

## Internetowe zasoby edukacyjne do nauczania/uczenia się fizyki kwantowej

Ewa Dębowska

Uniwersytet Wrocławski, Wydział Fizyki i Astronomii, Instytut Fizyki Doświadczalnej, Zakład Nauczania Fizyki

Celem tego artykułu jest zapoznanie nauczycieli szkolnych i akademickich z dostępnymi w Internecie materiałami edukacyjnymi do nauczania/uczenia się fizyki kwantowej i mechaniki kwantowej. Omówiony zostanie proces wyszukiwania stron internetowych, dokonywania wstępnej selekcji materiału do oceny, szczegółowej oceny wybranego materiału oraz zaprezentowane zostaną wyniki tej oceny.

Ocena materiałów została dokonana przez grupę Multimedia in Physics Teaching and Learning (MPTL) działającą w ramach Sekcji Nauczania przy Europejskim Towarzystwie Fizycznym (EPS) oraz amerykańską grupę Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching (MERLOT). Każdego roku, stosując ustalone wcześniej kryteria oceny, obie grupy rekomendują wspólnie strony internetowe „excellent” i „very good” poświęcone wybranemu działowi fizyki. Pełne teksty poszczególnych raportów, niestety nie wszystkie, można znaleźć pod adresem <http://www.mptl.eu/>. Na tegorocznej konferencji GIREP – MPTL 2014, 7-12 lipca 2014, w Palermo, rekomendowane były strony poświęcone nauczaniu/uczeniu się fizyki kwantowej i mechaniki kwantowej.

Wcześniejsze raporty dotyczące fizyki kwantowej prezentowane były na warsztacie MPTL 7, w Parmie w roku 2002 oraz konferencji GIREP 2008 and MPTL 13th Workshop, w Nikozji, w roku 2008. Pierwszy przegląd objął jedynie 25 stron, z czego polecanych było 6, drugi objął już 110 stron, z czego 23 były recenzowane szczegółowo, a 9 rekomendowanych.

W tegorocznym przeglądzie materiał został zebrany na podstawie poprzednich przeglądów MPTL, kolekcji biblioteki ComPADRE ([www.compadre.org](http://www.compadre.org)) i grupy MERLOT (<http://www.merlot.org/merlot/materials.htm?category=2736>) oraz innych źródeł materiałów dydaktycznych, jak np. „Risorsse per la didattica di Fisica” (<http://zitogiuseppe.com/didattica.html>) i Multimedia Physik (<http://www.schulphysik.de/>), literatury i wyszukiwarek internetowych.

Recenzentami zebranego materiału byli:

- Tanwa Arpornthip, University of Virginia (USA),
- Ewa Dębowska, Uniwersytet Wrocławski (PL),
- Raimund Girwidz, Ludwig-Maximilians-Universität München (DE),
- Tomasz Greczyło, Uniwersytet Wrocławski (PL),
- Antje Kohnle, University of St. Andrews (UK),
- Bruce Mason, University of Oklahoma (USA),
- Trevor Melder, University of Louisiana, Monroe (USA),

- Marisa Michelini, University of Udine (IT),  
Ivan Ruddock, University of Strathclyde (UK),
- Lorenzo Santi, University of Udine (IT),  
Jorge Silva, Escola Secundária Henrique Medina(PT).

Efektym wyszukiwania była lista około 300 pozycji, zawierających pojedyncze źródła jak i całe ich zbiory. Po wstępnej selekcji pozostawiono 32 pozycje do szczegółowej analizy, głównie te obejmujące wiele zagadnień z fizyki kwantowej. Odrzucono te nie mające otwartego dostępu, w innym języku niż angielski i używające multimediów w bardzo okrojonej postaci.

Każda pozycja była rozważana przez 2-3 recenzentów. Materiały, z wykorzystaniem arkusza oceny (narzędzie biblioteki ComPADRE), zostały ocenione w trzech głównych obszarach: Motywacja i Cel (łatwość dostępu, atrakcyjność układu strony, określony cel), Zawartość (związek z tematem, zakres, poprawność) i Metody (elastyczność, odbiorca, metody dydaktyczne, dokumentacja). Każda strona otrzymała również całościową ocenę w 5 stopniowej skali Likerta, od „Poor to Excellent”. Spośród 32 pozycji, poddanych pełnej recenzji, 8 otrzymało oceny „Excellent” lub „Very Good”. Te pozycje są podane w tabeli (rys.1.); każda z nich zostanie krótko omówiona.

Rys. 1. Adresy stron www rekomendowanych jako „Excelent” oraz „Very good” na konferencji GIREP-MPTL International Conference on Teaching/Learning Physics: Integrating Research into Practice, July 7-12, 2014, University of Palermo, Italy.

1.	<b>QuVis:</b> University of St. Andrews & Institute of Physics	<a href="http://www.st-andrews.ac.uk/physics/quvis/">www.st-andrews.ac.uk/physics/quvis/</a> <a href="http://quantumphysics.iop.org">quantumphysics.iop.org</a>
2.	<b>PhET:</b> University of Colorado Boulder	<a href="http://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics/quantum-phenomena">http://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics/quantum-phenomena</a>
3.	<b>Physlet Quantum Physics:</b> Open Source Physics	<a href="http://www.compadre.org/pqp/">www.compadre.org/pqp/</a>
4.	<b>QuantumLab:</b> University Erlangen-Nuremberg	<a href="http://www.didaktik.physik.uni-erlangen.de/quantumlab/english/index.html">www.didaktik.physik.uni-erlangen.de/quantumlab/english/index.html</a>
5.	<b>SPINS:</b> Oregon State University & Open Source Physics	<a href="http://www.physics.orst.edu/~mcintyre/ph425/spins/index_SPINS_OSP.html">www.physics.orst.edu/~mcintyre/ph425/spins/index_SPINS_OSP.html</a> <a href="http://www.compadre.org/osp/items/detail.cfm?ID=7329">www.compadre.org/osp/items/detail.cfm?ID=7329</a>
6.	<b>Physics Applets:</b> Paul Falstad	<a href="http://www.falstad.com/mathphysics.html">www.falstad.com/mathphysics.html</a>
7.	<b>Quantum Mechanics:</b> Kristel Michielsen and Hans De Raedt	<a href="http://www.embd.be/quantummechanics/default.html">www.embd.be/quantummechanics/default.html</a>

8.	<b>Excited States &amp; Photons:</b> The Concord Consortium	<a href="http://concord.org/stem-resources/excited-states-and-photons">concord.org/stem-resources/excited-states-and-photons</a>
----	---	--

### Omówienie rekomendowanych materiałów dydaktycznych

#### 1. **QuVis:** University of St. Andrews & Institute of Physics

Strona stanowi bardzo bogaty zbiór ćwiczeń (tutorials) z interaktywnymi symulacjami układów kwantowych. Prezentacje są bardzo atrakcyjne pod względem graficznym. Zrozumiałe wyjaśnienia wprowadzonych pojęć, łącznie z ćwiczeniami krok-po-kroku pomagają studentom skoncentrować się na najważniejszych aspektach danego zagadnienia. Symulacje prowadzą studentów przez tradycyjną sekwencję stosowaną w większości kursów mechaniki kwantowej, od pojęcia prawdopodobieństwa do perturbacji i statystyk Fermiego-Diracka i Bosego-Einsteina. Symulacje „The New Quantum Sims” są wykorzystywane jako multimedia na stronie IOP poświęconej fizyce kwantowej, <http://quantumphysics.iop.org>. Koncentruje się ona na optyce kwantowej i teorii informacji kwantowej, używając doświadczenia Stern-Gerlacha jako ich przykładu. Prawie wszystkie pozycje zawierają zadania do wykonania przez studentów i zalecenia dydaktyczne. Strona została oceniona jako najlepsza w tegorocznym rankingu.

#### 2. **PhET:** University of Colorado Boulder

Kolekcja łatwych w obsłudze symulacji na poziomie szkół ponadgimnazjalnych, przetłumaczonych na wiele języków, w tym na polski. Wiele z tych symulacji jest raczej z dziedziny fizyki współczesnej niż czystej mechaniki kwantowej, np: the photoelectric effect, Stern-Gerlach czy Davisson-Germer experiments. Symulacje są wysoce interaktywne, z interfejsami typu „przeciągnij i upuść” („drag-and-drop”) i natychmiastowym sprzężeniem zwrotnym. Symulacje mogą być użyte na wiele różnych sposobów: na zajęciach z uczniami, w domu, jako przygotowanie do pracy w laboratorium. Większość symulacji zawiera zalecenia dla nauczyciela, włączając cele nauczania i przykładowe aktywności ucznia; są one jedynie w języku angielskim. Są również zamieszczone ogólne zalecenia odnośnie używania symulacji. Teacher Tips dostarczają informacji o modelach i przybliżeniach użytych w symulacjach jak również sposobie rozumienia przez uczniów danego zagadnienia.

#### 3. **Physlet Quantum Physics:** Open Source Physics

Dobrze zorganizowany, interaktywny, dodatek „online” do podręcznika „Physlet Quantum Physics 2E” obejmujący zagadnienia od eksperymentów ilustrujących właściwości kwantowe, poprzez standardową fizykę stanów związanych i

rozpraszania do zastosowań w fizyce atomowej, jądrowej i statystycznej. Przyciski kontrolne pozwalają na zmianę stanów, poziomów energetycznych, potencjałów, itp. Materiały zawierają konceptualne i ilościowe problemy do rozwiązania. Są bardzo przydatne dla studentów do samodzielnego studiowania układów kwantowych. Trochę przestarzała grafika i sterowanie.

4. **QuantumLab:** University Erlangen-Nuremberg

Zestaw interaktywnych eksperymentów ekranowych z optyki kwantowej. Każdy eksperyment jest ilustrowany fotografiami rzeczywistego eksperymentu i dostępne są również rzeczywiste wyniki pomiarów. Eksperymenty dotyczą informacji kwantowej, w tym splątania kwantowego i kwantowej kryptografii. Każde doświadczenie jest dobrze opisane, z motywującym wstępem i wyjaśnieniami obserwacji. Zaletą jest możliwość powiększenia części obrazu, ale posługiwanie się przyciskami sprawia czasem kłopot. Niektóre wyniki są jedynie w języku niemieckim. Materiały mogą stanowić przygotowanie do wirtualnych eksperymentów lub do wykonania doświadczenia w laboratorium dysponującym urządzeniami do doświadczeń z optyki kwantowej.

5. **SPINS:** Oregon State University & Open Source Physics

Materiał dotyczy dwóch stron www: Oregon State University i biblioteki Compadre (OSP – Open Source physics). Pierwsza strona zawiera kompletny materiał (karty pracy, wirtualne laboratoria, działalność podczas zajęć za uczelni i prace domowe) dla części kursu mechaniki kwantowej zaczynającej się od układu spinów. Pakiet OSP łączy w sobie ćwiczenia (tutorials), symulacje i karty pracy studenta. Obydwie strony oparte są na pakiecie oprogramowania „SPINS”, rozwijanego od wielu lat. Pozwala on studentom „przeciągnąć i upuścić” analizatory spinu aby tworzyć wiele różnych eksperymentów z dynamiki kwantowej i pomiarów kwantowych. Oprogramowanie jest bardzo elastyczne i może zostać wykorzystane do różnych działań edukacyjnych. Zalecane jest pobranie pakietu OSP Spins i uruchamianie lokalnie na własnym komputerze. Symulacje są proste w obsłudze ale czasem zbyt schematyczne, co może utrudnić studentowi zrozumienie tego co obserwuje. Przydałyby się widoki 3D i więcej objaśnień do grafiki.

6. **Physics Applets:** Paul Falstad

Bardzo dobre ilustracje wybranych zagadnień z mechaniki kwantowej układów złożonych. Niektóre przykłady są zupełnie unikatowe dla zasobów mechaniki kwantowej. Jednym z apletów robiących największe wrażenie jest „Atomic Dipole Transitions”, dotyczący dynamiki atomu oddziaływującego z promieniowaniem elektromagnetycznym. Niestety bardzo trudno jest stwierdzić czy jest on poprawny. Wadą jest to, że modele i obliczenia nie są opisane. Nie ma wskazówek dydaktycznych i dokładnych wyjaśnień symulacji.

### 7. **Quantum Mechanics:** Kristel Michielsen and Hans De Raedt

Ćwiczenia (tutorials) z mechaniki kwantowej będące kombinacją tekstu i symulacji/video. Prowadzą czytelnika przez ważne zagadnienia mechaniki kwantowej. Tematy obejmują ruch falowy i interferencję, zjawisko Aharonova-Bohma i identyczne cząstki. Błędem merytorycznym jest to, że dla pewnego progu energetycznego atomy są wzbudzone we wszystkich zderzeniach, a nie w sposób probabilistyczny.

Symulacje video są trochę przestarzałe i nie są interaktywne. Powinno być więcej pytań i zadań dla czytelnika. Zdolność rozdzielcza filmów video jest ograniczona.

### 8. **Excited States & Photons:** The Concord Consortium

Poziom szkół ponadgimnazjalnych. Wprowadzenie do oddziaływanie światło/materia, z włączeniem kwantyzacji energii. Podkreślony jest związek pomiędzy poziomami energetycznymi w atomach i emitowanymi fotonami. Struktura ćwiczeniowa (tutorial structure). Są pytania otwarte i wielokrotnego wyboru. Łatwo jest nadać za prezentowanym materiałem, cele i podejścia dydaktyczne są oczywiste. Stosowanie obrazków, animacji, słów i interaktywnych symulacji jest dobrze skorelowane. Materiał może być również wykorzystany na zajęciach dla „niefizyków” (np. „Fizyka dla poetów”) na poziomie szkoły wyższej. Zalecane jest pobranie pakietu Excited States and Photons i uruchamianie lokalnie na własnym komputerze.

### **Uwagi ogólne**

1. Podobnie jak w poprzednich przeglądach, materiały bardziej wszechstronne (pokrywające wiele tematów, z ćwiczeniami czy innym wspomaganie dydaktycznym) otrzymały wyższe oceny.
2. Kilka ze stron rekomendowanych teraz (PhET, Physlets, SPINS, Falstad, i Quantum Mechanics) było rekomendowanych już w roku 2008. Trzy strony z 2008 roku nie pojawiły się na tegorocznej liście.
3. Wszystkie ze stron rekomendowanych w roku 2008 są wciąż dostępne, choć niektóre zmieniły adresy URL. Warto podkreślić, że cztery z sześciu stron rekomendowanych w roku 2002 są wciąż dostępne.
4. Pewne strony rekomendowane poprzednio ocenione zostały teraz jako dobre, ale trochę „przestarzałe”.
5. Wiele stron otrzymało oceny “Very Good” i “Average”. Oznacza to, że są one przydatne, ale nie zostały włączone do naszych “Recommendations”.
6. Używanie oprogramowania Java, ale również Flash i Shockwave staje się kłopotliwe z powodu ograniczeń i kontroli bezpieczeństwa. Nie są one również dostępne na tabletach i innych urządzeniach mobilnych. Niektórzy z

uznanych deweloperów (PhET, QuVis, OSP) pracują nad dostarczaniem źródeł poprzez `html5/javascript`.

### Inne strony warte zauważenia

Wszyscy recenzenci stwierdzili, że choć pozycja „**Quantum Made Simple**”, <http://www.toutestquantique.fr/>, nie zdobyła najwyższych ocen to jest ona jednak interesująca i niepowtarzalna. Materiał jest zaprojektowany jako krótkie wprowadzenia do fizyki kwantowej dla szerokiej publiczności, ze szczególnym naciskiem na zastosowania.

Kolekcja Kansas State University **Visual Quantum Mechanics**, <http://phys.educ.ksu.edu/vqm/index.html> znalazła uznanie w oczach recenzentów, ale jest to strona w ciągłej przebudowie, z czego wynika wiele niedogodności. Pewne ilustracje nie działają. Symulacje są ściśle powiązane z eksperymentami i ćwiczeniami, ale niektóre z linków są nieaktualne.

Inną interesującą pozycją jest symulacja **Quantum Magnetism**, <http://www.compadre.org/osp/items/detail.cfm?ID=12308>. Jest to bardzo specyficzna symulacja dla widma sprzężonych spinów w polu magnetycznym.

Pewne aplikacje **iPad Apps** o układach kwantowych są również dostępne, ale są to raczej podstawowe ilustracje z niewielką interaktywnością:

<https://itunes.apple.com/us/app/hydrogen!/id771798068>,

Hydrogen! iPad app, Tommaso Rosi

<https://itunes.apple.com/us/app/atom-in-a-box/id284788633>,

Atom in a Box, iPad app

<http://daugerresearch.com/orbitals/index.shtml>,

Atom in a Box

Warto również wymienić kilka artykułów dotyczących mechaniki kwantowej i multimediiów:

<http://scitation.aip.org/content/aapt/journal/ajp/76/4/10.1119/1.2885199>,

Phet

<http://scitation.aip.org/content/aip/proceeding/aipcp/10.1063/1.3021230>,

Paradigms

<http://scitation.aip.org/content/aapt/journal/ajp/70/3/10.1119/1.1435347>,

Zollman

<http://journals.aps.org/prstper/abstract/10.1103/PhysRevSTPER.6.010101>,

Finkelstein

<http://search.proquest.com/docview/305511285>,

VQM Dissertation

<http://www.compadre.org/per/items/detail.cfm?ID=11344>,

Derek Muller Dissertation, Chapters 5 & 6