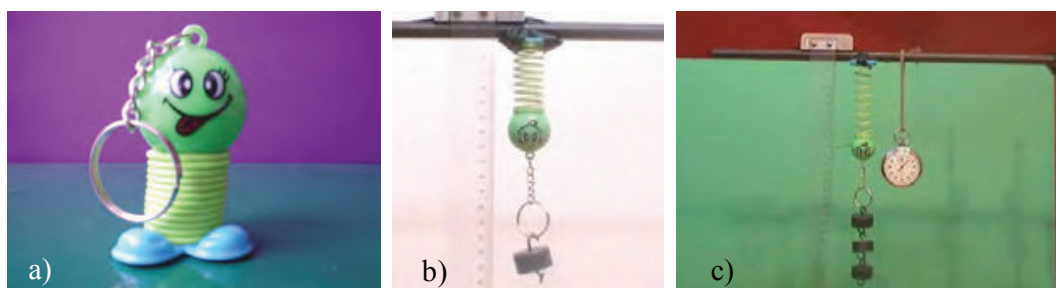


doświadczony naukowiec (i dydaktyk) trzy funkcje: naukowa, dydaktyczna i ludyczna (w tej kolejności tworzące eksponat), złożyły się w jedną całość pedagogiczną. Złożone, a ukryte przed widzem treści eksponatu pozwalają na konstruowanie narracji dydaktycznej w zależności od przygotowania, wieku, zainteresowań, zdolności percepcji indywidualnego widza i/lub grupy.

4.3. Proste jest dydaktyczne!

Parafrazujemy tu tytuł książki Ernesta Schumachera *Małe jest piękne*, która w latach 80. zeszłego stulecia wywołała rewolucję myślenia o cywilizacji technologicznej. Zazwyczaj eksponaty dydaktyczne to skomplikowane zestawy pomiarowe, mało atrakcyjne wizualnie a wykonane tak, że wynik doświadczenia jest z góry przesądzony. Uczeń (i również nauczyciel) nie musi wykazywać się myśleniem, aby uzyskać założony przez dydaktyka cel. W XXI wieku takie działania są anty-edukacyjne: eksponat powinien zachęcać do myślenia. Poniżej przedstawiamy przykład ludzika na sprężynce pochodzącego ze sklepu z pamiątkami, którego zamieniliśmy na edukacyjną ścieżkę o prawach mechaniki.



Fot. 4.11. Funkcje dydaktyczne prostych eksponatów - od zabawy do pomiaru, doświadczenie w formie multimedialnej na stronach „Fizyki zabawek”: **a)** Marsjanin, maskotka na sprężynce; **b)** maskotka ta może służyć do badania praw sprężystości Hooke’a – wydłużenie sprężyny jest proporcjonalne do przyłożonej siły; **c)** w jeszcze innym doświadczeniu Marsjanin służy do ilustracji ruchu drgającego – kwadrat okresu drgań jest wprost proporcjonalny do masy ciała, czyli im cięższe ciało tym wolniejsze drgania (eksponaty i autor ścieżki GK, wykonanie i fot. Andrzej Krzysztofowicz)

Ten zabawny ludzik z zieloną głową na sprężynie jest z założenia breloczkiem do kluczy. Ale właśnie breloczkowy uchwyt i elastyczna sprężyna umożliwiają przeprowadzenie doświadczeń tak w zakresie statyki (prawo Hooke’a – wydłużenie jest wprost proporcjonalne do przyłożonej siły¹⁵), jak i dynamiki (okres drgań zależy od masy zawieszonych ciężarków¹⁶).

Te same doświadczenia można przeprowadzić z jakimkolwiek innym obiektem na sprężynie, oczywiście przy zachowaniu pewnych wymogów fizycznych: sprężyna musi być elastyczna (tzn. spełniać prawo Hooke’a) w stosunkowo dużym zakresie wydłużeń, a główka powinna być w miarę lekka w porównaniu z ciężarkami, które doczepiamy. Zabawy ze sprężynkami złożyliśmy w ścieżkę dydaktyczną „Dlaczego tygrys nie dogoni kurczaka” przeznaczoną dla małych dzieci, przedstawioną po raz pierwszy na Zjeździe PTF w Gdańsku w 2003 roku, a rozwiniętą w oddzielnej wystawę dla przedszkolaków na Festiwalu Nauki i Sztuki w Toruniu w 2008 roku. Idea narodziła się z dwóch zabawek kupionych w 2003 roku na przystanku autobusu w Pradze: kurczaka i tygrysa z nogami podwieszonymi na sprężynkach¹⁷, zob. fot. 4.12. Wychodząc z prawa Hooke’a – większa masa to wolniejsze drgania, pomysł doświadczenia pojawia się natychmiastowo: podwieszając tygrysowi do nóg

¹⁵ G. Karwasz, *Marsjanin I*, [w:] G. Karwasz i in., *Fizyka i zabawki*, CD-Rom, PAP, Słupsk 2005, <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki/files/mech/marsjanin1.html> (30.12.2011).

¹⁶ Zmierzona zależność dość dobrze oddaje to prawo, gdyż masa główki ludzika jest stosunkowo mała. GK., *Marsjanin II*, tamże; <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki/files/mech/marsjanin2.html> (30.12.2011).

¹⁷ G. Karwasz, A. Karbowski, K. Służewski, *Dlaczego tygrys nie dogoni kurczaka?* Tunel dydaktyczny dla dzieci, Festiwal Nauki w Toruniu, 2010, http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/161 (30.12.2011).

„skarpetki” z ółowiu, wydłużamy okres drgań. Tygrys przebiera nogami znacznie wolniej niż kurczak. „Dlaczego nie dogoni kurczaka?” Odpowiedź jest prosta: „Bo ma nogi jak z ółowiu!”. Odpowiedź nie tylko w przenośni, ale i dosłownie.



Fot. 4.12. Proste eksponaty do ilustracji ruchu drgającego: **a)** dwa bliźniacze eksponaty do zabawy „Dlaczego tygrys nie dogoni kurczaka?” – kurczak i tygrys z nogami na sprężynkach; tygrys dodatkowo obciążony „skarpetkami” z ółowiu; **b)** eksponaty do „ważenia” bez wagi, czyli do określania masy bez korzystania z prawa grawitacji – sprężyny zostały pieczołowicie wybrane spośród kilkunastu, tak aby miały ten sam okres drgań, dzięki temu mogą służyć do „ważenia”; **c)** ta sama idea co poprzednio, ale w eksponacie zaprojektowanym *ab initio* – walce o różnych rozmiarach mają okresy drgań mające się do siebie jak 1 : 2 (eksponaty i autor ścieżki GK, fot. KS)

Możliwa jest jeszcze dalsza eksploatacja różnych aspektów prawa ruchu drgającego $T = 2\pi\sqrt{m/k}$, gdzie T jest okresem drgań, m – masą ciała drgającego, a k – stałą sprężystości. Trzy starannie wybrane (w sklepie z pamiątkami w Trento) sprężyny o takich samych stałych sprężystości (czyli o tych samych okresach drgań) mogą posłużyć do skonstruowania „wagi”, która nie korzysta z prawa grawitacji – urządzenia do „ważenia” dla astronautów.

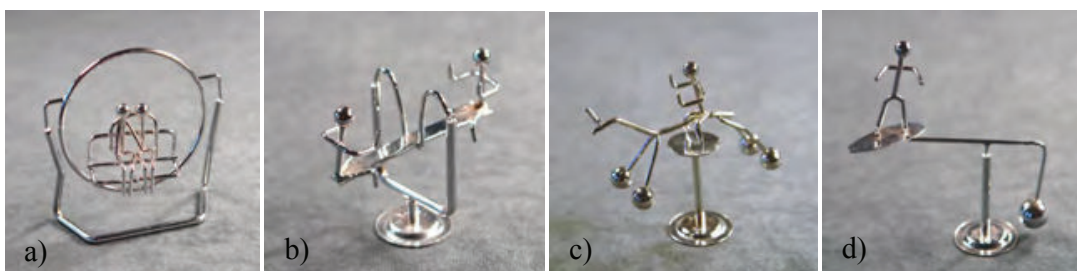
Koncepcja tego doświadczenia opiera się na potocznej (i historycznej) trudności w rozróżnieniu dwóch wielkości fizycznych – wagi i masy. Jeszcze stosunkowo niedawno masę i wagę określaliśmy w tych samych jednostkach – kilogramach (gramach, dekagramach itd.). Z zastrzeżeniem, że mówiąc o *masie* używamy jednostek kg , a mówiąc o *wadze*, czyli o sile, z jaką Ziemia przyciąga jeden kg masy, używamy jednostek siły, kG (obecnie zakazanych!). Były to jednostki bardzo pożyteczne dydaktycznie, jako że np. ciśnienie atmosferyczne wynosi mniej więcej 1 kG/cm^2 . W jednostkach obecnie obowiązujących zdanie „ważę 80 kg ” jest niepoprawne. Należy powiedzieć „ważę 800 N (niutonów)” lub „moja masa to 80 kg ”. Tu nasuwa się pytanie: jak przekonać uczniów, że do określenia masy nie potrzebujemy „ważyć” ciała? Innymi słowy, w jakim innym zjawisku fizycznym obserwujemy skutki zależne od masy?

Problem jest nie tylko dydaktyczny, jako że dwa mamy w fizyce dwa określenia masy. Pierwszy sposób wynika z drugiego prawa Newtona $a = F/m$, gdzie a jest przyspieszeniem, z jakim porusza się ciało, a F – siłą na nie działającą. W tym przypadku mówimy o masie „inercyjnej”. Drugi sposób określenia masy to właśnie pomiar siły oddziaływania grawitacyjnego między dwoma masami. Te dwie definicje masy dają ten sam wynik. Niestety, nie wiemy do dziś, dlaczego. Nie ma ogólnych przesłanek ku temu, aby dwie masy: grawitacyjna i inercyjna były identyczne, choć nie mamy *żadnych* dowodów, że może być inaczej¹⁸.

Eksponaty na fot. 4.12b nie służą do określenia *wagi*, która zależy od siły przyciągania ziemskiego. Eksponaty te bezpośrednio porównują *masy* (inercyjne): okresy drgań dla sprężyn o podobnych współczynnikach sprężystości, oddają stosunek mas¹⁹.

¹⁸ Identyczność masy inercyjnej i grawitacyjnej nie wynika nawet z ogólnej teorii względności A. Einsteina. Problem wynika m.in. z pojęcia (i istnienia, potwierdzonego w czerwcu 2012 r.) bozonu Higgsa.

¹⁹ Oczywiście masa sprężyn zmienia nieco wynik porównań, ale do celów porównawczych w sposób nieistotny.



Fot. 4.13. Etiudy na temat ruchu drgającego – wahadła z berlińskiego sklepu z pamiątkami. Okres drgań nie zależy od masy obiektu, ale od rozkładu masy w stosunku do położenia osi obrotu. Najkrótszy okres wahań ma para zakochanych **a)**, gdzie masa jest rozłożona wokół osi obrotu, najdłuższy okres ma surfista **d)**, gdzie masy są położone daleko od punktu podparcia (zbiory GK, fot. KS)

Zagadnienie ruchu drgającego tworzy w naturalny niejako sposób niezwykle ciekawą i wielowątkową ścieżkę dydaktyczną²⁰. Odkrycie Galileusza sprzed 400 lat o niezależności okresu wahań (kandelabru w Baptysterium w Pizie) od wychylenia (i masy kandelabru), będące podstawą działania zegarów wahadłowych, nie do końca weszło do świadomości nawet współczesnego, wykształconego obywatela. Ale o ile doświadczenie Galileusza – ciężarek na nitce czyli wahadło matematyczne, *jest* w programie szkolnym, to wahania *rozkładów* mas, czyli tzw. wahadło fizyczne, sprawia trudności nawet absolwentom fizyki. W tym celu stworzyliśmy kolekcję prostych, niby-zabawkowych obiektów o takich samych masach ale różnych ich rozkładach w stosunku do osi obrotu. Zwiedzający w bezpośredni sposób może porównać, że okresy wahań tych zabawek się różnią, fot. 4.13. Wspomniane już wahadło (a właściwie „kołyska”, ang. *cradle*) Newtona jest elementem wielu wystaw interaktywnych, popularnych gadżetem na biurko, zob. fot. 4.15, a nawet elementem reklam telewizyjnych.

W wahadle Newtona fascynuje to, że kule pośrednie nie uczestniczą w zderzeniu. Rozwiązanie matematyczne nawet dla dwóch kul nie jest wcale elementarne dla ucznia szkoły podstawowej, gdyż wymaga uwzględnienia prawa zachowania energii i pędu i rozwiązania układu dwóch równań, z których jedno jest kwadratowe²¹. Jeszcze bardziej fascynujące jest, że w układzie np. pięciu kul, jeśli uderzają trzy, to dwie ostatnie spoczywające przed zderzeniem i dwie pierwsze z uderzających zmieniają swój stan ruchu, a środkowa nie (i przed i po zderzeniu porusza się). Kulki wydają się nieobecne w zderzeniach, a uczestniczy w nich jakaś tajemnicza wielkość przekazywana – pęd. Wahadło Newtona dydaktycznie staje się niezbędnym doświadczeniem, o ile chcemy przekonać ucznia, np. na poziomie gimnazjum, że pęd i energia są dwoma komplementarnymi wielkościami opisującymi ruch, a szczególnie zderzenia ciał.

Możliwych wariacji na temat wahadła Newtona jest wiele, jak już częściowo dyskutowaliśmy wcześniej. Usunięcie z sekwencji jednej z kulek powoduje, że zderzenia nie są dokładnie centralne i ruch staje się chaotyczny, zob. 4.14 i sekwencja filmowa w *Physics and Toys*²². Kolejna, ludyczno-dydaktyczna wariacja to np. inna masa jednej z kul. Ścieżka dydaktyczna prostych doświadczeń ilustrujących mechanikę zderzeń obejmować może także „zabawki” i gadżety, jak np. dwie kule zderzające się centralnie w tzw. riki-tiki, fot. 4.15.

²⁰ Ścieżkę tę rozwinęliśmy w ramach projektu UE „Physics is Fun” rozwinęliśmy w oddzielną mini wystawę „Tout tremble”. Francuski tytuł wziął się z miejsca wystawy – Ecole Centrale w Paryżu i był ukłonem w stronę matematyków francuskich Fouriera i Lagrange’a, którzy położyli podwaliny pod analizę układów drgających, tzw. analizę harmoniczną, zob. GK, *Tout tremble*, [w:] *On the track of Modern Physics*, http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/posters/fourier6-fr.ppt (30.12.1011).

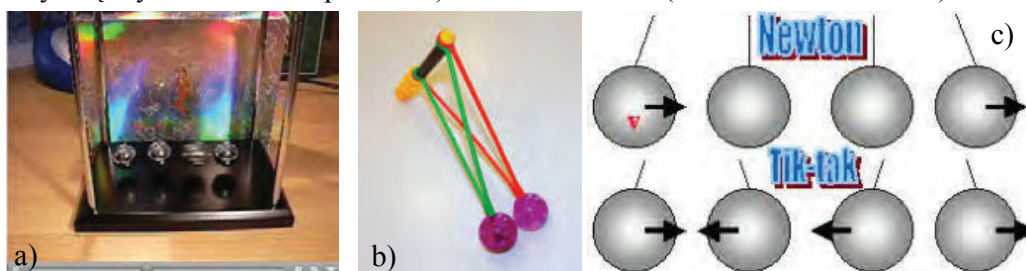
²¹ Zob. rozwiązanie dokładne na stronie GK, *Wahadło Newtona*, część II, [w:] *Fizyka i zabawki*, <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki/files/mech/wahnewt-dok1.htm> (30.12.1011).

²² <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki1/files/anim/newtchaos.mov> (30.12.1011, idea i film GK)



Fot. 4.14. Proste jest dydaktyczne: **a)** wahadło Newtona inspiruje do samodzielnego próbowania, ile kul się odbije (zbiory UMK). Wahadło to jest odpowiedniego rozmiaru do tego rodzaju prób; wahadło zabawkowe jak na fot. 4.8 jest zbyt małe, a duże i elegancko wykonane wahadło z Centrum Hewelianum w Gdańsku (zob. fot. 8.14) wydaje się nie wzbudzać zaufania, gdyż bardziej przypomina dzieło artysty niż proste kule do doświadczeń; **b)** jeszcze prostszym eksponatem, a wydaje się nie mniej intrygującym, jest jedna kula na podwójnej równi. O ile intuicyjnie jest jasne, że kula stacza się w dół, o tyle dopiero tak zaprojektowane doświadczenie pozwala odkryć, że kula mająca energię kinetyczną również „samoczynnie” wtoczy się pod górkę. Doświadczenie wzbudza zainteresowanie u wszystkich odbiorców (idea GK, Uniwersytet I Wieku, UMK, fot. KS)

Jeśli nauczyciel nie dysponuje wahadłem Newtona, może skorzystać ze wspomnianych internetowych zasobów dydaktycznych. W każdym przypadku jednak warto przeprowadzić *rzeczywiste* doświadczenie, np. ze szklanymi kulkami zderzającymi się centralnie (wzdłuż szczeliny między kafelkami na podłodze) lub niecentralnie (na uczniowskim stole).



Fot. 4.15. Konstruowanie ścieżki dydaktycznej omawiającej różne aspekty zderzeń sprężystych jako jednego z najprostszych problemów dynamiki punktu materialnego: **a)** usunięcie jednej z kul w wahadło Newtona sprawia, że ruch w krótkim czasie staje się quasi-chaotyczny; **b)** dwie zderzające się kule, tzw. riki-tiki, jest zagadnieniem fizycznie identycznym, ale matematycznie „wariacją” wahadła Newtona; **c)** od poglądowości do abstrakcji – wyjaśnienie mechaniki zderzeń (koncepcja GK, fot. GK, AK i KS, rys. T. Wróblewski, źródło „Physics and Toys”)

Reasumując, używanie prostych eksponatów do ilustracji zjawisk fizycznych (chemicznych, biologicznych, geologicznych itd.) nie może mieć charakteru przypadkowych zbiorów obiektów ani przypadkowych zastosowań. Zbiory powinny tworzyć ścieżki tematyczne, według ścisłych zasad dydaktyki (stopniowania trudności, poglądowości itp.) a zastosowania powinny w wyczerpujący sposób opisywać zjawisko w jego różnych aspektach – ludycznym, dydaktycznym, naukowym. Pojedynczy eksponat zazwyczaj pozostaje jako element ludyczny. Skojarzenie kilku z nich, nawet najprostszych, jak to pokazujemy na fot. 4.15, instynktownie pobudza widza do samodzielnego poszukiwania problemu i jego rozwiązania. Kilkadziesiąt eksponatów, niezależnie, czy dotyczą fizyki współczesnej czy samych korzeni tradycyjnej fizyki, czyli równi Galileusza²³ stanowiąc mogą zajmującą, samodzielną jednostkę dydaktyczno-wystawienniczą.

²³ E.M. Rogers umieścił następujące motto w książce popularyzującej fizykę: „Fizyka zesła z Nieba na Ziemię po równi Galileusza” – E.M. Rogers, *Fizyka dla dociekliwych, Cz. II, Astronomia*, PWN, Warszawa 1972, s. 163.