

### Quanten 1

Wie lautet die eindimensionale zeitunabhängige Schrödingergleichung? Welche Quantenobjekte werden durch die Schrödingergleichung beschrieben? Welche Einschränkungen gelten bezüglich ihrer Gültigkeit?

eindimensionale stationäre Schrödingergleichung:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} * \frac{\partial^2 \psi(x,t)}{\partial x^2} + E_{Pot} * \psi(x,t) = E * \psi(x,t)$$

Es werden alle Quantenobjekte mit Masse (Elektronen, Protonen, Neutronen, Atome, Moleküle ...) durch die Schrödingergleichung beschrieben.

Ihr Gültigkeit ist auf nichtrelativistische Energien beschränkt.

### Quanten 2

Zur Klassifizierung von Spektrallinien wird die historische Notation (s, p, d, f, c) verwendet. Ordnen Sie diesen Buchstaben die korrekten Drehimpulsquantenzahlen zu. Wie viele Elektronen können maximal ein s-, p-, d-, f- Orbital besetzen?

Drehimpulsquantenzahl  $l$  (ℓ)

$l = 0$	<b>s – Orbitale</b> (s: sharp = scharfe Spektrallinien)	max. 2 Elektronen
$l = 1$	<b>p – Orbitale</b> (p: principle = hellste/intensivste Spektrallinien)	max. 6 Elektronen
$l = 2$	<b>d – Orbitale</b> (d: diffuse = stark verbreiterte Spektrallinien)	max. 10 Elektronen
$l = 3$	<b>f – Orbitale</b> (f: fundamental)	max. 14 Elektronen
$l = 4$	<b>g – Orbitale</b> (alphabetisch geht es weiter)	

Formel für die max. Orbitalbesetzung:  $n = 2 * (2l + 1)$

### Quanten 3

Schreiben Sie den Ausdruck für eine komplexe ebene Wahrscheinlichkeitswelle an und berechnen Sie die Wahrscheinlichkeitsdichte. Nennen Sie einige wesentliche Merkmale quantenmechanischer Wellenfunktionen.

komplexe Wahrscheinlichkeitswelle:  $\psi(x,t) = A * e^{j(k*x - \omega*t)}$

Wahrscheinlichkeitsdichte:  $|\psi(x,t)|^2 = \psi(x,t) * \psi^*(x,t)$

Wahrscheinlichkeitswellen sind immer komplexe Funktionen.

Das Absolutquadrat der Wellenfunktion beschreibt die Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Quantenobjektes am Ort  $x$  zur Zeit  $t$ .

Für quantenmechanischen Wellenfunktionen gilt die de Broglie Beziehung.

### Quanten 4

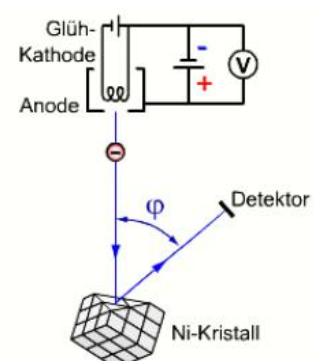
Nennen Sie zwei Experimente, die die Welleneigenschaft von Materieteilchen belegen. Skizzieren Sie eines dieser Experimente mit einer kurzen Beschreibung.

Doppelspaltexperiment

Neutroneninterferometrie mit Perfektkristallen

Elektronbeugung in Kristallgittern:

Wenn sich die Elektron-Wellenlänge dem Netzebenenabstand des Kristallgitters annähert, kann man Bragg-Reflexionen an den Netzebenen im Kristallgitter beobachten. Bei bestimmten Streuwinkeln kann man Intensitätsmaxima feststellen, was nur durch Interferenz am Kristallgitter verstanden werden kann.

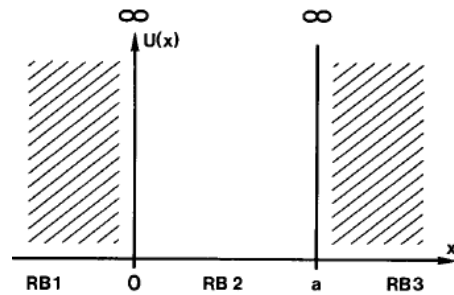


### Quanten 5

Skizzieren Sie einen eindimensionalen Potentialkasten und die dazugehörigen Lösungen für die Wahrscheinlichkeitsdichten  $|f_{\mu}|$  für  $n = 1, 2, 3$ .

Wahrscheinlichkeitsdichte:

$$|f_{\mu}| = |\psi(x, t)|^2 = A^2 * \sin^2\left(\frac{n * \pi * x}{a}\right)$$



### Quanten 6

Beschreiben Sie nach welchen Regeln die Elektronenschalen von Atomen besetzt werden.

4f		5d		6p		7s
	4d		5p		6s	
	3d		4p		5s	
		3p		4s		
	2p		3s			
		2s				
1s						

Das "Schachbrett" gibt die Reihenfolge der Besetzung der Elektronenhüllen leichter Elemente korrekt wieder - ab der 4. Periode kommt es zu leichten Abweichungen.

### Quanten 7

Beschreiben sie den Tunneleffekt und nennen sie einige Beispiele.

Quantenobjekte können Potentialbarrieren mit der Transmissionswahrscheinlichkeit  $T$  durchdringen, obwohl die Teilchenenergie  $E$  dazu eigentlich nicht ausreichen würde (Teilchenenergie  $E$  kleiner als Potentialhöhe  $v_0$ ). Nach dem "Durchtunneln" besitzen die Teilchen wieder die Ursprungsenergie  $E$ , da in der Barriere keine Energie übertragen wird.

Bsp.: Rastertunnelmikroskop (STM), Tunneliode, Supraleitung, Floating-Gate-(MOS)FET;

### Quanten 8

Skizzieren Sie das Potential eines harmonischen Oszillators und fügen Sie die Wahrscheinlichkeitsdichten  $|f_{\mu}|$  für die beiden tiefsten Energieniveaus hinzu. Was verstehen Sie unter der Nullpunktsenergie?

$n$  = Energieniveau

Nullpunktsenergie  $E_0$ : Auf Grund der Ortsunschärfe können Impuls und Energie im Grundzustand nicht verschwinden.

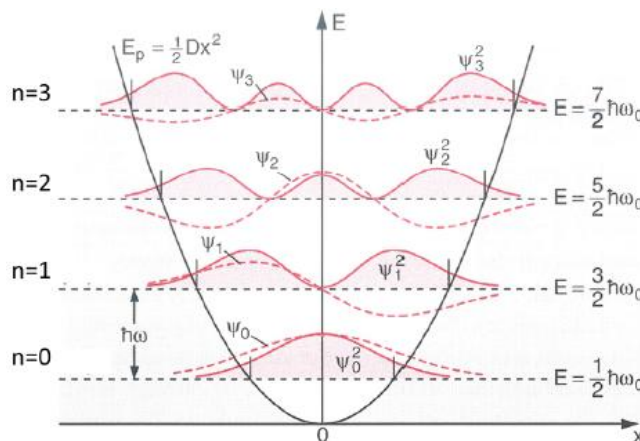


Abb.12q  
Wahrscheinlichkeitsdichten und Energiequantisierung im harmonischen Oszillatorpotential

### Quanten 9

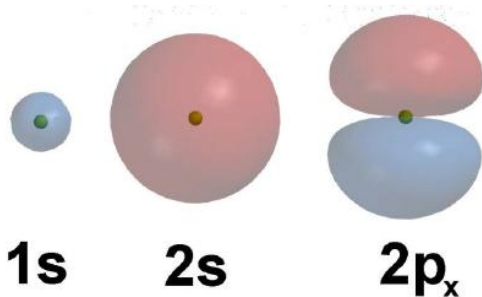
Was verstehen Sie unter Welle-Teilchen Dualismus? Welche Bedingung muss in einem Interferometer immer erfüllt sein, um maximale Interferenzfähigkeit zu erhalten?

Wellen-Teilchen-Dualismus bedeutet, dass jedem Quantenobjekt sowohl Wellen-, als auch Teilcheneigenschaften zugeordnet werden müssen.

Um in einem Interferometer maximale Interferenzfähigkeit zu erhalten, darf keine Pfadinformation vorliegen, d.h. der Analysator ist eingefügt.

### Quanten 10

Skizzieren Sie die räumliche Elektronenverteilung eines 1s, 2s, und 2p Niveaus im Wasserstoffatom (wahlweise als Radialverteilung oder in dreidimensionaler Darstellung).



### Quanten 11

Wie lautet die Heisenberg'sche Unschärferelation und welche Konsequenzen ergeben sich daraus?

Heisenberg'sche Unschärferelation:

$$\Delta x * \Delta p \geq h$$

Wird eine Welle an einer kleinen Öffnung gebeugt, entsteht eine Impulsunschärfe.

Konsequenzen:

Es ist bei Quantenobjekten nicht möglich, Ort und Impuls gleichzeitig exakt zu bestimmen. Eine genaue Ortsmessung erzeugt zwangsläufig eine hohe Impulsunschärfe und umgekehrt.

### Quanten 12

a) Welche Quantenzahlen sind zur vollständigen Beschreibung der Elektronzustände im Wasserstoffatom notwendig?

b) Welche Werte können diese Quantenzahlen einnehmen?

c) Von welchen Quantenzahlen hängt die radiale Verteilung ..(..) ab?

#### *4 Quantenzahlen charakterisieren die Elektronzustände*

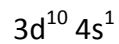
- |   |  |                               |
|---|--|-------------------------------|
| <input type="checkbox"/> $n$ = Hauptquantenzahl         | $n = 1, 2, 3, \dots$                       | ( Energieeigenwerte )         |
| <input type="checkbox"/> $l$ = Drehimpulsquantenzahl    | $l = 0, 1, 2, 3, \dots, \leq n - 1$        | ( Eigenwerte Drehimpuls $L$ ) |
| <input type="checkbox"/> $m$ = Magnetische Quantenzahl: | $-l \leq m \leq l$                         | ( Eigenwerte zu $L_z$ )       |
| <input type="checkbox"/> $s$ = Spinquantenzahl          | $s = +\frac{1}{2}$ oder $s = -\frac{1}{2}$ |                               |

Die radiale Verteilung hängt von der Hauptquantenzahl  $n$  und der Drehimpulsquantenzahl  $l$  ab.

### Quanten 13

Geben Sie die vollständige Elektronenkonfiguration des Kupferatoms an. Welches Elektron bestimmt wesentlich die chemischen Eigenschaften von Kupfer?

Orbital	Elektronen
1s	2
2s	2
2p	6
3s	2
3p	6
3d	10
4s	1
4p	0
4d	0
4f	0



Das 3d-Niveau liegt im Kupferatom energetisch etwas tiefer als 4s.

Die chemischen Eigenschaften werden hauptsächlich von den äußeren Elektronen bestimmt.

Das äußerste Elektron des Kupfer-Atoms befindet sich im 4s-Orbital.

### Quanten 14

Berechnen Sie (nichtrelativistisch) die de Broglie Wellenlänge eines anfangs ruhenden Elektrons, das eine Potentialdifferenz von  $U = 3V$  durchlaufen hat.

$$\lambda = \frac{1,225}{\sqrt{U}} nm$$

### Quanten 15

Nennen Sie einige Beispiele wo Quanteneffekte eine bedeutende Rolle spielen.

Van-der-Waals-Kräfte

Quantencomputer

Rastertunnelmikroskop

Supraleitung