

7.3 Atom- und Quantenphysik

Atome

50

$$T = \frac{2}{3} \frac{E}{k}; \quad 1.05 \cdot 10^5 \text{ K}$$

Bemerkung: Weil einzelne Gasatome schneller sind als der Durchschnitt, kommt es bereits bei tieferen Temperaturen zur Plasmabildung.

51

	L_v	M	$E = L_v \frac{M}{N_A}$
Aluminium	$109 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$	26.982 g/mol	3.2 eV
Silber	$23.5 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$	107.868 g/mol	2.7 eV

Bemerkung: Das Elektronenvolt ist die typische Grössenordnung von chemischen Bindungsenergien.

52

Das Elektron muss von r_1 mit Anfangsgeschwindigkeit v nach unendlich bewegt werden und dort in Ruhe sein.

Potentielle Energie im Abstand r_1 : $-\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_1}$ (negativ, weil Ladungen ungleichnamig)

Kinetische Energie: $\frac{1}{2}mv^2$ aus Zentripetalkraft gleich Coulombkraft: $m \frac{v^2}{r_1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_1^2}$

Energieerhaltung: $E_1 = E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} = \frac{1}{2} E_{\text{pot}} = -E_{\text{ion}}$

Ionisierungsenergie: $E_{\text{ion}} = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_1}; \quad 2.2 \cdot 10^{-18} \text{ J} = 13.6 \text{ eV}$

53

a) Die Kreisbahn hat den grössten Drehimpuls. Mit zunehmender Exzentrizität nimmt der Drehimpuls ab.

Begründung: Alle Bahnen haben dieselbe Energie. Also müssen Sie im gleichen Abstand vom Kern denselben Geschwindigkeitsbetrag haben. An den Kreuzungspunkten der Ellipsen mit der Kreisbahn müssen also alle Elektronen dieselbe Geschwindigkeit haben. Die elliptischen Bahnen weisen aber radiale Geschwindigkeitskomponenten auf, die nicht zum Drehimpuls beitragen.

b) Die Pendelbewegung durch den Kern hat nur eine radiale Geschwindigkeitskomponente also verschwindet für sie der Drehimpuls.

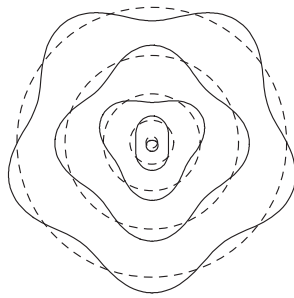
54

Der Ring entspricht keiner Hauptquantenzahl, weil er eine ungerade Anzahl von Knoten hat.

Der Grundzustand $n = 1$ hat zwei Knoten, der nächste vier usw.

In einen Umfang würden 2.5 Wellenlängen passen, was einer halbzahligen Hauptquantenzahl entspricht.

Aber keine Panik, es bedeutet nur, dass ein eindimensionaler Ring kein gutes Atommodell ist.



Stehende Wellen nach De Broglie

55

Lyman: von 122 nm bis 91 nm (UV), unsichtbar

Balmer: von 656 nm bis 365 nm (sichtbar bis UV), teilweise sichtbar

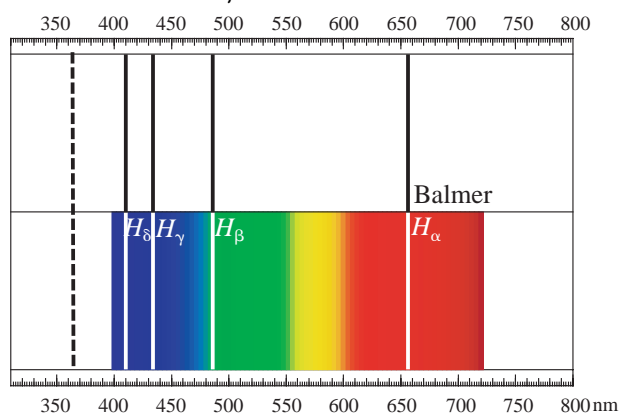
Paschen: von 1875 nm bis 820 nm (IR), unsichtbar

Bracket: von 4050 nm bis 1458 nm (IR), unsichtbar

Bemerkung: Wird die endliche Kernmasse berücksichtigt, ändern sich die Wellenlängen um 0.1-0.2 Promille.

56

- a) Die Wellenlängen betragen 656 nm (rot, H_α), 486 nm (grün, H_β), 434 nm (blau, H_γ) und 410 nm (violett, H_δ).



- b) Die kürzeste Wellenlänge beträgt 365 nm (UV).

57

Die Balmer-Serie würde nur teilweise als Fluoreszenzlicht auftreten: die ersten vier Linien (656 nm, 486 nm, 434 nm und 410 nm). Licht mit der Wellenlänge 397 nm ist im UV-Bereich, und die Wellenlänge ist kleiner als die des anregenden Lichts, so entsteht kein Fluoreszenzlicht nach dem Stokes'schen Gesetz.

58

- a) Bei der Fluoreszenz muss der einfallende Lichtquant energiereicher sein als der emittierte. Das ist hier der Fall.
Bei der Phosphoreszenz gibt es zusätzlich noch einen metastabilen Zustand. Das Leuchten dauert dann noch eine Weile an.
Da der Karton in der Schublade war, handelt es sich um Phosphoreszenz, sonst ist es nicht nötig den Karton in einer lichtschwachen Umgebung abklingen zu lassen.
- b) Der Versuch weist das unsichtbare Ultraviolett nach.

59

s-Orbitale sind kugelsymmetrisch, die Anzahl Nullstellen nimmt mit steigendem n zu.
p-Orbitale sind hantelförmig
d-Orbitale sind «komplizierte» p-Orbitale
f-Orbitale sind noch komplizierter.

a)

Bild	1	2	3	4	5	6	7	8
Orbital	1s	2p	2s	3d ($m = 0$)	3d ($m = 1$)	3p	3s	4f

- b) Die Orbitale lassen sich nicht mit um den Atomkern kreisenden Elektronen erklären.

60

- a) 8, Neon ($2+8=10$)
b) $\sum_{\ell=0}^{n-1} 2(2\ell+1) = 2n^2$
c) 2 (Helium), $2+8$ (Neon), $2+8+18 = 28$, $2+8+18+32 = 60$, $2+8+18+32+50 = 110$

61

- a) 2, 6, 10, 14 b) 2, 8, 18, 32, 32, 32, 32, 32
c) Gemeinsamkeit: die letzte Schale ist immer mit 2s und 6p gefüllt. Offensichtlich ist diese Formation chemisch träge. (Bei den grossen Edelgasen ist die vorletzte Schale nur bis d ganz gefüllt.)

$_{118}\text{X}$

$_{118}\text{X}$									
2									K
2	6								L
2	6	10							M
2	6	10	14						N
2	6	10	14						O
2	6	10							P
2	6								Q
s	p	d	f						

62

1s: He
2s: Be, 2p: Ne
3s: Mg, 3p: Ar
4s: Ca, 3d: Zn, 4p: Kr
5s: Sr, 4d: Pd und Cd, 5p: Xe
6s: Ba, 4f: Yb, 5d: Hg, 6p: Rn
7s: Ra, 5f: Lr, 6d: kann nicht mehr gefüllt werden, weil die Kerne allzu instabil sind.

63

	Grundzustand	1. angeregter Zustand	Bemerkungen
B	1-wertig	3-wertig	Normalfall 3-wertig
C	2-wertig	4-wertig	Normalfall z.B. CH ₄
N	3-wertig	3-wertig	
O	2-wertig	2-wertig	
Al	1-wertig	3-wertig	Normalfall 3-wertig
Si	2-wertig	4-wertig	Normalfall 4-wertig
P	3-wertig	3-wertig	
S	2-wertig	2-wertig	

Wirkungsquantum und Photonen

64

$$\lambda = \frac{hc}{eU}; \quad 1.9 \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

65

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda}; \quad 2.78 \cdot 10^{-15} \text{ J oder } 17.4 \text{ keV}$$

66

Die maximale Elektronenenergie würde von der Intensität des einfallenden Lichts abhängen.

Auch mit Infrarotlicht könnten Elektronen ausgelöst werden, wenn die Intensität des Lichtes bzw. der Energiestrom gross genug wäre. Die Frequenz hätte keinen Einfluss.

67

Kochsalz enthält Natrium. Dieses wird in der Flamme zum Leuchten angeregt, deshalb die gelbe Flamme. Nicht alle Natriumatome sind angeregt, die nicht angeregten verschlucken das Licht der Natriumlampe (Absorption) und strahlen es in alle Richtungen wieder ab (spontane Emission). Deshalb ist auf der Wand weniger Licht der Natriumlampe als vorher. Es entsteht der Eindruck eines Schattens.

68

Die Natriumdampflampe strahlt nur Licht einer Wellenlänge aus. Eine blaue Kreide verschluckt alle Wellenlängen ausser eben blau. Wird die blaue Kreide mit gelbem Licht beleuchtet, erscheint sie schwarz oder grau.

69

$$[G/c^2] = \text{m/kg} \text{ also } G/c^2 = \ell_p / m_p$$

$$[h/c^2] = \text{kg s}, \text{ also } h/c^2 = m_p t_p$$

$$m_p = \sqrt{h c / G}; \quad 5.46 \cdot 10^{-8} \text{ kg}$$

$$t_p = \ell_p / c; \quad 1.35 \cdot 10^{-43} \text{ s}$$

$$\ell_p^2 = G h / c^3 \text{ oder } \ell_p = \sqrt{G h / c^3}; \quad 4.05 \cdot 10^{-35} \text{ m}$$

Photoelektrischer Effekt

70

- a) Mit der Lichtstärke nimmt die Anzahl der Photonen zu. Dadurch steigt aber auch die Wahrscheinlichkeit, Photoelektronen auszulösen.
- b) Es eignen sich nur Materialien, deren langwellige Grenze beim äusseren Photoeffekt über 400 nm (blau) liegt. Dies ist sicher bei Cäsium der Fall.
Vollkommen ungeeignet, wären Aluminium, Kupfer, Nickel, Silber und Zink.

$$\text{c) } v = \sqrt{\frac{2}{m_e} \left(\frac{hc}{\lambda} - W_A \right)}; \quad 2.11 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

71

«Wenn beim photoelektrischen Effekt bei konstanter Lichtfrequenz die Lichtleistung geändert wird, ändert sich bei den losgelösten Elektronen ...»

- ... die Anzahl proportional zur Lichtleistung.
- ... die kinetische Energie gar nicht.
- ... die Geschwindigkeit gar nicht.

De Broglie Materiewellen

72

$$\text{a) } \lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\bar{v}}; \quad 12 \text{ pm}$$

$$\text{b) } 2.9 \text{ pm}$$

73

Die Wellenlänge nach de Broglie ist $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \Rightarrow v = \frac{h}{m\lambda}$; $7.27 \cdot 10^6$ m/s.

Da diese Geschwindigkeit viel kleiner als die Lichtgeschwindigkeit ist, kann man die Bewegungsenergie klassisch ansetzen:

$$qU = \frac{m}{2} v^2 = \frac{h^2}{2m\lambda^2} \Rightarrow U = \frac{h^2}{2mq\lambda^2}; \quad 150 \text{ V}$$

74

Aus $q_e U = \frac{m_e}{2} v^2$ erhalten Sie $v = 4.96 \cdot 10^7$ m/s. Diese Geschwindigkeit ist etwa 1/6 der Lichtgeschwindigkeit. Das Problem kann also noch knapp klassisch behandelt werden.

Die Wellenlänge nach de Broglie ist $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m_e v}$; 15 pm.

75

a) Die Wellenlänge nach de Broglie ist $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \Rightarrow v = \frac{h}{m\lambda}$; $1.4 \cdot 10^7$ m/s.

Diese Geschwindigkeit ist noch wesentlich kleiner als die Lichtgeschwindigkeit. Man kann klassisch rechnen.

$$E_{\text{kin}} = \frac{m}{2} v^2 = \frac{h^2}{2m\lambda^2}; \quad 6.8 \cdot 10^{-13} \text{ J} \triangleq 4.2 \text{ MeV}$$

Der ^{222}Rn -Kern emittiert α -Teilchen mit der Energie 5.49 MeV.

b) $U = \frac{E_{\text{kin}}}{2q_e}$; $2.1 \cdot 10^6$ V

76

Die Wellenlänge nach de Broglie ist $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \Rightarrow v = \frac{h}{m\lambda}$; $6.61 \cdot 10^7$ m/s.

Diese Geschwindigkeit ist etwa $\frac{1}{4}$ der Lichtgeschwindigkeit. Wir rechnen noch klassisch:

$$qU = \frac{m}{2} v^2 = \frac{h^2}{2m\lambda^2} \Rightarrow U = \frac{h^2}{2mq\lambda^2}; \quad 12 \text{ kV}$$

Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation

77

Die Unbestimmtheit im Impuls erhalten wir aus der Heisenberg'schen

Unbestimmtheitsrelation $\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$: $\Delta p \geq 1.3 \cdot 10^{-28} \text{Ns}$.

Die Unbestimmtheit in der Geschwindigkeit ist $\Delta v = \frac{\Delta p}{m} \geq 1.3 \cdot 10^{-22} \text{m/s}$.

Die Zusammenstösse zwischen den Photonen des sichtbaren Lichtes und dem Staubpartikel ändern die Geschwindigkeit des Staubpartikels nicht messbar.

78

Die Unbestimmtheit im Impuls erhalten wir aus der Heisenberg'schen

Unbestimmtheitsrelation $\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$: $\Delta p \geq 5.3 \cdot 10^{-25} \text{Ns}$.

Die Unbestimmtheit in der Geschwindigkeit ist $\Delta v = \frac{\Delta p}{m} \geq 5.8 \cdot 10^5 \text{m/s}$.

Die Geschwindigkeit des Elektrons um den Kern erhält man klassisch aus:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 m r}} = 2.2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

Die Unbestimmtheit in der Geschwindigkeit ist grösser als 26%! Das Elektron besitzt im Atom keine klar definierte Geschwindigkeit. Deshalb ist es auch unangebracht, von einer Geschwindigkeit des Elektrons im Atom zu sprechen.

79

$$2m_e c^2 = \Delta E \text{ und } \Delta E \Delta t \leq \frac{h}{4\pi}$$

$$\Delta t \leq \frac{h}{8\pi m_e c^2} ; \quad 3.2 \cdot 10^{-22} \text{ s}$$