

ATLASTEN

Beiträge:

H. Hauptmann, Europa-Gymnasium Wörth

F. Herrmann, Abteilung für Didaktik der Physik, KIT

M. Pohlig, Wilhelm-Hausenstein-Gymnasium, Durmersheim, KIT

1. Das leere Atom
2. Nichtunterscheidbarkeit von Teilchen
3. Das Schalenmodell
4. Der Bahnbegriff in der Quantenmechanik

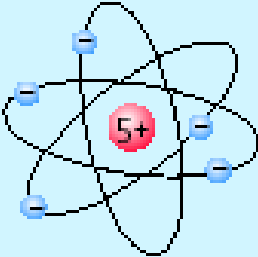
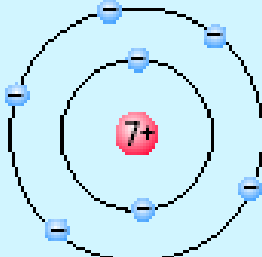
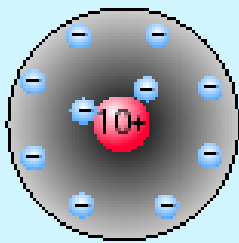
1. DAS LEERE ATOM



Abb. 14: Frauenkirche im Atom, Zeichnung von 1955.
Foto: DMA, BA TiB 146.

... war das Atomsymbol mit den spiralförmigen Bahnen zum Signum einer neuen Epoche geworden. Es hatte sich als Symbol etabliert, und die Leere des Atoms bildete kein Vorstellungshindernis mehr.

Arne Schirrmacher: Das leere Atom

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.

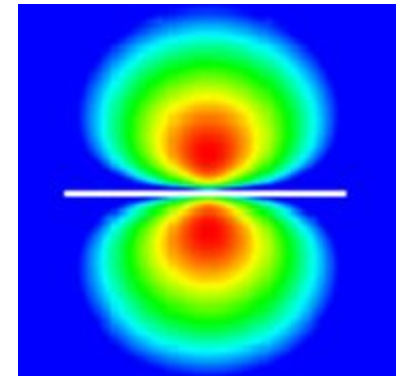
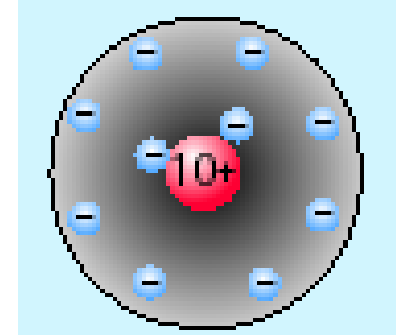
DAS LEERE ATOM

Leeres Atom richtig wenn

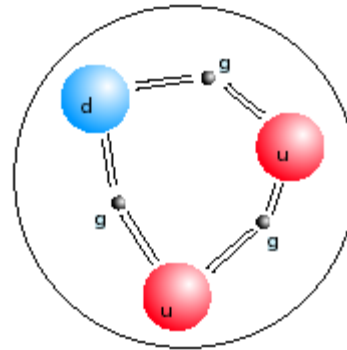
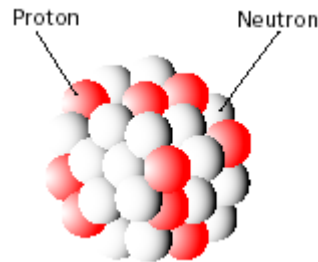
Elektron als kleines Individuum aber...

- Keine Bahn
- Aufenthaltswahrscheinlichkeit

Das Atom ist nicht leer



Das Bild des Elektronen als kleines Individuum auf Kern ausdehnen



Auch der Kern ist leer → das ganze Atom ist leer

Was steckt dahinter?

- Die Hülle besteht aus punktförmigen Körperchen
- Der Kern ist eine Art kompaktes Fluidum

Was man wollte:

Masse des viel kleineren Kerns ist viel größer als die große Hülle.

Aber :

Masse ist nur eine von mehreren extensiven Größen

Man sollte auch sagen:

El. Ladung von Hülle und Kern sind gleich wenn auch...

Drehimpuls von Hülle und Kern sind von gleicher Größenordnung

Magnetische Moment der Hülle viel größer, als das des Kerns.

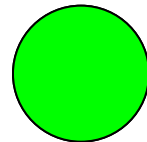
2. Nichtunterscheidbarkeit von Teilchen

„Zwei Teilchen nennt man identisch, wenn das Ergebnis der Messung einer beliebigen Größe oder Observable des Systems invariant gegenüber einer Teilchenvertauschung ist. Man sagt dann auch, die Teilchen seien ununterscheidbar.“

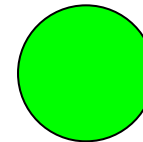
„Zwei Teilchen heißen identisch, wenn alle inneren Eigenschaften (Masse, Spin, Ladung, usw.) exakt übereinstimmen: Es gibt kein Experiment, mit dem man die Teilchen voneinander unterscheiden könnte. Alle Elektronen des Universums sind also identisch, ebenso alle Protonen oder alle Wasserstoffatome.“

Trivialität? oder Besonderheit der Quantenwelt?

1. Schwierigkeit: Teilchen und Zustände



Elektron 1
links

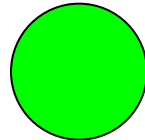


Elektron 2
rechts

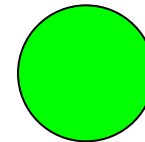
NICHTUNTERSCHIEDBARKEIT VON TEILCHEN

Teilchen: unterscheidbar (links/rechts)

Zustände: **nicht** unterscheidbar



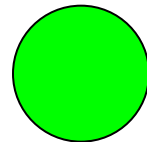
Elektron 1
links



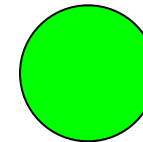
Elektron 2
rechts

NICHTUNTERSCHIEDBARKEIT VON TEILCHEN

2. Schwierigkeit: Teilchen als Individuum



Elektron 2
links



Elektron 1
rechts

Erhält man bei beiden Operationen denselben Zustand?

NICHTUNTERSCHIEDBARKEIT VON TEILCHEN

Klassische Mechanik:

- individuelle Körper
- wieder erkennbare, dauerhafte Eigenschaften in großer Zahl (Form, Zusammensetzung, Farbe,...)

Quantenmechanik:

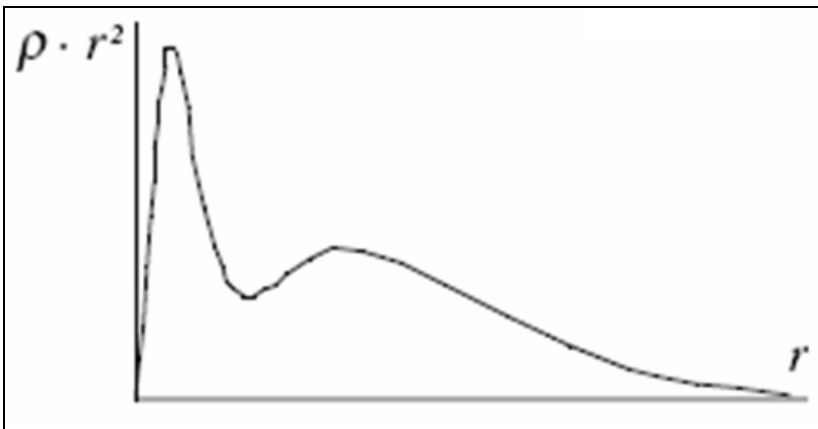
- Zahl der charakteristischen Eigenschaften sehr gering (Masse, Impuls, Drehimpuls,...)
- nicht wieder erkennbar
- Individualität geht verloren, die gewohnte Anschauung ist unbrauchbar

- Die Quantenmechanik wird einfacher, wenn man Sprache und Anschauungen nicht aus der klassischen Mechanik übernimmt
- Beispiel: Elektronen als unteilbare Portionen eines Stoffes
- Auch im Alltag spricht man über Dinge, die keine individuellen Eigenschaften haben (Kaminfeuer, Wolken,...)

3. Das Schalenmodell

Zur Erklärung bestimmter Eigenschaften der Atome (Periodizität von Atomradien und Ionisierungsenergien) benutzt man das Schalenmodell.

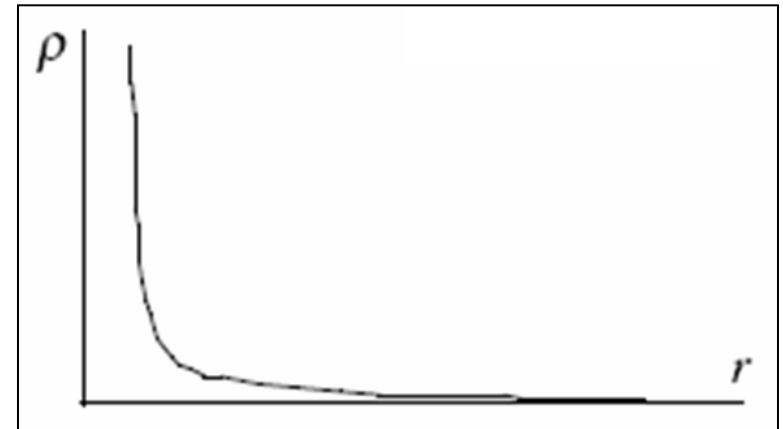
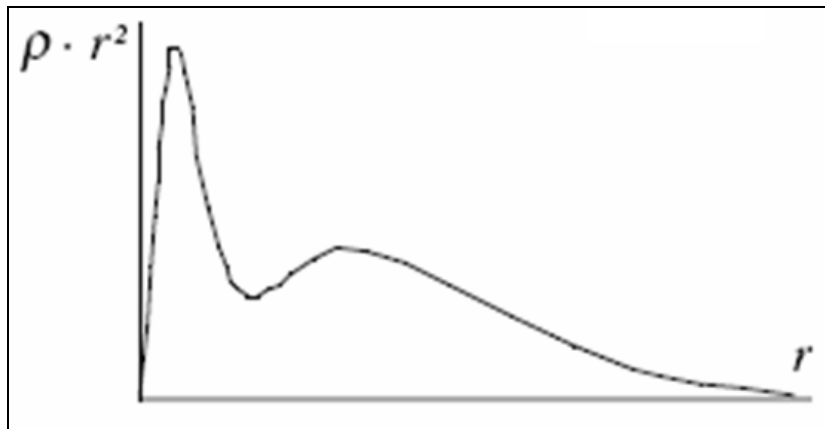
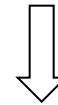
Die Existenz der Schalen untermauert man durch eine Abbildung:



Was ist hier dargestellt?

Nicht die Dichte $\rho(r)$, sondern die Funktion $r^2 \cdot \rho(r)$

Dichte

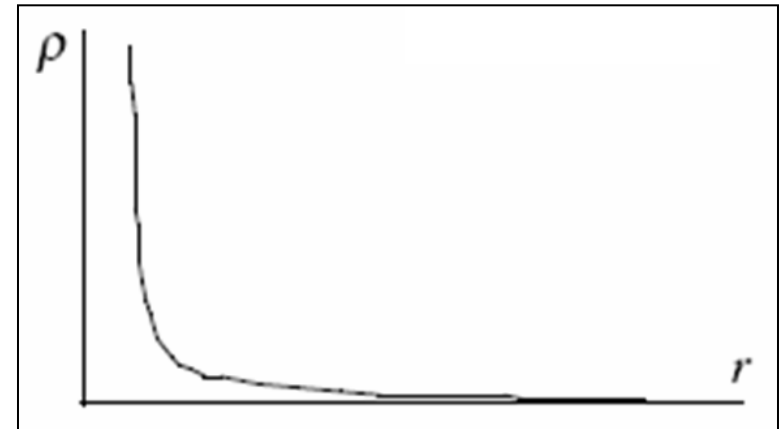
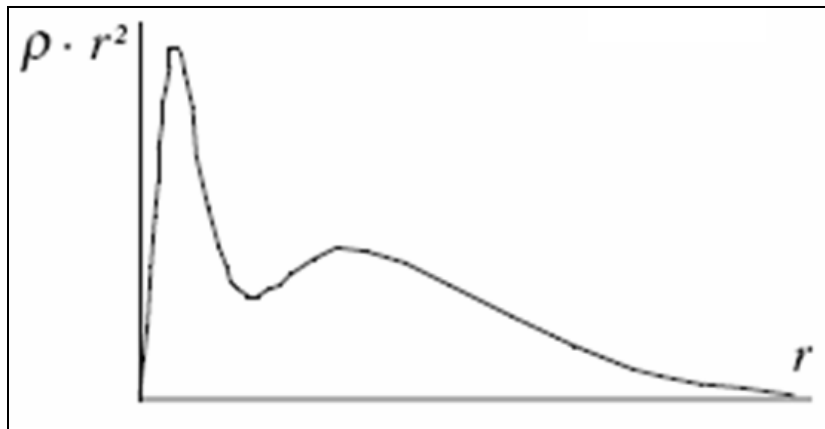


Dichte $\rho(r)$:

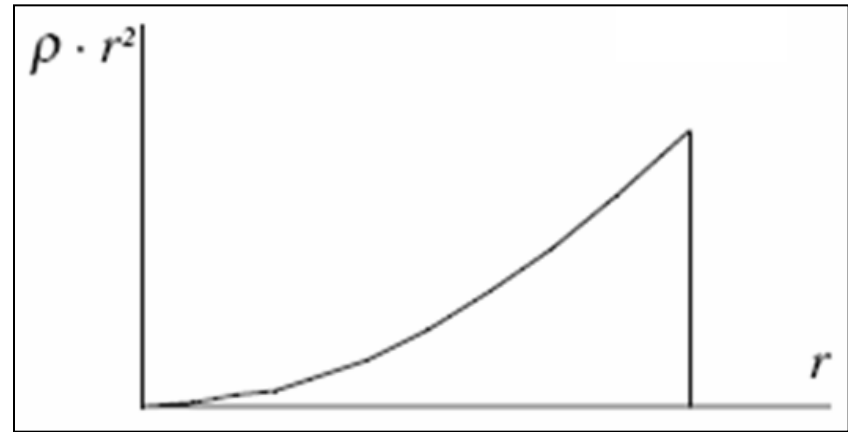
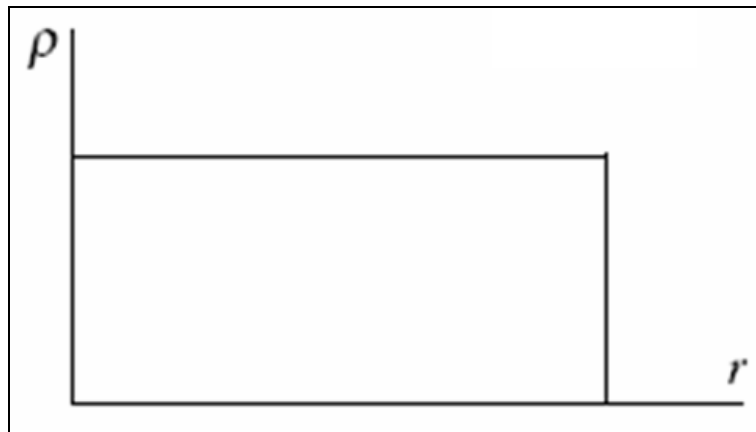
- Maximum am Ort des Kerns
- nimmt mit zunehmendem Abstand vom Kern monoton ab

Funktion $r^2 \cdot \rho(r)$:

- am Ort des Kerns Null
- geht über mehrere Maxima wieder gegen Null.



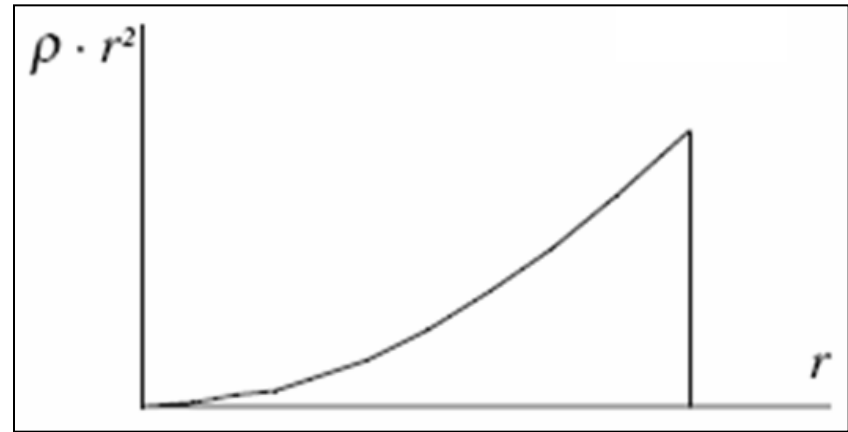
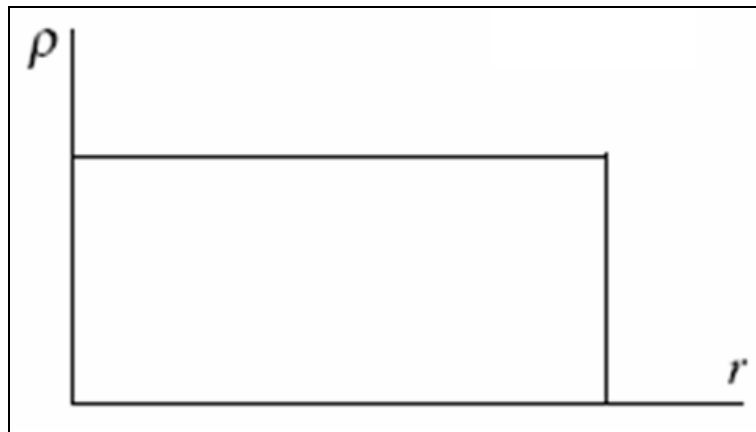
Wie ist der Gegenstand beschaffen?



DAS SCHALENMODELL

„Es ist viel wahrscheinlicher, einen Lottogewinner in den neuen Bundesländern anzutreffen als in Frankfurt am Main.“

Statistik: „verzerrte Stichprobe“



DAS SCHALENMODELL

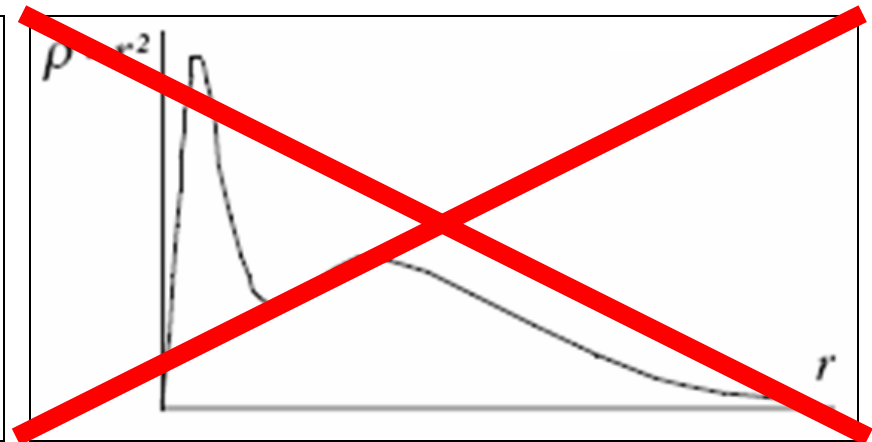
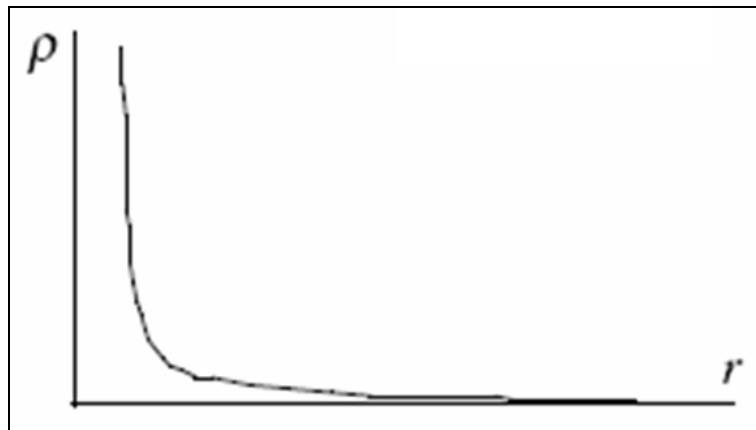
Man nahm das Schalenmodell zu ernst.

Da die Schalenstruktur in der Dichte nicht zu erkennen ist, half man etwas nach.

Es schien zu stören, dass die Elektronendichte am Ort des Kerns nicht null ist.

Darstellung von $r^2 \cdot \rho(r)$

- liefert keine wichtige Einsicht;
- erzeugt falsche Vorstellungen.



DAS SCHALENMODELL

4. Der Bahnbegriff in der Quantenmechanik

„Der Bahnbegriff verliert in der Quantenmechanik seinen Sinn.“

Hat der Bahnbegriff Sinn...

- in der Thermodynamik?
- in der geometrischen Optik?
- in der Wellenoptik?
- im Alltag?

(Bahn einer Wolke, von Daten im Internet, einer Überweisung,...)

Meist hat der Bahnbegriff keinen Sinn!

„Der Bahnbegriff verliert in der Quantenmechanik seinen Sinn.“

Warum erscheint die Aussage so wichtig?

- man verwendet ein unpassendes Modell
(punktförmige, individuell verfolgbare Körperchen)
- man muss die erzeugten Probleme mühsam korrigieren

Beispiel: Grundzustand des Wasserstoffatoms

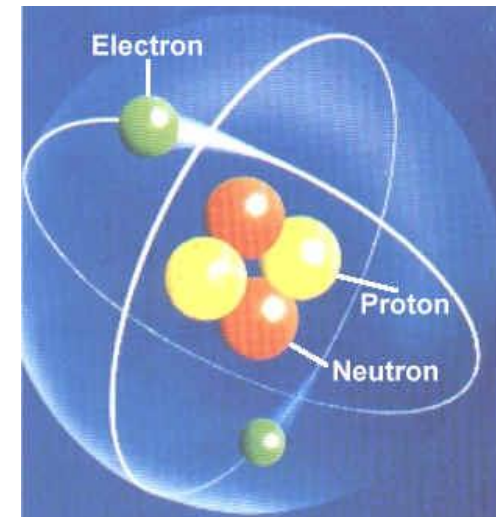
weder Theorie noch Experiment liefern Hinweise auf:

- Punktförmigkeit des Elektrons
- Bewegung des Elektrons

- Das Teilchenmodell war außerordentlich erfolgreich.
- Funktionierende Konzepte werden weiterverfolgt
- Teilchenmodell in der Quantenphysik
⇒ Wahrscheinlichkeitsinterpretation

Nicht auszurotten:

- Bohrsches Atommodell
- „kreisende“ Elektronen



Heisenberg: „Für kleine Quantenzahlen muß jedoch offenbar der Bahnbegriff sowohl im Phasenraum, wie im richtigen Raum seinen Sinn verlieren.“

- Man halte sich an die Theorie.
- Man verwende keine Modelle, die selbst wieder Verständnisprobleme erzeugen.

5. DIE SPRACHE DER SPEKTROSKOPIE

„Ein Laser emittiert bestenfalls ein schmales Frequenzband. ... Mit einer Lichtquelle, die die Eigenschaften eines Lasers mit der großen Bandbreite einer Glühlampe kombiniert, eröffnet sich ein großer Bereich von neuen Möglichkeiten.“ (Scientific American, Dec. 2006, p. 66)

Frequenzband

Bandbreite

Linienpektrum

Bandenspektrum

Bandfilter

Energieniveau

Termschema



Fachsprache: Man kann sich präziser ausdrücken.

Aber: Viele Fachausdrücke sind überflüssig.

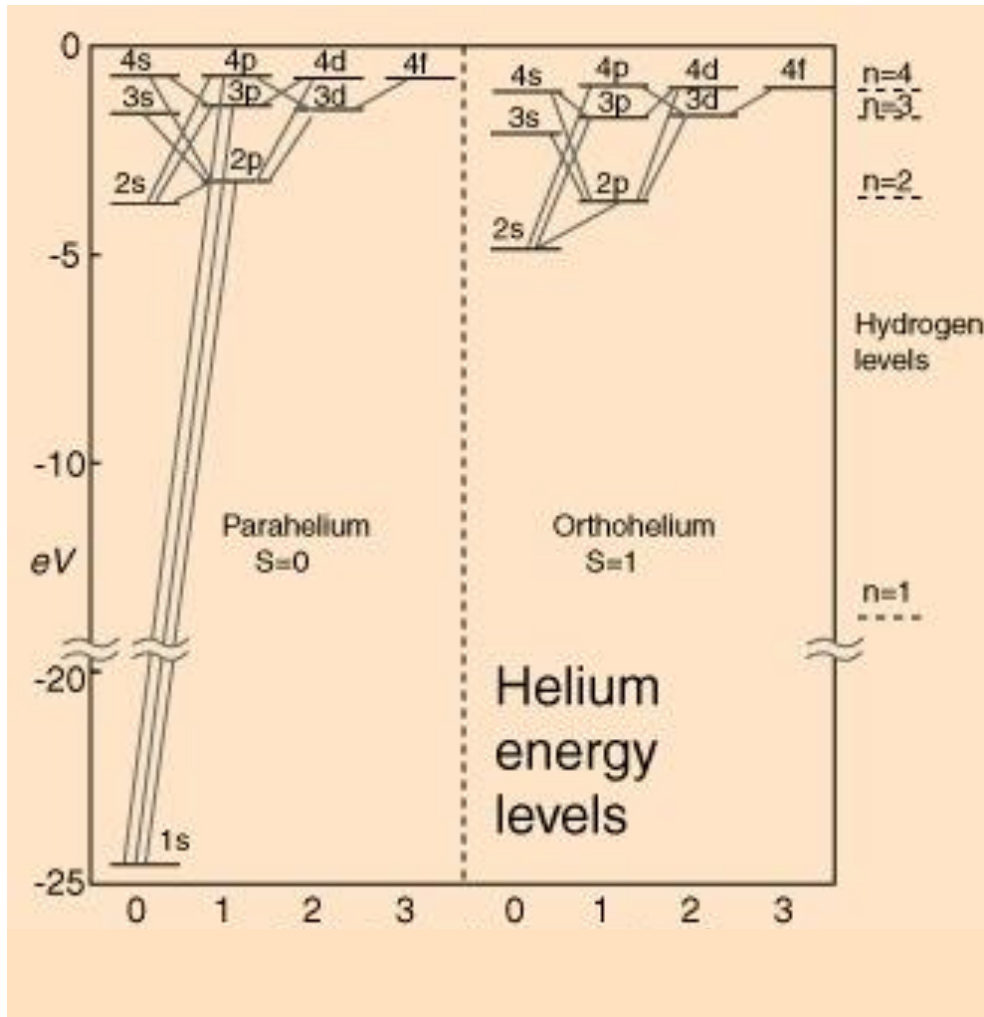
1. Man vertut seine Zeit
2. Physik wird unverständlich für Laien.
3. Verständnis kann vorgetäuscht werden.

Spezialsprache zur Beschreibung einer bestimmten Funktion:
Intensität als Funktion der Frequenz (oder der Energie).

Frequenzintervall → Frequenzband

Spannungsband,
Massenband?

Energieniveau: Niveau ist Begriff aus dreidimensionalem Raum. Welches ist hier die Querausdehnung? Termschema



Spektroskopie

Zweite Dimension ist Artefakt der Messmethode

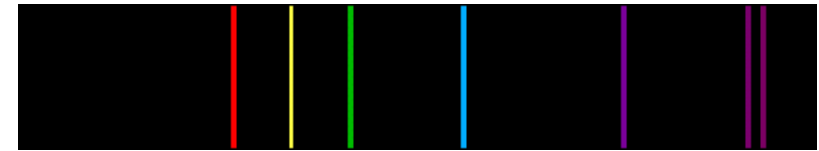
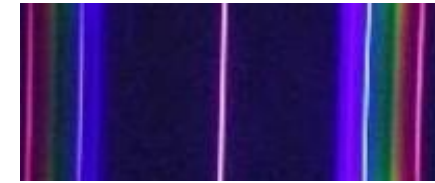


Abb. 375. Bandenspektrum des Jods (J_2)

Nicht der Einzelfall „Bandbreite“ ist das Problem.

Fachsprache wo sie unentbehrlich ist;
Umgangssprache wo sie ausreichend ist.