



Znaczenie prostych jakościowych doświadczeń w nauczaniu fizyki

Alfred Pflug

Technische Universität Dortmund

Referat wygłoszony na Konferencji GIREP w Skofja Loka, 1992 (*Foton* 21/1992).

1. Ukryte przesłanie w nauczaniu fizyki

Nauczając fizyki w szkole lub na uniwersytecie musimy być świadomi, że ogólne wyobrażenia, jakie nasi uczniowie i studenci nabywają poprzez naszą działalność w klasach, czy salach wykładowych są bardzo często zdeterminowane poprzez pewne *ukryte przesłanie*, z którego w większości przypadków nawet nie zdajemy sobie sprawy, dlatego więc w ogólności nie jesteśmy zdolni do rozważnego jego kontrolowania. W rezultacie istnieje pewne ryzyko, że standardowy sposób uczenia może tworzyć w umysłach uczniów pewien obraz reprezentowanej nauki, obraz dominujący i trwały, podczas gdy my sądzymy, że poprzez proste poznanie i racjonalne informacje trafiamy bezpośrednio do analitycznie zorganizowanych lewych półkul mózgowych naszych uczniów.

Nawet jeśli fizyk profesjonalista ma osobiste przeświadczenie o tym, że jego własna dyscyplina jest trójwymiarowym, żywym organizmem, budzącym się i wzrastającym złotym drzewem życia, nie będzie on automatycznie tworzył takiego samego jakościowego obrazu fizyki w duszach swoich uczniów i studentów, kiedy po prostu przekazuje wiedzę w zwykłym procesie nauczania opartym na standardowym wyposażeniu jak podręczniki, pokazy itp., ponieważ to ostatnie można znaleźć tylko w klasach i na salach wykładowych, ale nigdy w codziennym życiu. Podobnie jak mieszkańcy jaskini Platona, młodzi ludzie mogą wynieść ze szkół i uniwersytetów trwałe wyobrażenie na temat „wyglądu” drzewa fizyki w postaci szarych i płaskich, dwuwymiarowych cieni rzuconych przez to drzewo w różnych kierunkach w przestrzeni je otaczającej. Te przeciwne kierunki są zwykle charakteryzowane przez dwa uzupełniające się, ale niesamowystarczalne podejścia do fizyki nauczanej

- wzory matematyczne (np. $S = \frac{gt^2}{2}$ lub $E = mc^2$)
- przyrządy, aparatura (np. spadkownica Atwooda dla swobodnego spadku)

Obydwa te podejścia wydają się być zawężone przez ich specyficzne przeznaczenie do bardzo ograniczonego obszaru ważności i stosowalności. Zamiast opisywać rzeczywistość, manipuluje się nimi poprzez wyrafinowane,

ale sztuczne konstrukcje, nie mające związku z żadnym elementem doświadczeń nabywanych w zwykłym, codziennym życiu.

Są to zaledwie artefakty mądrości szkolnych, stworzone do funkcjonowania jedynie w pracowniach fizycznych i odtwarzania kapryśnych pomysłów nauczycieli i autorów podręczników – rzeczy, których nie ma ani w niebie, ani na ziemi. Znaczenia fizyczne wzorów są w wielu wypadkach głęboko pogrzebane pod ich matematyczną postacią, to jest charakterystycznym układem wybranych liter, który jest odtwarzany przez rodzaj mechanizmu Pawłowa i służy jedynie jako hasło na egzaminach, ale nie można go stosować w żadnej sytuacji codziennego życia.

2. Zamknięte drzwi do Twierdzy Fizyki

Dieter Nachtigall z uniwersytetu w Dortmundzie określił fizykę jako rodzaj wiedzy dostępnej jedynie dla ekspertów, ale której drzwi są zamknięte dla laika, w szczególności ucznia, czy studenta. Sądząc po średnim kursie w szkole czy na uniwersytecie, ktoś mógłby nawet odnieść wrażenie, że w wielu przypadkach próbując wkroczyć do Twierdzy Fizyki człowiek może czuć się jak w piekle Dantego, gdzie nad głównym wejściem widnieje napis „Porzućcie wszelką nadzieję ci, którzy tu wstępujecie” (*Lasciate ogni speranza voi ch' entrate*).

Fizyczna Twierdza ma kilka zamkniętych głównych drzwi, które jedynie ekspertom pozwalają wejść do wnętrza, zmuszając zwykle laików do pozostania na zewnątrz. Każde z tych wejść jest scharakteryzowane przez odmienny sposób selekcji ekspertów, ze względu na ich zdolność do biegłego, abstrakcyjnego rozumowania oraz wysoki poziom odporności psychicznej (odporność na niepowodzenie wysiłków). Ponieważ standardowym modelem takiej procedury wyławiania intelektualnej arystokracji (eksperci „*Taminos*”) ze zwykłych ludzi z ulicy (laicy „*Papagenos*”) jest „Czarodziejski Flet” Mozarta i Schikanedera, gdzie wolnomasoński liczbowy symbol trzy gra kluczową rolę (np. trzyskładnikowy akord w uwerturze, trzy damy, trzech chłopców, Tarnino pukający do trzech zamkniętych drzwi w świątyni Sorato itd.), my chcemy wyspecyfikować trzy typy barier, które muszą pokonać ci, którzy chcą dostać się do wnętrza Twierdzy Fizyki:

- (krypto)matematyczna struktura (równania i wzory)
- pojawianie się tzw. czarnych skrzynek (eksperymentalna niejasność)
- dogmatyczne sformułowania (aksjomaty i prawa)

Rola matematyki w fizyce jest doprawdy bardzo dwuznaczna. Jak most zwodzony powinna ona dawać łatwy i bezpieczny wstęp do Twierdzy Fizyki bez intelektualnych pułapek, ale w większości przypadków jest ona raczej jak głęboka fosa wypełniona zamuloną wodą, która broni wszystkim wstępu do świętego świata fizyków, jeśli wcześniej nie uczyli się latać, czy, ostatecznie, pływać. Metody matematyczne rzucone jak koło ratunkowe w morze błędów przez ekspertów – mieszkańców twierdzy, przekształciły się w bardzo ryzy-

kowe narzędzie ratunkowe w sytuacjach praktycznych, trudne do uchwycenia przez tonących. Bezpieczeństwo matematyki jest wątpliwe i nie posiada zdrowych podstaw. Pomaga uniknąć pomyłek, ale niekoniecznie będzie gwarantować głębszy wgląd w fizyczny problem. W dodatku matematyka jest zwykle wprowadzana do fizyki przez nieuczciwą strategię oszukiwania: startując od doświadczeń i obserwacji prawie wszystkie lekcje fizyki kończą się liczbami, wzorami i równaniami.

Galileusz sugeruje, że księga natury jest napisana w języku matematyki (*Il libro della natura e scritto in lingua matematica*), ale to może być nic więcej jak pewna antropomorficzna projekcja tego wielkiego ojca fizyki. Matematyka, będąca tradycyjnie już od starożytności dyscypliną akademicką, może jedynie **opisywać związki** (które mogą być niejawne i zręcznie oraz „rygorystycznie” wyprowadzane z fundamentalnych równań przy użyciu kontrolowanych przybliżeń), ale jest to niezależne od **objaśnienia** fundamentalnych praw natury. W nauczaniu fizyki matematyka powinna grać rolę dodatku do rzeczywistego doświadczenia i konkretnych działań bez klasyfikowania pustej przestrzeni oraz rozumowania z góry i przed wypełnieniem jej materią.

Konwencjonalne doświadczenia szkolne z fizyki są zwykle przygotowane przy wykorzystaniu specjalnych środków i urządzeń przeznaczonych jedynie do pokazania izolowanego efektu przejrzycie i precyzyjnie, wyłączwszy wszystkie zakłócenia, które mogłyby uczynić wynik mniej pokazowym i trudnym do uchwycenia. W konsekwencji uczniowie objaśniają funkcjonowanie tego rodzaju aparatury poprzez jej bardzo wyrafinowaną konstrukcję. Ich zdaniem te rzeczy działają, ponieważ zostały wykonane specjalnie do pracy w tak specyficzny sposób. Ogólne prawa natury mogą i powinny być studiowane z pomocą zwykłych obiektów życia codziennego, a nie przyrządów poświęconych konkretnemu doświadczeniu.

Jeżeli warunki eksperymentalne w pracowniach fizycznych i laboratoriach byłyby dopasowane do indywidualnych predyspozycji uczniów i studentów, a więc typ i rodzaj przyrządów do studiowania fizyki i pokazów fizycznych odnosiłby się jakoś do sytuacji z ich codziennego życia, wtedy przepaść między naukami przyrodniczymi i humanistycznymi – jak opisuje to fizyk i filozof C.P. Snow – prawdopodobnie zmniejszałaby się z pokolenia na pokolenie.

Ten kryzys nowoczesnej cywilizacji scharakteryzowany przez konflikt pomiędzy ekonomią a ekologią, który polaryzuje życie zachodnich uprzemysłowionych społeczności, może być spowodowany fundamentalną rywalizacją pomiędzy nauką i humanistyką. Jeśliby te dwa kamienie węgielne naszej kultury mogły iść razem w harmonii i wolności, szansa zastąpienia ślepej strategii lokalnej – optymalizacji przemysłu – szerszą koncepcją globalnego kompromisu, wzrosłaby drastycznie z korzyścią dla nas wszystkich.

Od wydania dzieła *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* Izaaka Newtona w 1687 roku, które jest biblią Mechaniki Klasycznej, stało się modne

formułowanie fundamentalnych poglądów na temat struktury Natury w stylu Elementów Euklidesa, a więc używając definicji, aksjomatów, lematów czy twierdzeń. Jest to pospolita wiara w to, że logika matematyki jest jedynym kluczem do zamkniętych drzwi Twierdzy Fizyki.

Ernst Mach napisał we wstępie do swojego słynnego austriackiego podręcznika *Grundriss der Naturlehre für die oberen Klassen*¹ (Tempksi und Freytag, Prag, Wien, Leipzig) w lutym 1891, że takie podejście jest korzystne jedynie dla jego autora, ale w większości przypadków nie pomoże studentom wejść łatwiej do Twierdzy Fizyki. Początkujący nie są zwykle zdolni z góry uznać i docenić znaczenia i użyteczności ostro zdefiniowanych pojęć i koncepcji (przed zdobyciem swoich własnych, osobistych doświadczeń).

Użycie **logicznego** zamiast **psychologicznego** podejścia do fizyki może nawet odstraszyć naszych uczniów od głębszego rozumienia tej dyscypliny, ponieważ formalna ścieżka niezgodna z podstawowymi zasadami ich indywidualnego toku poznawczego skończy się naprzeciwko zamkniętych drzwi Twierdzy Fizycznej otwierających się jedynie przed tymi, którzy podadzą poprawne formalnie hasło. Działanie selekcyjne tego ostatniego jest często usprawiedliwione sugestią, że nie jest to jakaś arbitralna konwencja, ale reprezentuje tzw. Prawo Natury.

Podczas gdy człowiek tworzy prawo odbijające hierarchię ogólnych wartości przyjętych przez społeczeństwa w jakimś obszarze przestrzeni i czasu, prawa natury wykazujące ciągłą ewolucję wywołaną ważnymi społecznymi zmianami, wydają się być wiecznie ważne dla całego Wszechświata. Jawią się one oszłomionemu obcemu jako fundament twierdzy, z której idą wszystkie inne korytarze, ale do której można wejść tylko przekraczając główne drzwi frontowe, nad którymi jest napisane: „Wstęp określony prawem”.

Mała grupa specjalistów, którzy są zdolni do wejścia do wnętrza przez wypowiedzenie słownego, poprawnego kodu rozpoznają później, że wychodząc na wyższy poziom, przekroczywszy drzwi odpowiadające jakimś prawom, otrzymują sprzeczność z poprzednimi: relatywistyczne prawo uniwersalnej prędkości propagacji pól jest na przykład w pełnej sprzeczności z podstawową newtonowską hipotezą o uniwersalności i absolutności przestrzeni i czasu, która jest fundamentem mechaniki klasycznej, itp.

3. Boczne wejście do Twierdzy Fizyki dla zwykłych ludzi (uczniów, studentów, laików, amatorów etc.)

Edukacja fizyczna w szkołach jest bardzo często oceniana poprzez badanie, czy zostały osiągnięte krótkowzroczne cele takie jak: umiejętności odpowiadania na specjalne pytania czy rozwiązywanie wybranych problemów, które w sposób zaplanowany prowadzą do określonych odpowiedzi.

¹ Wstęp do nauk przyrodniczych dla klas ogólnych.

Jeśli nasze nauczanie fizyki ma mieć długotrwały efekt w działaniu i sposobie myślenia naszych uczniów w ich przyszłym dorosłym życiu, powinniśmy raczej pomóc im stać się amatorami tj. miłośnikami fizyki, aniżeli profesjonalistami, ponieważ przytłaczająca większość z nich nie będzie korzystała z fizyki w swoim przyszłym życiu, pracując na utrzymanie.

Rodzaj ludzki musi odbudować w swoim istnieniu pewną harmonię z naturą zagubioną w okresie rewolucji przemysłowej. Oczywiście cel ten może być osiągnięty, jeśli podstawowe prawa fizyki, jak zasada zachowania energii i produkcja entropii, określą myślenie i działalność polityków i przemysłowców. Z tego wynika, że fizyka jako specyficzny pogląd na świat, jako umiejętność patrzenia na nasze ziemskie środowisko musi przenikać także ich osobiste życie, aby dali godny zaufania przykład społeczeństwu. Jedyńy sposób osiągnięcia tego celu polega na otwarciu nowych drzwi do Twierdzy Fizyki, które mają charakter bocznych wejść i mogą stanąć otworem dla laików i amatorów, w naszym przypadku uczniów i studentów. Te boczne wejścia, odległe od bramy głównej, są prawdopodobnie niedostrzegane przez ekspertów. Sprecyzujmy dwa różne typy tych ukrytych bramek

- drzwi otwierane ręcznie (*hands-on door*)
- drzwi–niespodzianki

Potwierdzono w wielu badaniach dotyczących nauczania fizyki, że uczniowie i studenci będą z większym prawdopodobieństwem pamiętali i stosowali te wiadomości, których byli uczeni, czyli uczyli się przy wykorzystaniu różnych form przekazu i zdobywania wiedzy. Równocześnie najważniejsze są doświadczenia własne, wykonywane bez nakazu, bez z góry określonego celu i strategii.

Szansa przeniesienia aktywności klasowej na działania w codziennym życiu wzrasta znacząco, jeśli zestawy eksperymentalne nie są jakieś specjalne, ale wzięte z codziennego życia. Nie jest dziwnym, że we wszystkich szkołach zestawy odtwarzają wiedzę szkolną, ponieważ zostały one wykonane jedynie w tym celu. Zapomina się, że przedmioty użytku codziennego otwierają możliwość ilustracji szerokiego zastosowania podstawowych praw fizycznych, które ważne są w warunkach życia codziennego.

O ile spotykane przez uczniów znane im warunki będą prowadziły do piagetowskiej asymilacji ich doświadczenia, o tyle element zaskoczenia może wywołać konflikt poznawczy i przyspieszyć proces przystosowywania się do nowego schematu poznawczego. W dodatku wszystkie nieoczekiwane zdarzenia będą pobudzać ludzi do dalszych poszukiwań, ponieważ to wywołuje poczucie zaciekawienia, które jest obok miłości, lenistwa i pragnienia posiadania władzy jednym z najważniejszych motywów ludzkiej działalności. Niespodzianka jest jak uderzenie w bęben mogące obudzić uczniów poddanych wzrastającej liczbie wpływów pozaszkolnych, które mogą być groźne dla ich fizycznego i psychicznego zdrowia.

Viktor Weisskopf w swojej *Cudownej Książce* opisał to odwieczne ludzkie pragnienie wydobywania się z oceanu niewiedzy, niepewności i strachu po prostu przez wzrost oświecającej wiedzy.

4. Od kuchennego wyposażenia do zasad natury i uczenia się przez manipulowanie i zabawę

Zawężmy teraz naszą dyskusję do krótkiego, wybiórczego i nieuporządkowanego wyboru i raczej niekompetentnej prezentacji niezbyt kosztownych, czy nawet nie niekosztujących doświadczeń wykonywanych przy wykorzystaniu zwykłych codziennych przedmiotów

- *Leniwa Deska:*
Pod ciężką deską, w którą wbija się gwoździe, można bezpiecznie wsadzić rękę położoną na deszczuлке z wystającymi do góry gwoździami (jak „łóże fakira”). Przy wbijaniu gwoździ wprawdzie jest duży przekaz pędu, ale energii – znikomy (o ile deska ma dużo większą masę od młotka).
- *Doskonały Kelner Manipuluje Grawitacją:*
Taca, na której stoi szklanka wypełniona wodą, wisi na trzech sznurach. Jeśli rozkołyszymy tacę trzymając drugi koniec podparcia tak, aby sznurki były ciągle mocno naprężone, woda nie wyleje się ze szklanki, niezależnie od tego, jaki ruch wykonuje taca: chwilowe przyspieszenie tacy jest zawsze równoległe do kierunku sznurków i wskazuje w stronę trzymającej ręki, ponieważ sznurki umożliwiają pociągnięcia, ale nie ściskanie czy pchanie. Tak więc „efektywna” grawitacja, którą „czuje” woda zawsze wskazuje prostopadle, w dół, do tacy. Stąd powierzchnia wody pozostaje równoległa do powierzchni tacy.
- *Wyścig mydelniczek po pochyłym torze:*
Po nachylonej desce spuszczaemy z tej samej wysokości różne przedmioty o symetrii cylindrycznej, które będą się staczać po desce. Zachęcamy publiczność do zakładów, który przedmiot pierwszy minie metę. Wyjaśniamy obrazowo (radialny rozkład masy), iż wynik zależy od momentu bezwładności przedmiotu (walec szybszy od rury, kula szybsza od sfery itp.).
- *Jedwabny Szal jako Analizator Widma:*
Jeśli popatrzymy na włókno czystej, świecącej żarówki przez delikatny szal jedwabny z dużej odległości (w przybliżeniu 10 metrów lub więcej), widzimy wielokrotny obraz jasnego włókna rozłożony nad punktami dwuwymiarowej prostokątnej sieci. „Bezpośredni” obraz (na osi optycznej) jest biały i ma maksymalną jasność, podczas gdy intensywność przesuniętych obrazów maleje z odległością od osi obserwacji. Te słabsze obrazy są szersze od centralnego i w rzeczywistości zawierają całą sekwencję kolorów, gdzie niebieski znajduje się w pobliżu osi, a czerwony po przeciwnej stronie pokazując maksymalne odchylenie. Zwiększając odległość od włókna żarówki, sieć

zdaje się rosnać proporcjonalnie w obydwu kierunkach, co dowodzi, że wielowłóknisty (wieloprażkowy) „obiekt” pojawia się pod stałym kątem obserwacji. Przechylając szal stała sieci „obiekty” będzie rosnać tylko w kierunku przechylenia, podczas gdy prostopadła do niego pozostanie stała. Ponieważ przechylony szal wydaje się mieć mniejszą odległość linii w kierunku przesunięcia, sieć uformowana przez obrazy włókna żarówki jest podobna do siatki szalika, a więc jest rodzajem diagramu dyfrakcyjnego Lauego dla szala.

Literatura

- Robert Ehrlich, *Turning the World Inside Out*, Princeton University Press, Princeton 1990.
- Brenda Walpole, *Fun with Science, Experiments, Tricks, Things to Make*, Grisewood and Dempsey, London 1987.
- G.D. Freier, F.J. Andersen, *A Demonstration Handbook for Physics*, American Association of Physics Teachers, College Park 1981.
- Kevin Goldstein-Jackson, *Experiments with everyday objects*, Souvenir Press, London 1976.
- I.K. Kikoin, *Experimentieren als Spielerei*, Spektrum Verlag, Heidelberg 1991.
- Norbert Treitz, *Spiele mit Physik*, Harri Deutsch, Thun, Frankfurt/Main 1991.
- Josef Wittmann, *Trickskiste*, Beyerischer Schulbuchverlag, München 1986.

Tłum. Rafał Leszczyński

Alfred Pflug, wiedeńczyk, obecnie profesor fizyki Uniwersytetu Technicznego w Dortmundzie, kierownik Katedry Dydaktyki Fizyki. Zajmuje się metodami nauczania fizyki współczesnej (*Elementarisierung*).

