



Interaktive Quantenmechanik

Quantenmechanik auf Anfängerniveau ist manchmal wenig erquicklich – für Lehrende als auch Lernende. Das Problem dabei ist häufig das mathematische Fundament, ohne dessen Verständnis – so die oft vertretene Meinung – sich das Gebäude der Quantenmechanik nur schwerlich erschließen lässt. Eine Schlossbesichtigung muss jedoch nicht zwingend mit den von Spinnenweben durchzogenen Katakomben beginnen. Gleichwohl können die repräsentativen Prunksäle als Ausgangspunkt gewählt werden, um sich von dort aus einen Eindruck vom Gesamtkunstwerk zu verschaffen. Mit den vorgestellten Sites wird daher versucht, einen mehr visuellen Zugang zur Quantenmechanik zu eröffnen.

„Quantum Physics Online“, das an der Ecole Polytechnique (Paris) entwickelt wurde, besteht aus interaktiven Programmen mit kurzen Beschreibungen, die viele der typischerweise im Rahmen einer Quantenmechanik-Lehrveranstaltung behandelten Themenbereiche abdecken. Das erste Kapitel der Site setzt sich mit dem Welle-Teilchen-Dualismus und mit Wellenpaketen auseinander. Die Benutzer können das Youngsche Doppelspaltexperiment nachempfinden, sie können eindimensionale Wellenpakete erzeugen und zerfließen lassen oder Gaußsche Wellenpakete an Potentialstufen oder -barrieren simulieren. Im

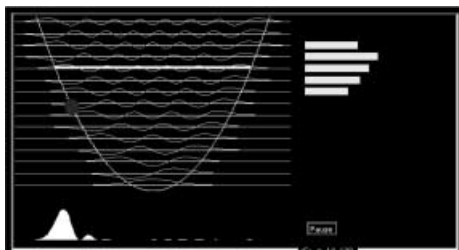


Abbildung 1. Illustration des Superpositionsprinzips bei Quantum Physics Online.

dritten Kapitel kann der Besucher der Website die zeitliche Entwicklung von beliebigen Zuständen eines Zwei- und später eines Mehrniveausystems verfolgen (Abbildung 1). Im Weiteren werden die Untersuchungen dann auf zwei und drei Dimensionen ausgeweitet – zum Beispiel auf die qualitative Beschreibung des π -Systems eines C_{60} -Moleküls mit Hilfe eines Hückel-MO-Ansatzes. Das abschließende Kapitel zur NMR befindet sich wohl noch in der Entwicklung.

Die Navigation zwischen den Seiten erfolgt zum Teil unerfindlicher Weise mit Javascript-basierten Vor- und Zurück-Knöpfen. Die nur teilweise interaktiven Animationen werden durch kleine Java-Applets realisiert, die auch bei langsamer Verbindung noch schnell geladen werden. Die erzeugten Graphiken sind meist schlichte, zweidimensionale Strichzeichnungen, reichen aber für den hier verfolgten Zweck völlig aus. Leider werden Farben nicht immer konsistent eingesetzt. Hier und da wünscht man sich die Möglichkeit, Werte vorgeben oder anzeigen zu können – insbesondere um Ergebnisse numerischer Beispiele zu visualisieren.

Insgesamt kann „Quantum Physics Online“ gut im Rahmen eines Quantenmechanikkurses verwendet werden, jedoch nur eingeschränkt für ein Selbststudium, da die schriftlichen Erläuterungen und Beschriftungen von Diagrammen sehr knapp ausfallen und einige der weiterführende Informationen versprechenden Hyperlinks im Nirwana enden.

Das Projekt „Visual Quantum Mechanics“ der Kansas State University stellt Übungen zur Verfügung, die einfache Experimente mit interaktiven Programmen und schriftlichem Informationsmaterial verknüpfen. Die erklärte Zielgruppe dieser Website sind Gymnasiasten und Studierende, die über keine tieferen Kenntnisse der modernen Physik und der höheren Mathematik verfügen. Quantenmechanische Effekte sollen visualisiert werden statt die mathematischen Gleichungen abzuleiten, die diese beschreiben.

Die Themengebiete reichen vom Welle-Teilchen-Dualismus über LEDs, Fluoreszenzlampen, phosphoreszierenden Materialien und Infrarotdetektoren bis hin zu numerischen Lösungen eindimensionaler Probleme. Die Spektroskopie an Wasserstoffatomen wird beispielsweise mit einer Motivation und einer Skizze des Ablaufes der Übung eingeleitet. Der sichtbare Teil des Wasserstoffemissionsspektrums soll mit Hilfe eines interaktiven Programmes interpretiert werden, das den Versuchsaufbau und das experimentelle Spektrum

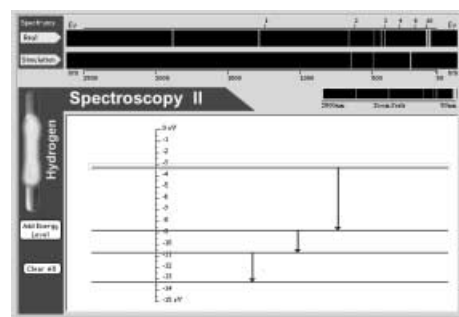


Abbildung 2. Virtuelles Spektroskopielabor von Visual Quantum Mechanics.

skizziert, sowie ein leeres Energiediagramm bereitstellt, in das die Benutzer Energieniveaus und Emissionsübergänge einzeichnen können. Diese Eingaben führen zu einem simulierten Spektrum, das mit dem experimentellen zur Deckung gebracht werden soll (Abbildung 2). Durch wohl dosierte Hinweise werden die Lernenden schrittweise in die Lage versetzt, ein plausibles Energieniveauschema auszuwählen und einen Zusammenhang zwischen den Hauptquantenzahlen der Niveaus und deren Energie herzustellen.

In den anderen Übungen können Lumineszenz, LEDs und verschiedene Lasersysteme untersucht werden. Weitere Programme dienen zur Erzeugung von Energiebändern, zur Simulation von Beugungsphänomenen am Doppelspalt und zur Animation von Tunnelvorgängen, um nur einige aufzuführen. Abgesehen von Java-Applets wird häufig das leider nur für Windows und MacOS erhältliche Shockwave-Plugin benötigt, sodass Unix- und Linux-Benutzer ausgeschlossen bleiben. Mit einem der erstgenannten Systeme kann man sich jedoch an klar strukturierten, relativ intuitiv zu bedienenden Graphikanwendungen mit zahlreichen Optionen und schönen Animationen erfreuen. Lediglich der etwas zu großzügige Einsatz von Farbe im „Laserebeneur“, einige falsche Titel und fehlplatzierte Inhaltsverzeichnisse trüben das Bild geringfügig. Insgesamt kann Visual Quantum Mechanics mit mehreren exzellenten Lehrseinheiten aufwarten, die einen interaktiven Zugang zur Quantenmechanik sehr verlockend erscheinen lassen.

Robert Berger

Technische Universität Berlin

Für weitere Informationen besuchen Sie:

<http://www.quantum-physics.polytechnique.fr>
<http://phys.educ.ksu.edu/>