

Physlety dla polskich nauczycieli

Dagmara Sokolowska (Uniwersytet Jagielloński)

Wolfgang Christian (Davidson College, USA)

Mario Belloni Christian (Davidson College, USA)

Anne Cox (Eckerd College, USA)

Melissa Dancy (University of Colorado Boulder, USA)

Abstrakt

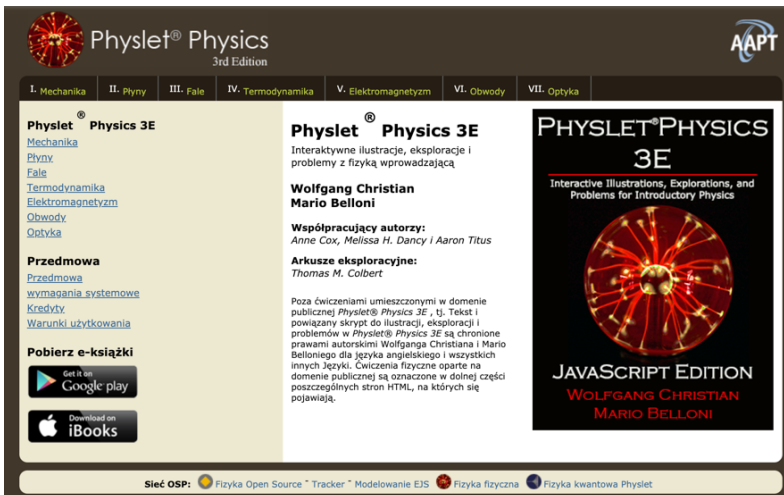
W ciągu ostatnich dwudziestu pięciu lat Wydział Fizyki Davidson College opracował krótkie programy komputerowe o nazwie Physlety. Programy te zostały wykorzystane do tworzenia i implementacji interaktywnych komputerowych materiałów programowych do nauczania wstępnych i zaawansowanych kursów fizyki. Niedawno jeden z nas (WC) otrzymał grant Fulbrighta na zbadanie, czy możliwe jest dostosowanie i wdrożenie do polskich szkół tych interaktywnych i angażujących materiałów stworzonych w Stanach Zjednoczonych. W ramach tego badania przeprowadziliśmy warsztaty dla polskich nauczycieli i uczniów oraz obserwowaliśmy ich interakcje z internetowym podręcznikiem *Physlet Physics*. Kilku nauczycieli i uczniów miało niewielkie trudności z występującym w materiałach językiem angielskim. Zgrubne tłumaczenie zapewnione przez dodatek do przeglądarki *Thumacz Google (Google Translate)* pozwoliło jednak z powodzeniem wykonać ćwiczenia także tym użytkownikom. W niniejszym artykule opisano zasoby *Physlet Physics* i sposoby ich wykorzystania (z niewielkimi modyfikacjami) w polskich szkołach.

Physlety w fizyce

Physlety zostały pierwotnie opracowane jako programy Java i osadzone na stronach HTML jako aplety Java. Aplety te symulowały zagadnienia z różnych działów fizyki, takich jak mechanika klasyczna, diagramy optyczne lub funkcje fal kwantowych. JavaScript na stronie internetowej został wykorzystany do skryptu każdego Physleta, aby pokazać konkretną koncepcję wraz z towarzyszącą mu narracją HTML, które stały się podstawą każdego ćwiczenia z fizyki. Ta elastyczność zaowocowała powszechnym przyjęciem Physletów i doprowadziła do stworzenia wstępnego programu nauczania fizyki w wielu językach (niemieckim, hiszpańskim, słoweńskim, hebrajskim i chińskim) na podstawie książki *Physlet Physics*. Jak zauważył Joe Redish w przedmowie do pierwszej książki o Physletach: „,[Physlety]... pozwalają ci zintegrować komputer z klasą w sposób łatwy i wydajny, zarówno dla Ciebie, jak i twoich uczniów. Co więcej, jest to narzędzie, które może nam pomóc w budowie społeczności dydaktyków fizyki korzystających z narzędzi komputerowych i współpracujących ze sobą w celu poprawy nauczania fizyki na całym świecie [1]”. Redish stwierdził również, że środowisko

Physlet Physics było autentyczne – dotyczyło bowiem prawdziwych problemów edukacyjnych – i przystosowywalne – ponieważ okazało się łatwe w użyciu dla nauczycieli i uczniów, można je było również modyfikować, aby pasowało do różnych zagadnień.

Niestety, wszystkie główne przeglądarki usunęły obsługę wtyczki, która włączała aplety Java na stronach HTML, powodując w ten sposób uszkodzenie wszystkich stron internetowych korzystających z naszych oryginalnych *Physlet*-ów. Usunięcie obsługi apletów stanowi poważną przeszkodę dla edukacji fizycznej, ponieważ na całym świecie stosuje się tysiące stron HTML opartych na apletach, w tym symulacje zespołu PhET [2] i Paula Falstada [3]. Na szczęście grupa badawcza z college'u w St. Olaf stworzyła narzędzie do automatycznej konwersji kodu Java na JavaScript i wykorzystaliśmy ten proces konwersji do opracowania trzeciej edycji *Physlet Physics* i *Physlet Quantum Physics* [4]. Te książki online do nauczania i uczenia się fizyki są dostępne bezpłatnie w kolekcji fizyki Open Source w bibliotece cyfrowej AAPT-ComPADRE [5]. W niniejszym artykule opisano, w jaki sposób wykorzystano materiał *Physlet Physics* podczas warsztatów dla polskich nauczycieli. Wszystkie odniesienia do Ilustracji, Eksploracji i Problemów w tym dokumencie dotyczą odpowiednich materiałów zamieszczonych na angielskiej stronie internetowej *Physlet Physics*: <https://www.compadre.org/physlets/>. Ponieważ polscy uczniowie rozpoczynają naukę j. angielskiego już w szkole podstawowej i kontynuują ją w szkole średniej, a j. angielski jest wymagany także na uniwersytecie, nie było konieczne tłumaczenie materiałów *Physlet Physics* na język polski, chociaż automatyczny Tłumacz Google wbudowany w przeglądarkę Chrome może być pomocny, gdyż działa stosunkowo dobrze, jak pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Strony HTML w trzecim wydaniu online angielskiej wersji *Physlet Physics* można z grubsza przetłumaczyć na język polski za pomocą Tłumacza Google, wbudowanego w przeglądarkę Chrome

Physlet Physics to zbiór gotowych do uruchomienia interaktywnych materiałów w postaci symulacji zaprojektowanych z myślą o nauczaniu fizyki. Naszym celem było zapewnienie zasobu, który wykorzystuje technologię w sposób poprawiający uczenie się i interaktywne zaangażowanie uczniów. Jest on wystarczająco elastyczny, aby można go było dostosować do różnych strategii pedagogicznych i lokalnych warunków. Chociaż technologia stosowana do przygotowania materiałów programowych opartych na Physletach zmieniła się z komercyjnie drukowanej książki z dołączoną płytą CD na swobodnie dostępny podręcznik online, podejście pedagogiczne pozostało takie samo: krótkie, modyfikowalne, oparte na pojedynczych koncepcjach interaktywne symulacje z osadzonym materiałem programowym, który pomaga nauczycielom uczyć, a uczniowi uczyć się określonych pojęć z zakresu fizyki.

Każdy rozdział *Physlet Physics* zawiera trzy zupełnie różne rodzaje ćwiczeń: Ilustracje, Eksploracje i Problemy.

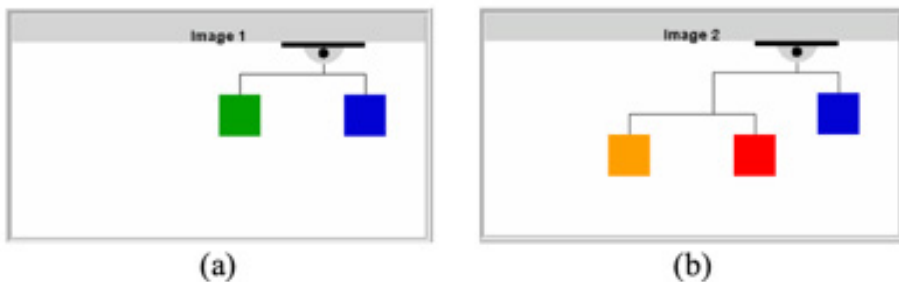
- **Ilustracje** mają na celu zademonstrowanie koncepcji fizycznych. Uczniowie wchodzi w interakcje z Physletem, a odpowiedzi na pytania są podane lub można je łatwo ustalić na podstawie pracy z programem. Wiele Ilustracji podaje przykłady zastosowań fizyki. Inne mają zaś na celu wprowadzenie i zobrazowanie konkretnej koncepcji lub narzędzia analitycznego. Typowe zastosowania Ilustracji obejmują zadania związane z samodzielnym „czytaniem” materiału przed jego wprowadzeniem podczas zajęć. Rozważmy na przykład Ilustrację 13.2 z rozdziału dotyczącego statyki (rys. 2). Tekst tej Ilustracji zachęca uczniów do obserwacji środka masy podczas ruchu bloku. Wyjaśnia również sposób obliczania środka masy i omawia różnicę między środkiem masy a środkiem ciężkości.



Rys. 2. Demonstracja położenia środka masy między dwoma blokami o różnej masie z Ilustracji 13.2. Położenie środka masy zmienia się w miarę przesuwania bloku

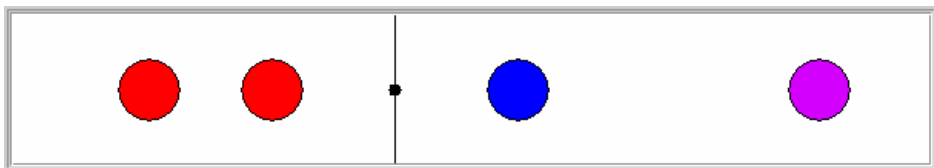
- Tymczasem **Eksploracje** mają bardziej charakter samouczka. Dostarczają wskazówek lub sugerują uczniom strategie rozwiązywania problemów w ramach krótkich zadań lub zrozumienia pojęć. Niektóre Eksploracje zachęcają uczniów do wysunięcia hipotezy, a następnie sprawdzenia swoich przewidywań, wyjaśniając wszelkie różnice między przewidywaniami a obserwacjami. Inne Eksploracje zachęcają uczniów do zmiany parametrów i obserwowania efektu, tym samym inspirując uczniów do samodzielnego wyprowadzenia pewnych zależności fizycznych (równań). Typowymi zastosowaniami Eksploracji byłyby zadania domowe, rozwiązywanie zadań w grupach lub zadania przedlaboratoryjne.

Eksploracja 13.1, pokazana na rys. 3, zachęca uczniów do zastosowania tego, czego dowiedzieli się o środku masy na Ilustracji 13.2 w celu zrównoważenia zestawu wiszących bloków. W pierwszej części (rys. 3.a) uczniowie muszą użyć położenia środka masy (musi się on znajdować gdzieś poniżej ciągu nośnego), aby określić masę nieznanego bloku (zielony blok). Uczniowie będą kolejno wykorzystywać warunki równowagi statycznej do określania mas bloków pomarańczowych i czerwonych (ryc. 3.b). Podczas pracy nad tym zagadnieniem mogą zweryfikować swoje obliczenia, ponieważ położenie środka masy musi pozostać pod zamocowaniem układu do sufitu.



Rys. 3. Zastosowanie koncepcji środka masy do zrozumienia, w jaki sposób zrównoważyć zestaw bloków w Eksploracji 13.1

• **Problemy** to rodzaj ćwiczeń, które można zadać jako pracę domową. Wymagają od uczniów wykazania się zrozumieniem, ale – w odróżnieniu od tego, co podawane jest w Eksploracjach – przy wykorzystaniu bardzo ograniczonej liczby wskazówek. Problemy przygotowano na wielu różnych poziomach edukacyjnych (od fizyki w szkole średniej do fizyki uniwersyteckiej opartej na rachunku różniczkowym). W niektórych Problemach zadawane są pytania koncepcyjne, podczas gdy inne wymagają szczegółowych obliczeń. Typowe zastosowania Problemów to zadania domowe, pytania koncepcyjne zadawane w klasie i sesje rozwiązywania zadań w grupach. Z tego samego rozdziału, co w przykładach powyżej, pochodzi Problem 13.12 przedstawiony na rys. 4. Tutaj, w celu rozwiązania zadania, uczniowie mogą wykorzystać to, czego nauczyli się wcześniej, widząc, jak zmienia się położenie środka masy w miarę przemieszczania się kulki na Ilustracji 13.2 i wykonując Eksplorację 13.1, która wymusza obliczanie położenia środka masy.



Rys. 4. Cztery kule z Problemu 13.12. Masa niebieskiej kuli jest równa połowie masy czerwonej, a fioletowa kula ma masę dwukrotnie większą niż czerwona. Gdzie należy umieścić fioletową kulę, aby środek ciężkości znajdował się w miejscu czarnej kropki

Adaptacja i implementacja materiałów opartych na Physletach zależy oczywiście od lokalnego środowiska, a nauczyciele mogą wahać się, czy używać ich w klasach, w których nie ma komputera dla każdego ucznia. Należy jednak zauważyć, że ćwiczenia z *Physlet Physics* są zaprojektowane tak, aby były wystarczająco elastyczne w zastosowaniu – od lekcji z jednym komputerem dostępnym dla całej klasy, do klas, w których każdy uczeń ma dostęp do komputera w trakcie całej lekcji.

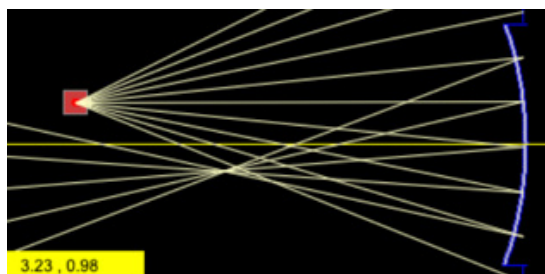
W klasie z jednym komputerem (i jego zawartością wyświetlaną za pomocą projektora) nauczyciel może uruchomić symulację z nakreśleniem warunków początkowych, które jedynie zarysują problem. Następnie nauczyciel może współpracować z klasą w celu jego rozwiązania, testując sugestie i rozwiązania uczniów. Przy kilku komputerach w klasie nauczyciel może przedstawić zagadnienie uczniom, a następnie poprosić ich o przejście do komputerów w celu przetestowania go, gdy uznają, że mają już właściwe rozwiązanie. W środowisku bogatym w narzędzia komputerowe uczniowie mogą wypróbować różne warunki początkowe (traktując symulację jako grę), choć jest mało prawdopodobne, aby w pełni rozwinęli swoje kompetencje w zakresie danego tematu, gdyż takie podejście jest najmniej efektywne. We wszystkich przypadkach ten sam problem można zastosować w klasach z bardzo różnymi zasobami komputerowymi, w tym z osobistymi zasobami uczniów w postaci ich własnych urządzeń mobilnych (w tym smartfonów).

Dydaktyka

Podczas opracowywania Ilustracji, Eksploracji i Problemów w Physletach, były one jednocześnie wykorzystywane i testowane w naszych klasach w Davidson College i Eckerd College. Obejrzelismy niezliczone rozwiązania studentów, rozmawialiśmy z nimi nieformalnie podczas konsultacji, starannie czytaliśmy komentarze na temat ocen semestralnych i ankiet, a nawet przeprowadzaliśmy z nimi wywiady dotyczące rozwiązywania problemów. Ostatecznie stało się jasne, że materiały oparte na bazie *Physlet Physics*, z samej swojej natury, oferują wiele więcej funkcjonalności w porównaniu z tradycyjnymi odpowiednikami zadań na papierze. W tej sekcji omawiamy najważniejsze cechy Physletów, które naszym zdaniem czynią je cennym elementem każdego kursu fizyki.

Physlety są proste i koncentrują się na jednej koncepcji

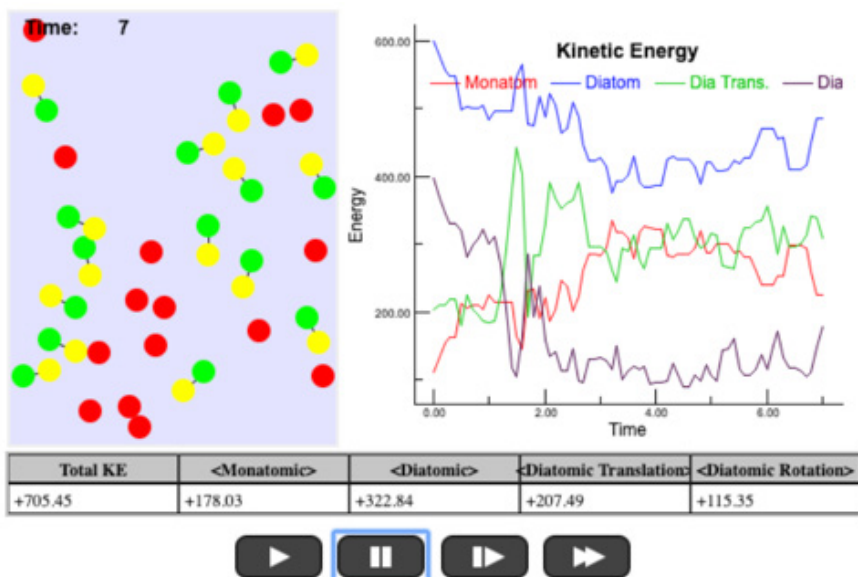
W Physletach uzgodniono jedynie ważne aspekty sytuacji fizycznej. Nie ma rozpraszającej grafiki, animacji ani dźwięków. Dzięki temu uczniowie mogą zająć się fizyką bez rozpraszania się niepotrzebnymi lub zbyt krzykliwymi dodatkami. W Problemie 33.1 uczniowie są proszeni o znalezienie ogniskowej lustra. Mogą oni przeciągać źródło i mierzyć lokalizację we współrzędnych (x,y), poruszając myszą, jak pokazano na rys. 5. Należy zauważyć, że istnieje wiele (także intuicyjnych) sposobów odpowiedzi na postawione pytanie, które nie wykorzystują bezpośrednio równania soczewki.



Rys. 5. Schemat biegu promienia ze źródłem punktowym i lustrem pokazano w Problemie 33.1

Materiały oparte na Physletach pomagają uczniom wizualizować abstrakcyjne pojęcia

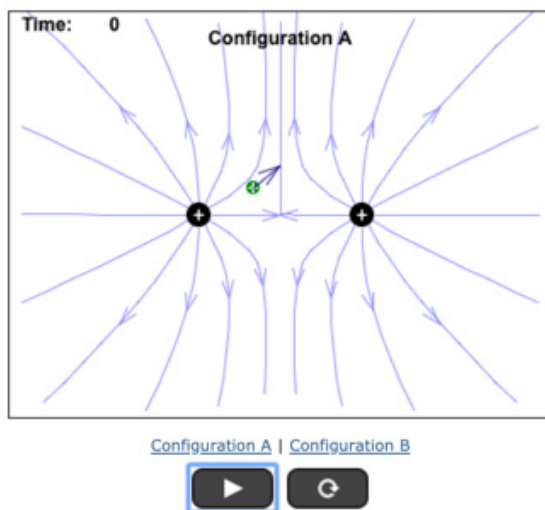
Oprócz zapewnienia wielu sposobów wizualizacji, takich jak wykresy, tabele i diagramy, studenci za szczególnie przydatną uważają ilustrację niektórych konkretnych pojęć. Eksploracja 20.4, pokazana na rys. 6, oblicza ewolucję 15 jednoatomowych i 15 dwuatomowych cząstek gazu doskonałego w czasie. Wykres i tabela pokazują energię kinetyczną ruchu postępowego dla obu rodzajów cząstek i energię rotacji dla cząstek dwuatomowych. Studenci proszeni są o zmianę liczby cząstek i zaobserwowanie, czy średnia energia kinetyczna ruchu postępowego na cząsteczkę jest taka sama zarówno dla cząstek jednoatomowych, jak i dwuatomowych, tym samym dowiadują się o ekwipartycji energii między stopniami swobody, której rezultatem są różne wartości ciepła właściwego dla gazów jedno- i dwuatomowych.



Rys. 6. Mieszanka cząstek jednoatomowych i dwuatomowych przedstawiona w eksploracji 20.4, aby zilustrować zagadnienie ekwipartycji energii

Ćwiczenia oparte na Physletach są interaktywne

Warto, by czasem studenci przewidzieli wynik doświadczenia jeszcze przed zaobserwowaniem konkretnej sytuacji. Jeśli ich przewidywania są niepoprawne, mogą zastanowić się nad ich rozbieżnością z wynikiem prawidłowym. Ten model uczenia się jest szczególnie korzystny dla studentów, ponieważ zmusza ich do konfrontacji ze swoimi błędnie zakorzenionymi pojęciami (*misconceptions*), a nie tylko do „wtłaczania” wiedzy bez jej integrowania z tym, co już wiedzą i myślą, że rozumieją. Zasadniczo, jeśli uczniowie nie są zmuszeni do takiej bezpośredniej konfrontacji, często tego nie robią. W *Physlet Physics*, szczególnie w Eksploracjach, często prosimy uczniów o postawienie hipotezy, a następnie interakcję z Physletem w celu jej weryfikacji. Rozważmy na przykład Eksplorację 23.2, pokazaną na rys. 7. W tej Eksploracji student obserwuje sytuację związaną z polem elektrycznym pochodzącym od dwóch ładunków i jest proszony o przewidzenie ścieżki, którą podąży dodatni ładunek próbny, jeśli zostanie uwolniony. Wielu studentów uważa, że ładunek podąży dokładnie za liniami pola elektrycznego. Po postawieniu hipotezy mogą przeprowadzić symulację i sprawdzić, czy ścieżka jest identyczna z ich przewidywaniami.



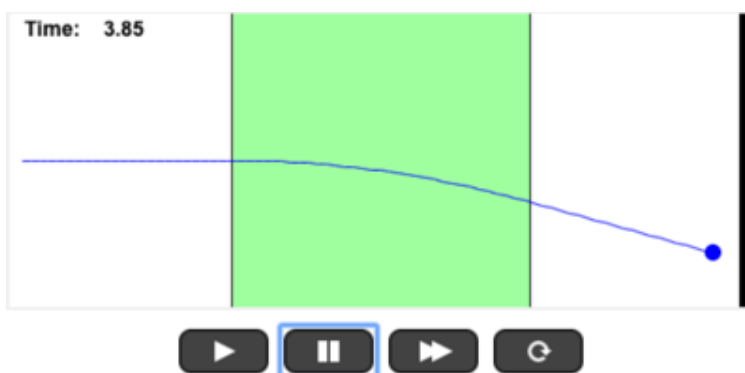
Rys. 7. Uczniowie badają trajektorię ładunku testowego w polu elektrycznym w Eksploracji 23.2

Materiały oparte na Physletach zniechęcają nowicjuszy do rozwiązywania problemów

Uczniowie na poziomie początkowym często stosują podejście typu *plug-n-chug* w rozwiązywaniu problemów, gdy przedstawiają typowe zagadnienie z podręcznika. Uczeń najprawdopodobniej rozpocznie od zidentyfikowania znanych i szukanych zmiennych, a następnie rozpatrzy listę równań, szukając takiego, która zawiera symbole odpowiadające zidentyfikowanym zmiennym. Po znale-

zieniu równania uczeń zwykle wstawia znane elementy, rozwiązuje równanie ze względu na poszukiwaną zmienną i przechodzi do następnego zadania. W takim procesie rozwiązywania zadań brakuje najważniejszych elementów: zdefiniowania problemu poprzez zidentyfikowanie odpowiednich pojęć i zasad, powiązania pojęć z matematyką oraz oceny zasadności ostatecznej odpowiedzi.

W Problemie 23.6, pokazanym na rys. 8, uczeń obserwuje elektron przechodzący przez obszar stałego pola elektrycznego i jest proszony o znalezienie wielkości i kierunku pola. Żadne liczby ani zmienne nie są podane wprost. W tradycyjnym podręczniku studentowi powiedziano by, że elektron potrzebuje 1,65 μs , aby przejść przez pole i że jest on odchylony o 14 cm. Problem oparty na Physletach wymaga, aby uczniowie dokonali pewnej konceptualizacji przed rozpoczęciem manipulacji algebraicznej. Uczniowie muszą określić, co jest ważne (czas lotu lub trajektoria) i jak można uzyskać niezbędne informacje z samej symulacji. Dopiero wtedy mogą przystąpić do rozwiązania zadania.



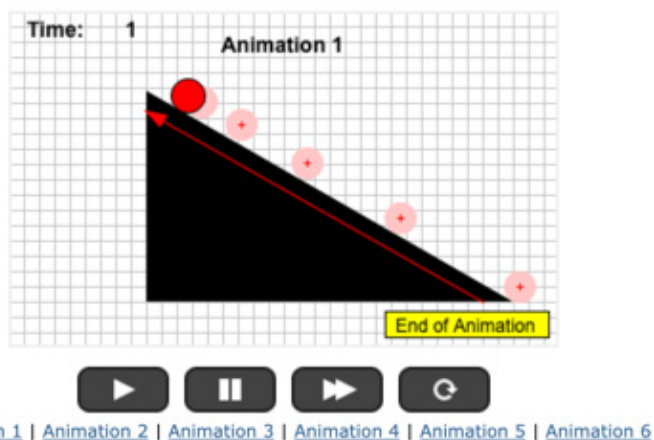
Rys. 8. Trajektoria elektronu przechodzącego przez pole elektryczne pokazana w Problemie 23.6

Materiały oparte na Physletach mogą pomóc w ocenie zrozumienia tematu przez uczniów

Zwykle nauczyciele dają uczniom zadanie do wykonania, uważając, że jest ono cenne dla ich edukacji. Najczęściej dzieje się tak w przypadku pytań i Problemów zadawanych w ramach pracy domowej. W innych okolicznościach – takich jak egzaminy – naszym celem jest ocena, jak dobrze nasi uczniowie opanowali dany temat. M. Dancy znalazł dowody na to, że pytania oparte na *Physlet Physics* mogą przewyższać efektywnością tradycyjne pytania na papierze, gdy celem jest sprawdzenie dogłębnego zrozumienia zagadnienia [6].

Zadanie rankingowe [7] to ćwiczenie, które daje uczniom zestaw różnych sytuacji i wymaga od nich uszeregowania ich na podstawie jakiejś zmiennej. Autorzy książki *Zadanie rankingowe* podają trzy powody, dla których warto skorzystać z tego rodzaju ćwiczeń: odkrywają one intuicyjne myślenie uczniów, a nie zapamiętaną odpowiedź, dają możliwość formułowania pytań w sposób nowatorski dla prawie wszystkich uczniów i mogą pomóc uczniom w rozwinięciu uzasadnionego zrozumienia pojęć fizycznych. Na przykład: w Problemie 3.3

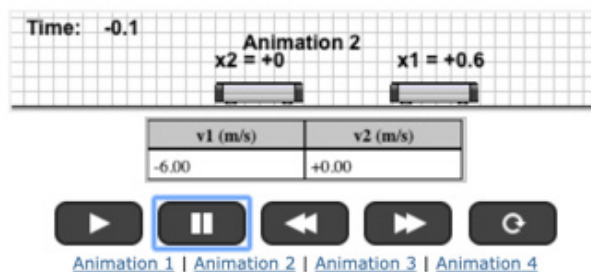
przedstawionym na rys. 9, studenci muszą uszeregować różne wielkości kinematyczne od najmniejszych do największych, zanim zostaną poproszeni o obliczenie wartości liczbowych.



Rys. 9. Uczniowie porównują i uszeregują przemieszczenie, prędkość końcową i przyspieszenie w zestawie sześciu animacji w Problemie 3.3

Physlety mogą modelować sytuacje niefizyczne

Ponieważ symulacje nie muszą być ograniczone do poprawnej fizyki, niektóre ćwiczenia zawarte w *Physlet Physics* wymagają od uczniów wychwycenia animacji niefizycznych i wyjaśnienia, co jest z nimi nie tak. Zmusza to uczniów do uświadomienia sobie, że Physlety są po prostu symulacją, a nie „prawdziwym światem”, fizyka wymaga zaś opisu prawdziwych obserwacji. Zapewnia to również inny sposób sprawdzania zrozumienia pojęć. Aby rozwiązać takie problemy, uczniowie muszą umieć opisać, co powinno się wydarzyć, nie tylko matematycznie (jak jest to wymagane w przypadku większości tradycyjnych problemów), ale również w kategoriach dynamicznej symulacji. Problem 8.6, pokazany na rys. 10, wymaga od uczniów zbadania czterech zderzeń i ustalenia, które z nich są zgodne z prawami fizyki klasycznej.



Rys. 10. Wózki, które mają się zderzyć w Problemie 8.6. Prędkość chwilowa jest pokazana w tabeli, aby ułatwić obliczenie pędu i energii

Zastosowanie Physletów w klasie

Materiał w *Physlet Physics* został zaprojektowany do wykorzystania w ramach różnych stylów nauczania i na wielu poziomach fizyki. Zdajemy sobie sprawę, że styl i preferencje poszczególnych nauczycieli, a także bardzo zróżnicowane grupy studentów wymagają różnych metod nauczania. Wierzmy, że materiał w *Physlet Physics* uzupełni niemal każdy styl nauczania fizyki. Jeśli nauczyciel woli tradycyjne podejście oparte na wykładzie, przekona się, że Ilustracje wnoszą do prezentacji dynamiczny element wizualny. Jeśli nauczanie prowadzone jest w bardziej interaktywnej klasie, można się przekonać, że wiele Eksploracji i Problemów rodzi trudności koncepcyjne, które doprowadzą do interesujących dyskusji w grupach. Wiele zadań opartych na *Physlet Physics* stanowi również doskonałe zagadnienia do wykorzystania w metodzie nauczania w czasie rzeczywistym (*Just-in-Time teaching*) [8] lub instrukcji rówieśniczej (*Peer Instruction*) [9].

Metody nauczania

AAPT-ComPADRE zawiera kolekcje dla studentów, nauczycieli szkół średnich, wykładowców szkół wyższych i uniwersytetów oraz naukowców zajmujących się edukacją [10]. Jedną z najważniejszych z nich jest biblioteka cyfrowa PhysPort pod redakcją Sama McKagana, w której nauczyciele mogą znaleźć zasoby dydaktyczne oparte na badaniach w zakresie edukacji fizycznej (*Physics Education Research*), prowadzonych w celu wsparcia nauczania tego przedmiotu [11]. Niektóre zasoby dostępne dla nauczycieli na tej stronie (po zapisaniu się i zweryfikowaniu nauczyciela) to: testy diagnostyczne, takie jak test dotyczący koncepcji sił oraz podręczniki z rozwiązaniami, takie jak *Physlet Physics* i *Physlet Quantum Physics*.

W sekcji Metody nauczania w PhysPort wymieniono 57 metod nauczania zweryfikowanych w sposób badawczy. W ramach wielu z nich można używać Physletów. Poniżej opisujemy, w jaki sposób wykorzystano Physlety do zilustrowania trzech metod dydaktycznych podczas seminarium z polskimi studentami.

Metoda *Just-in-Time teaching*

Nauczanie *Just-in-Time* (JiTT) jest przykładem łączenia nauczania z technologią. Physlety przydają się w tej metodzie do tego stopnia, że niektórzy użytkownicy stosowali terminy JiTT oraz Physlets zamiennie. JiTT to podejście stosowane w celu przygotowania i motywowania uczniów do nauki podczas zajęć, w którym uczniowie odpowiadają na pytania przed zajęciami i przekazują odpowiedzi za pomocą wiadomości e-mail lub formularza HTML. Następnie nauczyciel odczytuje odpowiedzi przed lekcją, dzięki czemu jest w stanie dostosować do nich dyskusję w klasie. Możemy tu jedynie przedstawić krótkie wprowadzenie, aby uzyskać więcej informacji na temat implementacji, a także zapoznać się z kolekcją sprawdzonych w klasie pytań JiTT, należy zapoznać się z książką JiTT dostępną bezpłatnie w kolekcji PhysPort.

Czerwony blok jest przesuwany i porusza się jak pokazano na animacji. Ponadto zielony blok znajduje się na czerwonym bloku i również się porusza. Który zestaw diagramów sił działających na ciała jest poprawny? Podaj przyczyny, dla których pozostałe trzy zestawy diagramów są nieprawidłowe.

Rys. 11. Identyfikacja prawidłowych diagramów sił działających na dwa ciała w Problemie 4.1

Odkryliśmy, że Physlety idealnie pasują do podejścia JiTT. Jak omówiono w rozdziale 1.2 *Przewodnika Physlet Physics dla Nauczyciela (Physlet Physics Instructor Guide)* na platformie PhysPort, materiały oparte na Physletach są doskonale do zachęcania uczniów do myślenia koncepcyjnego, nawet gdy rozwiązują oni problemy rachunkowe. Ponadto, ze względu na swój interaktywny charakter, materiały te otwierają ścieżki myślenia i dyskusji, które nie są typowe dla pytań statycznych. Rozważmy na przykład problem 4.1 przedstawiony na rys. 11. W zadaniu tym uczniowie są proszeni o określenie prawidłowego schematu sił działających na dwa bloki. W celu ustalenia, że poprawny jest schemat nr 2, uczniowie muszą zdać sobie sprawę, że nie ma przyspieszenia. Odpowiedzi trzech studentów, rozwiązujących to zagadnienie w metodzie JiTT, podano poniżej.

Student 1: Wydaje mi się, że diagram nr 1 wolnego ciała jest prawidłowy. Diagram 2 nie pokazuje sił poziomych działających na mniejszy blok; diagram 3 pokazuje, że siła wypadkowa będzie skierowana w prawo, co oznacza, że obiekty będą przyspieszały w prawo, ale obiekty poruszają się ze stałą prędkością, więc nie ma przyspieszenia, nie ma siły wypadkowej w prawo; diagram 4 ponownie nie pokazuje sił poziomych na mniejszym bloku, a siła ciężkości prezentowana dla tak dużego bloku jest za mała.

Student 2: Schemat swobodnego ciała 2 jest poprawny. 1 jest niepoprawny, ponieważ siła normalna jest mniejsza niż kombinacja sił grawitacji dla czerwonych i zielonych pudełek, oraz ponieważ do zielonego pudełka przyczepiony jest zarówno wektor tarcia, jak i wektor przeciwny, co jest nieprawidłowe. Diagram 3 jest błędny z tych samych powodów co diagram 1, a także wektor siły pchający

czerwone pudełko jest większy niż wektor tarcia. Gdyby to była prawda, pudełka przyspieszałyby. Diagram 4 jest błędny, ponieważ wektor grawitacji dla zielonego pudełka po lewej stronie nie jest taki sam jak wektor grawitacji dla zielonego pudełka po prawej stronie.

Student 3: Diagram sił ciała nr 3 jest prawidłowy. Diagram 1 jest niepoprawny, ponieważ siła przyłożona przez dłoń ma taką samą wielkość jak siła tarcia i gdyby tak było, obiekt nie poruszałby się. Diagram 2 jest niepoprawny z tego samego powodu co diagram 1, a także w diagramie 2 mały blok nie wykazuje siły przyłożonej do małego obiektu w kierunku poziomym, a oba obiekty mają te same poziome elementy sił. Wreszcie nr 4 jest niepoprawny z tej samej przyczyny, co nr 1, a także składowe pionowe siły nie znoszą się nawzajem, a powinny, ponieważ obiekt nie porusza się w kierunku pionowym.

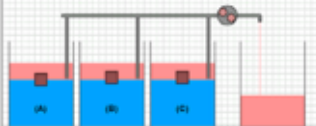
Odpowiedzi studentów są bardzo zróżnicowane i dają nauczycielowi punkt wyjścia do dyskusji w klasie. Należy również zauważyć, że taka wersja pytania wymaga, aby uczniowie sami zdali sobie sprawę, że przyspieszenie odgrywa ważną rolę. Gdyby uczniowie po prostu otrzymali cztery zestawy diagramów ciał i powiedzieli, że prędkość pozostaje stała, szybko zorientowaliby się, jaka jest prawidłowa odpowiedź. Chociaż wielu nadal wykazywałoby model myślenia „ruch wymaga siły”, uwypuklenie stałej prędkości w pytaniu skupiłoby ich uwagę i skierowało na prawidłowe tory. Physlet pozwala nam zadawać pytania uczniom bez udzielania odpowiedzi, do których inaczej by nie doszli.

Instrukcja rówieśnicza (Peer Instruction)

Instrukcja rówieśnicza E. Mazura to podejście stosowane w celu wprowadzenia elementu interaktywnego do tradycyjnych wykładów. W metodzie tej w trakcie wykładu stawiane są studentom pytania koncepcyjne. Uczniowie proszeni są o krótkie zastanowienie się nad pytaniem, a następnie (na etapie sondującym) o obowiązkowe udzielenie odpowiedzi, najczęściej za pomocą narzędzi do automatycznego zbierania odpowiedzi, np. klikarów, po czym zwracają się do koleżanek i kolegów siedzących obok, aby omówić swoje odpowiedzi. Wykładowca może ponownie postawić uczniom to samo pytanie, a potem przeprowadzić dyskusję na temat udzielonych odpowiedzi. Uważamy, że pytania oparte na Physletach świetnie się do tego nadają, ponieważ dotyczą prostych zagadnień, związanych z trudnościami konceptualnymi. Są również przydatne, dlatego że mogą szybko pomóc uczniom zrozumieć zadane pytanie.

Jednym z kluczowych aspektów Instrukcji rówieśniczej jest, aby wszyscy uczniowie zrozumieli pytanie, tak by ich dyskusja mogła skupić się na treściach fizycznych (i nie było wątpliwości na temat znaczenia pytań) oraz aby animacja w sposób wyraźny pokazywała zjawisko lub sytuację fizyczną. Ponadto odkryliśmy, że pytanie zadaje się po prostu szybciej, gdy używamy animacji, niż wtedy, gdy studenci muszą przeczytać analogiczny test. Zilustrowano to na rys. 12, gdzie Problem 14.10 porównano z analogicznym zadaniem z testu koncepcyjnego z podręcznika E. Mazura. Korzystając z Physletów, uczniowie mogą szyb-

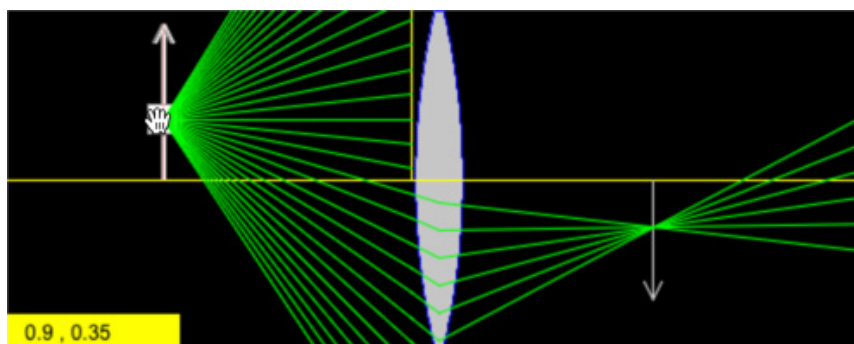
ko zidentyfikować, które animacje (A-C) zgadzają się z ich przewidywaniami, a w następującej późniejszej dyskusji, mogą skupić się na argumentach, na podstawie których wybrali daną animację.

	<p>The animation is color coded as follows: blue is water, red is oil,</p>	<p>ConceptTest 11.11 (from <i>Peer Instruction</i>): Consider an object that floats in water but sinks in oil. When the object floats in water, half of it is submerged. If we slowly pour oil on top of the water so it completely covers</p>
<p>and brown is a wood block initially floating at the interface. A pump, which starts at $t = 1$ s, removes the oil. Which animation is physical?</p>	<p>the object, the object</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. moves up. 2. stays in the same place. 3. moves down. 	

Rys. 12. Porównanie Problemu 14.10 z podobnym testem koncepcyjnym Instrukcji rówieśniczych

Interaktywne pokazy podczas wykładów (Interactive Lecture Demonstrations)

Physlety można również wykorzystać jako uzupełnienie interaktywnych demonstracji wykładowych (*Interactive Lecture Demonstrations*, ILD) lub laboratoriów w celu wyjaśnienia obserwacji. Eksploracja 35.1 z książki *Physlet Physics*, pokazana na rys. 13, może być na przykład użyta w połączeniu z demonstracją, w której prosimy studentów o postawienie hipotezy na temat tego, co stanie się z rzeczywistym obrazem utworzonym przez zbieżną soczewkę w sytuacji, gdy połowa soczewki zostanie zasłonięta [12]. Uczniowie, zachęceni do postawienia, a następnie przedyskutowania hipotez, wykonują następnie animację i analizują obserwacje. Badani przez nas uczniowie uważają to ćwiczenie za przydatne w zrozumieniu demonstracji. Widząc w animacji, że wiele promieni odwzorowuje dany punkt obiektu na obraz tego obiektu, nie są już zaskoczeni tym, że soczewka w połowie zasłonięta nadal pozwala na otrzymanie pełnego obrazu.



Rys. 13. Tworzenie obrazu z częściowo zablokowaną soczewką w Eksploracji 35.1

W Davidson College uczniowie modelują konfigurację eksperymentalną przy użyciu Physlet Bench podczas pracy w laboratorium z prawdziwą ławą optyczną. W innych laboratoriach studenci badają symulację Physleta, która naśladuje eksperyment, jeszcze zanim sami znajdą się w laboratorium. To hybrydowe podejście pokazuje, że metody nauczania, takie jak ILD, PI oraz JiTT, mogą nakładać się na siebie i uzupełniać w przypadku interaktywnego nauczania.

Warsztaty dla polskich nauczycieli

W kwietniu 2019 r. dziewięciu polskich nauczycieli uczestniczyło w sponsorowanych przez Fulbright warsztatach Fizyki Open Source na Uniwersytecie Jagiellońskim. Warsztaty te, prowadzone w języku angielskim przez dwoje z nas (WC i DS), wprowadziły uczestników w interaktywne techniki nauczania oparte na komputerach przy użyciu zarówno Physletów, jak i narzędzia do analizy i modelowania wideo, *Tracker* [13]. Uczestnicy warsztatów zostali zapoznani z ideą metody dydaktycznej opartej na *Physlet Physics*, a następnie pracowali z Ilustracjami, Eksploracjami i Problemami (drugi artykuł opisujący nasze warsztaty Tracker jest w przygotowaniu).

Czterech uczestników warsztatów było nauczycielami fizyki w szkole średniej (16–19 lat), a pięciu w szkole podstawowej lub gimnazjum (13–16 lat). Większość uczestników była zatrudniona w małych miasteczkach i na wsi, a tylko jeden pochodził z Krakowa. Większość uczestników miała ponad 25 lat doświadczenia w nauczaniu, a tylko jeden był nauczycielem krócej niż 5 lat. Wszyscy uczestnicy ocenili późnij warsztaty w anonimowej ankiecie.

Tylko jeden nauczyciel nie zgodził się ze stwierdzeniem, że narzędzia informacyjne, komunikacyjne i technologiczne (ICT) są ważnymi zasobami dla nauczycieli. Uczestnicy stwierdzili, że przed warsztatami znali niektóre zasoby ICT, ale tylko czworo z nich było w stanie wymienić konkretne narzędzia, np. e-podręczniki, filmy edukacyjne (głównie z internetu) i platformy umożliwiające projektowanie quizów. Chociaż tylko część uczestników była w stanie wymienić użyteczne narzędzia, większość twierdziła, że korzystała z zasobów ICT przed uczestnictwem w warsztatach i zgodziła się, że zasoby ICT mogą motywować uczniów i poprawiać wyniki uczenia się.

Większość nauczycieli przyznała, że nigdy wcześniej nie słyszała o Physletach i tylko dwoje z nich wspomniało o stosowaniu symulacji w swojej praktyce nauczycielskiej. Uczestnicy stwierdzili, że część I warsztatów, związana z Physletami, była bardzo praktyczna i stymulująca oraz docenili szerokie spektrum tematów i dostępnych materiałów dydaktycznych opartych na *Physlet Physics*. Przyznali, że ważna była dla nich łatwość użycia i możliwość dostępu do materiałów opartych na Physletach również na smartfonach.

Nasze warsztaty dały nauczycielom tylko krótkie wprowadzenie do Physletów ze wskazaniem zastosowania ich do wdrożenia interaktywnych, angażujących metod nauczania. Niemniej jednak uczestnicy przyznali, że przedstawione pomysły im się podobały, a wielu chętnie włączyłoby Physlety do swoich wła-

snych lekcji. Zauważyliśmy, że niektórzy nauczyciele nie mieli doświadczenia z komputerami i zmagali się z trudnościami pobocznymi, takimi jak pobieranie plików, znajdowanie odpowiednich folderów itp., podczas gdy inni nie mieli takich trudności i szybko zrozumieli dydaktyczne zalety technologii, ciesząc się z pracy z Physletami. Obserwacje te potwierdziły ogromne rozbieżności w umiejętnościach nauczycieli fizyki w Polsce i uświadomiły nam, że przeszkody w korzystaniu z zasobów ICT w nauczaniu fizyki mogą wynikać po prostu z braku podstaw ICT (bariery na poziomie nauczycieli), które należy wziąć pod uwagę przy planowaniu kolejnych warsztatów [14].

Wnioski

Jak wykazał Hake, techniki interaktywne wspomagają pogłębione zrozumienie zjawisk fizycznych przez studentów [15]. Do tej pory opracowano szereg skutecznych technik, w tym wykorzystanie narzędzi ICT w edukacji [15], aby wprowadzić element interaktywności do lekcji fizyki. Chociaż same symulacje nie mogą zastąpić skutecznego nauczania interaktywnego, dobrze nadają się przy stosowaniu większości interaktywnych metod nauczania [17, 18, 19].

Polskie programy nauczania zachęcają do korzystania z technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT) w klasie i do rozwijania umiejętności ICT nie tylko na zajęciach z informatyki. Argumentuje się [20], że ICT odgrywają ważną rolę w rozwoju większości kluczowych kompetencji wskazanych ostatnio przez UE [21]. Niemniej jednak praktyka w klasie w zakresie ICT rzadko jest w stanie odzwierciedlić założenia zawarte w oficjalnych dokumentach, jeśli nie jest ona poparta odpowiednim i powtarzającym się szkoleniem nauczycieli już pracujących w zawodzie, ponieważ większość z nich nigdy nie przeszła szkolenia informatycznego podczas kształcenia do zawodu nauczyciela. Rozwój umiejętności ICT nauczycieli powinien być wspomagany poprzez organizację szkoleń i seminariów, w szczególności przez jednostki akademickie, które opracowują materiały i strategie dydaktyczne i mogą przekazywać nauczycielom *know-how* metodologii badawczych, w tym najnowszych strategii włączających ICT do dydaktyki fizyki.

Jednym ze sposobów wsparcia dla takich inicjatyw jest udział w programach Fulbrighta i międzynarodowych projektach finansowanych przez UE. Obecnie Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego bierze udział w projekcie ERASMUS + KA2 pt. Three Dimensions of Inquiry in Physics Education (3DIPhE), przy współpracy łącznie siedmiu organizacji partnerskich ze Słowenii, Belgii, Irlandii i Polski.

Podziękowania

Autorzy pragną podziękować za finansowanie, jakie uzyskano z programu Fulbright Scholar od Biura Spraw Edukacyjnych i Kulturalnych Departamentu Stanu USA oraz Uniwersytetu Jagiellońskiego. Warsztaty dla nauczycieli zostały częściowo sfinansowane z budżetu projektu 3DIPhE w ramach Erasmus + KA2.

Bibliografia

- [1] W. Christian and M. Belloni, *Physlets: Teaching Physics with Interactive Curricular Material*, Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ (2000).
- [2] PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, accessed 6 May 2019, <<https://phet.colorado.edu/>>.
- [3] Paul Falstad Simulations, accessed 6 May 2019, <<https://www.falstad.com/mathphysics.html>>.
- [4] W. Christian and M. Belloni, *Physlet Physics 3E*, AAPT-ComPADRE, accessed 6 May 2019, <<https://www.compadre.org/physlets/>>. See also *Physlet Quantum Physics 3E*, AAPT-ComPADRE, accessed 6 May 2019, <<https://www.compadre.org/pqp/>>.
- [5] W. Christian, F. Esquembre, and L. Barbato, “Open Source Physics,” *Science*, **25** Vol. 334 no. 6059, pp. 1077–1078 (2011). See also the Open Source Physics home page, accessed 26 May 2019, <<https://www.compadre.org/osp/>>.
- [6] M. Dancy, “Investigating animations for assessment with an animated version of the Force Concept Inventory,” Doctoral Dissertation, North Carolina State University, Raleigh NC (2002).
- [7] T. L. O’Kuma, D. P. Maloney, and C. J. Hieggelke, *Ranking Task Exercises in Physics*, Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ (2000).
- [8] G. M. Novak, E. T. Patterson, A. D. Gavrin, W. Christian, *Just-In-Time Teaching: Blending Active Learning with Web Technology*. Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ (1999). This book is now available to no cost on AAPT-ComPADRE, accessed 6 May 2019, <<https://www.physport.org/curricula/jitt/>>.
- [9] E. Mazur, *Peer Instruction: A User’s Manual*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ (1997).
- [10] AAPT-ComPADRE Collections, accessed 26 May 2019, <<https://www.compadre.org/portal/Collections.cfm>>.
- [11] PhysPort, an AAPT-ComPADRE Collection, accessed 26 May 2019, <<https://www.physport.org/>>.
- [12] D. Sokoloff and R. Thornton, *Interactive Lecture Demonstrations, Active Learning in Introductory Physics*, John Wiley & Sons, Hoboken NJ (2004).
- [13] Tracker homepage, accessed 26 May 2019, <<https://physlets.org/tracker/>>.
- [14] K.A. Bingimlas, “Barriers to the successful Integration of ICT in Teaching and Learning Environments: A Review of the Literature,” *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education* **5**, 235 (2009).
- [15] R. Hake, “Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses,” *American Journal of Physics*, **66**, pp. 64–74 (1998).
- [16] T. Ellermeijer and Trinh-Ba Tran, “Technology in Teaching Physics: Benefits, Challenges, and Solutions,” in *Upgrading Physics Education to Meet the Needs of Society*, ed. M. Pietrocola, Springer Nature Switzerland AG 2019, pp. 35–67 (2019).
- [17] L. Yu-Fen, G. Yuying, and H. Hsiang-Ju, “Explore Effective Use of Computer Simulations for Physics Education,” *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, **27**, 443 (2008).
- [18] N.D. Finkelstein, W.K. Adams, C.J. Keller, P.B. Kohl, K.K. Perkins, N.S. Prokofsky, and S. Reid, “When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment,” *Phys.Rev. ST-PER*, **1**, 010103 (2005).
- [19] C. E. Wieman, K. K. Perkins, and W. K. Adams, “Interactive simulations for teaching physics: What works, what doesn’t, and why,” *American Journal of Physics*, **76** (4) 393–399 (2008).
- [20] T. Greczylo and E. Dębowska, “Formation of Key Competences Through Information and Communication Technology,” *Proceedings of the GIREP-MPTL 2014 International Conference: Teaching/Learning Physics Integrating Research into Practice*, eds. C. Fazio, R.M. Sperandio Mineo, Dipartimento di Fisica e Chimica, Università degli Studi di Palermo, Palermo (Italy), pp. 601–610 (2014).
- [21] Key Competences for Lifelong Learning: European Reference Framework, Erasmus+, accessed 6 May 2019, <<https://www.erasmusplus.org.uk/file/272/>>.