

Aufgaben zum Wasserstoffatom

Hans M. Strauch
Kurfürst-Ruprecht-Gymnasium
Neustadt/W.

Aufgabenarten

- Darstellung von Zusammenhängen, Abgrenzung von Unterschieden (können u.U. recht offen sein)
- Beantwortung von konkreten Fragen
- Materialgestützte Aufgaben (Diagramme, Filme, etc.)

Darstellung von Sachverhalten

Stellen Sie das Elektroniummodell des Wasserstoffatoms dar.

Erläutern Sie, wie man mit dem Elektroniummodell die experimentellen Befunde der Linienspektren erklären kann (verwenden Sie dabei das Termschema des Wasserstoffatoms).

Stellen Sie die Eigenzustände und die Überlagerungszustände des Wasserstoffatoms gegenüber.

Stellen Sie dar, wie das Elektroniummodell die Energieabgabe des Wasserstoffatoms erklärt.

Was kann man über Magnetfeld und Drehimpuls aussagen?

Unter welchen Bedingungen liegen „verbotene“ Übergänge vor?

Beantwortung von konkreten Fragen

Warum strahlt ein Atom in bestimmten Zuständen nicht (d.h. ist es stabil)?

Warum und wie strahlt es in anderen Zuständen?

Wann ist die Strahlung stark und wann schwach?

Wann ist die Strahlung linear polarisiert und wann zirkular?

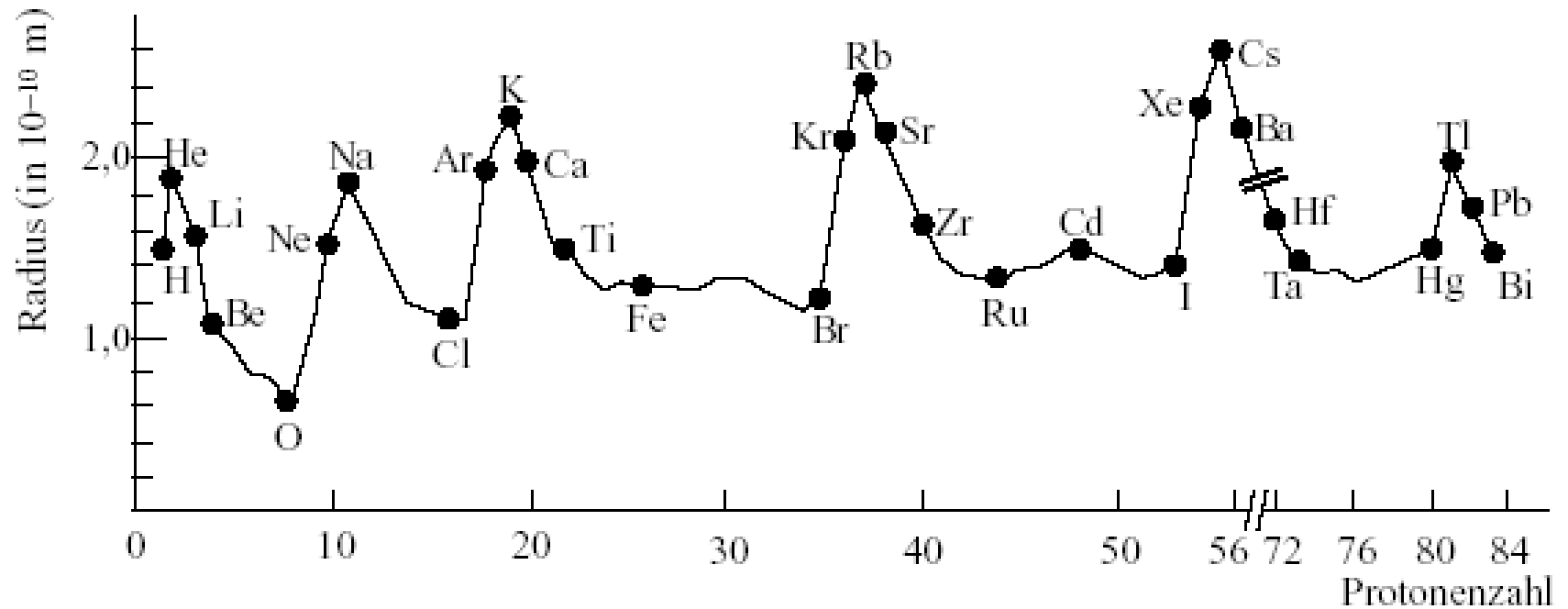
Wie äußert sich im Experiment die Wahrscheinlichkeit eines Überganges?

Warum sind manche Übergänge „erlaubt“ und andere nicht?

Warum sind die Übergänge von $(n_2, 0, 0)$ nach $(n_1, 0, 0)$ „verboten“?

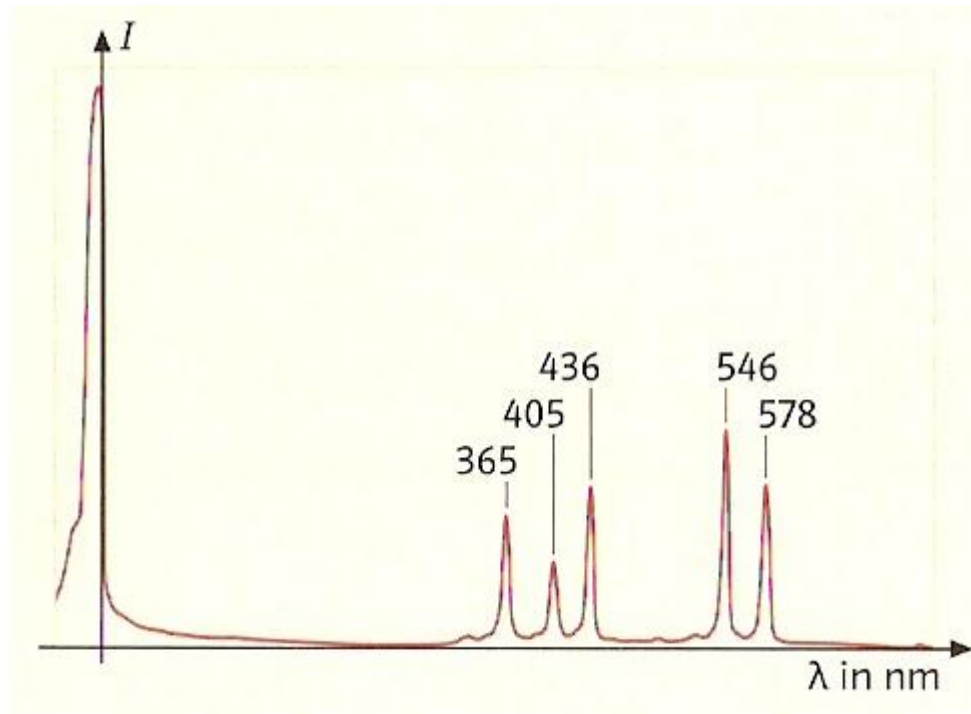
Warum sind die Übergänge $\Delta l = 0$ und $l \neq 0$ „verboten“?

Materialgestützte Aufgaben



Erklären Sie den im Diagramm dargestellten Verlauf der Größe von Atomen mit wachsender Protonenzahl

Materialgestützte Aufgaben



Die Zeit für einen Übergang kann durch die Zeitdauer des angeregten Zustandes abgeschätzt werden: Ca. $\Delta t = 10^{-8}$ s. Leiten Sie daraus eine Abschätzung für die Anzahl der Schwingungen her.

Wie äußert sich im Experiment die Wahrscheinlichkeit eines Überganges?

Materialgestützte Aufgaben

Übergänge	Δl	Δm	lin. polar.	zir. polar.	Dipol- strahlung	Quadr.- strahlung	erlaubt	verboten
2,1,0 \rightarrow 1,0,0								
2,1,1 \rightarrow 1,0,0								
2,1,-1 \rightarrow 1,0,0								
3,1,1 \rightarrow 2,1,0								
4,3,0 \rightarrow 2,1,0								
4,3,0 \rightarrow 3,2,-1								
12,5,1 \rightarrow 10,6,1								

Füllen Sie die Tabelle mit Hilfe der bereitgestellten Videos aus.

Welche Zusammenhänge aus dem Unterricht werden in der Tabelle bestätigt?

Filme

2,1,0 → 1,0,0 (2D)

2,1,0 → 1,0,0 (3D)

2,1,1 → 1,0,0 (2D)

2,1,1 → 1,0,0 (3D)

2,1,-1 → 1,0,0 (2D)

2,1,-1 → 1,0,0 (3D)

3,1,1 → 2,1,0 (3D)

4,3,0 → 2,1,0 (3D)

4,3,0 → 3,2,-1 (3D)

12,5,1 → 10,6,1 (2D)

Weitere Filme

Vielen Dank für Ihr Interesse

Arbeitsblatt 1

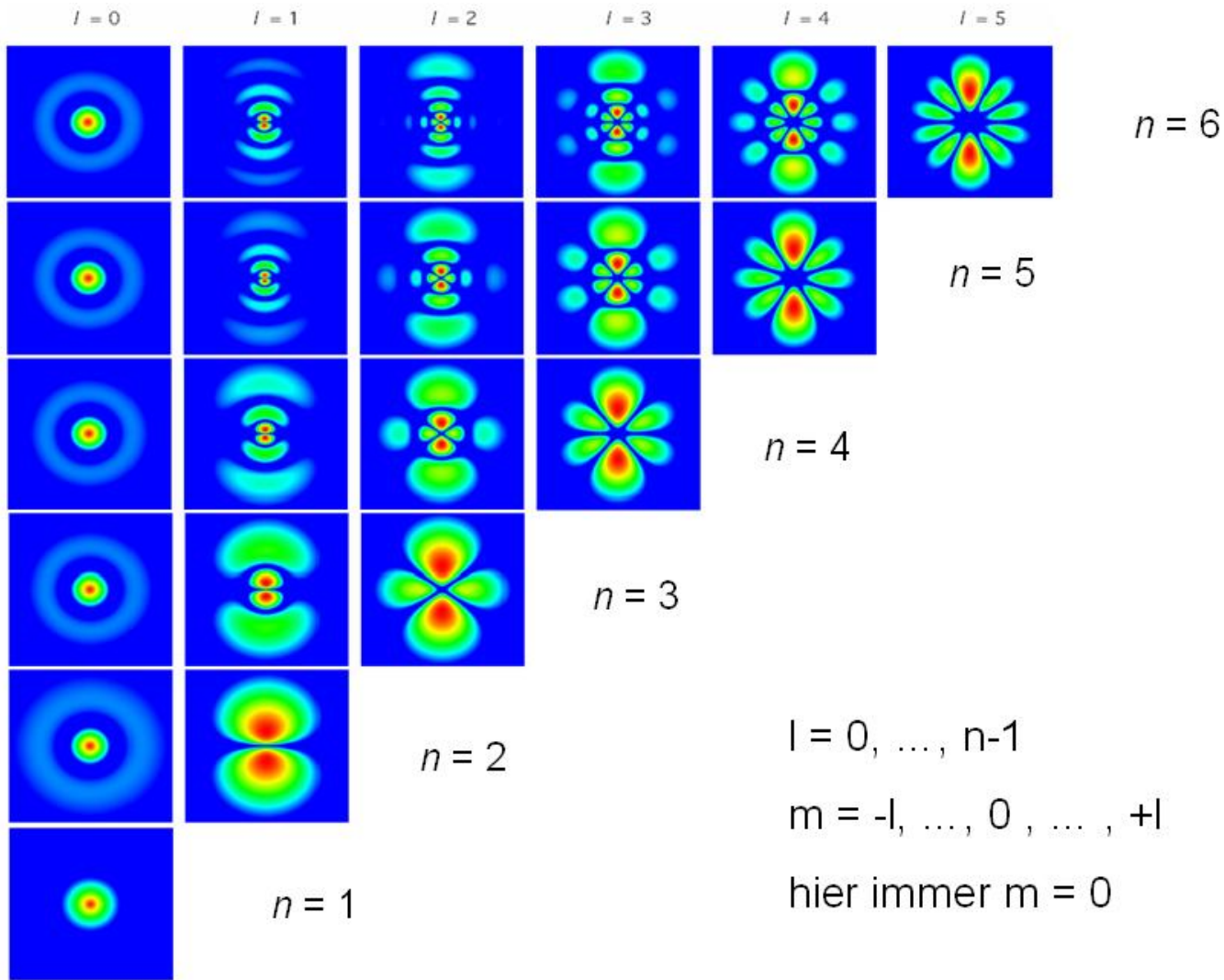


Abb. 1

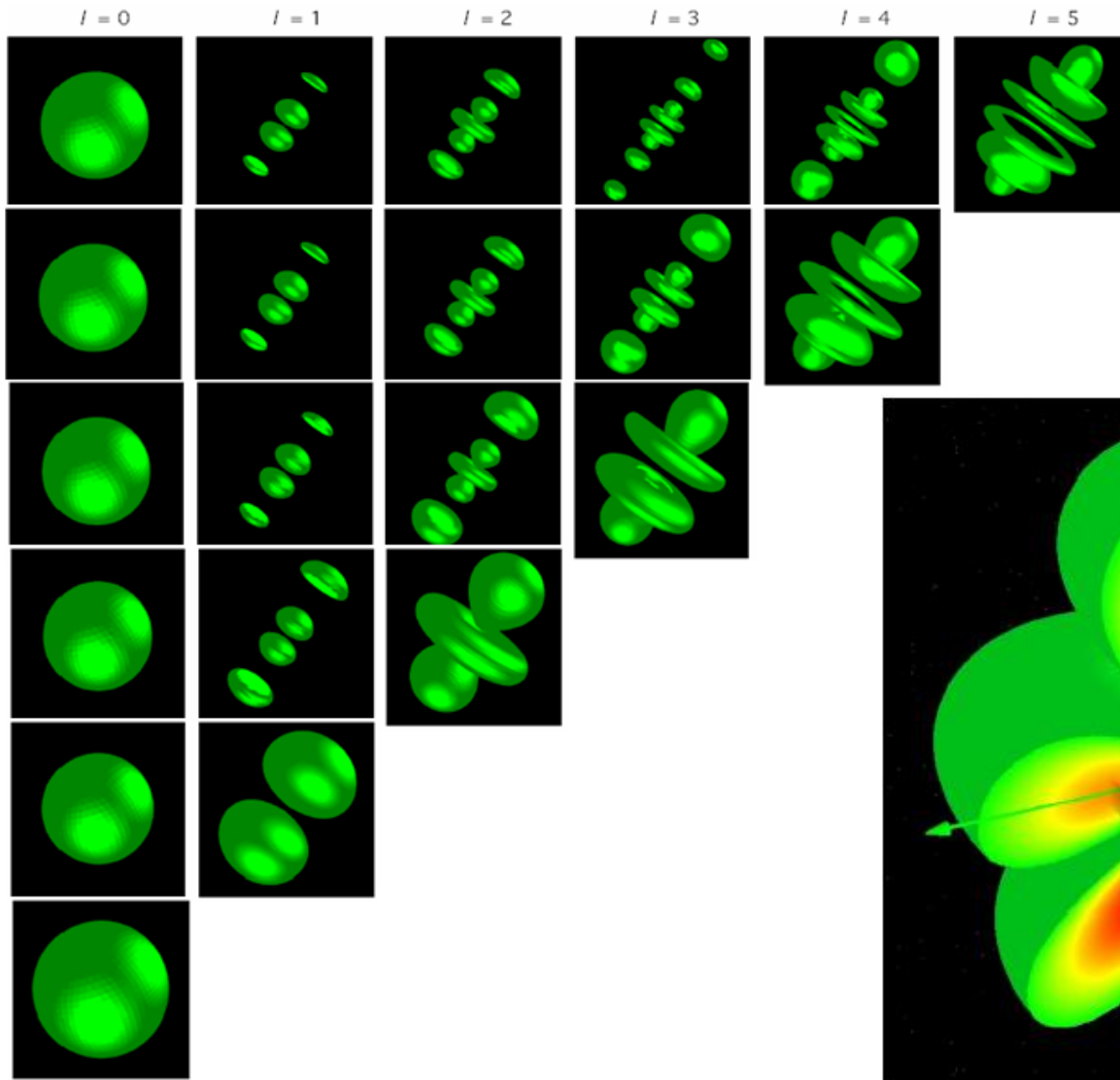


Abb. 2

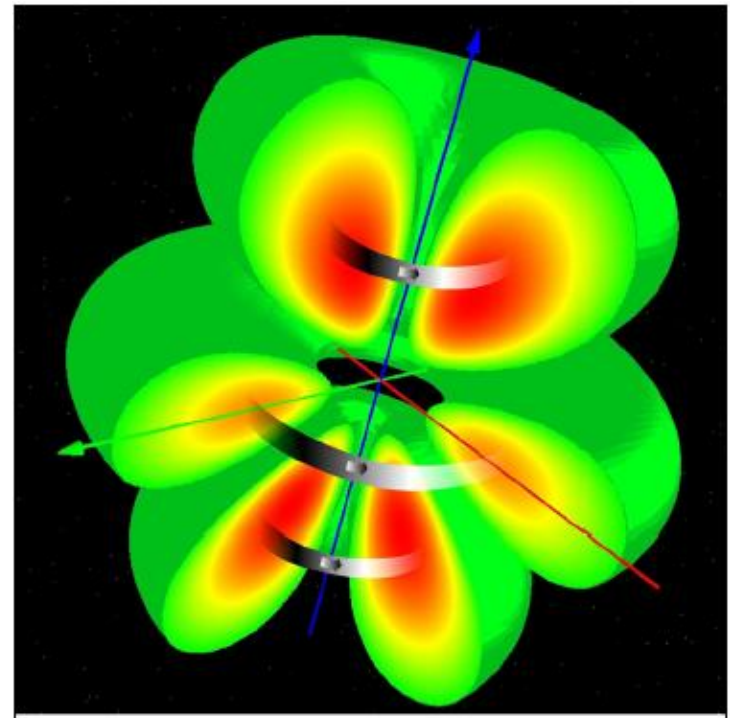


Abb. 3

Arbeitsblatt 2

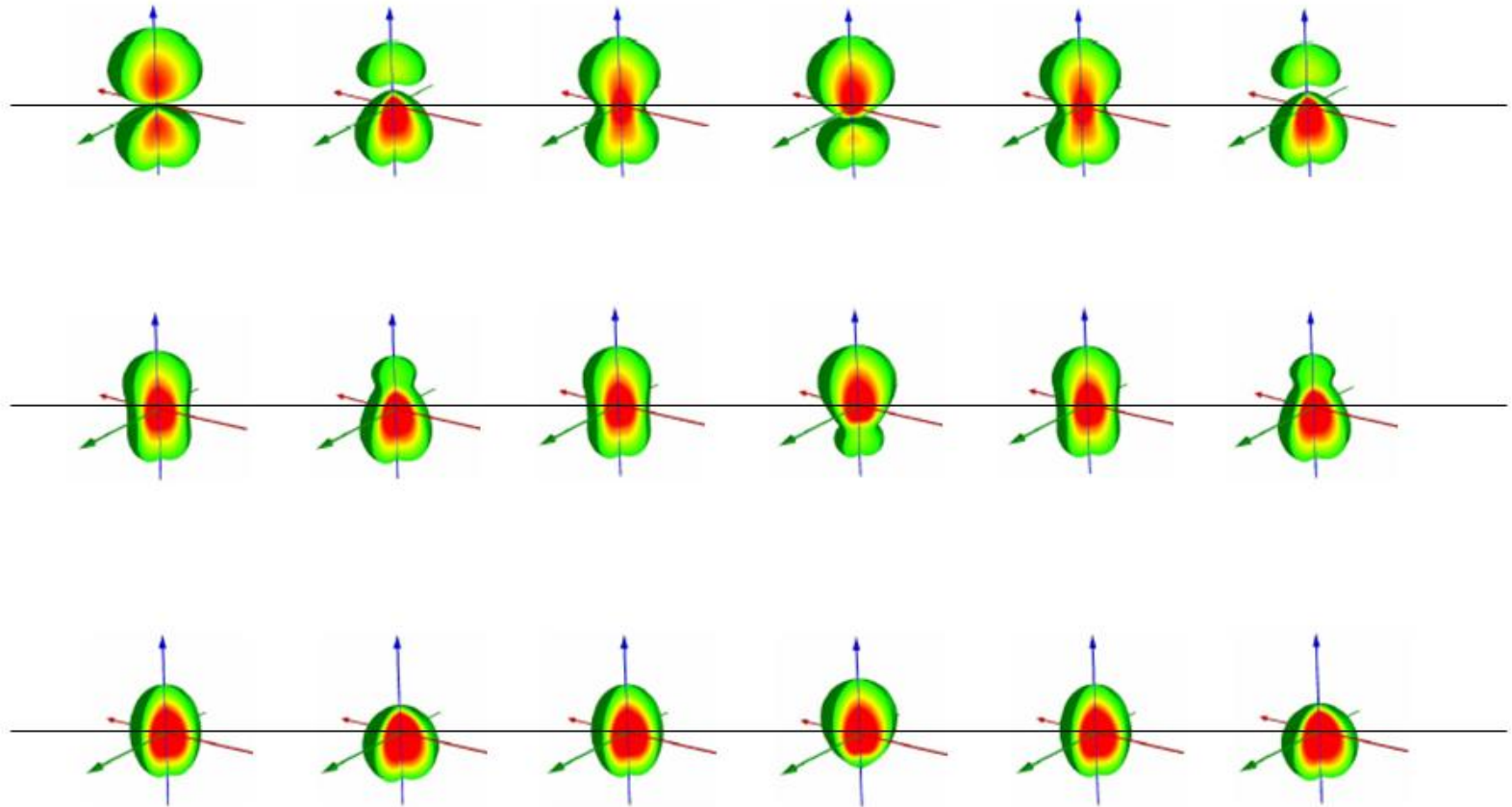


Abb. 4

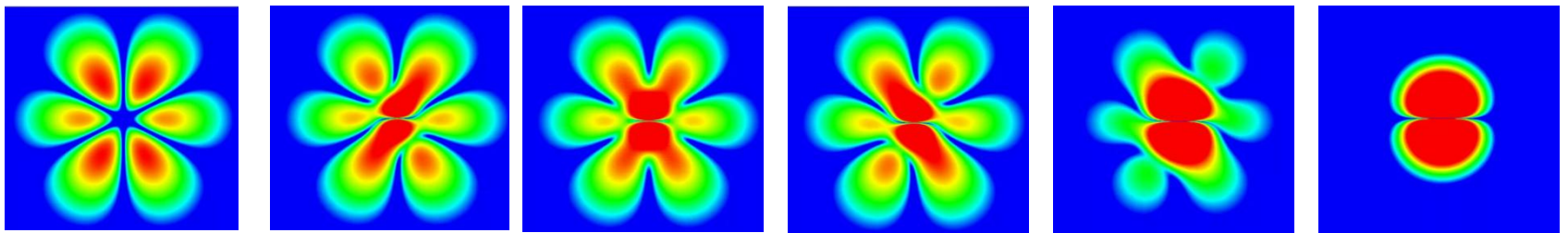


Abb. 5

zurück

Weitere Filme

[4,3,1 → 2,1,0 \(2D\)](#)

[4,3,1 → 3,2,0 \(3D\)](#)

[6,4,1 → 4,3,2 \(3D\)](#)

[6,4,2 → 5,3,2 \(3D\)](#)

zurück

Lösungen

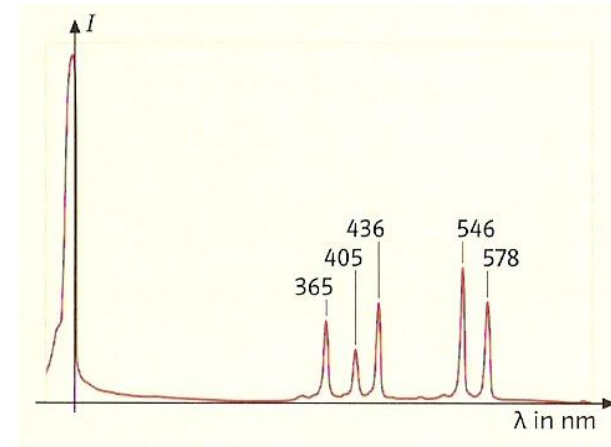
Die Hülle eines Atoms besteht aus Elektronium und erfüllt den gesamten Bereich des Atoms.

Befindet sich das Elektronium im energetisch niedrigsten Zustand dem Grundzustand dann hat es in diesem Zustand eine kugelsymmetrische Form. Durch Zufuhr der passenden Energiemenge geht es in einen angeregten Zustand über und verändert dabei seine Form.

Sowohl der Grundzustand als auch die angeregten Zustände sind stationäre, d.h. zeitlich konstante Zustände, in denen das Elektronium keine ($m=0$) oder nur stationäre Strömungen hat und daher keine elektromagnetischen Wellen abstrahlt. Nach einer kurzen Zeitspanne kehrt es in einen energetisch niedrigeren Zustand (oder den Grundzustand) wieder zurück und gibt dabei die Energiedifferenz als Photon ab. Während der Energieabgabe befindet es sich in einem Überlagerungszustand zwischen dem Anfangs- und dem Endzustand. Diese Überlagerungszustände sind nicht stationär, sie sind zeitlich veränderlich. Deshalb können sie eventuell Energie abstrahlen.

- Die Zeit für einen Übergang kann durch die Zeitdauer des angeregten Zustandes abgeschätzt werden: Ca. $\Delta t = 10^{-8}$ s. Da die Frequenzen typischer Weise einige 10^{14} Hz beträgt (vergl. Balmer Serie), ergibt sich eine Schwingungsdauer von $T = 10^{-15}$ s. Für die Anzahl der Schwingungen n gilt:
 $n \cdot T = \Delta t \Leftrightarrow n = \Delta t / T = 10^{-8} \text{ s} / 10^{-15} \text{ s} = 10^7$.

- Je wahrscheinlicher ein Übergang ist, desto mehr Photonen mit der zugehörigen Wellenlänge werden abgestrahlt und damit gemessen. D.h. die Intensität der betreffenden Linien ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit des Überganges.



- Bei diesen Übergängen wäre sowohl im Anfangs- wie auch im Endzustand $l=0$. Dann wären aber beide Zustände und damit auch der Überlagerungszustand kugelsymmetrisch. Deshalb würde im Überlagerungszustand eine Schwingung ablaufen, bei der das Elektronium sich ausdehnt und wieder zusammenzieht aber dabei nicht abstrahlen könnte.
- Übergänge mit $\Delta l = 0$ würden bedeuten, dass Anfangs- und Endzustand gleiches $l \neq 0$ haben. Dann liegt eine Quadrupolstrahlung vor, die fast keine Energie abstrahlt. Die betreffenden Übergänge sind also nicht bzw. fast nicht zu beobachten und wurden daher „verboten“ genannt.

Die Hülle der Atoms ist von einem kontinuierlich verteilten Stoff „Elektronium“ erfüllt, dessen Dichte nach außen hin abnimmt wie z.B. die Atmosphäre der Erde. Wenn man „hineingreift“ / Elektronenlokalisationen durchführt, so erhält man immer nur ganzzahlige Vielfache der Elementarladung. Aus den Lösungen Ψ_i der Schrödingergleichung, die jeweils einen möglichen Zustand des Atoms beschreiben, kann man die Dichte r und die Stromdichte j berechnen. Durch Multiplikation mit der Elementarladung und der Elektronen Masse ergeben sich daraus die Ladungsdichte $\mathbf{r}_e = -e \cdot r$ und die Massendichte $\mathbf{r}_m = m \cdot r$ sowie die el. Stromdichte $\mathbf{j}_e = -e \cdot j$ und die Massenstromdichte $\mathbf{j}_m = m \cdot j$.

Die Rechnung zeigt, dass es stationäre (zeitunabhängige) Zustände gibt, der Grundzustand und die angeregten Zustände, sich in ihrer Energie unterscheiden. E nimmt mit n zu. Bei Zufuhr von Energie geht das Elektronium in einen anderen Zustand / andere Form über (siehe Abb. 1 und 2). Da die el. Stromdichte entweder 0 oder zeitlich konstant ist, strahlt das Atom in diesen Zuständen nicht. Außerdem erklärt die el. Stromdichte, wenn sie von 0 verschieden ist, die Existenz von Magnetfeldern in den betreffenden Zuständen. Wenn $j \neq 0$, ist auch die Massenstromdichte von 0 verschieden und das Atom besitzt in den betreffenden Zuständen Drehimpuls (Abb. 3). Im Gegensatz zum Grundzustand sind die angeregten Zustände sehr instabil und eine kleine Störung (z.B. Zusammenstoß mit anderen Atomen) genügt um das Atom in einen energetisch tieferen Zustand übergehen zu lassen. Im Gegensatz zu den stationären Zuständen sind diese Übergangszustände (Überlagerung von Anfangs- und

Endzustand) zeitlich veränderlich. Sie beschreiben die Vorgänge beim Übergang des Atoms von einem angeregten Zustand in einen anderen Zustand. Das Elektronium vollführt dabei unterschiedliche Bewegungen, die entweder an die Schwingungen der Ladung beim Hertzschen Dipol erinnern (starke Abstrahlung mit Dipolcharakter Abb. 4) oder an zwei im Gegentakt schwingende Dipole (schwache Abstrahlung mit Quadrupolcharakter Abb. 5) oder kugelsymmetrisch oszillierende Ladung, die nicht abstrahlt. Bei Dipolstrahlung spricht man von erlaubten Übergängen, bei Quadrupolstrahlung und kugelsymmetrischer Oszillation von verbotenen Übergängen.

Führe anschließend eine Auswertung Deiner Tabelle durch, die jeweils einen Zusammenhang zwischen den Änderungen der Quantenzahlen und Dipolstrahlung oder Quadrupolstrahlung Linear polarisiertem Licht und zirkularpolarisiertem Licht herstellen.

Hinweis: Da eine Schwingung als Projektion einer Kreisbewegung aufgefasst werden kann, liegen bei kreisförmig beschleunigten Ladungen analoge Verhältnisse vor wie bei entlang einer Geraden oszillierenden Ladungen!

Welche experimentellen Möglichkeiten gibt es, die Modellvorstellungen vom quantenphysikalischen Atommodell zu überprüfen?