnienia a które uważam na niezbędne. Po pierwsze jest przydatne w prawie wszystkich zawodach. Nawet literaturoznawca od czasu do czasu musi jakieś jednostki przeliczać (np. strony w książce na znaki drukarskie). Dla handlowca², lekarza lub inżyniera przeliczanie wielkości podanych w różnych jednostkach to codzienność. A już najgorzej z urzędnikami, dla których

¹ Warto zwrócić uwagę na to, że zarówno ciekawe jak i bezpośrednio przydatne w życiu elementy wiedzy są nauczane i to na koszt uczących się. Przykładem są wszelkiego rodzaju kursy np. językowe czy „na prawo jazdy”. Mimo oczywistej przydatności a nawet niezbędności nauczanych tam umiejętności nie ma żadnego powodu „wyważania otwartych drzwi” i dopłacania do tej części „systemu oświaty”.

² Np. zawartości towaru w różnych opakowaniach.

mylenie jednostek oznacza ogromne szkody... dla nas wszystkich³. Dlatego przeliczanie jednostek uważam za jeden z najważniejszych elementów edukacji szkolnej.

Zaraz po napisaniu co myślę o zmianach w programie szkolnym zacząłem pisać tekst o jednostkach. Ponieważ pisałem głównie „sobie a muzom” miałem ambicje napisania czegoś interesującego. Konkretnie chciałem napisać o związkach dawnych systemów jednostek ze współczesnymi ideami teorii pola.

Nie jest to zbyt powszechnie znane i może nie jest zbyt ważne, ale dawniej ludzie „w jednostki” wkładali różne rzeczy takie jak np. fracht czy marżę handlową⁴. To ostatnie miało, dla współczesnego człowieka, dość nieoczekiwane konsekwencje. Np. „objętość” towarów sypkich (mąka, kasza) mierzono w korcach, gdzie ważne były, dla nas nieistotne wielkości, takie jak wysokość i średnica ceberka stanowiącego wzorec korca.

Otóż kupowano i sprzedawano na te same ceberki i za tą samą cenę, ale kupiec kupował od producenta „z czubem” a sprzedawał „pod strychulec” czyli na płasko – marżę handlową stanowił „czub” oczywiście większy dla szerszego a płytszego ceberka. Istotny był nawet sposób sypania – sypanie z większej wysokości ubija materiał. Ale to już raczej „wyższa szkoła jednostek” dla mnie ciekawa, ale dla ucznia pewnie niezrozumiała. Może dlatego tekstu nie dokończyłem.

Jednak ostatnio problem mi się przypomniał i to na zupełnie elementarnym poziomie. Otóż w „Polityce”, czyli wydawałoby się dość rzetelnym piśmie, omawiając ostatnią powódź (nr 40 s. 60) autor użył sformułowania „opady powyżej 200 mm na metr kwadratowy. Kiedyś tak czasem mówiły „pogodynki”⁵, ale to co w mowie można uznać za przejęzyczenie to w piśmie, zwłaszcza mającym ambicje „opiniotwórczego” jest niedopuszczalne. A rzecz jest zupełnie oczywista. W języku polskim słowo „na” oznacza dzielenie. Intuicyjnie jest jasne, że np. 30 litrów na m² oznacza, że na powierzchnię metra kwadratowego spadły dwa 15 litrowe wiadra deszczu. Nietrudno to przeliczyć na milimetry. Litr to 10⁻³ m³ więc 10⁻³ m³/m² = 10⁻³ m = 1 mm. Sens tego rachunku jest oczywisty – litr wody rozlany na metrze kwadratowym to jezioro o głębokości 1 mm, czyli jak mówią meteorolodzy 1 mm słupa (wody). A więc milimetry i litry na metr kwadratowy to to samo.

³ Znakomitym przykładem jest coś co można nazwać problemem „3 sekund”. I w Internecie wmawiają nam (policja?), że mamy jechać samochodem w takiej odległości od pojazdu poprzedzającego by dojechać po trzech sekundach do miejsca, gdzie w tej chwili widzimy ten pojazd. W rzeczywistości przepis Kodeksu mówi, że mamy jechać w odległości w metrach równej połowie prędkości w km/h. Można się zgodzić, że to mało zgrabne sformułowanie, ale dość praktyczne – jeżeli jedziemy 60 km/h to mamy być w odległości 30 m od pojazdu poprzedzającego. Przeliczenie to na czas jazdy to problem dla siódmoklasisty – trzeba podzielić odległość przez prędkość. A więc $t = s/v$, czyli $30 \text{ m} / (60 \text{ km/h}) = 1,8 \text{ s}$. W konkretnym przypadku siódmoklasista powinien sobie poradzić. Trochę gorzej w ogólnym przypadku, ale i tu uczeń nie jest całkiem bez szans i rachunek może przebiegać tak $t = (1/2) \cdot \text{m} / (\text{km/h}) = 1/2 \text{ m} \cdot (3600\text{s} / 1000 \cdot \text{m}) = 1,8 \text{ s}$ czyli czas jest ten sam dla dowolnej prędkości. Rachunek wskazuje, że „powiadający nas o obowiązującym prawie” oszukują ilościowo prawie dwukrotnie. Mam nadzieję, że za wielu kierowców nie dostało na postawie tej interpretacji mandatów i punktów karnych.

⁴ W XVIII w Londynie cena „ceberka” węgla z Newcastle, czyli tzw. węgla morskiego, była ta sama co w porcie załadunku. Ceberki też był taki a sam fracht był zawarty w innym sposobie załadunku ceberka. Zbliżone rozwiązania dotyczyły innych towarów i to podobno na całym świecie. Wkładanie „marży” w jednostkę było dość powszechne i częściowo wynikało z ideologii (z biblijnego zakazu lichwy). Stąd inne jednostki przy sprzedaży i zakupie, zwłaszcza gdy obie czynności zachodziły w różnych miejscach! Ze współczesnego punktu widzenia takie postępowanie to nic innego jak „cechowanie lokalne” czyli podstawa nowoczesnej teorii pola. Jak widać dawne sposoby mierzenia i handlowania mogą być niezłym wstępem do współczesnej fizyki. Polecam książkę „Miary i ludzie” W. Kuli. Podobne w kwestii samych jednostek polecam A. Weintrita „Jednostki miar wczoraj i dziś” gdzie znajdziemy wyczerpujący opis większości jednostek używanych w ostatnich wiekach i współcześnie.

⁵ Ale już tak nie mówią. Pewnie ktoś im to wytłumaczył. Natomiast dalej mówią, że „barometry wskażą ...”. Oczywiście nie wskażą, bo podawane ciśnienie jest zwykle zredukowane do pewnych standardowych wysokości, najczęściej do poziomu morza.



Milimetr na metr kwadratowy to oczywiście 10⁻³ m⁻¹. Ta wielkość w układzie SI nazywa się miliodiotrią nie ma nic wspólnego z opadami a służy do pomiaru zdolności skupiającej układów optycznych. Popelniał tu pewne dość istotne z nadużycie, które warto wyjaśnić. Otóż miano wielkości fizycznej nie jest jednoznacznie związane z sensem fizycznym i co istotniejsze niektóre matematyczne działania nie zmieniające wielkości można uznać za zmieniające jej fizyczny sens. Rozszerzanie i skracanie ułamka opisującego jednostkę w pewien sposób zmienia sens tej jednostki. Jeżeli rozszerzymy dioptrię przez m² to uzyskamy m²/m³. Dla oficera ładunkowego statku jest to czytelną jednostką tego, ile jakiegoś towaru mierzonego w metrach kwadratowych (np. tafli szkła) zmieści się w danej przestrzeni ładunkowej statku. Rachunki prowadzące do wyznaczania jednostek są, jak wiemy zupełnie elementarne i jak dotychczas były obecne w szkolnych podręcznikach. Inna sprawa czy przykładowo do nich wystarczającą wagę. A jak widać problem jest w praktyce bardzo istotny!

Warto się zastanowić nad tym jak wybierać wielkości mające określać „ilości opisujące świat”. Otóż ogólnie rzecz biorąc rozsądnie jest wybierać wielkości zachowywane i używać takich jednostek tych wielkości by uzyskane liczby były intuicyjnie zrozumiałe, czyli były możliwie niewielkie. Dlatego mówiąc o budżecie Państwa używamy miliardów a na nasze codzienne potrzeby finansowe tylko tysięcy. Problem wyboru właściwej wielkości i jej jednostki dobrze ilustruje handel drewnem. Ilość

drewna opisujemy objętością i używamy do tego celu metrów sześciennych. Warto zastanowić się, dlaczego nie handlujemy drewnem w tonach i kilogramach tak jak to robimy w przypadku węgla. Otóż przyczyną jest higroskopijność drewna. Ta sama ilość drewna po dłuższym pobycie w wilgotnym otoczeniu zyskuje na masie. A w suchym pomieszczeniu potrafi stracić znaczną część swojej masy. Objętość zmienia się znacznie mniej⁶. Dlatego do pomiaru ilości drewna wolimy używać objętości niż masy.

Warto też zwrócić uwagę na to, że z zasady preferujemy prostotę pomiaru i często na jej rzecz rezygnujemy z dokładności. Np. handlując drewnem opałowym używamy „metra przestrzennego” czyli ilości drewna jaką daje się ułożyć w skrzyni o określonych wymiarach. W przypadku drewna opałowego oznacza to ułożenie z większą lub mniejszą ilością luk i godzimy się nawet na kilkunastoprocentową niepewność pomiaru. Warto zauważyć, że podobnie zachowujemy się na stacjach paliw. Do pomiaru używamy objętości, mimo że zawartość energii w paliwie zależy od masy. Benzyna wykazuje kilku procentową rozszerzalność termiczną więc kupując „na litry” zgadzamy się z taką tolerancją.

Zdarza się, że z tego typu własności jednostek wykorzystuje się do oszukiwania. Dobrym tego przypadkiem jest wykorzystywanie do oceny mocy bomb jądrowych tzw. kiloton TNT. Otóż trotyl traktowany jako paliwo jest b. słaby. Konkretnie ma nieco ponad 4 MJ/kg podczas gdy np. benzyna to 42-44 MJ/kg. Stąd, gdy uda się zmusić do wybuchu paliwo węglowodorowe to efekt jest „teoretycznie” 10 krotnie większy od wybuchu trotylu. Powód jest oczywisty – chemiczne materiały wybuchowe zawierają wszystkie składniki potrzebne do reakcji a paliwo trzeba dopiero zmieszać z powietrzem by wybuchło.

W rzeczywistości to co powoduje, że trotyl jest „mocnym materiałem wybuchowym” nie jest zawartość energii chemicznej a ilość wydzielonych gazów i tempo spalania. A więc problemem jest taki sposób mieszania paliwa z powietrzem by dynamika spalania była zbliżona

do trotylowej, co wcale nie jest łatwe. Podobnie skutek wybuchu bomby jądrowej jest nieporównanie słabszy od wybuchu jej analogu trotylowego. Znowu oczywiście nie biorąc pod uwagę innych czynników takich jak np. promieniowanie jonizujące.

Dzisiaj (początek października) przeczytałem o użyciu na Ukrainie „najpotężniejszej niejądrowej bomby”. Chodzi o coś co kiedyś nazwano bombą paliwowo – powietrzną a teraz termobaryczną. Wspomniana bomba ODBA-9000 odpowiada energetycznie 44 tonom TNT. Warto ocenić jej realną moc⁷. Uważa się⁸, że promień zniszczeń spowodowany wybuchem jest 20 krotnie większy od promienia wybuchającego materiału. W b. dużej bombie termobarycznej (czyli paliwowej) wybuchający materiał ma średnicę ponad 20 metrów (bomba najpierw uwalnia paliwo by zmieszać je z powietrzem a dopiero potem inicjuje wybuch mieszanki) co da kilkuset metrową średnicę obszaru zniszczeń. Przy okazji warto zauważyć, że taki obszar zniszczeń odpowiada kilotonowej bombie jądrowej. A więc skutki wybuchu kilkudziesięciu ton materiału chemicznego odpowiadałoby kilkuset tonom „jądrowym”. Jak widać zgrabnie dobierając jednostki, w tym przypadku kilotony TNT, można przy względnie poprawnym rachunku można całkiem sporo wmówić odbiorcy informacji.

Dla mnie konkluzja jest oczywista. Jednostki są bardzo istotną częścią wiedzy o naszym świecie. I nawet nie wchodząc w subtelności dawnej „metrologii” warto, przynajmniej na elementarnym, poziomie upowszechnić reguły dotyczące przeliczania jednostek. Raz po to by rozumieć świat. Po drugie by utrudnić oszukiwanie, bo właśnie w jednostkach tkwią, jeżeli nie największe to na pewno duże możliwości oszukiwania. I w końcu tego typu rachunki są dość proste i nawet ucznia szkoły podstawowej można tego nauczyć, przyzwyczajając go do ilościowego podejścia do rzeczywistości. A w końcu właśnie to podejście jest istotą fizyki.

Jerzy Kuczyński
Akademia Śląska

⁶ Co nie znaczy, że zmiany objętości drewna czasem nie są istotne. Np. drewniana łódź przechowywana zimą w hangarze najczęściej zwodowana wiosną cieknie a nawet tonie. Nie trwa to zbyt długo – drewno pęcznieje i łódź przestaje cieknąć.

⁷ Przy okazji podano, prawdopodobnie z powodu pomylenia metrów z metrami kwadratowymi, absurdalnie małą powierzchnię obszaru zniszczeń tej bomby odpowiadającą promieniowi około 13 metrów.

⁸ Z. Mendygrał „Arsenal Belony”, Wydawnictwo MON, W-Wa 1977 s. 244.

