

Der neue FLP nimmt viele Anleihen an den Wesenszügen der QM und dem online-Lehrgang milq (milq.tu-bs.de). In der didaktisch methodischen Planung finden sich am Ende Links zu den entsprechenden Stellen des Lehrgangs, der zugehörigen Simulationsprogramme sowie zu den bestehenden Arbeitsblättern.

DoSt.	Grundlegende Wissensbestände	Didaktisch-methodische Planung	Kompetenzentwicklung
KSP: Quantenphysikalisches Atommodell ZRW 14			
1	<p>Elektron im Modell „Eindimensionaler Potentialtopf“</p> <p>Unendlich hohe Wände, stehende Wellen und Aufenthaltswahrscheinlichkeiten, diskrete Energiewerte</p>	<p>Wdh.: Stehende Wellen (Kl.10) Energie verbleibt am Ort.</p> <p>Anknüpfen an das klassische Analogon der Klangfiguren nach CHLADNI.</p> <p><u>Ziel:</u> Begründung der Quantelung ausgetauschter Energiebeträge bei Atomen.</p> <p>Gedanklicher Übergang: Einschluss eines Elektrons im eindimensionalen Behälter. Das Elektron ist „eingesperrt“, d.h. gebunden.</p> <p>Freie Bewegung der Elektronen entlang einer Strecke mit $E_{\text{pot}} = 0$.</p> <p>Unmöglichkeit des Eindringens in die Wände wegen $E_{\text{pot}} \rightarrow \infty$.</p> <p>Unbestimmtheit des Impulses (HEISENBERG).</p>	<p>Den Zusammenhang zwischen den stehenden Wellen im Modell „Eindimensionaler Potentialtopf“ und der Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Quantenobjekten deuten.</p> <p>Diskrete Energiewerte im Modell „Eindimensionaler Potentialtopf“ erkennen.</p> <p>Die Analogie stehender mechanischer Wellen und die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Elektrons im Modell „Eindimensionaler Potentialtopf“ reflektieren.</p> <p>Analogiebetrachtung: In erster Näherung den unendlich hohen Potentialtopf als „Modell-Atom“ betrachten, weil die Elektronen jeweils „eingesperrt“ sind, d.h. sie sind durch Kräfte an einen bestimmten Raumbereich gebunden.</p>

		<p>Zuordnung einer Wellenfunktion Ψ mit einer bestimmten Wellenlänge (DE BROGLIE).</p> <p>In den Wänden und außerhalb des Potentialtopfes ist die Aufenthaltswahrscheinlichkeit bzw. Wahrscheinlichkeitsdichte $\psi ^2 = 0$ (BORN).</p> <p>Bleibt ein Elektron im Potentialtopf, so muss die Ψ-Funktion eine stehende Welle sein. Die Energie ist dann gequantelt. Ausführliche Diskussion möglicher Wellenfunktionen mithilfe graphischer Darstellungen.</p> <p>Potentialtopf im milq Skript Simulation zum Energiespektrum im Potentialtopf</p>	<p>Simulationssoftware, z. B. zum Potentialtopf, bei der Untersuchung von Quantenobjekten nutzen.</p>
2	<p>Beschreibung von Mikroobjekten, die keine makroskopische Anschauung haben, durch ein mathematisches Modell.</p> <p>Die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten der Elektronen hängen von der Gesamtenergie des Systems ab und sie sind aus dem Modell ableitbar.</p> <p>Aufenthaltswahrscheinlichkeiten der Elektronen können graphisch dargestellt werden</p>	<p>Ausgangspunkt: Energiewerte eines Elektrons im linearen Potentialtopf Erarbeitung und Interpretation der Gleichung $E = \frac{h^2}{8mL^2} n^2$ als gequantelte Energie. Übergang zum H-Atom mit den Änderungen: dreidimensionales Gebilde und positiv geladener Kern. Ergebnis: Die Größenordnung der Energien im linearen Potentialtopf ist mit denen im Atom vergleichbar und es ergeben sich erneut diskrete Energiewerte.</p>	<p>Quantenobjekte als quantenphysikalische Systeme deutlich von klassischen Objekten aufgrund besonderer Eigenschaften und des besonderen Verhaltens unterscheiden.</p> <p>Recherchen zu komplexen Problemen und Fragestellungen der Quantenphysik durchführen und präsentieren.</p> <p>Das Versagen klassischer Modelle bei der Deutung quantenphysikalischer Phänomene diskutieren und begründen</p> <p><i>Zur Information:</i></p>

		<p>Grundzustand n=1: Die Wellenfunktion Ψ (Wahrscheinlichkeitsverteilung) ist kugelsymmetrisch und in der Mitte am größten. <i>Widerspruch?</i></p> <p>Zustand n=2: Der Bereich, in dem sich das Elektron aufhalten kann hat die Form einer Hantel. Das Vorhandensein einer positiven Zentralladung ändert die Grundform der Wellenfunktion nicht, sondern sie wird durch die Coulomb-Kräfte lediglich etwas deformiert. Unterschied zw. der Wahrscheinlichkeit w und der Wahrscheinlichkeitsdichte $w(r) = \Psi(r) ^2 \cdot \Delta V$ herausarbeiten, um den scheinbaren <i>Widerspruch</i> zu lösen.</p>	<p><i>Die Ψ-Funktionen sind Lösungen der SCHRÖDINGER-Gleichung für die entsprechend vorgegebenen Bedingungen.</i> Diese Gleichung beschreibt als mathematisches Modell das Verhalten von Quantenobjekten z.B. in der Atomhülle.</p> <p>Es genügt die Aussage, dass es dem Nobelpreisträger E. SCHRÖDINGER mit Intuition und scharfem Nachdenken gelungen ist, eine Gleichung aufzustellen, welche die Welt der Quantenobjekte hervorragend beschreibt.</p>
3	<p>Quantenphysikalisches Modell des Wasserstoffatoms</p> <p>Veranschaulichung dreidimensionaler stehender Wellen (z. B. Chladni) dreidimensionale Darstellung der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten der Elektronen in der Atomhülle durch Orbitale in Abhängigkeit vom diskreten Energiezustand</p> <p>Klassifizierung der Orbitale durch die Quantenzahlen m, n und l</p>	<p>Das Orbitalmodell ergibt sich aus dem Versuch, die Bereiche verschiedener Aufenthaltswahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit vom diskreten Energiezustand in der Atomhülle bildlich zu veranschaulichen.</p> <p>Die Quantenzahlen m, n, l im Überblick behandeln. Erarbeiten des Begriffs Orbital.</p> <p>Interpretation: $E_n = -\frac{m_e \cdot e^4}{8h^2 \cdot \epsilon_0^2} \cdot \frac{1}{n^2} \approx -\frac{13,6\text{eV}}{n^2}$</p> <p>Bis auf den Grundzustand können zu einer bestimmten Hauptquantenzahl n mehrere,</p>	<p>Die Gültigkeit des Energieerhaltungssatzes in der Quantenphysik an Beispielen aufzeigen.</p> <p>Orbitale im quantenphysikalischen Atommodell als Folge besonderer Energiezustände auffassen.</p> <p>Darlegen, dass neue quantenphysikalische Experimente und Phänomene zu neuen physikalischen Theorien und Modellen und somit zur Weiterentwicklung des physikalischen Weltbildes führen können.</p>

		<p>voneinander verschiedene räumliche Wahrscheinlichkeitsverteilungen existieren.</p> <p>Diese verschiedenen Orbitale werden durch Nebenquantenzahlen l und m klassifiziert. s-Orbitale, p-Orbitale</p> <p><i>Zur Information:</i> Die Visualisierung des Wasserstoffatoms in den verschiedenen Energiezuständen mit Übergängen zwischen zwei Energiezuständen als Eischwingvorgang in www.hydrogenlab.de http://milq.tu-bs.de/13-wasserstoff-atom/</p>	<p>Die Interpretation der zulässigen Lösungen des mathematischen Modells von Quantenobjekten nach M. BORN im Diskurs erläutern.</p> <p>Die Notwendigkeit der Entwicklung eines quantenphysikalischen Atommodells erkennen und damit Anwendungen und experimentelle Befunde reflektieren und bewerten.</p>
4	<p>Anwendungen zum quantenphysikalischen Atommodell und experimentelle Befunde</p> <p>FRANCK-HERTZ-Experiment <i>Aufbau</i> <i>Durchführung</i> <i>Ergebnisse</i></p> <p>quantenhafte Absorption Energiequantelung</p>	<p>Demonstrationsexperiment vorführen.</p> <p>Herausarbeiten der Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei Verwendung von Neon bzw. Quecksilber.</p> <p>Unterscheidung elastischer und unelastischer Stoßprozesse (Anregung).</p> <p>Bestätigung der Quantisierung der Energie im atomaren Bereich.</p> <p>Interpretation der Ergebnisse als quantenhafte Absorption von Energie.</p> <p>$I(U_a)$- Diagramm: Konstante Abstände der Lage der Strommaxima auf der Spannungsachse von 4,9V.</p> <p>Der Nachweis z.B. einer Spektrallinie bei 254 nm im Emissionsspektrum von</p>	<p>Im Bereich der Quantenphysik den strengen Determinismus der klassischen Physik durch den Wesenszug der stochastischen Vorhersagbarkeit ersetzen.</p> <p>Interpretation des $I(U_a)$- Diagramms</p>

		Quecksilber entspricht gerade dem Übergang zwischen zwei Zuständen mit einer Energiedifferenz von 4,9 eV.	
5	<p>Linienpektrum von emittiertem Licht atomarer Gase</p> <p>Energieniveauschema des Wasserstoffatoms</p>	<p>Wdh.: Spektren Kl.10 z.B. Emission ganz bestimmter Lichtwellenlängen im Linienpektrum von atomarem Wasserstoff.</p> <p>Experiment zur Vermessung des Wasserstoffspektrums durchführen.</p> <p>BALMER-Formel $f = f_{Ry} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ interpretieren. Spektralserien daraus ableiten.</p> <p>Sämtliche möglichen diskreten Energiestufen lassen sich mit der BALMER-Formel berechnen und in einem Energieniveauschema darstellen.</p> <p>Energieniveauschema als Ausdruck der Quantisierung der Energie im Wasserstoffatom erarbeiten.</p> <p>Zu jedem Wert von n gehört ein diskreter Wert der Energie und damit ein Zustand, den das Elektron einnehmen kann.</p>	<p>Die Energiequantelung bei den Atomspektren nachweisen.</p> <p>Das Bemühen, die Linienpektren der Atome zu verstehen, stellte einen entscheidenden Antrieb bei der Entwicklung der Quantenphysik dar.</p> <p>Am Beispiel der historischen Entwicklung der Atommodelle aufzeigen, dass Widersprüche zwischen Realität und Modell Motivation für weitere Forschungen sind.</p>

		<p>Interpretation von $E_{\text{ges}} \approx \frac{1}{n^2}$.</p> <p>Für große n rücken die Energiewerte immer dichter zusammen und nähern sich dem Wert $E_{\text{ges}} = 0$ (Kontinuum).</p> <p>Beim Übergang zwischen zwei Energiestufen E_m und E_n wird die Energiedifferenz $\Delta E = E_m - E_n$ als Lichtquant mit der Frequenz $f = \frac{\Delta E}{h}$ emittiert bzw. absorbiert.</p>	
6	<p>Laser: Aufbau und Wirkungsweise Eigenschaften</p> <p>Resonanzabsorption Anwendung</p>	<p>Erzeugung von Laserlicht erarbeiten - durch stimulierte Emission in einem laseraktiven Medium im Resonator mit Spiegeln an beiden Enden.</p> <p>Die stimulierte Emission als Umkehrung der Resonanzabsorption auffassen.</p> <p>Erzeugung möglichst vieler Photonen mit gleichen Eigenschaften durch einen Lawineneffekt nach Herstellung der Besetzungsinversion, z.B. Pumpen durch Gasentladung beim He-Ne-Laser.</p> <p>Metastabiler Zustand als Voraussetzung für das Erzeugen von Laserlicht, d.h. die oberen Laserniveaus sind relativ langlebig.</p> <p>Im Energieniveauschema von Helium bzw. Neon zeigen, welche Übergänge kurzlebig</p>	<p>Den prinzipiellen Aufbau eines Lasers beschreiben, seine Wirkungsweise erklären und die Eigenschaften des Laserlichts kennen.</p>

		bzw. langlebig sind und es somit zur Ausbildung der sichtbaren Laserstrahlung kommt.	
7		Wiederholung, Systematisierung, Übung	Den Einfluss der Quantenphysik auf Grundannahmen zur physikalischen Erkenntnis und auf Veränderungen des Weltbildes bewerten.