

Doświadczenia fizyczne w praktyce szkolnej

(Miniatura dydaktyczna)

Waldemar Reńda

W encyklopedii fizyki czytamy:¹ „Fizyka to podstawowa nauka przyrodnicza badająca za pomocą metod ilościowych ogólne właściwości materii i zjawiska w niej zachodzące. Fizyka dzieli się na doświadczalną (eksperymentalną) i teoretyczną. Celem fizyki doświadczalnej jest obserwacja i wykrywanie zjawisk fizycznych, wykonywanie doświadczeń i **pomiarów**² wielkości fizycznych, szukanie związków między różnymi wielkościami fizycznymi,³ czyli tak zwanych praw empirycznych. Zadaniem fizyki teoretycznej jest konstruowanie, na podstawie **wyników doświadczeń** i przy użyciu aparatu matematycznego, teorii fizycznych opisujących jak najszersze klasy zjawisk, a także wyprowadzanie metodą dedukcji wniosków z tych teorii.”

Należy zauważyć, że zakres tych badań jest niezwykle szeroki, bo rozciąga się od wnętrza atomów po „krańce” Kosmosu, a motorem owych badań była i jest ciekawość poznawcza człowieka. To ważna cecha i należy ją wykorzystywać w dydaktyce. Psychologia zapamiętywania wskazuje na to, że im więcej zmysłów bierze udział w procesie poznawczym, tym skuteczniejsze jest zapamiętywanie treści nauczania. A to właśnie doświadczenia fizyczne najbardziej angażują wzrok, słuch, dotyk i mowę oraz zmuszają do działania. Jeżeli dodamy do tego zainteresowanie tym, co robimy oraz związane z tą działalnością emocje, to mamy optymalne warunki do skutecznego działania dydaktycznego.

¹ Fizyka, *Ilustrowana encyklopedia dla wszystkich* pod redakcją doc. dra hab. Andrzeja Januszajtisa i doc. dra hab. Jerzego Langer, Wydanie drugie, WN T Warszawa 1987, s. 84.

² Podkreślenia moje (W.R.).

³ Wielkością fizyczną nazywamy mierzalną cechę ciała, zjawiska lub procesu fizycznego. (Przyp. autora.)

⁴ Warto tu zauważyć, że biały napis lub rysunek na czarnej i matowej tablicy jest lepiej widoczny niż napis mazakiem na białej tablicy. Jest to wynik radiacji bieli. Dlatego np. klawiatury komputerowe są czarne, a litery i cyfry na nich białe.

A jak jest w praktyce szkolnej? Niestety, nie najlepiej. Brak pracowni przedmiotowych i należytego ich wyposażenia, brak czasu na realizację tematów doświadczalnych, brak chęci, a nawet umiejętności eksperymentatorskich nauczycieli sprawia, że dominującą metodą nauczania jest wykład, a podstawowym środkiem dydaktycznym – tablica i kreda.⁴ I stan ten – niestety – się pogłębia.

W programach nauczania fizyki z lat osiemdziesiątych zarówno dla szkół podstawowych jak i liceów zwracano szczególną uwagę na rolę doświadczeń w nauczaniu fizyki. Był to również okres, w którym wykuwała się współczesna dydaktyka fizyki.

Warto przypomnieć nazwiska osób, które rekomendowały ówczesne programy nauczania fizyki. Oto one: prof. dr hab. G. Białkowski, doc. dr B. Bończak, dr R. Subieta, doc. dr K. Badziąg, dr H. Chrupała, dr K. Chyla, prof. dr hab. J. Ginter, dr K. Hercman, doc. dr hab. T. Pniewski, doc. dr I. Stępniewski, dr Jadwiga Salach, prof. dr hab. M. Subotowicz, a także wielu nauczycieli praktyków jak choćby mgr J. Greupner z VIII liceum w Katowicach, który w swojej szkole zorganizował wzorcową pracownię fizyczną.

Były to osoby, które miały znaczący wpływ na rozwój współczesnej dydaktyki fizyki; K. Badziąg był autorem jednej z dwóch metodyk nauczania fizyki jakie dotąd wydano;⁵ J. Ginter i K. Hercman byli autorami nowoczesnych podręczników do szkoły podstawowej, K. Chyla napisał podręcznik do szkoły średniej i popularny zbiór zadań, J. Salach była współautorką cyklu podręczników wydawanych przez wydawnictwo ZamKor. Inni konsul-

tanci tego programu to albo wykładowcy uczelni wyższych, albo pracownicy Instytutu Kształcenia Nauczycieli (IKN)⁶, jak również pracownicy Wojewódzkich Ośrodków Metodycznych, a także nauczyciele-praktycy.

Krótki rys historyczny

Zanim przejdę do uwag metodycznych odnośnie organizacji lekcji z pokazem lub z doświadczeniami pomiarowymi, pozwolę sobie na krótki rys historyczny.

Napisałem wyżej, że motorem zarówno badań doświadczalnych, jak i dociekań teoretycznych, jest przede wszystkim ciekawość poznawcza. Zapewne owa ciekawość skłoniła Eratostenesa (275-194 p.n.e.) do podjęcia próby ustalenia wielkości Ziemi. I próba ta okazała się udana. Zanim o tym napiszę, parę słów o samym uczonym. Był filozofem, geografem i astronomem. Ok. 235 r. p.n.e. został powołany przez Ptolemeusza III na stanowisko dyrektora słynnej biblioteki w Aleksandrii.⁷ Funkcję tę piastował do późnej starożytności.

A teraz o jego pomiarze: Po pierwsze: wiedział, że Ziemia ma kształt kuli.⁸ Po drugie: jako astronom, wiedział, jak zmienia się położenie Słońca w zależności od odległości punktu obserwacji od równika Ziemi. Następnie stwierdził, że gdy w czasie górowania Słońca w mieście Syene (dzisiejszy Asuan) promienie słoneczne padają pionowo, to tego samego dnia w czasie górowania Słońca w Aleksandrii promienie te padają pod kątem ok. 7° do pionu. Znając odległość do owego Syene, mógł stwierdzić, że obwód Ziemi (w tym przypadku długość południka) jest tyle razy dłuższy od odległości Aleksandria-Syene,⁹ ile razy kąt pełny jest większy od tych 7 stopni. Podobno uzyskał długość odpowiadającą w przybliżeniu dzisiejszym 39 tysiącom km.¹⁰ Zatem był to bardzo dobry wynik. Następny tego typu pomiar wykonano we Francji dopiero w 1520 roku.

Nie wiemy, czy i jakie doświadczenia wykonywali starożytni uczeni, ale zapewne Archimedes doszedł do swego prawa nie tylko korzystając ze swej intuicji.

Na rolę doświadczeń w procesie poznawczym po raz pierwszy zwrócił uwagę angielski franciszkanin filozof Roger Bacon (ok. 1214-1294). Głosił on program oparcia nauki na eksperymencie oraz matematycznych metodach dowodzenia. W związku z tym postulował zmianę systemu nauczania, co jednak nie spotkało się z przychylnym przyjęciem Kościoła. I tu warto zauważyć, że apostoł Paweł w 53 r. n.e. w liście do Tesaloniczan napisał: „Wszystko badajcie, a co szlachetne przyjmujcie”.¹¹ Dziwić więc może późniejszy negatywny stosunek Kościoła do badań naukowych. Pamiętajmy przecież obawy Mikołaja Ko-

pernika związane z publikacją swojego dzieła czy proces Galileusza.¹²

Pozwolę zatrzymać się przy tych dwóch uczonych. Krótko o Galileuszu: Stwierdził on, że w przypadku, gdy możemy pominąć opór powietrza, to czas spadania ciała z tej samej wysokości jest taki sam, bez względu na ich masę.¹³ Dziś mówimy, że spadają z jednakowym przyspieszeniem. Zakwestionował on w ten sposób wydawałoby się nienaruszalny autorytet wielkiego Arystotelesa. Dodam, że Galileusz stanął przed sądem Inkwizycji za pamflet ośmieszający przeciwników kopernikańskiego heliocentryzmu.

A Kopernik? Tym razem zakwestionował on autorytet Ptolemeusza, a przy okazji niektóre zapisy zawarte w Starym Testamencie. Na czym jednak polegał ów problem? Otóż Ptolemeusz, a w zasadzie jego poprzednicy, obserwowali niebo, przyjmując, że układem odniesienia jest Ziemia. A w tym opisie ruch ciał niebieskich jest niezwykle skomplikowany. Przeniesienie układu odniesienia z Ziemi na Słońce radykalnie uprościło ten opis. Nic dziwnego, że tak wielka prostota tego opisu musiała zachwycić Kopernika. Przyjął więc, że powinien to być opis prawdziwy. Potem J. Kepler zamienił wprawdzie okręgi orbit na elipsy,¹⁴ ale opis naszego Układu Planetarnego pozostał taki sam.

Jeżeli chodzi o Izaaka Newtona, to wiemy, że eksperymentował ze zjawiskiem rozszczepienia światła słonecznego, natomiast wydaje się, że do swoich zasad doszedł poprzez rozumowanie dedukcyjne. W przypadku prawa powszechnego ciężenia wykonał obliczenie sprawdzające jego słuszność. Jest to tak zwany „rachunek księżycowy” Newtona. A rozumowanie było następujące: jeżeli siły grawitacyjne maleją z kwadratem odległości, to i przyspieszenie ciał wywołane przez te siły powinno też maleć z kwadratem odległości od ciała centralnego. Wystarczyło zatem porównać wartości przyspieszenia swobodnie spadających ciał w pobliżu Ziemi z przyspieszeniem dośrodkowym ruchu orbitalnego Księżyca. Pierwsze obliczenia nie dały zadowalającego wyniku, ale gdy ustalono dokładniejszą odległość Księżyca od środka Ziemi, wówczas Newton ponownie wykonał te obliczenia, które tym razem potwierdziły w pełni jego hipotezę. Mógł więc opublikować ją już jako obowiązujące w przyrodzie prawo.

Dla osób, które pragną powtórzyć ów rachunek, podaję, iż wartość przyspieszenia dośrodkowego w ruchu orbitalnym Księżyca jest równa 0,0027 m/s² oraz że promień orbity Księżyca z dobrym przybliżeniem jest 60 razy większy od promienia Ziemi.

Zatem: $60^2 = 3600$, a $0,0027 \text{ m/s}^2 \cdot 3600 = 9,72 \text{ m/s}^2$, co jest bliskie wartości 9,8 m/s². Dodam, że przed opublikowaniem tego prawa Newton sprawdził przy użyciu

⁵ Ukazała się ona w 1973 r. Wcześniejsza to metodyka autorstwa Cz. Fotymy i Cz. Ścisłowskiego z 1961 roku.

⁶ Późniejszy Centralny Ośrodek Doskonalenia Nauczycieli (CODN).

⁷ Miasto w delcie Nilu założone przez Aleksandra wielkiego w 332 r. p.n.e.

⁸ Dziwić więc może to, że są jeszcze osoby, które twierdzą, że Ziemia jest płaska.

⁹ Powinna to być odległość, mierzona po południku. Niestety oba te miasta nie leżą dokładnie na tym samym południku, zatem ta odległość powinna być mierzona pomiędzy równoleżnikami, na których leżą miasta.

¹⁰ Promień kuli mógł obliczyć, gdyż wiadano wówczas, że stosunek obwodu koła do długości jego promienia ma się tak, jak 22 do 7 (dzisiejsza liczba π).

¹¹ 1. Tes. 5 w. 21.

¹² Dopiera Jan Paweł II przepraszył za wyroki wydane przez Inkwizycję.

¹³ Doświadczenie to wiąże się z krzywą wieżą w Pizie.

¹⁴ Swoje prawa oparł na wieloletnich obserwacjach i pomiarach położenia planet na sferze niebieskiej.

analizy matematycznej, że ciała rozciągnięte o symetrii kulistej będą oddziaływać grawitacyjnie tak samo jak punkty materialne. Przy okazji wymyślił podstawy dwóch rodzajów rachunku, które dziś nazywamy rachunkiem różniczkowym i całkowym.

Bywa, że przy okazji wykonywanych badań odkrywa się nowe, dotąd nieznanne zjawisko fizyczne lub nową właściwość materii. I tak, badając promienie katodowe, Roentgen odkrył nowy rodzaj promieniowania. Podobnie było z odkryciem promieniowania radioaktywnego przez Becquerela. Natomiast Maria Skłodowska-Curie, gdy zauważyła, że ruda uranu promieniuje bardziej niż czysty uran, wysunęła słuszną hipotezę, że ruda ta powinna zawierać jakieś nieznanne dotąd pierwiastki o silniejszym promieniowaniu niż znany dotąd uran. Jak wiemy skończyło się to odkryciem dwóch nowych pierwiastków promieniotwórczych polonu i radu, i... nagrodą Nobla.

Szkolne doświadczenia fizyczne

Dawniej odkryć dokonywali pojedynczy uczeni, samodzielnie wykonując przedmioty potrzebne do badań, a obecnie stosuje się coraz potężniejsze urządzenia i zatrudnia setki uczonych. Niech przykładem będzie pierwszy cyklotron Lawrence'a, którego średnica nie przekraczała średnicy talerza, a dziś są to urządzenia o promieniu kilku kilometrów.

Ale wróćmy do szkolnych doświadczeń fizycznych. Można tu wyróżnić doświadczenie pokazowe (demonstrację) oraz doświadczenie pomiarowe.¹⁵ Nie będę omawiał metodyki wykonywania owych doświadczeń, co można znaleźć chociażby w wyżej wymienionych książkach, ale stwierdzę tylko, że pokaz lub doświadczenie pokazowe ilustrujące dane treści nauczania powinny pojawiać się **na każdej lekcji** poświęconej wprowadzaniu nowego materiału. Można je wykorzystywać zarówno w części wstępnej jako wprowadzenie do tematu lekcji, w części głównej – jako podstawowa metoda opracowania tematu lekcji, czy też w jej części końcowej jako podsumowanie ew. przykład występowania lub zastosowania omawianego zjawiska.

¹⁵ Zob.: *Metodyka nauczania fizyki w szkole średniej* pod redakcją K. Badziąga, PZWS, Warszawa 1973; T. Dryński, *Doświadczenia pokazowe z fizyki*, PWN Warszawa 1964 oraz D. Tokar, B. Tokar, B. Pedzisz, *Doświadczenia z fizyki dla szkoły podstawowej*, WSiP, 1990.

W przypadku, gdy dany problem dydaktyczny nie może być zilustrowany doświadczeniem pokazowym, wówczas można użyć np. animacji komputerowej. Jednakże żywe postrzeganie jest znacznie korzystniejsze dydaktycznie. Nie rezygnujmy z niego tylko dlatego, że wiąże się z tym pewien wysiłek włożony w jego przygotowanie i przeprowadzenie. Dodam tylko, że znacznie korzystniejsze jest np. wykonanie rysunku na tablicy z równoczesną jego interpretacją, niż pokazanie gotowego na planszy lub na ekranie.

We wspomnianym programie nauczania fizyki dla szkół zalecono, by w klasie 6 wykonać pokaz ruchów Browna. Uważam, że ów pokaz powinien być wykonany na początku lekcji o energii wewnętrznej ciał w szkole podstawowej a obowiązkowo w szkole średniej. A jak go przeprowadzić?

Do zlewki nalewamy ok. 50 ml zimnej wody, dodajemy kroplę mleka, mieszamy i jedną kroplę tej mieszaniny przenosimy na szkiełko preparacyjne, przykrywamy szkiełkiem nakrywkowym i kładziemy na stolik mikroskopu pod jego obiektyw. Dobieramy powiększenie od 150 do 200x i obserwujemy ruch maleńkich kuleczek tłuszczu zawieszonych w roztworze wodnym. By zwiększyć kontrastowość obserwowanego obrazu warto zastosować filtr niebieski. Mam nadzieję, że potrzebny do tego doświadczenia mikroskop znajduje się w każdej pracowni biologicznej. Oczywiście korzystnym byłoby wykonanie tego pokazu przy użyciu mikroskopu projekcyjnego (miałem taki w pracowni fizycznej już 50 lat temu!) lub z możliwością projekcji na ekran komputera.

Przykład doświadczenia pomiarowego.

Będzie to pomiar przyspieszenia i tak wykonywany, by brali w nim udział wszyscy uczniowie danej klasy czy grupy. Skorzystam przy tym z sugestii autorów poprzedniego programu, by do doświadczeń wykorzystywać dostępne przedmioty codziennego użytku. Na lekcji poprzedzającej tę lekcję proszę, by uczniowie postarali się o tzw. resoraki,¹⁶ w liczbie takiej, ile jest stolików w pracowni (ew., w sali lekcyjnej), bo będą nam potrzebne do doświadczeń.¹⁷



Lekcję tę rozpoczynam od przypomnienia definicji ruchu jednostajnie przyspieszonego, sposobu obliczania wartości przyspieszenia i drogi w ruchu jednostajnie przyspieszonym bez prędkości początkowej. Wstępnie demonstruję swobodny zjazd samochodziku z ustawionej równi pochyłej na stole demonstracyjnym. **Wspólnie** zastanawiamy się, jak wykonać pomiar przyspieszenia w tym ruchu. Nie możemy skorzystać ze wzoru: $a = v_k/t$, bo trudno będzie zmierzyć prędkość końcową.¹⁸ Możemy jednak łatwo zmierzyć długość równi jako drogę (s) tego ruchu. W ruchu tym można ją obliczyć ze wzoru:

$$s = v_{sr} \cdot t = \frac{1}{2} v_k \cdot t \Rightarrow v_k = 2s/t$$

Łącząc ten wzór ze wzorem na przyspieszenie, otrzymamy: $a = 2s/t^2$

Dochodzimy do wniosku, że chcąc zmierzyć przyspieszenie resorka na równi pochyłej, należy zmierzyć długość równi (s) i czas zjazdu tego samochodziku (t).¹⁹ Na tablicy ustalamy postać tabeli pomiarów. A jak zrobić równię ze stolika uczniowskiego? Należy podłożyć dwa jednakowe przedmioty pod prawą parę nóg stolika. Wystarczy w tym przypadku niewielki przedmiot, by kąt nachylenia tak sporządzonej równi nie przekraczał 5° i by uzyskać możliwie długi czas trwania ruchu. Zaznaczamy na blacie stołu linię startu i linię mety odległą o ok. 1m od linii startu oraz wykonujemy próbny start. Pierwszy pomiar również powinien być pomiarem próbnym. Ustalamy liczbę pomiarów. Pomiary wykonujemy w grupach. Wyniki uzyskane przez jedną z grup zapisujemy w tabeli na tablicy, odrzucając wynik pomiaru, który znacznie odbiega od pozostałych.²⁰

Pomiar	1	2	3	...
t (s)				
Δt (s)				

Następnie obliczamy **średni czas** ruchu modelu ze wzoru:

$$t_{sr.} = (t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i + \dots + t_n) : n$$

Gdzie n to liczba pomiarów przyjętych jako poprawne. Uzyskana wartość to najbardziej prawdopodobny czas trwania ruchu samochodziku.

Wiemy jednak, że każdy pomiar obarczony jest niepewnością.

Jak ją obliczyć w tym przypadku?

W podręcznikach szkolnych widziałem taki wzór:

$$\Delta t_{sr.} = (t_{max.} - t_{min.}) : 2$$

Nie należy go stosować, choćby dlatego, że daje zawyżoną wartość tej niepewności. W pomiarze jednostkowym

niepewność pomiaru równa jest wartości najmniejszej działki przyrządu pomiarowego. W przypadku pomiaru wielokrotnego owa niepewność jest średnią arytmetyczną bezwzględnych²¹ odchyłeń kolejnych pomiarów od wartości średniej:

$$\Delta t = |t - t_{sr.}|$$

Zatem:

$$\Delta t_{sr.} = (\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_i + \dots + \Delta t_n) : n$$

Możemy już zapisać wynik pomiaru:

$$t = (t_{sr.} \pm \Delta t_{sr.})s.$$

Należy przy tym pamiętać, by liczby odnoszące się do wymienionych wielkości we wzorze były napisane z tą samą dokładnością – np. do dwóch zer znaczących, a zaokrąglamy je zgodnie z wcześniej poznanymi zasadami.

Umiejętności obliczania tej niepewności nie wymaga program nauczania fizyki w kl. VII, ale warto to zrobić. Przy okazji pokaże ono, która z grup wykonała pomiar najdokładniej.²² A wiemy, że staranne wykonywanie doświadczeń fizycznych jest warunkiem ich powodzenia, a także badawczej satysfakcji. Natomiast na pytanie, dlaczego w poszczególnych grupach uzyskano różne wyniki średniej wartości mierzonego czasu, uczniowie bez trudu odpowiedzą, że przyczyną są różne kąty nachylenia stołów.

Do obliczenia wartości uzyskanego przyspieszenia potrzebny jest jeszcze pomiar drogi w badanym ruchu. Ponieważ pomiar wykonano prawdopodobnie z dokładnością do 1cm (np. przymiarem krawieckim), zatem błąd względny tego pomiaru jest prawdopodobnie mniejszy od 1%, co możemy uznać, że jest to pomiar wystarczająco dokładny.²³

Teraz możemy już obliczyć wartości uzyskanych przyspieszeń.

Dlaczego tak szczegółowo omówiłem to doświadczenie pomiarowe? Otóż po pierwsze dlatego, że program nauczania przewiduje tego typu zajęcia, po drugie: chciałem pokazać, że takie doświadczenie można przeprowadzić bez zaawansowanego wyposażenia pracowni fizycznej i wreszcie dlatego, że mierzenie wielkości fizycznych jest podstawową metodą badawczą stosowaną w fizyce i nie wolno nam z niej rezygnować.

Na koniec dodam, że wykonując doświadczenia pomiarowe, nie powinniśmy korzystać z urządzeń, które wyręczają uczniów w działaniu. Uczniowie powinni móc śledzić cały proces badawczy i na każdym etapie w nim aktywnie uczestniczyć.

Waldemar Reńda
Olkusz, lipiec 2022

¹⁶ Modele samochodów, którymi chętnie bawią się dzieci.

¹⁷ Taką lekcję można przeprowadzić zarówno w kl. VII szk. podst. jak i w kl. I liceum lub technikum.

¹⁸ Jest to możliwe, badając dalszy ruch samochodziku po poziomym blacie stołu.

¹⁹ Można użyć stoperów szkolnych. Niektóre współczesne zegarki elektroniczne i smartfony umożliwiają tego rodzaju pomiar.

²⁰ Uwaga! Trzeci wiersz dodajemy, gdy chcemy obliczyć średnią niepewność pomiaru czasu $\Delta t_{sr.}$.

²¹ Suma tych różnic z uwzględnieniem znaków będzie równa zero.

²² Należałoby w tym przypadku obliczyć niepewność względną w procentach. Program tego nie przewiduje, ale nic nie stoi na przeszkodzie, by takie obliczenie wykonać, jeżeli uczniowie znają pojęcie procentu. O ile wiem, to temat ten jest w programie matematyki w kl. VII.

²³ Obliczenie niepewności wielkości złożonych realizuje się w licealnym programie rozszerzonym fizyki.