



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

Ewa Dębowska

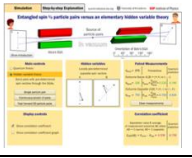

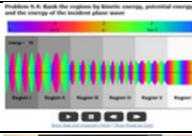
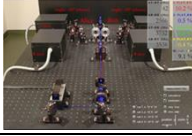
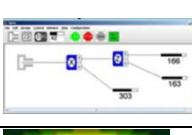
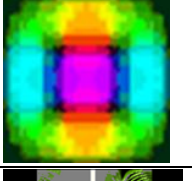
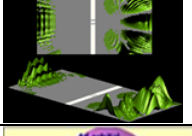
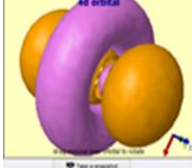
*Instytut Fizyki Doświadczalnej, Uniwersytet Wrocławski*

Celem tego artykułu jest zapoznanie nauczycieli szkolnych i akademickich z dostępnymi w Internecie materiałami edukacyjnymi do nauczania/uczenia się fizyki kwantowej i mechaniki kwantowej. 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 w Palermo (7–12 lipca 2014), rekomendowane były strony poświęcone nauczaniu/uczeniu się fizyki kwantowej i mechaniki kwantowej.

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>), innych źródeł, jak np. „Risorse per la didattica di Fisica” (<http://zitogiuseppe.com/didattica.html>) i Multimedia Physik (<http://www.schulphysik.de/>), literatury i wyszukiwarek internetowych.

Efektym wyszukiwania stała się 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. Każda pozycja była oceniana przez 2–3 recenzentów. Materiały, z wykorzystaniem arkusza ewaluacji (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”, choć i do nich recenzenci mieli krytyczne uwagi. Pozycje te podano w tabeli; każda z nich zostanie bardzo krótko omówiona bez zaznaczania wad i niedociągnięć zauważonych przez recenzentów. Pozycje 2 i 8 są na poziomie szkół ponadgimnazjalnych, pozostałe – na poziomie uniwersyteckim.

### Omówienie rekomendowanych materiałów dydaktycznych

1		<b>QuVis:</b> University of St. Andrews & Institute of Physics	<a href="http://www.st-andrews.ac.uk/physics/quvis/quantumphysics.iop.org">www.st-andrews.ac.uk/physics/quvis/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>

#### 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

dem 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. Strona Institute of Physics koncentruje się na optyce kwantowej i teorii informacji kwantowej. 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 język polski. Wiele z tych symulacji pochodzi 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, np. na zajęciach z uczniami, w domu czy jako przygotowanie do pracy w laboratorium.

## 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. Materiały zawierają konceptualne i ilościowe problemy do rozwiązania.

## 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.

## 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 na 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. Oprogramowanie jest bardzo elastyczne i może zostać wykorzystane do różnych działań edukacyjnych.

## 6. **Physics Applets:** Paul Falstad

Bardzo dobre ilustracje wybranych zagadnień z mechaniki kwantowej układów złożonych. Niektóre przykłady są zupełnie unikatowe dla zasobów mechaniki kwantowej. 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/wideo. Prowadzą czytelnika przez ważne zagadnienia mechaniki kwantowej. Tematy obejmują ruch falowy i interferencję, identyczne cząstki i zjawisko Aharonova-Bohma.

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

Poziom szkół ponadgimnazjalnych. Wprowadzenie do oddziaływania światła/materia, z włączeniem kwantyzacji energii. Podkreślony jest związek pomiędzy poziomami energetycznymi w atomach i emitowanymi fotonami. Struktura ćwiczeniowa (tutorial structure). Materiały zawierają pytania otwarte i wielokrotnego wyboru. Łatwo nadażyć za prezentowanym tematem, cele i podejścia dydaktyczne są oczywiste.

### **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 został zaprojektowany jako krótkie wprowadzenie 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.

Dostępne są również pewne aplikacje **iPad Apps** o układach kwantowych, ale stanowią one 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