

# Das Elektronium-Modell

Quantenphysik in elementaren Portionen  
 Karlsruhe 19.-20.05.2009  
 Michael Pohlig

michael.pohlig@kit.edu

Elektroniummodell

Das Wasserstoffatom

Du sollst Dir keine Bilder machen von Dingen,  
 die im Himmel, auf der Erde, im Wasser oder

4 (3. Gebot)

Wie sieht

1. Di
2. Di



Wie sieht ein Atom aus?

## Elektroniummodell

## Das Wasserstoffatom

- Größe
- Gestalt
- Farbe
- Transparenz
- Oberflächenbeschaffenheit
- ...



Wie sieht ein Atom aus?

© MPohlig

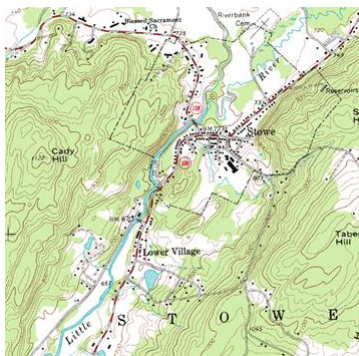
Quantenphysik in elementaren Portionen  
19. -20.05.09

3

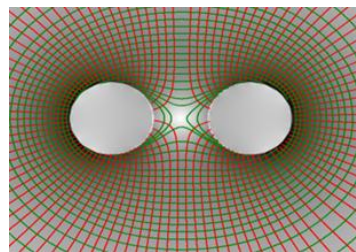
## Elektroniummodell

## Das Wasserstoffatom

Topografische Karte mit Höhenlinien



Feldlichtebild mit Zuglinien (Feldlinien) und Schnitt durch Druckflächen



© MPohlig


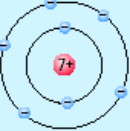
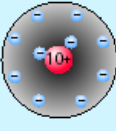
Quantenphysik in elementaren Portionen  
19. -20.05.09

Wie sieht ein Atom aus?

4

## Elektroniummodell

## Das Wasserstoffatom

rutherford'sches Atommodell	bohresches Atommodell	quantenmechanisches Atommodell
		
Elektronen kreisen auf elliptischen Bahnen um den Atomkern (Planetenmodell).	Es existieren stabile Bahnen, auf denen sich Elektronen strahlungsfrei befinden.	Die Elektronen halten sich mit bestimmter Wahrscheinlichkeit in einem Raumbereich auf.
Es beschreibt richtig die Masse- und Ladungsverhältnisse im Atom.	Es ermöglicht die Abschätzung des Atomradius und die Berechnung des Wasserstoffspektrums und führt Erkenntnisse der Quantenphysik in die Atomphysik ein.	Es ermöglicht die Beschreibung des Atoms in Übereinstimmung mit den Erkenntnissen der Quantentheorie.
Es kann die Stabilität von Atomen und die Entstehung von Spektrallinien nicht erklären.	Es geht im Widerspruch zur Quantenphysik von Bahnen aus und führt nur bei Wasserstoff zu richtigen Ergebnissen.	Es ist ein mathematisches Modell und nur sehr bedingt anschaulich zu deuten.

© MPohlig

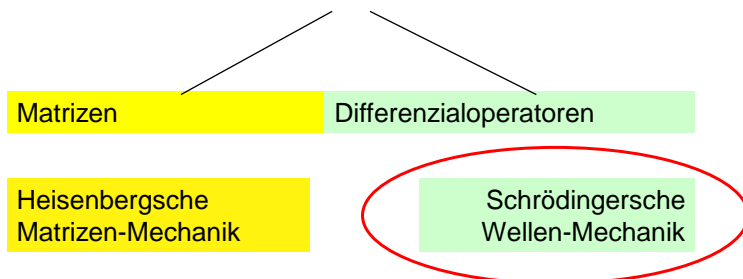
Quantenphysik in elementaren Portionen  
19. -20.05.09Wie sieht ein Atom aus?  
5

## Elektroniummodell

## Das Wasserstoffatom

Bilder des Atoms sind wie die Bilder von elektrischen Feldern o.ä. ja jede Theorie Schöpfungen des menschlichen Geistes. Sie sind deshalb aber keine reine Fiktion. Sie müssen mit den Messungen im Experiment übereinstimmen.

Zwei Fassungen der QPh:



© MPohlig

Quantenphysik in elementaren Portionen  
19. -20.05.09Wie sieht ein Atom aus?  
6

Bilder beruhen auf den Lösungen der Schrödingergleichung

Bilder sollen folgende Eigenschaften veranschaulichen:

- Platzbedarf
- Drehimpuls
- Magnetismus

Man soll sehen können,

- warum ein Atom in bestimmten Zuständen nicht strahlt,
- warum es in anderen Zuständen strahlt,
- ob die Strahlung stark oder schwach ist,
- ob die Strahlung linear oder zirkularpolarisiert ist.

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\vec{r}, t) = \hat{H} \Psi(\vec{r}, t)$$

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\vec{r}, t) = \left( -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + V(\vec{r}) \right) \Psi(\vec{r}, t)$$

Laplace-Operator

$$\Delta = \nabla^2$$

Nabla-Operator

$$\nabla = \left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right)$$

Elektroniummodell

Das Wasserstoffatom

Das Verfahren

 $Q_e, m_e$ , Feld des Protons

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\vec{r}, t) = \left( -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + V(\vec{r}) \right) \Psi(\vec{r}, t)$$

komplexwertig

messen

© MPohlig

Quantenphysik in elementaren Portionen  
19. -20.05.09Wie sieht ein Atom aus?  
9

Elektroniummodell

Das Wasserstoffatom

 $\Psi(x, y, z, t)$ 

$$\Psi^* \Psi$$

$$\frac{\hbar}{2mi} (\Psi^* \nabla \Psi - \Psi \nabla \Psi^*)$$

reelwertige Funktionen

© MPohlig

Quantenphysik in elementaren Portionen  
19. -20.05.09Wie sieht ein Atom aus?  
10

## Kontinuitätsgleichung

$$\left. \begin{aligned} i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\vec{r}, t) &= \left( -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + V(\vec{r}) \right) \Psi(\vec{r}, t) \\ \rho &= \Psi^* \Psi \\ \vec{j} &= \frac{\hbar}{2mi} (\Psi^* \nabla \Psi - \Psi \nabla \Psi^*) \end{aligned} \right\} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{j} = 0$$

$$\left. \begin{aligned} \rho_{Q_e} &= Q_e \cdot \rho \\ \vec{j}_{Q_e} &= Q_e \cdot \vec{j} \end{aligned} \right\} \frac{\partial \rho_{Q_e}}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{j}_{Q_e} \quad \text{Kontinuitätsgleichung der Ladung}$$

$$\left. \begin{aligned} \rho_{m_e} &= m_e \cdot \rho \\ \vec{j}_{m_e} &= m_e \cdot \vec{j} \end{aligned} \right\} \frac{\partial \rho_{m_e}}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{j}_{m_e} \quad \text{Kontinuitätsgleichung der Masse}$$

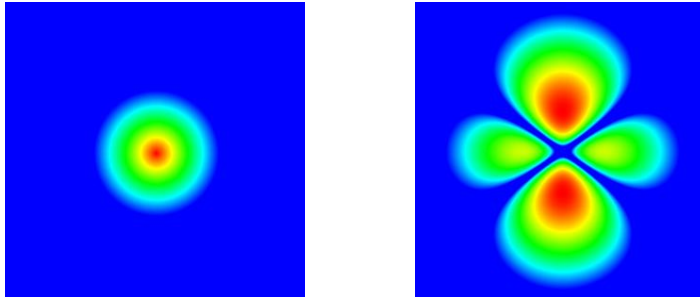
Nimmt die elektrische Ladung (Masse) in einem Raumbereich ab bzw. zu, so muss ein entsprechender Strom heraus bzw. hineinfließen.

Interpretation bedeutet, dass man sich vorstellen darf:  
Die Hülle eines Atoms besteht aus einem kontinuierlichen, in der Nähe des Kerns verteilten Stoff, der im Allgemeinen auch strömt. Wir nennen diesen Stoff **Elektronium**.

Elektroniummodell

Das Wasserstoffatom

## Dichte-Bilder



Dichte:  
  
groß klein

© MPohlig

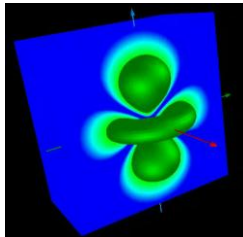
Quantenphysik in elementaren Portionen  
 19. -20.05.09

Wie sieht ein Atom aus?

13

Elektroniummodell

Das Wasserstoffatom



In der 3D-Darstellung der Flächen, bei denen die Dichte des Elektroniums 10% ihres Maximalwertes annimmt.

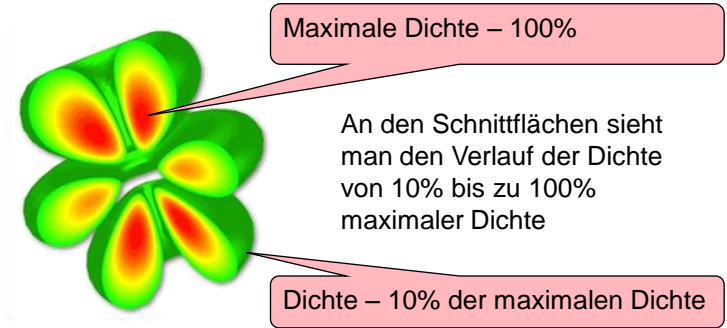
© MPohlig

Quantenphysik in elementaren Portionen  
 19. -20.05.09

Wie sieht ein Atom aus?

14

Elektroniummodell      Das Wasserstoffatom



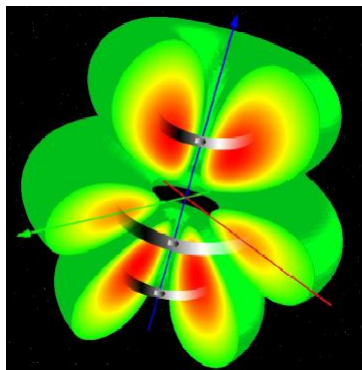
© MPohlig

Quantenphysik in elementaren Portionen  
19. -20.05.09

Wie sieht ein Atom aus?

15

Elektroniummodell      Das Wasserstoffatom



Drehimpuls  
Magnetisches Moment

Verteilung des Elektroniums

$$\rho = \Psi^* \Psi$$

$$\vec{j} = \frac{\hbar}{2mi} (\Psi^* \nabla \Psi - \Psi \nabla \Psi^*)$$

Strömen des Elektroniums

© MPohlig

Quantenphysik in elementaren Portionen  
19. -20.05.09

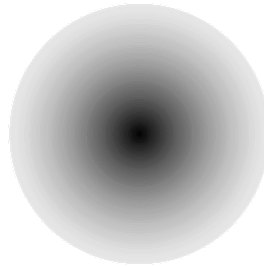
Wie sieht ein Atom aus?

16

Elektroniummodell

Das Wasserstoffatom

Was ist ein Elektron?  
Versuch einer ersten Antwort



© MPohlig

Quantenphysik in elementaren Portionen  
19. -20.05.09

Wie sieht ein Atom aus?

17

Elektroniummodell

Das Wasserstoffatom



Wo ist die Brezel im  
Teig?

© MPohlig

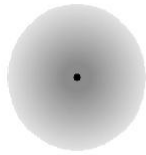
Quantenphysik in elementaren Portionen  
19. -20.05.09

Wie sieht ein Atom aus?

18

Elektroniummodell

Das Wasserstoffatom



He

+ Proton

+ Elektron

© MPohlig

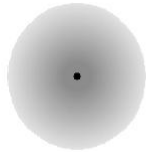
Quantenphysik in elementaren Portionen  
19. -20.05.09

Wie sieht ein Atom aus?

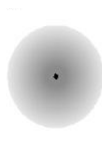
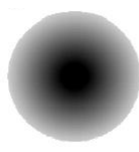
19

Elektroniummodell

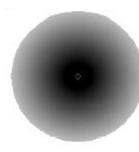
Das Wasserstoffatom



He

Li<sup>+</sup>

Li

Be<sup>+</sup>

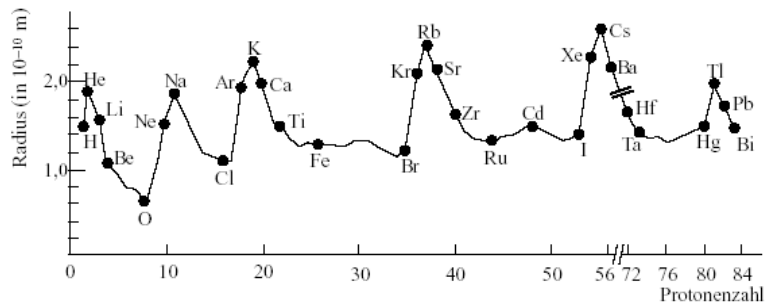
Be

© MPohlig

Quantenphysik in elementaren Portionen  
19. -20.05.09

Wie sieht ein Atom aus?

20



© MPohlrig

Quantenphysik in elementaren Portionen  
19.-20.05.09

Wie sieht ein Atom aus?

21

Was sagt die unterschiedliche Dichte des Elektroniums?

$$\rho = \Psi^* \Psi$$

Wahrscheinlichkeitsdichte

$$\vec{j} = \frac{\hbar}{2mi} (\Psi^* \nabla \Psi - \Psi \nabla \Psi^*)$$

Wahrscheinlichkeitsdichteströmung

Zusammenhang mit dem Elektroniummodell?

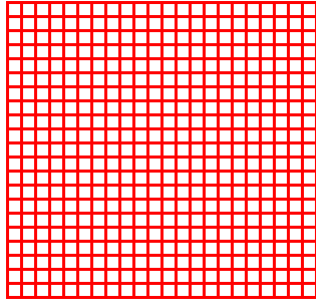
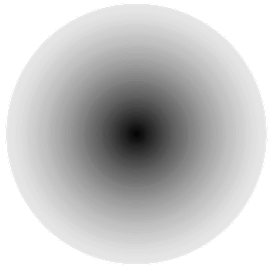
© MPohlrig

Quantenphysik in elementaren Portionen  
19.-20.05.09

Wie sieht ein Atom aus?

22

Elektroniummodell      Das Wasserstoffatom



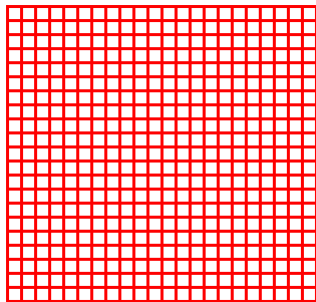
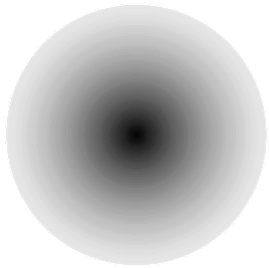
© MPohlig

Quantenphysik in elementaren Portionen  
19. -20.05.09

Wie sieht ein Atom aus?

23

Elektroniummodell      Das Wasserstoffatom



© MPohlig

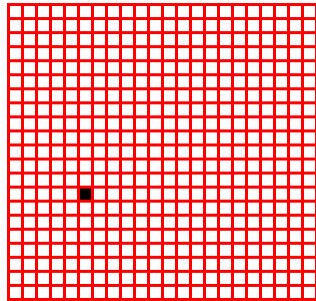
Quantenphysik in elementaren Portionen  
19. -20.05.09

Wie sieht ein Atom aus?

24

Elektroniummodell

Das Wasserstoffatom



War das Elektron unmittelbar vor der Messung schon an diesem Ort?

Die Elementarportionen des Elektroniums: Elektronen

© MPohlig

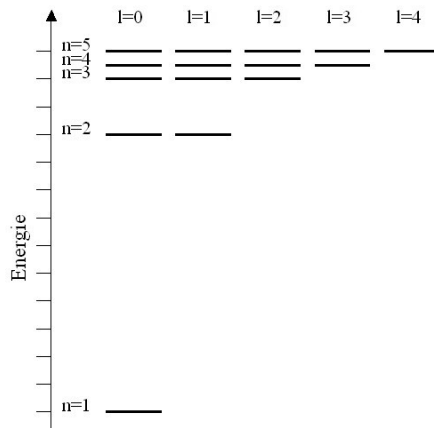
Quantenphysik in elementaren Portionen  
19. -20.05.09

Wie sieht ein Atom aus?

25

Elektroniummodell

Das Wasserstoffatom



© MPohlig

Quantenphysik in elementaren Portionen  
19. -20.05.09

Wie sieht ein Atom aus?

26

Bilder sollen folgende Eigenschaften veranschaulichen:

- ✓ Platzbedarf
  - ✓ Drehimpuls
  - ✓ Magnetismus
- Man soll sehen können,
  - warum ein Atom in bestimmten Zuständen nicht strahlt,
  - warum es in anderen Zuständen strahlt,
  - ob die Strahlung stark oder schwach ist,
  - ob die Strahlung linear oder zirkularpolarisiert ist.

#### Literatur Das Elektroniummodell

Schrödinger Über das Verhältnis der Heisenberg-Born-Jordanschen  
Quantenmechanik und zu der meinen. Ann. d. Phys. (4) 79,734  
(1926)

Herrmann, F. KPK Band 3, Aulis

Bronner, P. - Hauptmann, H. – Herrmann, F.

Wie sieht ein Atom aus?; Praxis der Naturwissenschaften – Physik  
in der Schule; Heft 2/55; 2006

<http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/software/hydrogenlab/images/Termschema/Bilder/Termstationaer.htm>