

Nauczanie fizyki – trudności matematyczne czy nieumiejętność komunikacji

Grzegorz Karwasz

Zakład Dydaktyki Fizyki, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Streszczenie

Fizykę na egzaminie maturalnym wybiera jedynie 4% uczniów. W powszechnej opinii, jest ona przedmiotem nie lubianym i trudnym. Gdzie leżą trudności? Pokazujemy, że również w nieumiejętności komunikowania wiedzy. Rozwiązań należy szukać zarówno we właściwie konstruowanych ścieżkach dydaktycznych z wykorzystaniem poglądowych eksponatów jak w warstwie etymologicznej – skojarzeń, gry słów, użycia wyrażenia pochodzenia obcego.

Abstract

Physics loses its attractiveness: in Poland only 4% pupils choose it at the maturity exams. Commonly, physics is considered difficult and boring. Where are the difficulties? We say that also in the lack of communication. Solutions can be found in constructing didactical paths using hand-on objects and in the etymological analysis as well – different meanings, collocations, playing with words, also in foreign languages.

I. Wstęp

Motto: „Chodzi mi o to, aby język giętki powiedział wszystko, co pomyśli głowa...”

Wybraliśmy na motto słowa Wieszcza, nie przez ukłon w stronę nauk humanistycznych, ale dla wskazania istotnego problemu we właściwej **werbalizacji** treści dydaktycznych, również w zakresie nauk ścisłych.

W języku Eskimosów kilkanaście określeń dotyczy rodzaju śniegu a języku gruzińskim kilkanaście określeń dotyczy stopnia zaawansowania wegetacji winorośli. Oczywiście, istnienie określonej klasy pojęciowej znajduje odzwierciedlenie w języku.

Podobnie ma się przy porównaniu języków obcych. W języku włoskim, korzystającym poprzez łacinę z wielu kategorii języka greckiego, *antagonista* oznacza nie tylko *wroga* ale i *przeciwwagę*, np. głównej postaci w greckim dramacie, a na określenie „bohatera” dramatu, używa się słowa *protagonista*. W polskim języku potocznym słowo bohater powieści i bohater bitwy korzystają z tego samego rzeczownika, czego nie ma w języku włoskim. De facto więc, w polskim języku potocznym słowo *protagonista* nie ma odpowiednika.

Włoskie *sentimento*, oznacza nie *sentiment*, ale *uczucie* a także *przeczuć* a słowo *senso* to nie tylko polski *sens* ale także *zmysł* i *poczucie* (np. winy). Zakresy znaczeniowe *sentimento* i *senso* pozostają więc w dużej mierze rozdzielne w obu językach, choć odpowiednie kombinacje pozwalają na pokrycie w miarę wszystkich kategorii pojęciowych.

Nie jest tak na przykład ze słowem *revindicazione*, co można by przetłumaczyć na *rewindykację* nadając słowu od razu zastosowanie prawne (i finansowe). Włoski oryginał oznacza jednak nie tylko żądanie finansowe, ale też prośbę o odstąpienie zarezerwowanego

uprzednio miejsca w pociągu. Na uprzejmą prośbę o uznanie naszych praw zaistniałych wcześniej brakuje w języku polskim odpowiednika. Z kolei włoskie *premio* to nie tylko *nagroda* ale także doroczna opłata z tytułu ubezpieczenia (domu, samochodu); tak trochę dla osłody konieczności płacenia. Wreszcie w kulturze, włoskie *rinascimento* oznacza dokładnie *odrodzenie*, które w języku polskim ma już znaczenie zarezerwowane, tak więc *renesansowi* nadajemy znaczenie *odnowy*.

Władysław Tatarkiewicz napisał traktat „O szczęściu” [1] z przesłaniem podkreślenia zasadniczej różnicy między angielskim *luck* i *happiness* – pierwsze jednorazowe i przelotne, drugie pełne i długotrwałe. We włoskim odpowiedniki są nawet bardziej przejrzyste: *fortuna* i *felicità*. W języku polskim nachodzenie na siebie dwóch znaczeń sugeruje, że dla osiągnięcia *szczęścia* potrzebne jest *szczęście*, co może mieć konsekwencje nie tylko lingwistyczne, ale i edukacyjno - społeczne. Hedonizm wydaje się być nieobecny we współczesnych polskich wzorcach kulturowych, z Petroniuszem Sienkiewiczem jako jego zapewne *epigonem*...

II. Budowanie zrozumienia w warstwie słownej

Co oznacza w praktyce dydaktycznej ta różnorodność sensów i zakresów pojęciowych tych samych słów? Tłumaczy się ona na umiejętność szukania przez wykładowcę właściwego określenia dla najlepszego oddania znaczenia danego: i) zjawiska, ii) przedmiotu, iii) kategorii abstrakcyjnej. Doświadczony wykładowca nie ogranicza więc wyjaśnienia do cytowania definicji, ale stwarza nie tylko warstwę słowną, ale i przykładową dla przekazania właściwego znaczenia.

W ostatnich latach niektóre środowiska fizyków [2] podjęły próbę rozgraniczenia słowa „prędkość”, jako odnoszącego się do ruchu od słowa „szybkość” jako odnoszącego się np. do reakcji chemicznych. Oczywiście, sztuczne rozgraniczenie dwóch słów całkowicie zamiennych w języku potocznym (i angielskim również, *speed* i *velocity*) prowadzi do niepowodzeń dydaktycznych. Dobór słowa „jednostajny” jest sam w sobie niefortunny. Sugeruje on „monotonny” a w rzeczywistości chodzi o ruch ze stałą prędkością. Co więcej, dla ruchu po okręgu też używamy określenia *jednostajny* (po okręgu) a jest on jak najbardziej niejednostajny w sensie fizyki – prędkość w każdym momencie zmienia kierunek (a prędkość jest *wektorem*, czyli wielkością dla której kierunek jest podstawowym atrybutem!)

Jak poradzić sobie z niefortunną definicją? Po pierwsze rozszerzyć zakres słowny przez użycie wyrażen bliskoznacznych. I tak, ruch ze stałą prędkością po linii prostej możemy nazwać ruchem *regularnym* zaś ruch po okręgu dodatkowo jest *powtarzalny*. I znów, włoski, język Galileusza, używa dwóch określeń zasadniczo różnych: *moto uniforme*

rettilineo jako ruch jednostajny prostoliniowy i *moto circolare con velocita' costante*, czyli „ruch okrężny ze stałą prędkością”. Nie oznacza to, że powinniśmy zmieniać ustaloną terminologię, ale że powinniśmy jej używać ostrożnie, obrazowo mówiąc, znów po włosku, z *pincetą*. Puryści językowi powiedzieliby, że włoski jest też nieprecyzyjny, bo w ruchu po okręgu prędkość jako wektor nie jest stała. No cóż, definiowanie wszystkiego w każdej definicji nie jest praktyczne. Co zrobiono w ostatniej podstawie programowej MEN z problemem? Po prostu usunięto ruch po okręgu z programu (czyli, absolwent gimnazjum będzie upoważniony, aby nie rozumieć tytułu dzieła Kopernika...)

Analogia ruchu (jednostajnego) po okręgu i po linii prostej jest jednak inna, i to niezwykle ważna: w obu przypadkach nie zmienia się energia *kinetyczna* poruszającego się ciała. Innymi słowy, przy braku dodatkowych sił ruch jest *wieczny*. Takie postawienie problemu otwiera kolejne *ścieżki* dydaktyczne. Otóż w ruchu po okręgu *występuje* siła – siła „dośrodkowa”. W ruchu planet tą siłą jest siła grawitacja pochodząca od Słońca. W ruchu kamienia na sznurku, jest to naciąg sznurka. Dlaczego więc siła dośrodkowa nie zmienia wartości prędkości poruszającego się ciała? Działa ona *prostopadle* do trajektorii ruchu. Według definicji fizycznej *pracy*, taka siła wykonuje pracę *zerową*, a zerowa praca nie zmienia *energii* kinetycznej ciała.

Analiza używanych pojęć, fortunnie lub niefortunnie, w kontekstach różnych języków, w kontekstach użycia *potocznego*, w kontekstach *historycznych* może niebywale wzbogacić proces dydaktyczny a przez to podnieść jego skuteczność. Słowo, starannie analizowane, staje się równie ważnym narzędziem dydaktycznym jak opis matematyczny.

III. Poglądowość i ścieżki poznania

Doświadczenie z silnym, neodymowym magnesem spadającym w miedzianej rurce jest proponowane przez niektóre wydawnictwa w Polsce jako środek dydaktyczny wzbogacający nauczania elektromagnetyzmu. W pracy [3] zaproponowaliśmy zmodyfikowaną wersję tego doświadczenia, w którym rurka ma wąskie podłużne nacięcia. Pomysł został natychmiast skopiowany, jego sens natomiast – nie! Jaki jest sens uczynienia podłużnych nacięć w rurce?

Otóż, o całkach absolwenci liceum, przynajmniej tego „starej daty” mniej-więcej słyszeli. Jest to (jakaś) operacja matematyczna, która ma wiele zastosowań, zapewne i w statystyce jak i (na pewno) w technice i fizyce. Czym jest całka krzywoliniowa, a w szczególności po konturze zamkniętej, to i większość absolwentów matematyki i fizyki miałoby kłopoty z wyjaśnieniem. Matematycznie, całka krzywoliniowa da się zamienić na

całkę „normalną”, tj. w jednym wymiarze, ale jak, to należałoby poszukać. A na pewno nie da się tego tak łatwo pokazać? Czyżby?



Ryc. 1. Dwie rurki miedziane i spadający w nich magnes - poglądowa realizacja całki krzywoliniowej w prawie indukcji elektromagnetycznej Faradaya. W rurce pełnej spadający magnes „lewituje”, wisząc w powietrzu i nie dotykając ścianek; w rurce naciętej podłużnie magnes spada „koziołkując” i obijając się o ścianki

Drugą obserwacją dydaktyczną, która skłoniła nas do ponacinania rurki jest prawo indukcji (elektromagnetycznej), nazywane w Polsce (i Anglii) prawem Faradaya, w Rosji dodatkowo – Lenza a w Niemczech dodatkowo - von Neumanna. Co mówi prawo FLvN? Prawo określa wielkość prądu, jaki indukuje się w obwodzie elektrycznym (np. w prądnicy elektrowni) jeśli wsuwamy (lub wysuwamy) do (z) tego obwodu magnes. Otóż prąd ten, a raczej tzw. „siła elektromotoryczna” zależy od szybkości zmian „strumienia” pola magnetycznego. Matematycznie możemy zapisać to jako

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (1)$$

gdzie $\mathcal{E}$ jest właśnie „siłą elektromotoryczną”, czyli innymi słowy generowanym napięciem a Φ - strumieniem magnetycznym; $\Delta \Phi / \Delta t$ jest szybkością zmian strumienia Φ . Poglądowo, dla „humanistów”, im silniejszy magnes lub im szybciej go wsuwamy (lub nim kręcimy w elektrowni), tym większe napięcie się generuje.

Prawo (1) wystarcza w procesie dydaktycznym na poziomie gimnazjum i liceum. Na poziomie uniwersytetu nie jest on do końca poprawne *dydaktycznie*. Otóż, prawa Maxwella, będące uogólnieniem praw elektryczności i magnetyzmu nie zawierają pojęcia *siły elektromotorycznej*. Prawa Maxwella mówią o polach: elektrycznym i magnetycznym i o związkach między nimi. Po prawej stronie równania (1) mamy pole magnetyczne. A gdzie jest odpowiadające mu pole elektryczne? Otóż siła elektromotoryczna $\mathcal{E}$ jest właśnie *całką* z pola elektrycznego E , ale całką szczególną, *krzywoliniową* po profilu *zamkniętym*.

$$\oint E \circ ds = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (2)$$

Czy można nadać formę poglądową tak skomplikowanemu zapisowi matematycznemu? Służą ku temu właśnie nacięcia w miedzianej rurce. Całka po lewej stronie równania (2) jest całką

po profilu *zamkniętym*. Jeśli rurkę ponacinamy, całka nie jest po (ładnym) profilu zamkniętym i magnes spada inaczej niż w rurce bez nacięć – obijając się o ścianki i koziolkując.

Oczywiście, dla studentów operujących pojęciami pola elektrycznego i całki wyjaśnienie to jest wystarczające. Niestety, sama zasada poglądowości nie wystarcza, jeżeli odbiorca nie dysponuje odpowiednim zakresem pojęciowym. Należy skonstruować *ścieżkę* dydaktyczną, najlepiej korzystając z innych eksponatów *poglądowych*. Warstwa pogładowa służy *odnalezieniu* w kategoriach pojęciowych właściwego wytłumaczenia, korzystając z różnorodności sposobów *werbalizacji* zjawiska.

Przećwiczmy to na przykładzie spadającego magnesu i rurki. Rurkę z magnesem przekazujemy od ucznia do ucznia, aż do usłyszenia najwłaściwszej werbalizacji. Scenariusz (oparty na rzeczywiście przeprowadzonych lekcjach w różnych grupach słuchaczy, w tym wśród nauczycieli nie-fizyków) może być następujący:

N: - Co widać?

U1: - Magnes „tak” spada.

N: Jak?

U2: - Wolniej.

N: Czyli?

U3: Tak jakby był odpychany od ścianek?

N: Tak?

U4: Tak jakby *lewitował*.

Lewitacja jest w tym doświadczeniu najlepszym (i jedynym właściwym) wytłumaczeniem. Dlaczego? Otóż lewitacja oznacza, że spadające ciało jest przez coś podtrzymywane. Przez co, jeśli magnes niczego nie dotyka? Wyjaśnimy to przez drugi eksponat o funkcji poglądowej - wiszące magnesy, zob. ryc. 2.



Ryc. 2. Co powoduje, że górny magnes „wisi” w powietrzu? Oczywiście, odpychająca siła pochodząca od magnesów dolnych. Magnesy na ryc. 2 mają bieguny u góry i na dole (z jaśniejszej i ciemniejszej strony). Prąd elektryczny płynący po okręgu tj. po obwodzie magnesu wytwarza takie same bieguny. W rurce z magnesami, prąd płynie podobnie – po obwodzie okręgów. Jeśli te okręgi przetniemy, lewitacja ginie.

W wiszących magnesach jest natychmiast jasne, że górny magnes „wisi” w powietrzu (czyli lewituje), bo jest odpychany przez magnes dolny. Jeśli więc i magnes w rurce „lewituje”, to musi istnieć jakiś magnes, który go odpycha, i to dokładnie ku górze. Skąd się taki magnes bierze? Otóż, z prądów w rurce, które płyną jakby po obwodzie magnesu na ryc. 2, a w miedzianej rurce po okręgach prostopadłych do osi. Dwa eksponaty wzajemnie się uzupełniają i tworzą (w miarę kompletną) *ścieżkę* dydaktyczną.

Nacięcia w rurce powodują, że ten prąd ulega przerwaniu, więc *indukowany* magnes nie jest doskonały i spadający neodym „koziołkuje”. Oczywiście, pogładowość lekcji wymaga samodzielnego wykonania doświadczeń przez ucznia, lub przynajmniej obejrzenia ich wirtualnej wersji [5]. Trudność matematyczną równania (2) obchodzimy poprzez: i) właściwą werbalizację zjawiska „lewitacji” w rurce, ii) poszukiwania pogładowej analogii, iii) pewnego rodzaju ekstrapolację - magnesy na ryc.2 mają kształt obwarzanków, tak jakby to były obwody z prądem. Ta ostatnia analogia jest, oczywiście, „małym oszustwem”. Dla pełnego wyjaśnienia, należałoby pokazać, że dwie pętle z prądem (płynącym w przeciwnych kierunkach) odpychają się. Możemy tego dokonać za pomocą kolejnego doświadczenia, np. pętli z zestawu dydaktycznego UMK [4] lub (znowu z małą „ekstrapolacją”) za pomocą doświadczenia (typu LFvN) z wyskakującym pierścieniem [5].

Trudność w wyjaśnieniu zjawiska indukcji (i jego uproszczony zapis w podręcznikach) wynika więc z nieumiejętności użycia właściwej *werbalizacji* zjawiska i braku adekwatnych przykładów a nie z jego natury matematycznej. Niestety, liczne przykłady polskich podręczników wskazują, że wykładowca chce powiedzieć, to co on sam wie, a nie to czego *powinien* uczeń się dowiedzieć, a co należałoby przyjąć jako naczelną zasadę dydaktyczną w epoce *googla*. Przypomnijmy, że zagadnienia indukcji w obecnym programie gimnazjum nie ma. Ponieważ matura w myśl standardów UE jest oficjalnym zaświadczeniem o wiedzy absolwenta, dorosły Polak będzie mógł wierzyć, że prąd generują leśne elfy!

Reasumując, nawet w naukach przyrodniczo-matematycznych, a może szczególnie w naukach matematycznych, umiejętność poszukiwania i) różnych *znaczeń*, ii) różnych *kontekstów* praktycznych, iii) różnych uwarunkowań *kulturowych* [6], iv) różnych *etymologii* użytego **słowa** bywa wielokrotnie ważniejsza niż ścisłość formalna.

IV. Bibliografia

- [1] W. Tatarkiewicz, *O szczęściu*, PWN, 2005.
- [2] zob. np. K. Fijałkowski, *Mechanika klasyczna*, J. R. Taylor, Postępy Fizyki **58** (2007) 273.
- [3] G. Karwasz, W. Niedzicki, A. Okoniewska, M. Jurek *Multimedia Tools in Teaching Physics*, 2nd International GIREP Seminar “Quality Development in Teacher Education and Training”, Selected Contributions, Forum Editrice Universitaria Udinese, Udine, 2004, p. 477
- [4] M. Sadowska, A. Karbowski, G. Karwasz, Toruński doświadczalnik, Elektromagnetyzm, Materiały dydaktyczne Zakładu Dydaktyki Fizyki UMK, 2010
- [5] G. Karwasz, K. Służewski, wersja multimedialna artykułu, http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/semin_media_2009
- [6] Siemieniecki B., *Kulturowe uwarunkowania znaku, znaczenia i kontekstu*, w “Kognitywistyka i media w edukacji” 1-2/2007 Wyd. Adam Marszałek.