

---

## Komunikacja człowiek–komputer w interaktywnych symulacjach doświadczeń fizycznych

### **Małgorzata A. Płotka**

Politechnika Gdańska  
Wydział Fizyki Technicznej  
i Matematyki Stosowanej  
Katedra Fizyki Teoretycznej  
i Informatyki Kwantowej  
ul. Gabriela Narutowicza 11/12  
80–233 Gdańsk;  
Polsko-Japońska Wyższa Szkoła  
Technik Komputerowych  
Zamiejscowy Wydział Informatyki  
w Gdańsku,  
ul. Brzegi 55  
80–045 Gdańsk  
mplotka@mif.pg.gda.pl

### **Paweł Syty**

Politechnika Gdańska  
Wydział Fizyki Technicznej  
i Matematyki Stosowanej  
Katedra Fizyki Teoretycznej  
i Informatyki Kwantowej  
ul. Gabriela Narutowicza 11/12  
80–233 Gdańsk  
sylas@mif.pg.gda.pl

### **Streszczenie**

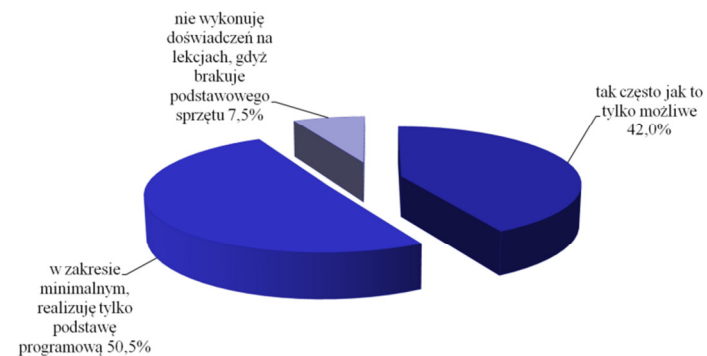
Dobrze zaprojektowany i wykonany interfejs użytkownika umożliwi otrzymanie pożądanych wyników w ergonomiczny, intuicyjny, jednoznaczny sposób. Istnieją jednak klasy aplikacji, w których świadomie pozostawia się użytkownikowi możliwość popełniania błędów, np. wykonania operacji, które nie doprowadzą do uzyskania wyników, bądź uzyskania wyników błędnych lub niepełnych. W szczególności, takimi aplikacjami są interaktywne symulacje doświadczeń fizycznych. W rzeczywistości laborant może bowiem popełniać błędy (np. źle projektując doświadczenie, niepoprawnie zestawiając jego elementy bądź błędnie dobierając parametry), co powinna uwzględniać wierna symulacja. W pracy przedstawiamy własne doświadczenia związane z projektowaniem interfejsu użytkownika dla tego typu aplikacji, zbierane podczas realizacji innowacyjnego projektu edukacyjnego „e-Doświadczenia w fizyce”.

### **Słowa kluczowe**

e-doświadczenia, interfejs użytkownika, nauka na błędach, schemat „zaprojektuj – zbuduj – wykonaj – przeanalizuj – przedstaw wyniki”, symulacje, zjawiska fizyczne, dobre praktyki

### Wstęp

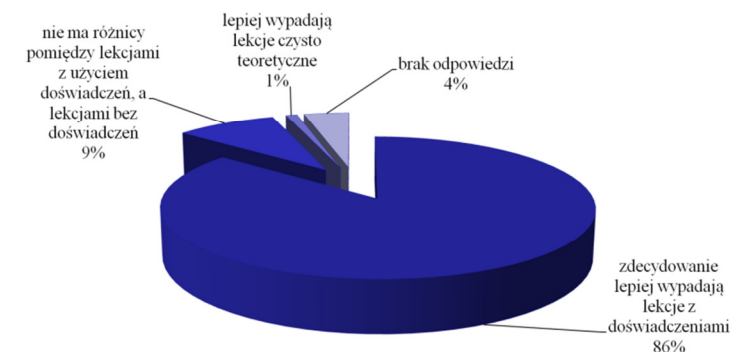
„Fizyka jest nauką doświadczalną. Uczenie fizyki na sucho, bez przeprowadzania doświadczeń jest ułomne. Tylko przeprowadzone doświadczenia, najlepiej samodzielnie wykonane przez uczniów, prowadzą do właściwego i głębokiego rozumienia procesów i praw fizycznych. Dlatego pokazy oraz samodzielne wykonywanie doświadczeń są absolutnie koniecznym elementem wykształcenia przyrodniczego.” [1]



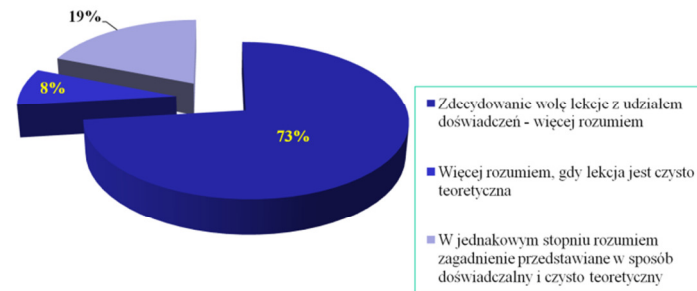
**Rysunek 1.** Pogłębiona diagnoza problemu [2], odpowiedź na pytanie: Jak często wykonuje Pani/Pan doświadczenia fizyczne na lekcjach?

Zlecone przez Politechnikę Gdańską badania [2] oraz zewnętrzne raporty [3] niżej, [4] pokazują, że niewielu uczniów szkół ponadgimnazjalnych jest na tyle pewnych swojej wiedzy, żeby podejmować się zdawania egzaminu maturalnego z fizyki (Rysunek 1 – Rysunek 4). Uczniowie, którzy jednak zdecydowali się ją wybrać, uzyskują wyniki raczej słabe. Niektóre źródła tego stanu, to: niedoskonałe programy nauczania, źle wyposażone pracownie fizyczne,

brak nowoczesnych pomocy dydaktycznych, mogących zaciekać ucznia i zmusić go do wykazania aktywności badawczej oraz „brak systematycznego treningu nauczycieli, którzy nie posiadają koniecznej wprawy umożliwiającej swobodne prowadzenie lekcji doświadczalnych” [1]. Dodatkowo, „znaczna część populacji uczniów kończy edukację, nie widząc nigdy na oczy żadnego doświadczenia (Rysunek 1, Rysunek 2). Według nauczycieli dwie główne przyczyny tego stanu rzeczy to brak czasu oraz źle wyposażone pracownie” [1]. Ma to swoje konsekwencje w postaci strachu młodych ludzi przed studiowaniem kierunków ścisłych i technicznych. Ponadto, znaczna część studentów pierwszego roku jest słabo przygotowana, wykazując podstawowe braki wiadomości w zakresie nauk matematyczno-przyrodniczych (a szczególnie z fizyki), odgrywających kluczową rolę na tych uczelniach.



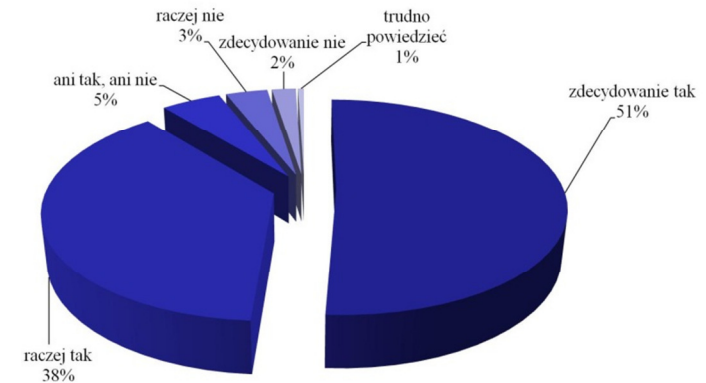
**Rysunek 2.** Pogłębiona diagnoza problemu [2], odpowiedź na pytanie: Jaki jest poziom zrozumienia przez uczniów lekcji fizyki z udziałem i bez udziału doświadczeń?



**Rysunek 3.** Pogłębiona diagnoza problemu [2], odpowiedź na pytanie: Jaki jest Twój poziom zrozumienia lekcji fizyki, na której zjawiska przedstawia się za pomocą doświadczeń?

W odpowiedzi na konkurs na projekty innowacyjne POKL, ogłoszony przez MEN [5], zaproponowaliśmy (przy współpracy z krajową firmą Young Digital Planet SA oraz holenderską LCG Malmberg BV) projekt pt. „e-Doświadczenia w fizyce”, którego głównym rezultatem jest produkt, który wychodzi tym problemom naprzeciw. Produktem tym jest szereg wirtualnych doświadczeń fizycznych (tzw. e-doświadczeń), przeprowadzanych w formie elektronicznej. Zjawiska fizyczne reprezentowane przez e-doświadczenia wybrane zostały w taki sposób, żeby każdy dział fizyki był odpowiednio reprezentowany. Nauczyciel nawet w dobrze wyposażonej szkolnej pracowni fizycznej nie jest w stanie przeprowadzić doświadczeń z niektórych działów fizyki (np. z fizyki atomowej). Nie jest też w stanie np. zademonstrować zachowania badanego układu w windzie, pociągu czy wręcz na innej planecie. e-Doświadczenia umożliwią uczniowi dowolność w eksperymentowaniu, pozwolą na twórcze i badawcze działania, dzięki „dotknięciu” danego problemu

poprzez wykonanie odpowiedniego ćwiczenia przy użyciu komputera, bez obawy zniszczenia drogiego sprzętu.



**Rysunek 4.** Pogłębiona diagnoza problemu [2], odpowiedź na pytanie: Czy gdyby była taka możliwość przeprowadzałyby / przeprowadzałby Pani/Pan takie doświadczenia w sposób wirtualny?

Należy podkreślić, że e-doświadczenia nie będą typowymi symulacjami, które są szeroko dostępne w Internecie [6]. W odróżnieniu od nich, proponowane e-doświadczenia będą w jak największym stopniu zbliżone do rzeczywistości, a także będą wpisywały się w schemat zaprojektuj / zbuduj / wykonaj / przeanalizuj / przedstaw wyniki, gdzie istotne jest uczenie się na błędach. Proponowane rozwiązanie zakłada ponadto możliwość ingerencji ucznia w parametry i budowę przeprowadzanego e-doświadczenia w celu wymuszenia od niego aktywności i rozbudzenia naukowej ciekawości, w tym nauki identyfikacji problemów badawczych. Umożliwimy uczniowi (i oczywiście nauczycielowi) obserwację zachowania się badanego układu w różnych warunkach i przy różnorodnie

określonych parametrach, co byłoby niemożliwe w rzeczywistych doświadczeniach. Będą wskazywane odniesienia danego e-doświadczenia do interdyscyplinarnego charakteru nauk przyrodniczych, np. wyniki będzie trzeba analizować przy pomocy metod statystycznych (matematyka) i opracować je przy pomocy arkusza kalkulacyjnego (informatyka). Dodatkowo, część e-doświadczeń będzie z pogranicza chemii fizycznej. Obecnie takie odniesienia są sporadyczne. Opisana wyżej idea nie była dotąd stosowana w podobnych rozwiązaniach. e-Doświadczeniom będą towarzyszyły zeszyty ćwiczeń, demonstrujące ich potencjalne wykorzystanie na lekcjach fizyki.

Podczas przygotowywania opisu programistycznego e-doświadczeń (specyfikacji), zetknęliśmy się m.in. z problemem zaprojektowania i wykonania interfejsu użytkownika w kontekście przedstawionych wyżej założeń. Temu zagadnieniu poświęcone są kolejne rozdziały pracy.

### **Dobre praktyki w projektowaniu symulacji fizycznych**

Tak jak w przypadku innych aplikacji, tak i w przypadku symulacji fizycznych (a nawet tym bardziej) kluczowe jest aby zrozumieć potencjalne użycie oprogramowania [7] oraz poznać przyszłego odbiorcę/użytkownika, zrozumieć jego potrzeby i „pod niego” projektować [8], [9]. W naszym przypadku jest to nauczyciel, który jest odbiorcą produktu i uczeń – jego użytkownik. Z jednej strony interfejs musi więc być na tyle atrakcyjny, aby zachęcał młodzież do korzystania z programu, z drugiej zaś na tyle poważny i zaawansowany, by nauczyciele i osoby decydujące o kształcie programu nauczania w szkołach ponadgimnazjalnych widzieli w nim wartość edukacyjną. Musimy przy tym pamiętać, że dzisiejsza młodzież znaczną część czasu spędza przy komputerze oraz korzystając z sieci Internet. Naturalnym stało się zatem

kolejne założenie – o docelowym umieszczeniu e-doświadczeń w Internecie. Dodatkowo, aby uczynić je jak najbardziej elastycznym narzędziem, podjęliśmy decyzję o przygotowaniu ich w taki sposób, który umożliwiłby ich uruchamianie bezpośrednio za pomocą przeglądarki WWW, ale również zainstalowanie tak, jak zwykłą aplikację. Dzięki temu, z e-doświadczeń można również korzystać na komputerach, które nie są podłączone do sieci Internet.

Zgodnie z dobrymi praktykami inżynierii wymagań [10]–[14] zaprosiliśmy do wspólnej pracy nad dziedziną problemową udziałowców projektu: metodyka i nauczycieli fizyki w wytypowanych szkołach ponadgimnazjalnych z województwa pomorskiego. Pomimo wieloletniego doświadczenia w nauczaniu fizyki na poziomie akademickim, nie czujemy się ekspertami w zakresie dydaktyki fizyki w szkołach ponadgimnazjalnych, nie znamy realiów, które w panują w szkołach. Dlatego postanowiliśmy, że na podstawie raportów i ankiet wypełnianych przez nauczycieli będziemy dokonywali merytorycznych poprawek scenariuszy/specyfikacji e-doświadczeń wraz z podręcznikami dla uczniów i nauczycieli. Dodatkowo, na etapie testowania produktu będziemy zbierać opinie dotyczące e-doświadczeń, na podstawie których dodawane będą nowe możliwości ich zastosowania (dodanie nowych opcji, funkcji lub propozycje innych ćwiczeń). Testowanie e-doświadczeń, które będzie prowadzone w ramach projektu w latach 2011–2013, będzie miało za zadanie zarówno poprawę ich funkcjonalności, jak i sprawdzenie, jak sprawują się w praktyce, czy ich stosowanie przyczynia się do naprawy problemów przedstawionych we *Wstępie*. Testowanie będzie przeprowadzane przy użyciu specjalnie skonstruowanej platformy edukacyjnej, która umożliwi zebranie szczegółowych informacji o sposobie korzystania z e-

doświadczeń, dodatkowo budzi skojarzenia z tak popularnymi w ostatnich czasach portalami społecznościowymi.

### **Schemat zaprojektuj – zbuduj – wykonaj – przeanalizuj – przedstaw wynik**

Spotkaliśmy się z pytaniami – czy nie boimy się, że uczniowie, mając takie narzędzia jak e-doświadczenia przestaną czynnie korzystać z materiałów edukacyjnych, w zamian będą jedynie biernie i bezrefleksyjnie obserwować co dzieje się na ekranie? Czy nie stracą umiejętności dokonania choćby najprostszych obserwacji czy wyciągnięcia nawet najprostszych wniosków? Odpowiedź na te pytania jest negatywna. Twierdzimy wręcz, że uczniowie, poprzez aktywne korzystanie z e-doświadczeń, nabędą szeroką wiedzę i nowe umiejętności. Nasze e-doświadczenia nie są bowiem kolejnymi, typowymi symulacjami, jakich wiele można spotkać na rynku [6]. My nie dajemy użytkownikowi do ręki gotowego, skonstruowanego zestawu doświadczalnego, ograniczającego rolę użytkownika do uruchomienia i obserwacji. Chcemy, aby – tak jak w przypadku doświadczeń, które wykonywane są w laboratoriach fizycznych – uczniowie wykonywali e-doświadczenia, które sami przemyślą i zaprojektują tak, aby uzyskać pożądane wyniki. W tym celu staramy się aby e-doświadczenia były w pełni interaktywne. Naszą ambicją nie jest jednak zastąpienie rzeczywistych doświadczeń (nie miałyby to żadnego sensu), chcemy jedynie je wesprzeć tam gdzie z różnych powodów (czasowych, budżetowych) nie są one wykorzystywane w dydaktyce. Dostarczane przez nas podręczniki zawierają różne warianty przykładowych ćwiczeń, w zależności od poziomu wiedzy ucznia, oparte na tych zaczerpniętych z oficjalnych podręczników, olimpiad czy instrukcji wykonywania ćwiczeń laboratoryjnych. Ćwiczenia te mogą być inspiracją do stworzenia własnego zestawu doświadczalnego, pozwalamy też na samodzielną „zabawę”

z poszczególnymi elementami doświadczeń (kulki, soczewki itp.) wg własnego pomysłu. Następnie, zadaniem ucznia będzie zbudowanie zestawu doświadczalnego, przeprowadzenie doświadczenia oraz zebranie, przeanalizowanie i opracowanie jego wyników. Z technicznego punktu widzenia nie ma znaczenia czy e-doświadczenie wyświetlane będzie na tablicy multimedialnej, przy użyciu projektora czy na ekranie monitora komputerowego. Oczywiście idealnie byłoby gdyby w czasie zajęć każdy z uczniów miał dostęp do komputera. Choć z naszych badań wynika, że znakomita większość szkół deklaruje możliwość wykorzystania pracowni komputerowej podczas lekcji fizyki, to jednak nic nie stoi na przeszkodzie (w przypadku braku dostępu do pracowni komputerowej), żeby e-doświadczenie zostało „pokazowo” przeprowadzone przez nauczyciela czy wybranych uczniów na tablicy multimedialnej. Tablice te są na wyposażeniu znakomitej większości szkół. e-Doświadczenia dostępne są również na stronie internetowej projektu [15] bez konieczności logowania, zatem mogą być też używane przez wszystkich uczniów (a nie tylko tych uczestniczących w testowaniu) do samodzielnej nauki, powtórki do sprawdzianu/matury w domu czy odrabiane jako praca domowa zadana przez nauczyciela.

Projekt danego doświadczenia wynika bezpośrednio z zadania do wykonania (zleconego przez nauczyciela bądź wynikającego z własnej inicjatywy badawczej ucznia). Może to być na przykład zadanie polegające na zmierzeniu wartości przyspieszenia grawitacyjnego Ziemi (a nawet innej planety) czy też zbadanie obrazów powstających wskutek łączenia różnego rodzaju soczewek. W pierwszym przypadku będziemy potrzebowali pojedynczego wahadła matematycznego – statywu z przyczepioną do niego linką o znanej długości, na której końcu umieszczamy obiekt

o pewnej masie – np. kulkę. Obiekt ten wprawiamy w drgania, wychylając go od pionu i puszczając w ruch. Przy założeniu małych wychyleń, możemy wyliczyć żadaną wartość przyspieszenia grawitacyjnego, mierząc okres drgań. W drugim przypadku potrzebujemy ławy optycznej, na której zostaną umieszczone: źródło światła, obiekt wykorzystywany do obserwacji oraz dwie soczewki. Przy założeniu, że ogniskowa pierwszej soczewki jest mniejsza od odległości między soczewkami, można – po przeprowadzeniu odpowiednio dużej liczby pomiarów – zaobserwować zależność położenia ostrego obrazu obserwowanego obiektu od położenia obiektu. Wyżej wymienione oraz wiele innych propozycji ćwiczeń i wynikających z nich projektów e-doświadczeń można znaleźć w Scenariuszach (zakładka *Scenariusze* w aplikacji, Rysunek 5g).

Budowanie e-doświadczenia rozpoczyna się od wybrania jego elementów (np. tych wymienionych w przykładach powyżej) z „szuflady z narzędziami”, czyli z zakładki *Narzędzia* w menu programu (Rysunek 5a). Wybrane elementy pojawiają się na stole doświadczalnym. Następnie, za pomocą myszki należy zbudować doświadczenie na podstawie jego projektu. Po ustawieniu parametrów oraz wyborze warunków fizycznych (zakładka *Warunki fizyczne*, Rysunek 5b) takich jak długość wahadła czy wychylenie początkowe, doświadczenie może zostać uruchomione. W czasie doświadczenia można wykorzystać stoper (zakładka *Stoper*, Rysunek 5e), który ma możliwość „zrzucania” do tabeli (zakładka *Tabela*, tryb *Stoper*, Rysunek 5c) danych zmierzonych bezpośrednio (takich jak czas) oraz tych, które zależne są od innych, mierzonych bezpośrednio wielkości (np. prędkość, położenie itp.). Dane mogą być zapisywane ręcznie poprzez zatrzymanie stopera przez użytkownika bądź automatycznie, gdy taka opcja w oknie *Stoper* zostanie wybrana. Oprócz tego w tabeli mogą pojawić się dane umieszczane z trybu

*Ręcznego* (gdzie użytkownik samodzielnie, niezależnie od stopera zapisuje dane) lub ze *Wzoru*. Te wszystkie dane posłużą uczniowi do sporządzenia wykresu (zakładka *Wykres*, Rysunek 5d), obrazującego wyniki przeprowadzonego doświadczenia (Rysunek 9). W razie potrzeby można sięgnąć do tablic fizycznych (zakładka *Tablice fizyczne*, Rysunek 5f).

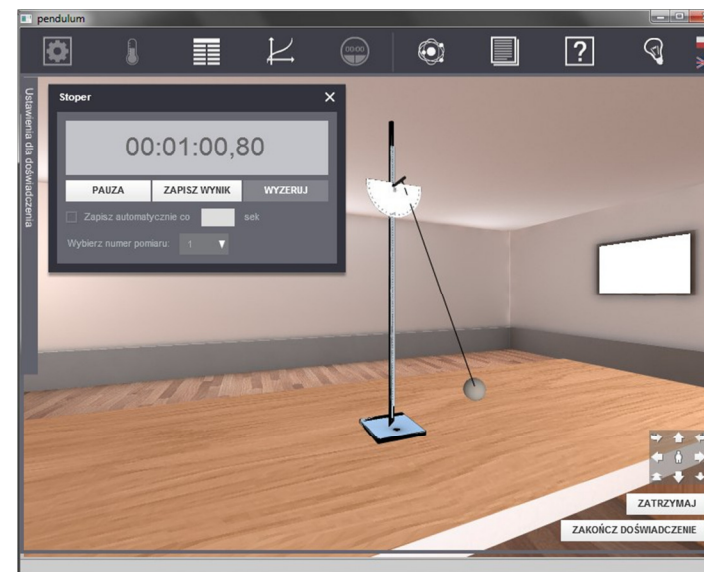


**Rysunek 5.** Dostępne elementy menu w aplikacji. a) Narzędzia, b) Warunki fizyczne, c) Tabela, d) Wykres, e) Stoper, f) Tablice fizyczne, g) Scenariusze, h) Pomoc, i) Ciekawostka.

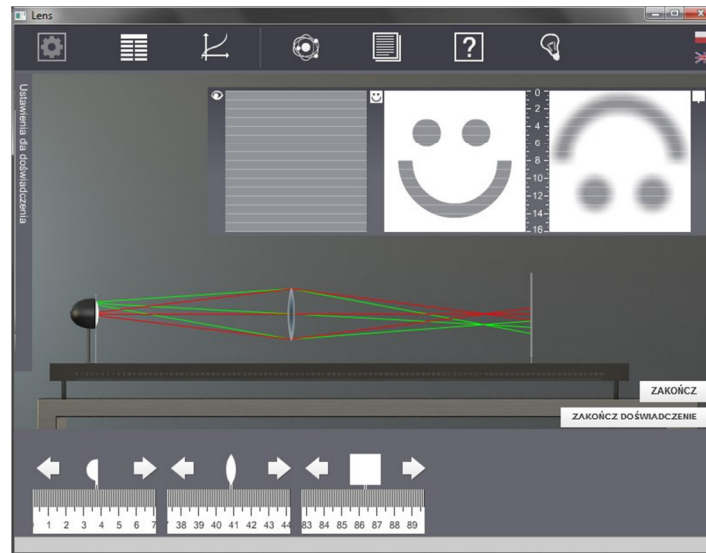
### **Łamiemy zasady**

Wbrew głównym zasadom projektowania interakcji zawartym w heurystykach Nielsena [16], [17] czy zasadach Toga [18] nie zapewniamy użytkownikowi informacji zwrotnej o tym, co robi system ani jak system interpretuje działania i polecenia użytkownika. Nie pozwalamy na pracę na skróty, pozwalającą na dopasowanie działania aplikacji do sposobu jej użytkowania przez konkretnego użytkownika (personalizację). I co najważniejsze, nie zapobiegamy popełnianiu błędów ani nie wyświetlamy komunikatów o błędach (za wyjątkiem błędów typowo technicznych). Ponadto, nie ułatwiamy i nie automatyzujemy pracy, jeśli nie jest to konieczne. Nie dajemy użytkownikowi „wyjścia awaryjnego” czy też funkcji „cofnij/powtórz”. Poza czytelnym plikiem pomocy (zakładka *Pomoc*, Rysunek 5h) i dokumentacją dołączoną do produktu nie informujemy, jak wykonać dane zadanie. Nie nakazujemy wykonywania działań zgodnie z zasadami logiki. Można by się zatem spodziewać, że nasz system jest niezrozumiały i trudny do nauki. Nic bardziej mylnego. Projektując i produkując e-doświadczenia, staraliśmy się bowiem zachować ich stylistyczną spójność –

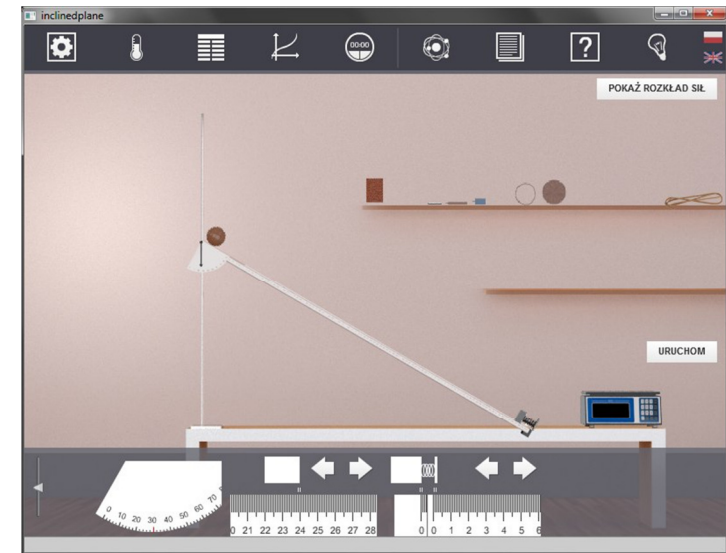
jednakowy wygląd ikon paska narzędziowego, identyczne rozmieszczenie elementów w oknie e-doświadczenia, standardowy zbiór narzędzi (stoper, tabela, wykres), rozszerzalny w razie potrzeby (np. planowana jest kamera, umożliwiająca ponowne odtworzenie przeprowadzonego doświadczenia), podobny sposób obsługi tych narzędzi (Rysunek 6 – Rysunek 8). Ponadto, szeroko stosujemy metaforę rzeczywistego laboratorium, co pozwala użytkownikowi szybko odnaleźć się w naszym wirtualnym laboratorium. Większość elementów e-doświadczeń jest bowiem wzorowana na rzeczywistym wyglądzie tych elementów w laboratorium, dzięki czemu doświadczenie zdobyte przy wykonywaniu e-doświadczeń może się później przydać przy wykonywaniu ich w świecie rzeczywistym (i odwrotnie).



**Rysunek 6.** e-Doświadczenie „Wahadło” z uruchomionym narzędziem „Stoper”.



**Rysunek 7.** e-Doświadczenie „Ława optyczna”.



**Rysunek 8.** e-Doświadczenie „Równia pochyła”.

Oferujemy za to użytkownikowi pełną dowolność w planowaniu pracy, ze wszelkimi konsekwencjami jego działania. Poniżej wymienione zostały najważniejsze tego aspekty (w odniesieniu do opisanych wyżej ogólnych zasad):

- Nieprawidłowe zbudowanie zestawu doświadczalnego bądź zły dobór parametrów – podobnie jak w rzeczywistości – może skutkować niepowodzeniem w przeprowadzeniu doświadczenia. Przykładowo, jeśli dobierzemy źle soczewki w e-doświadczeniu „ława optyczna”, nie zobaczymy oczekiwanego obrazu bądź nie zaobserwujemy danej zależności. Jeśli natomiast wahadło (w e-doświadczeniu „wahadło matematyczne”) odchyłimy z pominięciem zasady małych kątów, otrzymany przez nas wynik (wartość



przyspieszenia grawitacyjnego) najprawdopodobniej będzie obarczony dużym błędem. Nie ostrzegamy, poprzez wyświetlenie komunikatu czy blokadę funkcjonalności, przed popełnianiem tych błędów np. przy wyborze pary nieodpowiednich soczewek, nie wybraniu kulki, źródła światła itp. Jeśli użytkownik nie wyjmie z „szuflady z narzędziami” kulki do zaczepienia na lince, po prostu nie będzie mógł zbudować wahadła. A jeśli zapomni o źródle światła, nie uda mu się zobaczyć na ekranie czy za pomocą mikroskopu oczekiwanego obrazu. Dajemy więc użytkownikowi szansę na samodzielne poszukiwanie i znalezienie odpowiedzi na pytanie „dlaczego to nie działa?” i rozwiązanie tego problemu.

- W naszych programach nie sugerujemy ani nie podpowiadamy użytkownikowi, jakie elementy powinny zostać wybrane, aby poprawnie zbudować zestaw doświadczalny. Nie ułatwiamy mu ani nie wyręczamy go w działaniu, które mogłoby polegać np. na automatycznym zbudowaniu zestawu doświadczalnego z wybranych elementów, czy też automatycznym „wskakiwaniu” elementów na właściwe miejsce na stole doświadczalnym. Nie sugerujemy nawet, gdzie są te właściwe miejsca. Przeciwnie, pozwalamy użytkownikowi dokonać niewłaściwych wyborów „przyglądając się temu w milczeniu”. Gdy soczewki nie zostaną prawidłowo umieszczone na ławie optycznej, nie uda się zaobserwować odpowiedniej zależności wynikającej z ich łączenia. Podobnie będzie, jeśli elementy takie jak: ekran, filtry, soczewki, żarówka umieścimy na ławie optycznej w niewłaściwej kolejności.

- Uruchomienie stopera (bądź innego dostępnego narzędzia) niezgodnie z logiką – zanim uruchomione zostanie doświadczenie, spowoduje np. że dane, które chcielibyśmy za jego pomocą sczytać, nie zostaną sczytane. Tak, jak nie uda się uzupełnić tabeli czy narysować wykresu bez posiadania niezbędnych informacji.

- Użytkownik nie znajdzie „wyjścia awaryjnego”, czy też możliwości szybkiej wymiany/uzupełnienia „na skrót”, jeśli na jego stole laboratoryjnym leżą elementy, z których jednak nie da się zbudować zestawu doświadczalnego. Musi najpierw zatrzymać doświadczenie, otworzyć „szufladę z narzędziami”, wybrać dodatkowe (ew. usunąć niepotrzebne) elementy i dopiero wtedy kontynuować próbę poprawnego skonstruowania doświadczenia. Ta czynność powtarzana będzie do skutku, czyli do momentu, gdy użytkownikowi uda się skompletować wszystkie niezbędne elementy (bądź zrezygnuje z budowy doświadczenia...).

- Każdy pomiar musi być wykonany samodzielnie, od początku do końca. Użytkownik – tak jak w rzeczywistości – nie znajdzie nigdzie opcji „cofnij/powtórz”, jeśli przeoczy coś podczas jego trwania.

- Nie zapamiętujemy ustawień czy zwyczajów użytkownika, które mogłyby ułatwić mu pracę przy kolejnym uruchomieniu aplikacji. Tak, jak w rzeczywistości, konstruując doświadczenie startujemy zwykle „od zera” np. wyjmując niezbędne elementy z szuflady, podobnie jest z e-doświadczeniami.

Jak już wspomnieliśmy, uczeń będzie miał do swojej dyspozycji podręcznik zawierający przykładowe ćwiczenia, plik pomocy oraz to, z czego przede wszystkim powinien korzystać – własną niczym nieograniczoną wyobraźnię i chęć poznania. Mamy nadzieję, że jedynym czynnikiem, ograniczającym nieco jego działania, będą symulowane prawa przyrody.

Podsumowując, e-doświadczenia mają wiernie odpowiadać warunkom pracy w rzeczywistym laboratorium, z czego wynika specyficzne podejście do zastosowanego schematu interakcji. Wstępne wersje e-doświadczeń, realizujące

powyższe „łamające zasady” założenia, zostały poddane ocenie zarówno gremiom decyzyjnym (Krajowej Sieci Tematycznej „Edukacja i Szkolnictwo Wyższe” oraz Ministerstwu Edukacji Narodowej) oraz nauczycielom fizyki. Gremia decyzyjne przyjęły nasze propozycje bez zastrzeżeń, nauczyciele, po dogłębnym testowaniu, zwrócili uwagę jedynie na pewne aspekty realizacyjne, sama idea działania e-doświadczeń nie wzbudziła jakichkolwiek uwag negatywnych. Jednak dopiero testowanie przeprowadzone przez uczniów (w latach szkolnych 2011/2012 oraz 2012/2013) da ostateczną odpowiedź na pytanie o słuszność zastosowanego podejścia).

### **Wykorzystane narzędzia deweloperskie i programistyczne**

Do realizacji naszych celów zdecydowaliśmy się wykonanie e-doświadczeń przy wykorzystaniu renderowanej, w miarę możliwości trójwymiarowej grafiki. Ma ona pozwolić na stworzenie wrażenia obcowania z rzeczywistymi narzędziami w rzeczywistym laboratorium. Jednak, ze względu na ograniczenia budżetowe, „prawdziwie” grafika trójwymiarowa będzie wykorzystywana w tych doświadczeniach, w których jej zastosowanie może przynieść ewidentne i wymierne korzyści (głównie w tych, w których istotną rolę pełni ruch). W części e-doświadczeń będzie to grafika dwuwymiarowa, imitująca efekty trójwymiarowe. e-Doświadczenia implementowane są w technologii Adobe Flash z wykorzystaniem języka Action Script 3 oraz środowiska Adobe Air. Takie podejście jest bardzo korzystne, ze względu na:

- możliwość uruchamiania aplikacji bezpośrednio poprzez przeglądarkę internetową. W tym przypadku wymagane jest ciągłe połączenie z Internetem, ponieważ poszczególne elementy e-doświadczenia są doczytywane na bieżąco przy pierwszym ich użyciu;

- możliwość uruchamiania e-doświadczeń jako samodzielnej aplikacji w wersji off-line dla tych użytkowników, którzy nie posiadają słabsze łącze. W tym przypadku niezbędne jest zainstalowanie środowiska wykonawczego Adobe Air [19].

Dodatkowo, wybrana technologia jest niezależna od platformy sprzętowej i programowej. Dzięki temu nie ograniczamy z góry kręgu potencjalnych odbiorców i użytkowników e-doświadczeń. Ponadto, jak wspomnieliśmy poprzednio, e-doświadczenia mogą być wyświetlane na tablicy multimedialnej, przy użyciu projektora lub na ekranie monitora komputerowego. Silnik obliczeniowy (np. mechanizm rozwiązujący odpowiednie równania różniczkowe), ze względu na konieczność przeprowadzania obliczeń w czasie rzeczywistym, za czym idą odpowiednie wymagania wydajnościowe, jest pisany w języku C/C++ a następnie portowany bezpośrednio do języka Action Script przy użyciu narzędzia Alchemy [20].

### **Podsumowanie**

Nie chcemy chronić użytkownika przed popełnianiem błędów. Przeciwnie, chcemy pozwolić mu błędzić. Chcemy zmusić go do działania, nawet jeśli sprowadzałoby się to do działania metodą prób i błędów. Bowiemy, zgodnie z naszym doświadczeniem, uzyskanie nawet niewłaściwych wyników, które skonfrontowane z tymi prawidłowymi zmuszą do myślenia „gdzie i jaki popełniłem błąd?”, ma ogromną wartość dydaktyczną. Zmusza do wyciągania wniosków i ciągłych poszukiwań właściwego rozwiązania problemu, wymusza aktywność naukową. Ponadto, do właściwego rozwiązania danego problemu można zwykle dojść różnymi drogami. Czasami droga dłuższa i bardziej wyboista daje w ostatecznym rozrachunku znacznie większe korzyści. Wierzymy bowiem, że wiedza i umiejętności zdobyte poprzez

popęłnianie błędów i wyciąganiu z nich odpowiednich wniosków są trwalsze, niż wiedza zdobyta „bezbolesną metodą wchłaniania”, która ma tendencje do szybkiego umykania, zgodnie z zasadą 3z: „zakuć, zdać, zapomnieć”. Szeroko znana maksyma Konfucjusza, sformułowana 2500 lat temu: „powiesz mi – wkrótce zapomnę, pokażesz mi – może zapamiętam, pozwolisz dotknąć a zrozumiem”, pozostaje bowiem ciągle aktualna.

### **Podziękowania**

Projekt „e-Doświadczenia w fizyce” oraz udział w konferencji są współfinansowane przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.



Okno główne e-doświadczenia.  
Widoczny stół laboratoryjny wraz ze  
zmontowanym wahadłem.

**Tabela**

i.p.	t [s]	x(t) [m]	Vx(t) [m/s]
1	0,5	0,055	0,038
2	1	-0,006	-0,207
3	1,5	-0,052	0,079
4	2	0,035	0,162
5	2,5	0,032	-0,171
6	3	-0,053	-0,065
7	3,5	-0,002	0,208
8	4	0,054	-0,053
9	4,5	-0,029	-0,178
10	5	-0,038	0,154

**Wykres**

Wykres 1 Wykres 2 Nabrane wykresy

Vx(t) [m/s]

t [s]

Błędy pomiarowe

Oś X: Tabela, Oś Y: Tabela

**Stoper**

00:00:10,30

START ZAPISZ WYNIK WYZERIJ

Zapisz automatycznie co 0,5 sek

Wybierz numer pomiaru: 1

Tabela, w której zapisywane są  
wyniki pomiarów.

Wykres, który przedstawia  
wyniki pomiarów zapisane w  
Tabeli.

Stoper, umożliwiający zbieranie  
podstawowych danych  
pomiarowych (czas, prędkość,  
położenie).

**Rysunek 9.** Przykładowe e-doświadczenie („wahadło matematyczne”) wraz z rozwiniętymi podstawowymi elementami.

## Literatura

- [1] Mostowski, J. Komentarz do podstawy programowej przedmiotu fizyka z astronomią, Pkt 5. Rola doświadczeń w nauczaniu fizyki.  
<http://www.fizyka.osw.pl/Portals/physicseducation/Podstawa%20programowa%20z%20fizyki%20-%202009.pdf>.
- [2] Wyniki ogólnopolskich badań statystycznych, dotyczących dydaktyki fizyki w szkołach ponadgimnazjalnych, przeprowadzonych przez ASM – Centrum Badań i Analiz Rynku Sp. z o.o. na zlecenie Politechniki Gdańskiej Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej.  
<http://e-doswiadczenia.mif.pg.gda.pl/raporty-pl>.
- [3] Wyniki badań PISA 2009.  
[http://www.men.gov.pl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1789](http://www.men.gov.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=1789).
- [4] Informacja o wynikach monitorowania wdrażania podstawy programowej.  
<http://www.reformaprogramowa.men.gov.pl/images/stories/Natalia/raport.pdf>
- [5] Dokumentacja konkursu zamkniętego nr 4/POKL/2009 pt. "Opracowanie i pilotażowe wdrożenie innowacyjnych programów dotyczących m.in. kształcenia w zakresie nauk matematycznych, przyrodniczych i technicznych oraz przedsiębiorczości".  
<http://efs.men.gov.pl/projekty-konkursowe/konkursy-2010/item/459-konkurs-zamkniety-nr-4/pokl/2009>.
- [6] Programy ilustrujące wybrane zagadnienia z fizyki.  
[http://home.agh.edu.pl/~kakol/programy\\_pl.htm](http://home.agh.edu.pl/~kakol/programy_pl.htm).
- [7] Płotka M. A., Mościbrodzki W. St., Bridging the communicational gap between client and software developer; *Advances in System Science*, Academic Publishing House EXIT, pp. 231-240; Warszawa 2010
- [8] Płotka M. A. Płacę – wymagam, czyli jak poznać i zrozumieć potrzeby użytkownika, Współczesne technologie i konwersja energii, Wydawca Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej (2009), 99–104
- [9] Płotka, M. A., Syty, P. Interfejs użytkownika w aplikacjach naukowych, obliczeniowych i inżynierskich, mat. konf. Interfejs użytkownika – Kansei w praktyce, PJWSTK (2009), 119–132.
- [10] Boehm, B., Egyed, A., Kwan, J., Port, D., Shah, A., Madachy, R. Using the WinWin Spiral Model: A Case Study, *IEEE Computer*, IEEE Computer Society Press Los Alamitos, CA, USA, Vol. 31 (1998), No. 7, 33–44.
- [11] Boehm, B., Ross, R. *Theory W Software Project Management: Principles and Examples*, *IEEE Trans. Software Eng.* (1989), 902–916.
- [12] Boehm, B., and Hansen, W., "The Spiral Model as a Tool for Evolutionary Acquisition," *Cross Talk*, May 2001, pp. 3-11.
- [13] Boehm, B., edited by Hansen, W. *Spiral Development: Experience, Principles, and Refinements*, Software Engineering Institute, Special Report CMU/SEI-00-SR-08, ESC-SR-00-08, Carnegie Mellon University (2000).
- [14] Gotterbarn, D. Reducing Software failures: Addressing the Ethical Risks of the Software Development Lifecycle, *Proc. of the 5th International Conference on The Social and Ethical Impacts of ICT ETHICOMP 2001* (2001), vol. 2, 10–19.
- [15] Strona internetowa projektu „e-Doświadczenia w fizyce”, <http://e-doswiadczenia.mif.pg.gda.pl>.
- [16] Nielsen, J. *Usability Engineering*, Academic Press (1993), New York.
- [17] Ten Usability Heuristics.  
[http://www.useit.com/papers/heuristic/heuristic\\_list.html](http://www.useit.com/papers/heuristic/heuristic_list.html)
- [18] Tognazzini, B. *First Principles of Interaction Design*.  
<http://www.asktog.com/basics/firstPrinciples.html>.
- [19] Adobe AIR. <http://www.adobe.com/pl/products/air/>.
- [20] Alchemy. <http://labs.adobe.com/technologies/alchemy/>.