

Instytut Fizyki UMCS, 20-031 Lublin, pl. M. Curie-Skłodowskiej 1

ARKADIUSZ WIŚNIEWSKI

6...

*Konstruktywistyczne nauczanie
na przykładzie dynamiki newtonowskiej*

The Constructivist Strategy in the Case of Newton's Dynamics

1. WSTĘP

Jak wykazały badania własne Autora [1, 2], a także liczne badania zagraniczne [3, 4], stopień zrozumienia i operatywności zasad dynamiki jest wśród uczniów i studentów bardzo niski. Uczniowie i studenci — pomimo nawet kilkakrotnego opracowania tematu i wielokrotnego stykania się z zasadami dynamiki — zachowują ukształtowane uprzednio struktury formalno-logiczne (sprzed okresu szkolnego). Zdecydowanie najwięcej studentów fizyki (około 90%) zna dynamikę newtonowską w pewnym zakresie, ale ta wiedza pozostaje poza ich wiedzą potoczną, czyli najczęściej studenci nie stosują jej w odpowiedziach nawet na najprostsze, ale zadane w nietypowy sposób pytania. Tylko dla niewielu studentów wiedza podręcznikowa z tego zakresu stała się składową ich wiedzy potocznej.

Autor stawia tezę, że podstawową przyczyną trudności w głębszym zrozumieniu zasad dynamiki jest wcześniejsza wiedza potoczna uczniów, która różni się od pożądaney. W związku z tym, jeśli chce się uzyskać lepsze wyniki w zrozumieniu przez uczniów dynamiki newtonowskiej, należy proces jej nauczania traktować nie jako przekazywanie uczniom nowej wiedzy, ale

przede wszystkim jako przetwarzanie, systematyzowanie i porządkowanie wiedzy już przez uczniów posiadanej.

Tradycyjne nauczanie mechaniki, podczas którego nauczyciel narzuca uczniowi pewne poglądy, koncepcje czy prawa — nie biorąc pod uwagę dotychczasowej wiedzy ucznia i jego struktur formalno-logicznych z danego zakresu materiału — nie przynosi oczekiwanych wyników.

2. OGÓLNE ZAŁOŻENIA PROPONOWANEJ METODY

Propozycja realizacji zagadnień z zakresu dynamiki newtonowskiej, która zostanie zaprezentowana w tym artykule, opiera się na założeniu, że głównym powodem odrzucenia przez uczniów zasad Newtona jest pewien rodzaj *lenistwa intelektualnego* wynikającego z przeświadczenia uczniów, że nie ma powodu zastanawiać się nad zagadnieniami, które zna się doskonale i potrafi wyjaśnić.

Proponowana przez Autora metoda realizacji zagadnień z zakresu mechaniki klasycznej próbuje przede wszystkim skłonić uczniów do wysiłku intelektualnego. Ogólne jej założenia są zbliżone do konstruktywistycznego sposobu nauczania, opartego na czynnym konstruowaniu przez uczniów pojęć i własnych struktur formalno-logicznych [5]. Realizację tej metody można podzielić na cztery zasadnicze etapy.

Nauczanie mechaniki powinno się rozpocząć od poznania struktur formalno-logicznych z tego zakresu, a więc faktycznej wiedzy i tej struktury, którą uczniowie dysponują już w momencie przystąpienia do nauki dynamiki newtonowskiej (etap I). W tym celu możemy posłużyć się pewnymi technikami znanymi w pedagogice [6]. W odczuciu Autora w praktyce szkolnej do tego celu najlepiej nadają się krótki test pisemny, a następnie dyskusja, która umożliwi dokładniejsze ujawnienie rozumowania uczniów i sposobów dochodzenia do wniosków końcowych. Kolejnym etapem (II) jest pobudzenie krytycyzmu uczniów, wzbudzenie wątpliwości co do dotychczasowego rozumowania i pobudzenie do wysiłku intelektualnego, dzięki czemu poznają i rozumieją dynamikę newtonowską. Temu celowi najlepiej mogą służyć odpowiednio dobrane eksperymenty i ćwiczenia uczniowskie, które postawią uczniów w sytuacjach, w których ich rozumowanie okaże się błędne lub niewystarczające. O pozytywnej roli doświadczeń fizycznych przy pobudzaniu krytycyzmu uczniów pisało już wielu autorów [7, 8]. Dla potrzeb związanych z realizacją proponowanej metody szczególnie są pożądane takie doświadczenia, które nie tylko są atrakcyjne, ale również mogą zaskoczyć uczniów wynikiem końcowym. Jeśli nauczycielowi uda się ponadto wytworzyć at-

mosferę emocjonalnego zaangażowania uczniów, to doprowadzi to do podważenia ugruntowanych w umysłach uczniów struktur formalno-logicznych, a jednocześnie wytworzy potrzebę poszukiwania nowych pomysłów.

Nowe prawa powinny zostać wprowadzone poprzez *odkrywcze pomysły* uczniów (etap III). Uczniowie dochodzą do nich samodzielnie w wyniku odpowiednio prowadzonej przez nauczyciela dyskusji na temat wykonywanych doświadczeń. Aby te prawa zostały przez uczniów zaakceptowane, muszą spełniać kilka warunków [9]. Muszą być dla uczniów zrozumiałe i budzić zaufanie tym, że przy ich pomocy wszystkie dotychczas rozważane problemy stają się proste i możliwe do wyjaśnienia. Uczeń powinien też mieć przeświadczenie, że te prawa są potencjalnie owocne, umożliwiają wyjaśnienie innych, jeszcze dotąd nie omawianych. W tym celu niezbędne jest rozwiązanie i omówienie licznych problemów, w tym także zadań rachunkowych, które umożliwiłyby przeprowadzenie różnorodnych ćwiczeń z zastosowaniem tych praw (etap IV).

3. WPROWADZANIE ZASAD DYNAMIKI W SZKOŁACH I NA UCZELNIACH. PROPOZYCJA REALIZACJI

Z uwagi na niezależność struktur formalno-logicznych z zakresu dynamiki newtonowskiej od poziomu nauczania, propozycja konstruktywistycznego nauczania może być realizowana zarówno w szkołach podstawowych, jak i średnich, a także — po dopasowaniu do innej organizacji zajęć (wykłady, konwersatoria, pracownie) — na tych kierunkach studiów, na których wykładana jest dynamika newtonowska w ramach zajęć z podstaw fizyki (ewentualnie metodyki nauczania fizyki).

Przykłady zadań, jakie można wykorzystać we wstępnym teście opisane są w opublikowanych przez Autora artykułach na temat wyników badań dotyczących uczniowskich i studenckich struktur formalno-logicznych [10–12]. Na pewno powinny znaleźć się wśród nich zadania dotyczące sił działających na: sunący swobodnie po gładkim lodzie krążek, kamień rzucony pionowo do góry, chłopca oraz sanki ciągnięte przez niego, przedmiot leżący na stole lub ciężarek wiszący na sznurku. Za każdym razem uczniowie powinni odpowiedzieć na pytanie, dlaczego zachowanie ciał jest właśnie takie, nazwać wszystkie związane z daną sytuacją siły oraz porównać je. Na podstawie odpowiedzi uczniów — po ewentualnie krótkiej dyskusji, w której uczniowie sprecyzują swoje poglądy — stwierdzamy, na ile uczniowskie struktury formalno-logiczne odbiegają od wiedzy podręcznikowej.

Następnie przystępujemy do drugiego etapu, którego celem jest po pierwsze podważenie zaufania uczniów do ich wiedzy potocznej, a po drugie zmobilizowanie ich do wysiłku intelektualnego w celu wprowadzenia nowej, pożądanej wiedzy w miejsce starej.

W tym celu Autor proponuje wykonanie następujących prostych doświadczeń:

DOŚWIADCZENIE 1

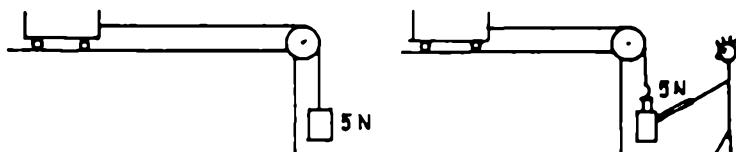
Pytamy uczniów, gdzie należy opuścić kamień, gdy biegniemy, aby trafił w otwór w podłodze. Znaczna część uczniów będzie uważała, że należy to zrobić dokładnie nad otworem. Następnie kilku uczniów wykonuje to doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 2

Zawieszamy stosunkowo ciężki odważnik (ewentualnie piłkę lekarską) na sznurku. Od dołu zaczepiamy taki sam sznurek. Pytamy, który ze sznurków (górny czy dolny) zerwie się, gdy będziemy ciągnąć powoli, a który zerwie się, gdy szarpniemy mocno. Uczniowie nie potrafią zazwyczaj poradzić sobie z rozstrzygnięciem tego problemu. Kilkakrotnie wykonujemy to doświadczenie, aby uczniowie przekonali się, że przy szarpnięciu zawsze urywa się dolny sznurek, a przy powolnym zwiększaniu wartości siły — górny.

DOŚWIADCZENIE 3

Pytamy uczniów, kiedy wózek (Ryc. 1) rozpędzi się szybciej: czy wówczas gdy na końcu sznurka powiesimy ciężarek 5 N (porównywalny z ciężarem wózka), czy wtedy, gdy przy pomocy dynamometru będziemy ciągnąć wózek

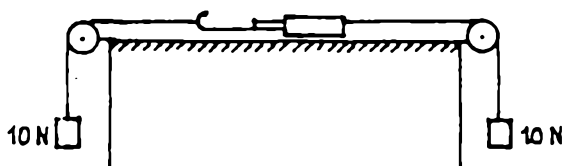


Ryc. 1. W którym przypadku wózek ma większe przyspieszenie?
In which case does a body have greater acceleration?

starając się, aby dynamometr wskazywał cały czas 5 N. Większość uczniów będzie uważać, że jednakowo, czego wykonane doświadczenie nie potwierdza.

DOŚWIADCZENIE 4

Do dwóch końców dynamometru (Ryc. 2) doczepiamy po odważniku o ciężarze 10 N. Pytamy o wskazanie dynamometru. Uczniowie przewidują najczęściej dwie możliwości: 0 N lub 20 N. Wskazanie dynamometru 10 N będzie dla większości zaskoczeniem.



Ryc. 2. Przewidywania wskazania dynamometru
Predicting the tension in a spring balance

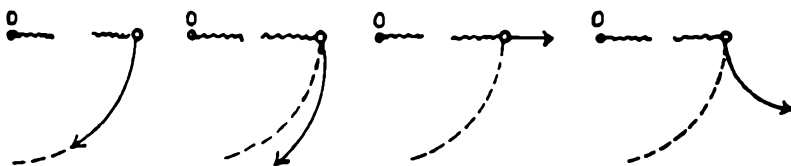
DOŚWIADCZENIE 5

Dwóch chłopców na wrotkach (deskorolkach) łapie za końce liny. Pytamy, co się będzie działo, jeśli jeden z nich zacznie ciągnąć linę, a drugi jedynie ją będzie trzymał. Większość uczniów spodziewa się, że będzie się poruszać tylko ten, który jest przyciągany. Jednakowe poruszanie się (przy podobnych masach) obydwu chłopców jest zaskoczeniem. Doświadczenie można powtórzyć wzmacniając jego efekt, gdy ciągnącym jest najbliższa osoba w klasie, a ciągniętym najcieńsza.

DOŚWIADCZENIE 6

Kulkę umocowujemy na nitce, której drugi koniec przymocujemy do stołu i wprawiamy ją w ruch po okręgu. Pytamy, jak będzie poruszała się kulka, gdy nít ulegnie zerwaniu. Uczniowie w większości przewidują któryś z torów przedstawionych na rycinie 3. Ruch kulki po stycznej do okręgu, w momencie przecięcia nici, jest zaskoczeniem.

Podsumowując ten etap zwracamy uwagę uczniów na to, że ich dotychczasowa wiedza okazała się zawodna, prowadziła ich do złych przewidywań wyniku doświadczeń, a także była bezradna przy próbach ich tłumaczenia.



Ryc. 3. Uczniowskie przewidywania toru kulki
Predicting the motion of a ball

Podkreślamy konieczność poszukania nowej teorii, która lepiej opisuje rzeczywistość aniżeli te prawa, którymi kierowali się do tej pory.

Etap trzeci, prowadzący do sformułowania zasad dynamiki, realizujemy tradycyjną metodą problemową. W fazie wstępnej staramy się doprowadzić uczniów do wniosku, że ruch i spoczynek jest względny nie tylko w sensie kinematycznym, ale i dynamicznym, a także, że aby ciało poruszało się względem Ziemi, nie jest konieczna siła powodująca ten ruch. Pomocne są doświadczenia z beztarciową ławą, puszczonej po równi pochyłej wózkem, który następnie porusza się ruchem prawie jednostajnym po płaskim stole czy też ponownie z umocowaną na nitce kulką poruszającą się najpierw po okręgu, a następnie ruchem jednostajnym, prostoliniowym po przecięciu nitki.

Następnie zadajemy uczniom pytanie, do czego jest potrzebna wypadkowa siła działająca na ciało, skoro nie jest konieczna, aby ciało poruszało się względem Ziemi. Obserwacja doświadczeń — w których widoczna siła powoduje za każdym razem zmianę bądź kierunku prędkości, bądź wartości prędkości — prowadzi do sformułowania I zasady dynamiki, a następnie — po dokładnym przebadaniu ruchu odbywającego się pod wpływem stałej siły i wykryciu zależności przyspieszenia od siły przy ustalonej masie oraz zależności przyspieszenia od masy ciał, przy ustalonej sile wypadkowej — do sformułowania II zasady dynamiki Newtona. Przed sformułowaniem III zasady dynamiki, na podstawie licznych doświadczeń, uczniowie powinni wyciągnąć wniosek, że siły rzeczywiste zawsze występują parami. Zawsze działaniu towarzyszy przeciwdziałanie. Kolejne doświadczenia ilościowe powinny doprowadzić uczniów do ostatecznego sformułowania tej zasady.

W etapie IV uczniowie uzasadniają na podstawie praw dynamiki wszystkie te doświadczenia, których wynik okazał się dla nich zaskakujący podczas realizacji etapu II. Uczniowie powinni zyskać przeświadczenie, że wynik każdego z tych doświadczeń nie jest zaskakujący, jeśli rozumiemy zgodnie z zasadami dynamiki. Rozwiązując problemy, w tym także zadania rachun-

kowe, należy wymagać od uczniów, by rysowali rysunki sytuacyjne, a przede wszystkim diagramy sił (*free body diagrams*) i diagramy kinematyczne (*kinematics diagrams*) [13] odpowiadające danej sytuacji.

W celu prawidłowego zrozumienia przez uczniów zasad dynamiki newtonowskiej, a także w celu ugruntowania tych zasad w wiedzy potocznej uczniów niezmiernie ważne jest odwoływanie się do zasad dynamiki i wykorzystywanie ich wszędzie tam, gdzie jest to potrzebne i możliwe. Należy starać się rozważać także i takie przypadki, gdy wypadkowa siła jest równa zero, a ciało porusza się względem Ziemi lub gdy wypadkowa siła jest skierowana przeciwnie do prędkości. Trzecią zasadę należy wykorzystywać do analizowania nie tylko przypadków, gdy ciała znajdują się w spoczynku, ale przede wszystkim w sytuacjach dynamicznych: ruchu jednostajnego i zmiennego. Właśnie takie problemy przysparzają uczniom najwięcej trudności. Trzeba bardzo uważać, aby nie powstało przeświadczenie, że siła wypadkowa czy dośrodkowa to jeszcze jedna siła działająca na ciało. Stąd potrzeba konsekwentnego rysowania diagramów sił, a jednocześnie diagramów kinematycznych.

Musimy dążyć do tego, aby uczniowie rozumieli, że zasady dynamiki to nie proste formuły typu $F = m \cdot a$ czy *akcja = reakcja*, lecz formuły ściśle zinterpretowane, zweryfikowane empirycznie i zaopatrzone we wskazówki, w jakich warunkach realizuje się opisana zależność oraz co dokładnie oznaczają występujące we wzorach pojęcia. Uczeń powinien też wiedzieć, że prawa dynamiki Newtona — mimo swej fundamentalności i niepodważalnej rangi — okazują się dość ściśle spełnione jedynie w pewnym ograniczonym zakresie, dla którego zostały one sprawdzone z maksymalnie osiągalną ścisłością.

Mimo ograniczonego charakteru tych praw uczeń nie powinien wątpić, że w świecie zjawisk nas otaczających prawa te zawsze zachowują swoją słuszność i jako takie powinny być dobrze znane i rozumiane przez każdego człowieka.

4. WNIOSKI

Zgodnie z zaprezentowaną propozycją realizacji dynamiki newtonowskiej, został przeprowadzony cykl lekcji w jedenastu klasach szkoły podstawowej, czterech klasach liceów ogólnokształcących, pięciu klasach techników zawodowych, a także cykl zajęć na pierwszych latach uniwersyteckich studiów fizyki i chemii. Ogółem w zajęciach uczestniczyło 327 uczniów szkół podstawowych, 298 uczniów szkół średnich oraz 98 studentów. W opinii Au-

tora eksperyment zakończył się umiarkowanym powodzeniem. Odpowiedzi oraz pisemne prace klasowe wykazały, że uczniowie lepiej opanowali pojęcia: siły, masy, bezwładności, nauczyli się analizować problemy od strony dynamicznej, a także zrozumieli zjawisko ruchu. W opinii uczniów omawiane lekcje były interesujące. Uczniowie aktywnie i z dużą ochotą uczestniczyli w dyskusjach, a także w przygotowaniu i przeprowadzaniu poszczególnych doświadczeń.

Przeprowadzony po kilku miesiącach test mający na celu wyciągnięcie ogólnych wniosków dotyczących trwałości wiedzy uczniów z tego zakresu, jej operatywności oraz rozumienia poszczególnych zagadnień wykazał, że szczególnie w przypadku zadań dotyczących problemów związanych z wcześniejszą intuicyjną wiedzą uczniowską procent poprawnych odpowiedzi (40%–50%) był zdecydowanie większy aniżeli u uczniów nauczanych tradycyjnie (kilka procent dobrych odpowiedzi). W przypadku pytań odtwórczych, a także prostych, typowych zadań rachunkowych, różnice odpowiedzi między obydwoma grupami były już znacznie mniejsze. Ogólne wyniki, chociaż obiecujące, nie upoważniają do stwierdzenia, że w ten sposób problem sprzecznej z podręcznikową wiedzą potocznej został rozwiązany, gdyż nadal znaczny procent uczniów i studentów pozostał przy swojej wcześniejszej wiedzy intuicyjnej. Stosunkowo najlepiej proponowana metoda sprawdziła się w szkołach podstawowych, co potwierdza potrzebę jej zastosowania już na tym poziomie nauczania, ale na wyższych poziomach też nie należy z niej rezygnować, gdyż dopiero kilkakrotne zwrócenie uwagi na konieczność włożenia wysiłku w zrozumienie podstaw dynamiki może przynieść całkowite wyeliminowanie niekorzystnych prekoncepcji.

Autor jest przekonany, że stosowanie w praktyce szkolnej wymyślnych pokazów, których skutkiem jest zdezorientowanie uczniów i naprowadzanie ich na błędną odpowiedź nie jest słuszne. W tym jednak wyjątkowym przypadku wydaje się to uzasadnione, gdyż prawdopodobnie tylko w ten sposób można pobudzić uczniów do poznawania stosunkowo mało już dzisiaj atrakcyjnej tematyki (z uwagi na niewielki związek z fizyką dnia dzisiejszego) i wywołać u nich pozytywne nastawienie emocjonalne.

Omówiona metoda, w swych ogólnych założeniach, może być też stosowana w innych działach fizyki. Wydaje się jednak, że szczególną rolę spełnia właśnie w dynamice, gdzie negatywny wpływ intuicji jest najbardziej widoczny. Chociaż nie powoduje, że dla wszystkich dynamika newtonowska staje się prosta, oczywista i zrozumiała, to jednak przynosi, jak można sądzić, znacznie lepsze wyniki niż nauczanie tradycyjne. Na pewno zasiewa wśród uczniów twórczy niepokój oraz uświadamia im, że wiedza intuicyjna

często nie wystarcza, by można było radzić sobie z wyjaśnianiem nawet najprostszyc zjawisk.

LITERATURA

- [1] Wiśniewski A., Piłat M., *Ann. UMCS, AAA* 46/47 (1991/1992) 463–467.
- [2] Wiśniewski A., *I.F. UMCS Rep.* (1994) 95.
- [3] Clements J., *Am. J. Phys.*, 50, 1 (1982) 66–71.
- [4] McDermott L. C., *Phys. Tod.*, 37, 10 (1984) 43–56.
- [5] Driver R., *The Many Faces of Teaching and Learning Mechanics*, Utrecht 1985, 171–198.
- [6] McDermott L. C., Piternick L. and Rosenquist M., *J. Col. Sci. Teach.*, Jan., March, May (1980) 123–134.
- [7] Stavy R., Berkovitz B., *Sci. Educ.*, 64, 5 (1980) 679–692.
- [8] Rowell J. A., Dawson C. J., *Eur. J. Sci. Educ.*, 5, 2 (1983) 203–216.
- [9] Posner G. J., Strike K. A., Hewson P. W. and Gertzog W. A., *Sci. Educ.*, 66, 2 (1982) 211–227.
- [10] Wiśniewski A., *Wybr. Prob. Dyd. Fiz., (Rzeszów)*, (1989) 14–19.
- [11] Wiśniewski A., Piłat M., *Prob. Dyd. Fiz., (Wrocław)*, (1990) 67–74.
- [12] Wiśniewski A., Piłat M., *I.F. UMCS Rep.*, (1990) 169.
- [13] Wiśniewski A., *I.F. UMCS Rep.*, (1993) 115.

SUMMARY

Over the last years there has been considerable interest in studying students intuitive ideas about natural phenomena. A lot of studies show that students' frameworks differ very much from those of physicists, particularly in dynamics. Traditional teaching strategies do not change this situation. We ought to look for new perspectives of teaching.

In this paper I propose the strategy which occurs fruitful in some aspects. It can be adapted or adopted on different levels of teaching. I was reasonably successful in achieving my goals. Positive changes in students beliefs occur on different levels. A deep qualitative understanding of dynamics and a tendency to become more actively involved in and more responsible for their own learning were observable among students on each level, too.