

Skąd się bierze $\frac{1}{2}$ we wzorze at^2 ?

– kognitywistyczna lekcja kinematyki

„Skąd się bierze $\frac{1}{2}$ we wzorze $s = \frac{1}{2} at^2$?” – pyta Karolina, studentka trzeciego roku fizyki, i dodaje: „większość moich kolegów też tego nie rozumie”.

Grzegorz Karwasz

„Ratujmy kinematykę” – pisze w numerze 4/2015 Waldemar Reńda [1]. Dla dydaktyka fizyki są to bardzo dobre głosy: dydaktyka zajmuje się identyfikacją problemów w przyswajaniu wiedzy i daje recepty, jak te problemy rozwiązywać. Widocznie $\frac{1}{2}$ we wzorze Galileusza jest takim problemem. Odpowiemy na to pytanie na kilku stopniach trudności, stosując metodą konstruktywistyczną i doświadczalną [2].

I. Poziom podstawowy

Banalny pozornie problem stwarza różnorodność możliwości dydaktyczne. Oczywiście można podać gotowy wzór $s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ i „kazać” uczniowi się go nauczyć, ale byłoby to nie dydaktyka, lecz dogmatyka fizyki. Wzór pochodzi od Galileusza i pojawia się po raz pierwszy w *Dialogu o dwóch największych systemach – ptolemeuszowym i kopernikowym*. We wzorze nie pojawia się $\frac{1}{2}$, a sam opis wzoru jest dość zawili [3]:

„Ale to stwierdzenie ogólne nie ma żadnej wartości, jeśli nie wiadomo, w jakich proporcjach rośnie prędkość, wniosek nieznany aż do naszych czasów dla wszystkich filozofów, a odkryty i wykazany przez Akademię, naszego wspólnego przyjaciela, który w niektórych swoich rękopisach, jeszcze nieopublikowanych, a pokazanych w zaufaniu mnie i niektórym swoim przyjaciołom, wykazuje, jak przyspieszenie ruchu prostoliniowego spadających ciał odbywa się w porządku kolejnych liczb nieparzystych, to znaczy zaznaczywszy, jakie i ile różnych czasów chcemy, jeśli w pierwszym czasie, ruszając ze stanu spoczynku, przebędzie określony odcinek, na przykład długość lufy, w drugim czasie trzy lufy, w trzecim pięć, w czwartym siedem, i tak sukcesywnie w porządku kolejnych liczb głupawych [nieparzystych], co w sumie jest tym samym, co powiedzieć, że odcinki przebyte przez ciało, ruszając ze spoczynku, mają się do siebie w proporcji podwójnej w stosunku do czasów, w jakich te odcinki są mierzone, lub możemy powiedzieć, że odcinki przebyte mają się do siebie jak kwadraty czasów” (tłum. G. Karwasz).

Dziś po włosku nie mówi się liczby „głupawe” (*numeri caffè*), ale liczby nieparzyste. Wzór Galileusza ilustruje równia pochyła, odtworzona w pracowni Zakładu Dydaktyki Fizyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu (fot. 1). Wzdłuż tej równi o długości 5 m zawieszono zastawę dzwonki o coraz wyższej wysokości tonu, w odleg-



Fot. 1. Rekonstrukcja równi pochyłej Galileusza w pracowni Zakładu Dydaktyki Fizyki UMK, zob. [4]

łościach względnych 1 : 3 : 5 : 7 : 9. I tu pojawiają się dwie drogi dydaktyczne. Pierwsza, tradycyjna, to puszczenie kulki po równi i obserwowanie, że dzwonki dzwonią w równych odstępach czasu mimo różnych odległości. Podobnie można pokazać spadek nakrętek nanizanych na sznurek w proporcjonalnych odległościach. Niezupełnie jest to jednak droga konstruktywistyczna.

Droga kognitywistyczna, poznawcza, to doświadczenie przeprowadzone w ciemnościach. W dużej sali wykładowej 200–300 gimnazjalistów śledzi wykład o mechanice, cały czas mając przed oczyma równię z dzwonkami. W pewnym momencie gaśnie światło i w zupełnej ciemności, na hasło „start!” wybranego ucznia, kula zaczyna się staczać (zob. film [4]). Pytanie, jakie zadajemy, gdy kula już stuknie o podłogę, to: „W jakich odległościach wiszą dzwonki?”. Niezawodnie w 200-osobowej sali padają odpowiedzi: „W równych!”. Powtarzamy doświadczenie, nadal po ciemku, aby potwierdzić odpowiedź. Trzeci raz spuszcza kulę już przy zapalonym świetle. Zdziwienie jest powszechne! (Nie powtarzamy dalej tego doświadczenia. Jak mawiał wybitny przedwojenny pedagog prof. Kazimierz Sośnicki: „Nadmiar pogłębłości prowadzi do infantylności”).

Fizyka jest nauką doświadczalną, ale przy tym matematyczną. Potrzebny jest pomiar! Wybieramy ucznia o wzroście mniej więcej 150 cm, co odpowiada długości buta około 27 cm. Chłopiec zdejmuje but, inny uczeń liczy długości, a trzeci zapisuje je na tablicy. Niezwykle ważny jest ten podział ról, dokładny pomiar, a także natychmiastowy zapis. 27 cm to akurat odcinek „1”

FIZYKA

w Szkole z Astronomią

CZASOPISMA DLA NAUCZYCIELI

Wydawca: NIEO w Krakowie 004-004 0730 4 w 0730

10

Rozwój fizyki

- poszukiwanie teorii łączącej teorię relatywistyczną z teorią kwantową

Parki ciemnego nieba

- sposób na zanieczyszczenia świetlne

Skąd się bierze $\frac{1}{2}$ we wzorze at^2 ?

ASTRONOMIA

Komety

- dlaczego wracają i kiedy?

Galaktyki

- jak kształt ma Droga Mleczna?



Naturalny reaktor w Oklo

- historia odkrycia i zadania z fizyki jądrowej

