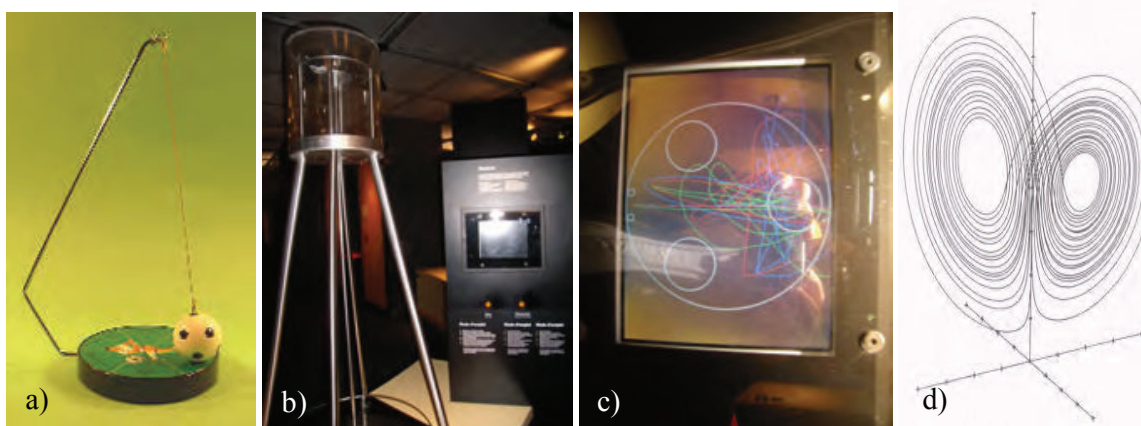


oczywiście powolnym ruchem jednostajnym, niezależnie od dopingowania widowni. Efekt zabawowy gwarantowany, ale i cel dydaktyczny też jasny: kaczki nie reagują na doping widowni, bo ich ruch jest rządzone przez *prawa fizyki*.

4.2. Współzależności między funkcjami poznawczymi eksponatu interaktywnego

Eksponat *sam w sobie* nie stanowi jeszcze o jego funkcjach w konkretnych sytuacjach dydaktyczno-wystawowych: może pełnić każdą z trzech funkcji, w zależności od wyboru projektanta wystawy. Przykładem jest wahadło „chaotyczne” wykorzystywane na naszych wystawach „Fizyki zabawek”⁸, ale będące także eksponatem na wystawie matematyki współczesnej w Cité de Sciences w Paryżu. W nawet niezbyt skomplikowanych układach mechanicznych mała zmiana parametrów początkowych ruchu prowadzi do zupełnie innej dynamiki układu. Zjawisko to nosi nazwę chaosu klasycznego.



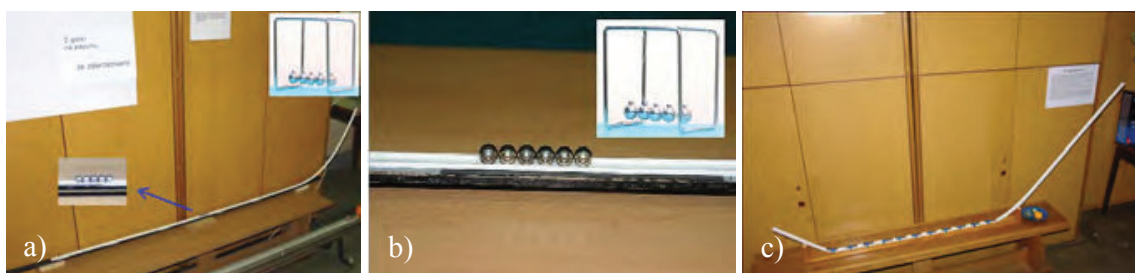
Fot. 4.8 Funkcja ludyczna prowadzi do funkcji naukowej – wahadło „chaotyczne”: **a)** wahadło ze zbiorów „Fizyki zabawek” – układ 6 magnesów w podstawie wypycha wahającą się piłkę w przypadkowe (pozornie) położenie (T. Wróblewski); **b)** takie samo wahadło, profesjonalnie wykonane, na wystawie matematyki współczesnej w Cité des Science w Paryżu; **c)** trajektoria ruchu wahadła – fotografia ekranu układu pomiarowego po kilku przebiegach; **d)** ilustracja chaosu klasycznego (fot. GK)

Samo wahadło chaotyczne spełnia funkcję ludyczną – jak wszystkie poruszające się obiekty przyciąga uwagę. Funkcja dydaktyczna jest ograniczona, dopóki nie wprowadzimy naukowego pojęcia chaosu i obrazowo nie zarejestrujemy różnych trajektorii ruchu przy różnych warunkach początkowych, tak jak to uczyniliśmy z wahadłem w Cité des Sciences, fot. 4.8c. Multimedialne zobrazowanie zmierzonych przebiegów pozwala na porównanie z teoretycznymi trajektoriami, obliczonymi dla podobnego (matematycznie) typu wahadła.

Wzajemne przeplatanie się trzech funkcji poznawczych jest trudne do określenia *a priori*. Eksponaty same w sobie mogą być wykorzystane na różne sposoby. Dopiero praktyczne realizacje wystaw i prowadzenie obserwacji pozwala na odkrycie całej różnorodności funkcji pedagogicznych ukrytych w eksponatach. Okazuje się, że nawet najmłodsi odbiorcy są zdolni do działań badawczych w nie mniejszym stopniu jak naukowcy o bardzo szerokiej wiedzy. Podamy tu dwa zdarzenia zaobserwowane na wspomnianej wystawie „Z górki na pazurki”. Dwa bardzo podobne urządzenia – oba zawierające po kilka kulek na równi przechodzącej w poziomy tor – miały dwa różne cele *dydaktyczne*. W trakcie wystawy, ku zdziwieniu twórców, odbiorcy w zupełnie oryginalny sposób wynaleźli nowe funkcje poznawcze.

⁸ T. Wróblewski, *Dopóki piłka w grze*, [w:] G. Karwasz i in., *Fizyka i zabawki*, CD-ROM, PAP, Słupsk 2005, <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki/files/elmag/pilkarz.html> (30.12.2011).

Pierwsza równia w założeniu projektowym miała być modyfikacją tzw. wahadła Newtona. Wahadło Newtona składa się z pięciu kulek zawieszonych na niciach – jeśli pierwsza z kulek uderza w cztery pozostałe pozostające w spoczynku, tylko ostatnia odskakuje, a reszta, włącznie z pierwszą, pozostaje w spoczynku. Rozwiązanie problemu wymaga co prawda znajomości dość prostych metod matematycznych, ale jest skomplikowane tak, że przekracza możliwości przeciętnego maturzysty, zob. dyskusję w cytowanej naszej publikacji *Multi-medialnej*⁹. W szczególności istotnym elementem rozwiązania (i działania urządzenia) jest fakt, że ruch wszystkich kulek odbywa się wzdłuż jednej prostej, czyli zderzenia są ściśle centralne. Pytaniem postawionym przez autora było, czy wahadło Newtona można pokazać za pomocą kulek niezawieszonych na niciach (co jest kłopotliwe), ale spoczywających na prowadnicy.



Fot. 4.9. „Z górki na pazurki, ze zderzeniami” – zjeżdżalnia Newtona: **a)** widok całości urządzenia – kulka zjeżdżająca z nachylonej części po prawej stronie uderza w pięć innych kulek spoczywających na równi; **b)** powiększenie miejsca zderzenia i jego pierwowzór – wahadło Newtona (w górnym rogu); **c)** kolejna modyfikacja idei wahadła Newtona – równia z magnesami w części poziomej, zwana też działem (tj. armatą) Gaussa; „naciąg” kulek w polu magnesów powoduje akumulację energii, która zostaje rekurencyjnie wyzwolona po uderzeniu przez kulkę nadlatującą z lewej strony; w konsekwencji ostatnia kulka z prawej strony wtacza się po równi *wyżej* niż wysokość, z której stoczyła się pierwsza kulka z lewej pochylni. (Festiwal Nauki Toruń, UMK, kwiecień 2007, idea i realizacja GK, współpraca W. Krychowiak, fot. KS)

Przygotowany eksponat, zob. fot. 4.9, przypomina wahadło Newtona: cztery kulki spoczywają na poziomym torze, a piąta stacza się z pochyłonego odcinka toru i uderza w pozostałe cztery. Jak należało się spodziewać, nowy eksponat działa inaczej niż wahadło Newtona – po zderzeniu odskakuje nie tylko ostatnia kulka, ale i pozostałe toczą się, choć wolniej. Przyczyną takiego działania jest fakt, że kulki toczą się po równi, a nie są zawieszone na niciach. W analizie ruchu należy uwzględnić nie tylko energię kinetyczną ruchu prostoliniowego ale również energię ruchu obrotowego (tj. toczenia się) kulek. Rozwiązanie problemu jest więc znacznie bardziej skomplikowane; wymaga również uwzględniania tarcia. Eksponat mógłby więc służyć skomplikowanym celom badawczym, weryfikacji modelu matematycznego i siły tarcia, ale niezbędne byłyby pomiary prędkości kulek po zderzeniu, a to jest proste.

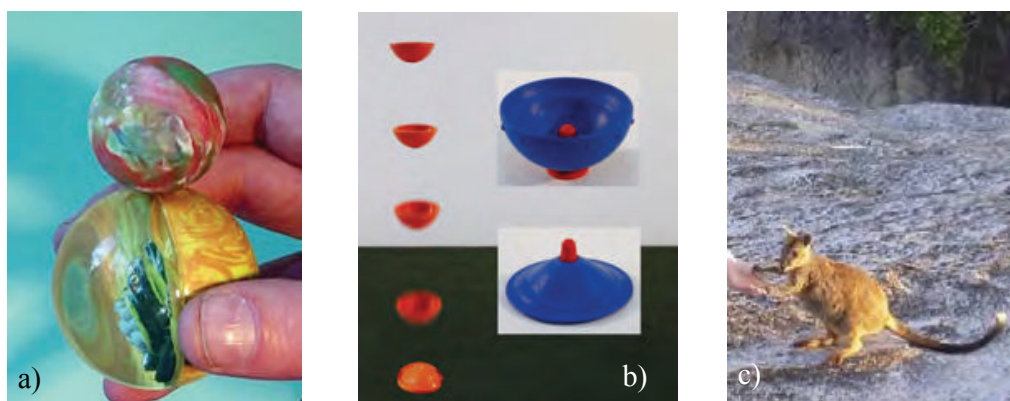
Funkcja ludyczna eksponatu jest stosunkowo mało interesująca, nie rzuca się w oczy żadne specjalne zjawisko – jedna kulka uderza, a pozostałe zaczynają się toczyć. Eksponat spełnia natomiast dobrze funkcję dydaktyczną na poziomie liceum lub kursu fizyki na I roku uniwersytetu: o ile kulki mają nie tylko energię kinetyczną ruchu posuwistego, ale również energię kinetyczną *toczenia się*, to podział energii w zderzeniu jest inny niż w wahadle Newtona i rozwiązanie matematyczne również jest inne, co widać natychmiast w doświadczeniu!

Drugi eksponat z tej samej serii, pozornie dość podobny, wzbudził zainteresowanie widza umiejscowionego na „drugim końcu piramidy edukacyjnej”, a mianowicie dyrektora Instytutu

⁹ G. Karwasz *Wahadło Newtona*, w G. Karwasz i in. *Fizyka i zabawki*, CD-ROM, PAP, Słupsk 2005, <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki/files/mech/wahnewt.html> (30.12.2011).

Fizyki UMK, fizyka teoretyka. Doświadczenie składa się z prostego odcinka równi zakończonych dwoma odcinkami pochyłymi (zob. fot. 4.9c). W zamierzeniu miało ono na celu pokazanie innego jeszcze niż w doświadczeniu Piotrusia (zob. rozdział III) aspektu prawa zachowania energii. Przyzwyczajeni jesteśmy, że w realnych sytuacjach, np. piłki odbijającej się od podłogi, energia jest tracona. Piłka odbija się „prawie na taką samą” wysokość, z jakiej spadła. Innymi słowy, odbija się na taką samą wysokość lub *mnijszą*, nigdy większą. Przykłady, w których dzieje się inaczej, są dla widza zaskakujące, o wybitnie ludycznej funkcji. Dwa przypadki obiektów odbijających się na większą wysokość niż początkowa zawiera kolekcja „Fizyka i zabawki”.

Pierwsze z tych doświadczeń to „skaczące piłeczki”, pozwalające na stworzenie *scenariusza* pokazu o charakterze teatralnym lub fragmentu wykładu interaktywnego. W poprzedniej pracy¹⁰ przedstawiono scenariusz takiego pokazu. „Skaczące piłeczki” są również jednym z trzech doświadczeń składających się na mini-ścieżkę edukacyjną pt. „Prawa nie-zachowania”¹¹. Istotne w wyjaśnieniu, dlaczego lżejsza piłeczka odbija się na większą wysokość niż wysokość, z której spadła, jest prawo zachowania energii – lżejsza piłeczka odbija się wyżej, gdyż uzyskuje dodatkową energię w zderzeniu z piłeczką cięższą.



Fot. 4.10. Przykłady zderzeń nad-sprężystych, tj. takich w których jeden z obiektów zyskuje energię od drugiego z CD-ROM „Fizyka i zabawki”: **a)** dwie spadające i zderzające się piłeczki, po zderzeniu ta wyższa odskakuje, asymptotycznie dla nieskończonej różnicy mas, na wysokość 9 razy większą niż wysokość początkowa (doświadczenie T. Wróblewski, fot. AK); **b)** pół-piłeczka wygięta w dół i położona na stole podskakuje „samoczynnie”; sekwencja zdjęć, od dołu do góry pokazuje, że pół-piłeczka, lecąc w górę, zwalnia; we wkładce inny przykład pół-piłeczki (zbiory GK, fot. KS); **c)** dla odprężenia po dyskusji o zachowaniu energii – australijski kangurek górski wallabie, choć lepszym przykładem byłyby skoki pchły (materiały CD-ROM „Physics and toys”, fot. GK)

Rozważając więc zjawisko z punktu widzenia lżejszej piłeczki, mamy do czynienia z zewnętrznym, niejako ukrytym źródłem energii. Rozważając natomiast dwie piłeczki jako składniki tego samego jednego systemu, energia pozornie uzyskana (przez piłeczkę lżejszą) pochodzi z wewnętrznego źródła (tj. z energii cięższej piłeczki). Jest to zasadnicza część funkcji dydaktycznej tego eksponatu: energia nie pojawia się z niczego, ale jest przekazywana między piłeczkami.

Możliwy przykład funkcji naukowej jest dość skomplikowany i dotyczy fizyki wyładowań w mieszaninach gazów. W przypadku dwóch atomów zderzenie, w którym jeden z nich otrzymuje dodatkową, „ukrytą” przed zderzeniem energię, nazywamy zderzeniem nad-

¹⁰ G. Karwasz, *Miedzy neo-realizmem a hyper-konstruktywizmem – strategie dydaktyczne dla XXI wieku*, „Problemy Wczesnej Edukacji”, nr 6/2011.

¹¹ G. Karwasz, *Skaczące piłeczki*, [w:] G. Karwasz, A. Kamińska, *Physics and Toys*, CD-ROM, Wyd. Soliton, Sopot 2006, <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki1/files/mech/piłeczki-pl.html> (30.12.2011)

sprężystym. W wyładowaniach w gazach, np. w mieszaninie neonu i argonu, ta dodatkowa energia pochodzi z de-ekscytacji drugiego atomu (który przed zderzeniem znajdował się w wyższym niż podstawowy stanie energetycznym, czyli miał nadmiar energii, możliwy do oddania pierwszemu atomowi). Zjawisko, dość istotne dla działania np. ulicznych lamp „neonowych”, jest nieznane studentom, a nawet specjalistom w zakresie fizyki atomowej¹².

Innym doświadczeniem z „ukrytą” energią są podskakujące piłeczki, sprzedawane w krajach angielskojęzycznych pod nazwą *dropper-poper*¹³. Piłeczki, a w zasadzie pół-piłeczki, przed spuszczeniem wymagają „naciągnięcia”, czyli przenicowania na drugą stronę. Uderzenie piłeczki w ziemię wyzwala zgromadzoną w przenicowaniu energię, jak pociągnięcie za cyngiel uwalnia energię sprężyny. Przenicowana pół-piłeczka odbija się wyżej niż wysokość początkowa, z której została spuszczone. Położona na stole podskakuje „samoczynnie”. Nawiasem mówiąc, tak właśnie skaczą pchły. Wysokość skoku pchły przekracza stukrotnie jej własne rozmiary, tak jakby skoczek wzwyż skakał na wysokość dwustu metrów! Otóż przed skokiem pchły naciągają więzadła jak cięciwę w łuku, a raczej w kuszy: proste doświadczenie z piłeczką daje odnośnik do zaskakującego zjawiska z dziedziny zoologii. Na płycie *Physics and Toys* nie byliśmy w stanie pokazać pchły, więc zjawisko wyzwala energii zmagazynowanej pokazujemy, a raczej sugerujemy przy pomocy zdjęcia wallabie, małego kangura ze skalistych wzgórz Australii (zob. fot. 4.10c) i za pomocą zdjęcia golfisty, który przekazuje golfowej piłce energię (kinetyczną) ciężkiego kija¹⁴.

Zaplanowane na wystawie „Z górki na pazurki” doświadczenie z dwoma równiami miało na celu przekaz treści naukowej o zderzeniach nad-sprężystych. Doświadczenie to stanowi rozwinięcie znanego dobrze tzw. działu magnetycznego Gaussa. Jeżeli po dwóch stronach silnego magnesu (zob. fot. 4.9c) umieścimy cztery kulki, ale niesymetrycznie, tzn. jedną z jednej strony, a trzy z drugiej, to taki układ jest dość niestabilny – łatwo oderwać trzecią kulkę natomiast trudno oderwać kulkę „samotną”.

Umieszczając układ takich magnesów z kulkami na jednej prostej, uzyskujemy działło magnetyczne – wystarczy lekko uderzyć w samotną kulkę na początku równi, aby kolejno, w całej serii magnesów, trzecia kulka z poprzedniego magnesu przeskoczyła samoistnie do pierwszej kulki z magnesu następnego. Fizycznie, taki układ przed startem należy „załadować” lub raczej naciągnąć jak cięciwę łuku czy cyngiel w pistolecie. Innymi słowy, należy dostarczyć do układu energię, która jest następnie w układzie zmagazynowana jak energia naciągu w sprężynie cyngla. Działło magnetyczne jest pokazywane na wielu wystawach jako typowy element zabawowy: naciągamy cyngiel, puszcza kulkę na początku listwy z magnesami, a ostatnia kulka odskakuje daleko. Silna funkcja ludyczna, a jednocześnie antyfunkcja dydaktyczna: tak naprawdę nie wiadomo, co się stało i dlaczego.

Aby eksponat spełniał również funkcję dydaktyczną (oprócz ludycznej i naukowej – o atomowych zderzeniach nad-sprężystych), wymaga on jednoznacznego pokazania prawa zachowania energii. Jak to zrobić? Bardzo prosto – kulka puszczone z równi z określonej wysokości i wtaczająca się na podobną równię na końcu toru nigdy nie wtoczy się na wyższą wysokość niż początkowa. Chyba że po drodze uzyska dodatkową energię. Tę energię może uzyskać z działła magnetycznego ustawionego na poziomym odcinku toru. Tak naprawdę proponowany eksponat stanowił złożenie dwóch pomysłów – podwójnej, zwykłej równi z działem do zderzeń nad-sprężystych. Nawet znakomici fizycy – profesorowie, wracali na wystawę, aby „pobawić się” tym eksponatem. Na poziomie wiedzy i percepcji bardzo

¹² Proces taki nazywamy jonizacją Penninga.

¹³ G. Karwasz, *Dropper-poper*, [w:] G. Karwasz, A. Kamińska, *Physics and Toys*, CD-ROM, Wyd. Solion, Sopot 2006, <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki1/files/mech/dropper-pl.html> (30.12.2011)

¹⁴ Tamże.

doświadczanego naukowca (i dydaktyka) trzy funkcje: naukowa, dydaktyczna i ludyczna (w tej kolejności tworzące eksponat), zlały 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 oddzielną 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).