

O nieprawidłowościach w oznaczeniach wielkości fizycznych i pojęciu ciepła

Tadeusz M. Molenda

Uniwersytet Szczeciński, Wydział Matematyczno - Fizyczny,
Pracownia Dydaktyki Fizyki i Astronomii, Instytut Fizyki

Po wprowadzeniu reformy w szkołach i pojawieniu się wielu wydawnictw podręczników szkolnych z fizyki niektóre nieprawidłowości w zapisie, określeniach nie zostały wyeliminowane. Co więcej, pewne złe przyzwyczajenia nawet się upowszechniły. Jest to o tyle niekorzystne, że wyszło już ze szkół wiele roczników, które będą kultywować to czego się nauczyli w szkole zgodnie z przysłowiem „czym skorupka za młodu nasiąknie”. Nieprawidłowości te spotykamy w pracach uczniów, np. na olimpiadzie fizycznej, konkursach fizycznych, w pracach studentów. W bardzo dużej części dotyczą zapisu wielkości fizycznych, oznaczeń, określeń, które wynieśli z nauki w szkole. Proces odzwyczajania jest długi i często mało skuteczny podobnie jak u wielu osób myślenie w kategoriach fizyki arystotelesowskiej.

Szczególnymi nieprawidłowościami, z którymi często można się spotkać to energia cieplna, błąd pomiaru, zapis wartości wielkości fizycznych. Z innych to zapis i formułowanie praw fizyki bez uwzględnienia relacji przyczynowo-skutkowej, nieprawidłowe zaznaczanie sił działających na ciało, masa relatywistyczna.

O zapisie symboli wielkości fizycznych

Przeglądając prace uczniów, studentów a nawet w podręcznikach spotykamy wiele dowolności w zapisie wartości wielkości fizycznej. Przykładowo dla zapisu $s = 5$ m możemy spotkać bardzo wiele kombinacji, jak

- 1) brak odstępu (spacji) między znakami, np. $s = 5m$, $s = 5m$, $s = 5$ m itp.
- 2) symbol wielkości fizycznej zapisany czcionką prostą lub jednostka lub liczba zapisana czcionką pochyłą, np. $s = 5$ m, $s = 5$ m, $s = 5$ m itp.
- 3) symbol jednostki fizycznej zapisany w nawiasie, np. $s = 5$ [m].

Spotyka też się zapis postaci $s = 5 = 5$ m, w którym w części pominięto jednostkę. Taki sposób jest praktykowany przez wielu nauczycieli, gdy dokonuje się przekształceń na wartościach liczbowych a na końcu dopisuje się jednostkę, np.

$$\frac{1}{R} = \frac{3}{7} + \frac{1}{14} = \frac{7}{14} = \frac{1}{2} \Omega^{-1}.$$

Takie zapisy można spotkać w starszych książkach, np. [9], niemniej pojawiają się również w nowo wydanych.

Reguły dotyczące zapisu wielkości fizycznych opracowano głównie na podstawie [1–8]. Reguły dotyczące zapisu wielkości fizycznych wynikają wprost z definicji, jego zapisu oraz zastosowania w sytuacjach wątpliwych zasady brzytwy Ockhama.

Niech A oznacza symbol wielkości fizycznej, którą piszemy *kursywą*. Wartość wielkości fizycznej A możemy zapisać jako iloczyn liczby $\{A\}$ i jednostki $[A]$:

$$A = \{A\} [A].$$

Z zapisu tego bezpośrednio wynika kształt zapisu i sposób postępowania.

Przykład

Niech wartość przebytej drogi s wynosi 5 metrów. W zapisie mamy $s = 5$ m.

Oznacza to, że:

- 1) Wartość liczbowa przebytej drogi s , w przyjętym układzie jednostek SI, wynosi 5, co zapisujemy: $\{s\} = 5$.
- 2) Jednostka przebytej drogi s , w przyjętym układzie jednostek (SI), wynosi m, co zapisujemy: $[s] = \text{m}$.

Powyższe oznacza nie tylko sposób zapisu, ale i postępowania. Od strony matematycznej mamy przyporządkowanie symbolowi A :

- a) wartość liczbową poprzez operację

$$\{ \} : A \rightarrow \{A\}$$

- b) jednostkę miary

$$[] : A \rightarrow [A].$$

Oznaczenia $\{ \}$ i $[]$ są operacjami. Stosowanie ich do innych celów daje kolizję oznaczeń i może być źródłem nieporozumień. Oznaczenie $[m]$ w zapisie powinno być jednoznacznie odczytane jako operacja brania jednostki z wielkości m znajdującej się w nawiasie kwadratowym co w wyniku daje kg. Jednak w praktyce taki zapis czasami stosuje się do oznaczenia jednostki pisząc $s = 5 [m]$.

Zapis taki w praktyce szkolnej jest częstym co można potwierdzić np. na podstawie prac uczniów w olimpiadzie fizycznej, praktyk studentów w szkołach. Chciałbym podkreślić – niezgodny z przyjętymi konwencjami (i to stosowanymi od dawna, np. [1]). Praktyka stosowania jednak odbiega od przyjętej konwencji co ma swoje korzenie w stosowaniu jej (nadal) w publikacjach naukowych – z fizyki, techniki. Jednak w procesie kształcenia należy zadbać aby zapisy były zgodne z wielką unifikacją w tym zakresie jaką wnosi układ SI.

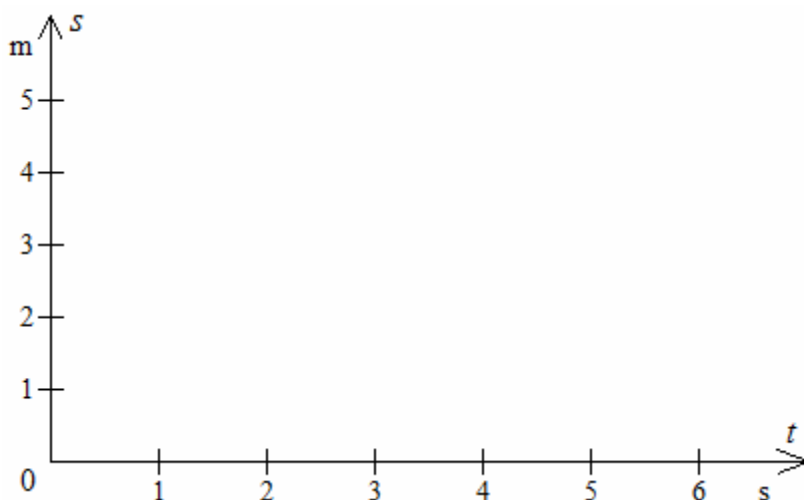
O ile zapis $s = 5 [m]$ nie wzbudza raczej wątpliwości, że nie należy go stosować – gdyż w podręcznikach szkolnych nie występuje (w niektórych zbiorach jednak się pojawia, np. M.Sawicki: Przewodnik gimnazjalisty. Fizyka. Jak rozwiązywać zadania. Wyd. „Kram”, Warszawa 2004.) to przy oznaczeniach na osiach współrzędnych jednostek nadal jest stosowany.

Zgodnie z przyjętymi konwencjami międzynarodowymi i normami, można przytoczyć następujące obowiązujące reguły, które zostały opracowane dla potrzeb zapisu zadań w olimpiadzie fizycznej [6]:

1. Symbole skalarnych wielkości fizycznych piszemy kursywą np.
 $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$, (stała Boltzmanna), $\alpha_R = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$, V , v itd.
2. Symbole wielkości fizycznych wektorowych piszemy:

- zwykłymi literami z jedną strzałką nad literą (w niektórych podręcznikach jest zapis kursywą);
 - lub literami pochyłymi pogrubionymi (bez strzałki).
3. Wartości liczbowe wielkości fizycznych piszemy czcionką prostą, np. 5 m, 1200 W itd.
 4. Symbole jednostek miar piszemy drukiem prostym i literami małymi za wyjątkiem gdy pochodzą od nazwisk, np. A (amper).
 - Samą nazwę jednostki zapisujemy zawsze małą literą, np. niuton (N), metr (m).
 - Symbol jednostki nie jest skrótem, lecz wielkością matematyczną. Operacjami matematycznymi nie można działać na nazwy jednostek. Można zapisać np. metr na sekundę, ale nie metr/sekunda.
 5. Wartość liczbową i symbol jednostki wielkości fizycznej muszą być oddzielone przerwą jednostkową, np. 23 cm a nie 23cm. Wyjątkiem są symbole jednostek kąta płaskiego, znaków: %, °C – piszemy 10% a nie 10 %, 21°C, a nie 21 °C.
 6. Symbole pierwiastków chemicznych, związków chemicznych, nuklidów, cząstek piszemy czcionką prostą, np.: He, Cu, nukleon – N, proton – p, cząstka alfa – α ; foton, promieniowanie gamma – γ , itd.
 7. Symbol punktu – piszemy dużą literą, czcionką pochyłą, np. A, B.
 8. Liczby, wartości liczbowe wielkości fizycznych, symbole stałych matematycznych piszemy czcionką prostą, np. π e.
Przy zapisie komputerowym należy zwrócić uwagę:
 - aby stosować między wartością liczbową a jednostką spację nierozdzielającą w tych przypadkach gdy odstęp między nimi jest większy niż na jedną spację. Pojawia się to często w tekstach ze względu na justowanie (rozciągnięcie tekstu do marginesów).
 - aby symbol prędkości „v” nie wyglądał jak „v”, czyli jak symbol częstotliwości. Mianowicie dobrą czcionką dla „v” jest Georgia.
 9. Opis osi współrzędnych:
 - z lewej strony osi rzędnych (obok strzałki) i pod osią odciętych piszemy: symbol wielkości (kursywa), przecinek, spacja, symbol jednostki, np. F, N; lub bardziej przejrzysta, którą znajdziemy w pierwszej z książek z zadaniami z olimpiady fizycznej [9]
 - z lewej strony osi rzędnych (obok strzałki) i pod osią odciętych (pod strzałką) piszemy: symbol jednostki (czcionka prosta); natomiast symbol wielkości fizycznej (kursywa) z prawej strony osi rzędnych (obok strzałki), nad osią odciętych (nad strzałką).

W tym oznaczeniu mamy nad i po wartościach liczbowych symbol jednostki a obok i nad oddzielone końcem osi (gdzie strzałka) symbole wielkości fizycznych.



Rys. Oznaczenie jednostek i symboli wielkości fizycznych.

10. Opis w tabelce:

- symbol wielkości (kursywa), przecinek, spacja, symbol jednostki (czcionka prosta), np. F , N;
- lub
- podzielona część główki na górną gdzie są symbole wielkości fizycznych i dolną gdzie są symbole jednostek.

O ciepłe i energii cieplnej

Ciepło jest nazwą historyczną, wieloznaczną co powoduje komplikacje w procesie kształtowania tego pojęcia i późniejszego jego stosowania. Na ten temat i (nie)stosowania terminu energia cieplna w procesie kształcenia, od kilkudziesięciu lat było bardzo wiele wypowiedzi i zabiegów aby to określenie wyeliminować. Mimo wszystko określenie to nadal się pojawia, np. zadanie maturalne zamknięte nr 9 z maja 2007 r., zadanie teoretyczne nr 3 w zawodach finałowych LVII Olimpiady Fizycznej (2007/2008).

Zabiegi, które poczyniono w obowiązujących podręcznikach szkolnych sprzed 1990 r. celem wyeliminowania nieprawidłowości w tym zakresie okazały się nie do końca skuteczne skoro nawet w zadaniu maturalnym pojawia się termin energia cieplna a w komunikatach w mediach słyszymy o podwyżce cen energii cieplnej. Radykalnym w tym zakresie było zrezygnowanie w podręczniku: J.Gintera – „Fizyka do kl. 7 szkoły podstawowej” z terminu „ciepło” celem wyeliminowania niejednoznaczności pojęciowej.

Ciepło w fizyce jest terminem, który jest używany dwojako [5, 10-12]:

- a) proces. Bardziej poprawnie zamiast „ciepło”, powinniśmy mówić ciepły przepływ (przekaz) energii (na sposób ciepła tj. różny od pracy sposób przekazywania energii).

- b) wielkość fizyczna Q charakteryzująca proces cieplnego przepływu energii równa ilości przekazanej energii.

Ciepło, podobnie jak praca, nie jest funkcją stanu, lecz zależy od drogi – przejścia od jednego stanu do drugiego. Ma to swój wyraz w zapisie I zasady termodynamiki w postaci infinytezymalnej $dU = \delta W + \delta Q$, gdzie W i Q są różniczkami niezupełnymi (formami Pfaffa), natomiast energia wewnętrzna jako funkcja stanu jest różniczką zupełną. Natomiast w zapisie I zasady termodynamiki $\Delta U = W + Q$, przy W i Q nie piszemy Δ , tj. ΔW , ΔQ , gdyż nie można napisać $\Delta W = W_2 - W_1$, czy $\Delta Q = Q_2 - Q_1$, W i Q nie są funkcjami stanu.

Stosowanie zatem określenia energia cieplna w znaczeniu „ciepło” jest poważnym błędem merytorycznym, natomiast w znaczeniu energia wewnętrzna i utożsamianie jej z energią wewnętrzną jest wprowadzaniem zamętu terminologicznego, który nie powinien mieć miejsca.

Źródłem nieporozumień jest potoczne stosowanie określenia „ciepło” tam, gdzie właściwie chodzi o temperaturę. W tym znaczeniu ciepło, zimno, ciepły, cieplejszy, zimniejszy odnoszą się do stanu określenia zmysłowego temperatury, która jest funkcją stanu. Wyraz ciepło ma tu niewiele wspólnego z pojęciem ciepła Q . Zupełnie fałszywe wiązanie ciepła ze stanem termodynamicznym jest reminiscencją dawnej błędnej teorii ciepłika. Fakt, że jedno ciało ma wyższą temperaturę a drugie niższą tłumaczono różną ilością zawartej w tych ciałach substancji cieplnej zwanej „cieplikiem”. Pewne oparcie dla hipotezy ciepłika było w kalorymetrii – gdzie można pozornie mierzyć ilość „cieplika” przepływającego od ciała o wyższej temperaturze (cieplejszego) do ciała o niższej temperaturze (zimniejszego) podczas ich kontaktu termicznego.

Powstała w tym czasie terminologia pokutuje do dziś w mylących terminach np. wymiana ciepła, pojemność cieplna.

Podsumowanie

W procesie kształcenia, przy wprowadzaniu pojęć fizycznych należy zadbać zarówno o prawidłową kolejność poszczególnych faz ich kształtowania jak i zgodność terminologiczną, poprawność znaczeniową, merytoryczną, zgodność oznaczeń z przyjętymi normami. Dotyczy to w szczególności zapisu symboli wielkości fizycznych i ich jednostek, rozumienia pojęć fizycznych, które często w języku potocznym mają inne znaczenie niż w fizyce jak np. dla często mylonego z energią wewnętrzną czy temperaturą pojęcia ciepła.

Literatura

1. Błażejowski S.: Najważniejsze jednostki miar. PWT, Warszawa 1960.
2. Massalski J. M., Studnicki J.: *Legalne jednostki miar i stałe fizyczne*. PWN, Warszawa 1999.
3. Massalski J.: *Praktyka stosowania SI. Fizyka w szkole* nr 3, 150 (1998).
4. Massalski J. M.: *O układzie SI i symbolach*, *Postępy Fizyki* 48, 227 (1997).
5. Molenda T., Stelmach J.: *Fizyka dla uczniów szkół średnich*. Interbook, Szczecin 1997 i wyd. późniejsze.

6. Molenda T. M.: *Wytyczne do zapisu zadań z olimpiady fizycznej*.
<http://of.szc.pl/index.php?strona=16>
7. Nelson R.A.: *Guide for Metric Practice, Physics Today*, August 1996, BG 15; August 1998, BG 13.
8. Symbols, *Units and Nomenclature in Physics*, Document IUPAP 25 (1987) – International Union of Pure and Applied Physics SUN Commission.
9. Czarnecki S.: *Olimpiady Fizyczne I – IV*. PZWS, Warszawa 1956.
10. Pniewski T.: *Termodynamika w klasie VII szkoły podstawowej*. *Fizyka w Szkole* nr 2, 1991 r., str. 75-82.
11. Werle J.: *Termodynamika fenomenologiczna*. PWN, Warszawa 1957.
12. *Encyklopedia szkolna. Fizyka z astronomią*, WSIP, Warszawa 2002.