

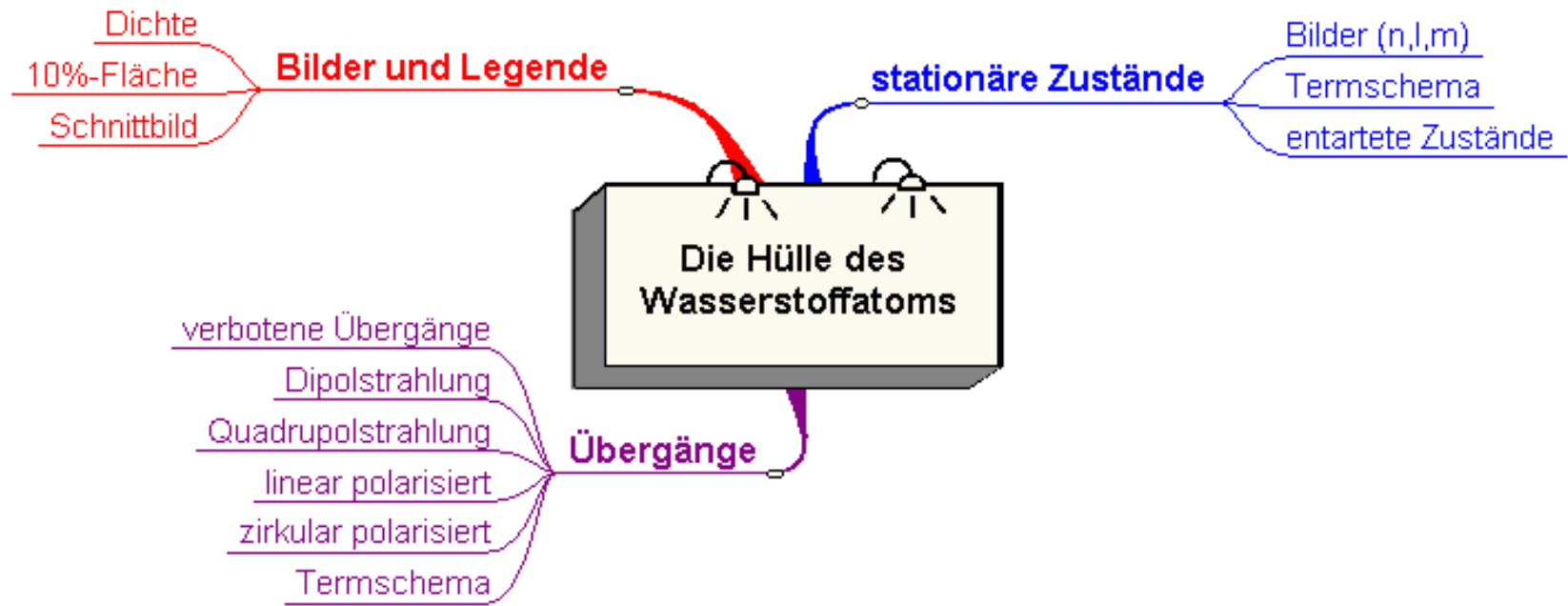
Das Wasserstoffatom

Michael Pohlig
WHG-Durmersheim Didaktik der Physik an der Uni KA
michael@pohlig.de

Literatur:

Bronner, Hauptmann, Herrmann: Wie sieht ein Atom aus? (PdN-PhiS 2/55 Jg 2006)
CD Das Wasserstoffatom im Bild (Aulis Verlag Deubner)
Herrmann: Skriptum für SII; <http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de>

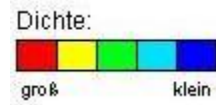
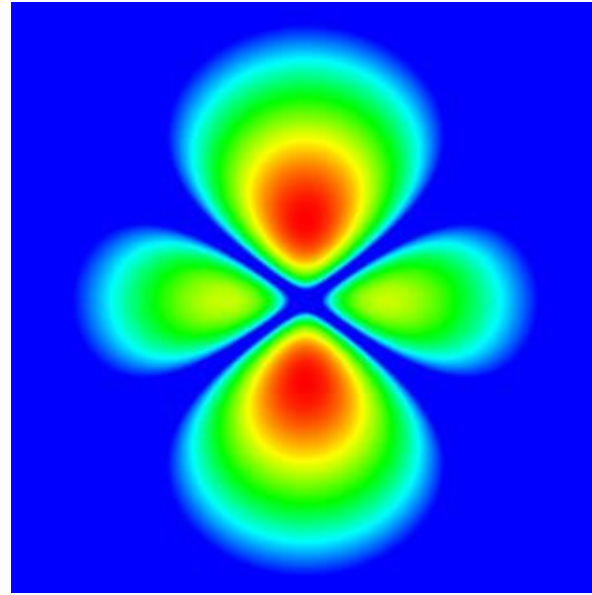
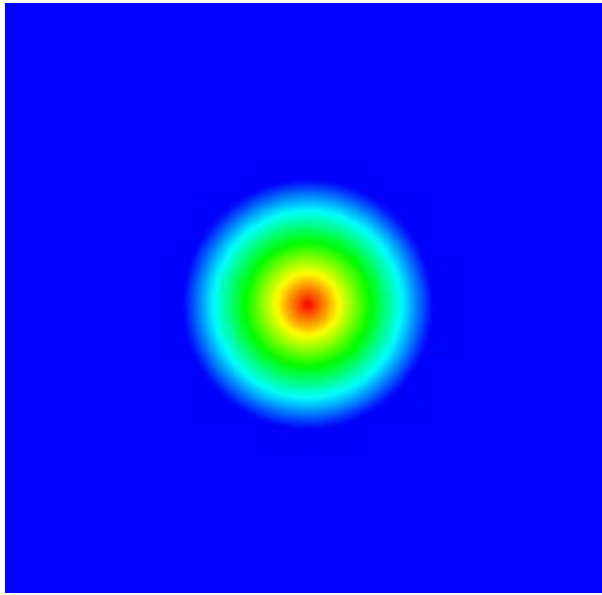
Übersicht



1. Bilder und Legende

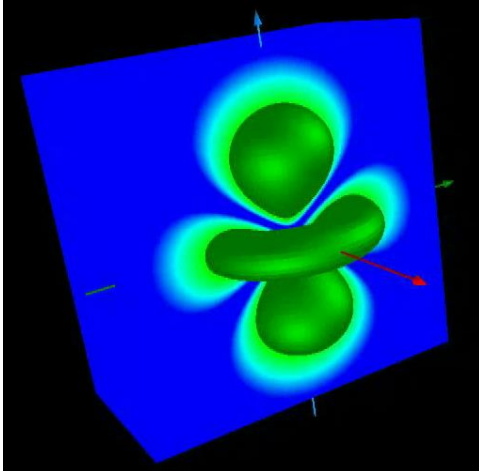
1.1 Dichte

Dichte-Bilder



1. Bilder und Legende

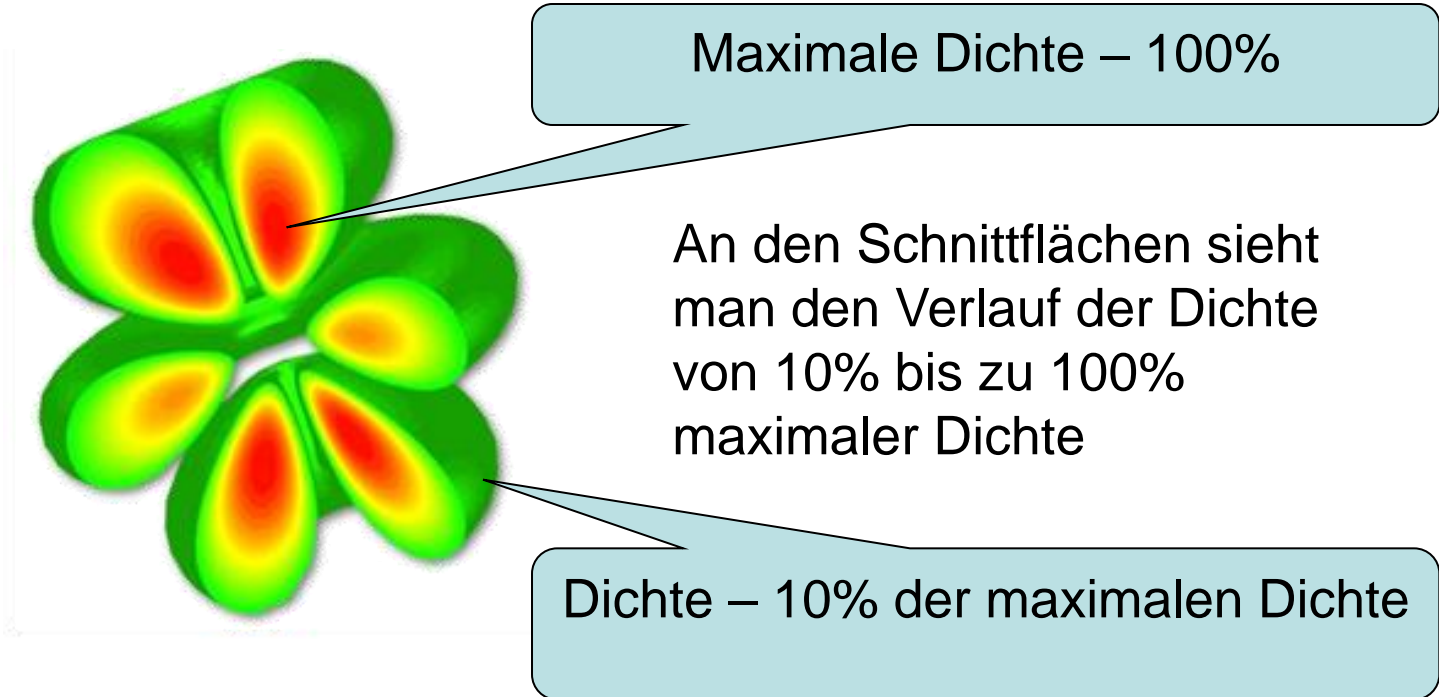
1.2 Die 10% Flächen

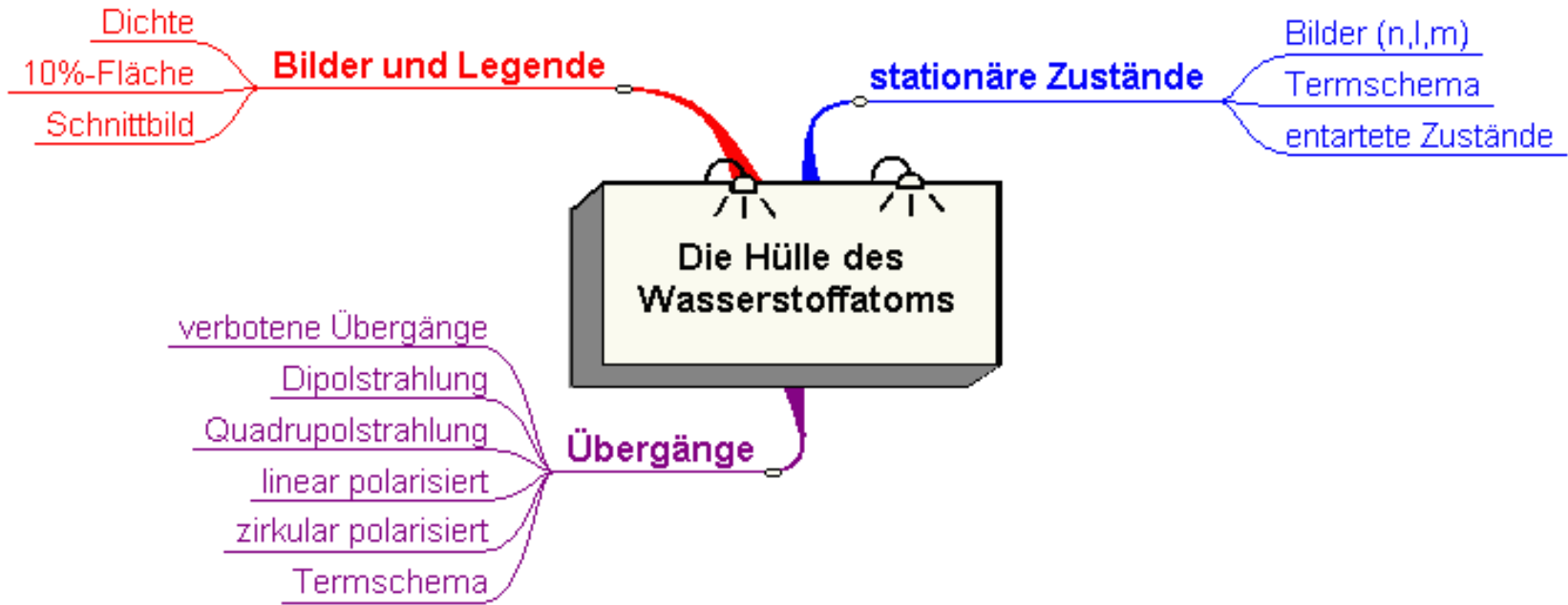


In der 3D-Darstellung der Flächen, bei denen die Dichte des Elektroniums 10% ihres Maximalwertes annimmt.

1. Bilder und Legende

1.3 Schnittbilder

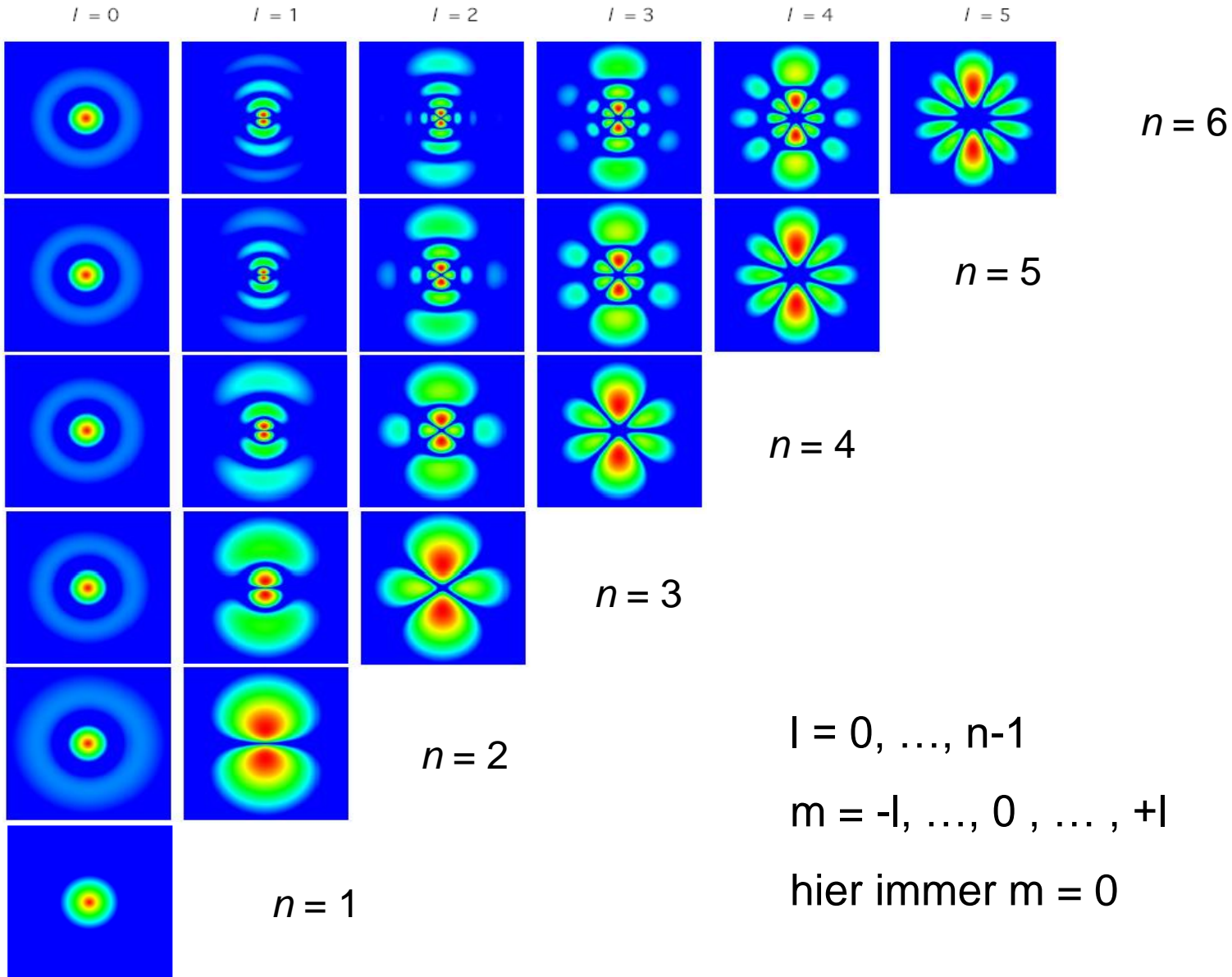




2. Stationäre Zustände

2.1 Dichte-Bilder (n,l,m)

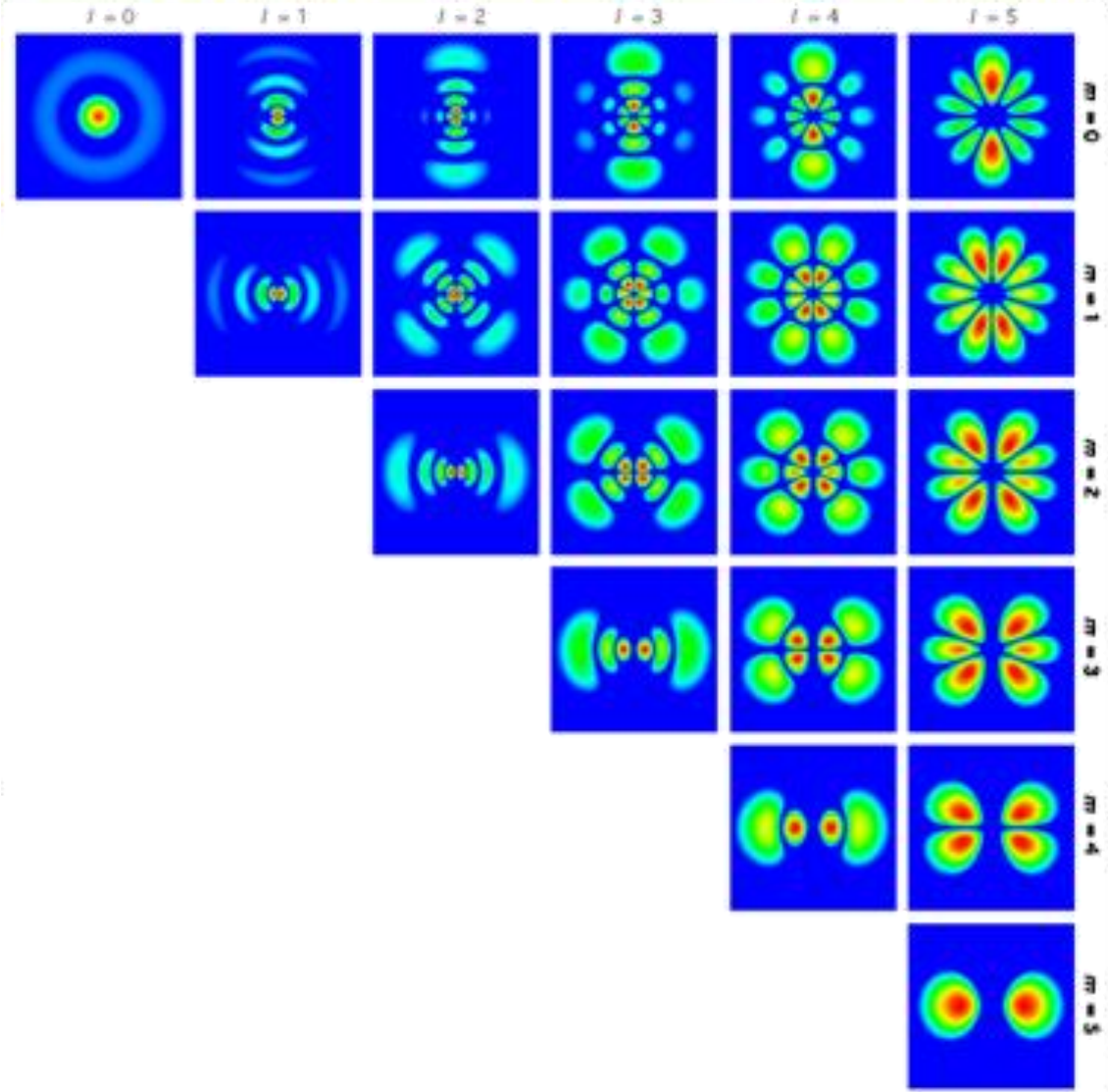
$$\Psi(\vec{r}, t) = u_k(\vec{r}) e^{-\frac{i}{\hbar} E_k t}$$



2. Stationäre Zustände

2.1 Dichte-Bilder (6,l,m)

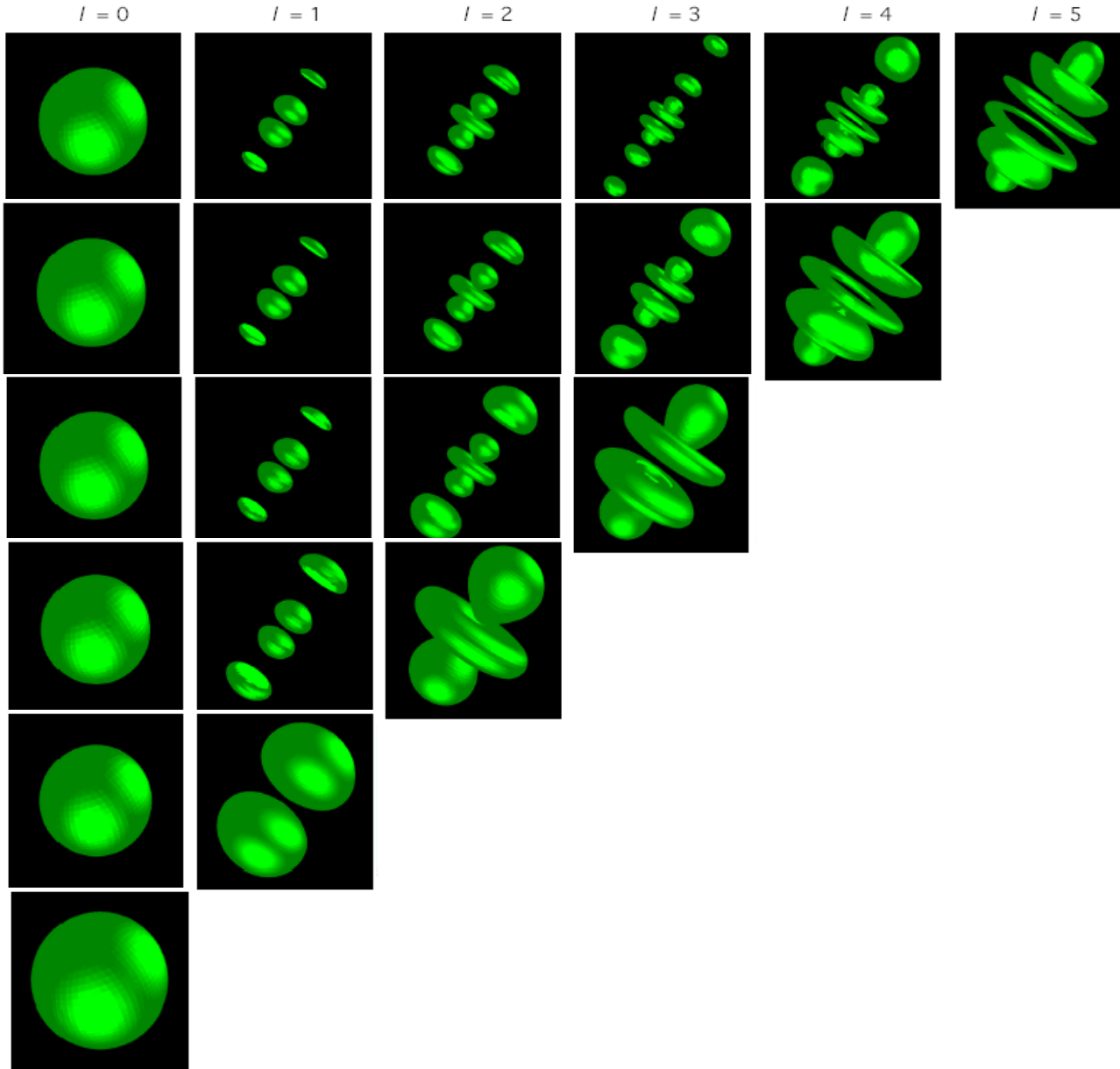
$n = 6$



2. Stationäre Zustände

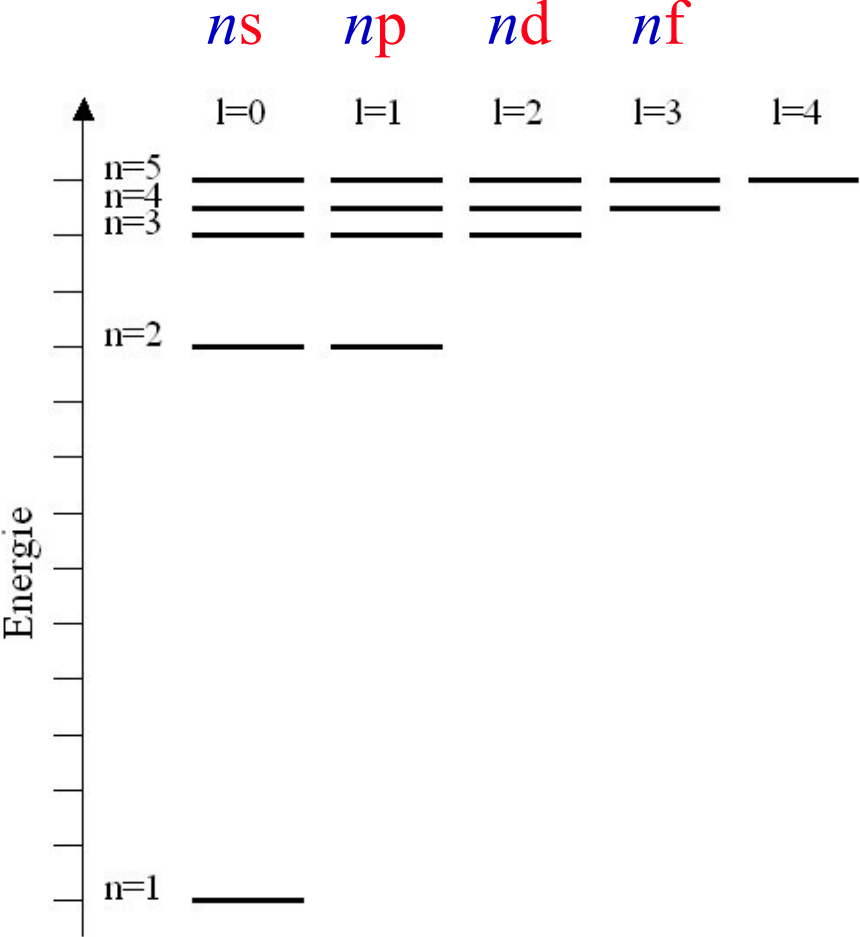
2.2 10%-Flächen-Bilder (n,l,m)

$$\Psi(\vec{r}, t) = u_k(\vec{r}) e^{-\frac{i}{\hbar} E_k t}$$



2. Stationäre Zustände

2.3 Termschema

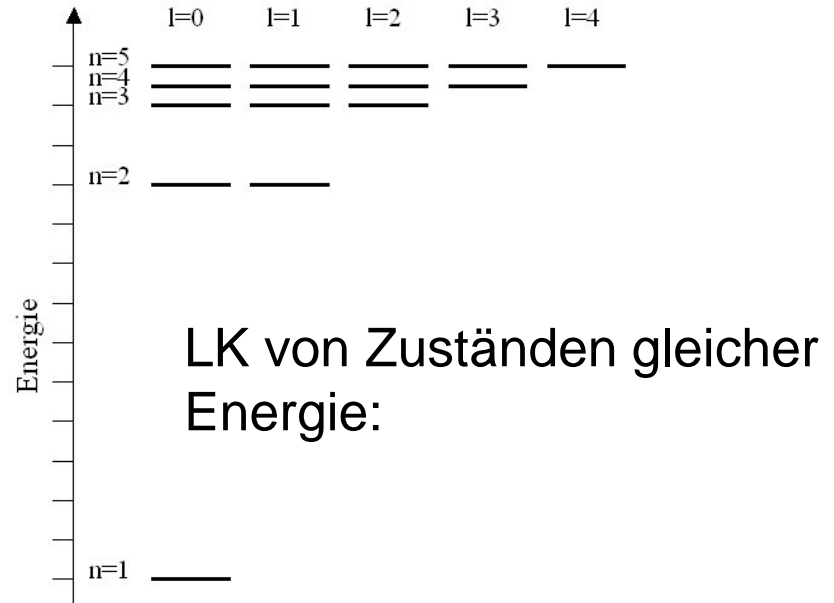


2. Stationäre Zustände

2.4 Entartete Zustände

$$\Psi(\vec{r}, t) = u_k(\vec{r}) e^{-\frac{i}{\hbar} E_k t}$$

$$\begin{aligned} \Psi(\vec{r}, t) &= \sum_{k \text{ mit gleichem } E} a_k u_k(\vec{r}) e^{-\frac{i}{\hbar} E_k t} \\ &= \sum_{k \text{ mit gleichem } E} a_k u_k(\vec{r}) e^{-\frac{i}{\hbar} E t} \\ &= e^{-\frac{i}{\hbar} E t} \cdot \sum_{k \text{ mit gleichem } E} a_k u_k(\vec{r}) \end{aligned}$$

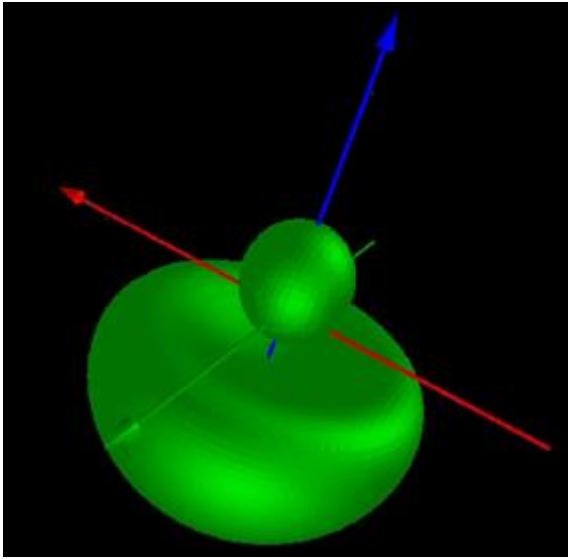


$$\begin{aligned} \rho &= \Psi^*(\vec{r}, t) \cdot \Psi(\vec{r}, t) \\ &= e^{+\frac{i}{\hbar} E_k t} \sum_{k \text{ mit gleichem } E} a_k u_k^*(\vec{r}) \cdot e^{-\frac{i}{\hbar} E_k t} \sum_{k \text{ mit gleichem } E} a_k u_k(\vec{r}) \\ &= \sum_{k \text{ mit gleichem } E} a_k u_k^*(\vec{r}) \cdot \sum_{k \text{ mit gleichem } E} a_k u_k(\vec{r}) \end{aligned}$$

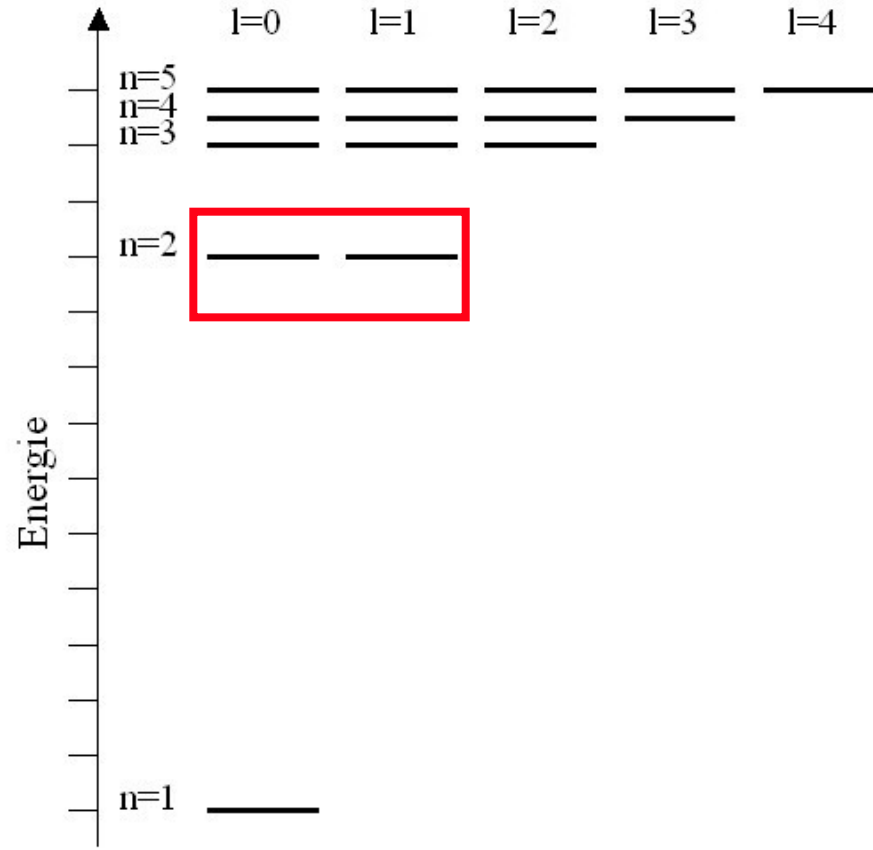
zeitunabhängig

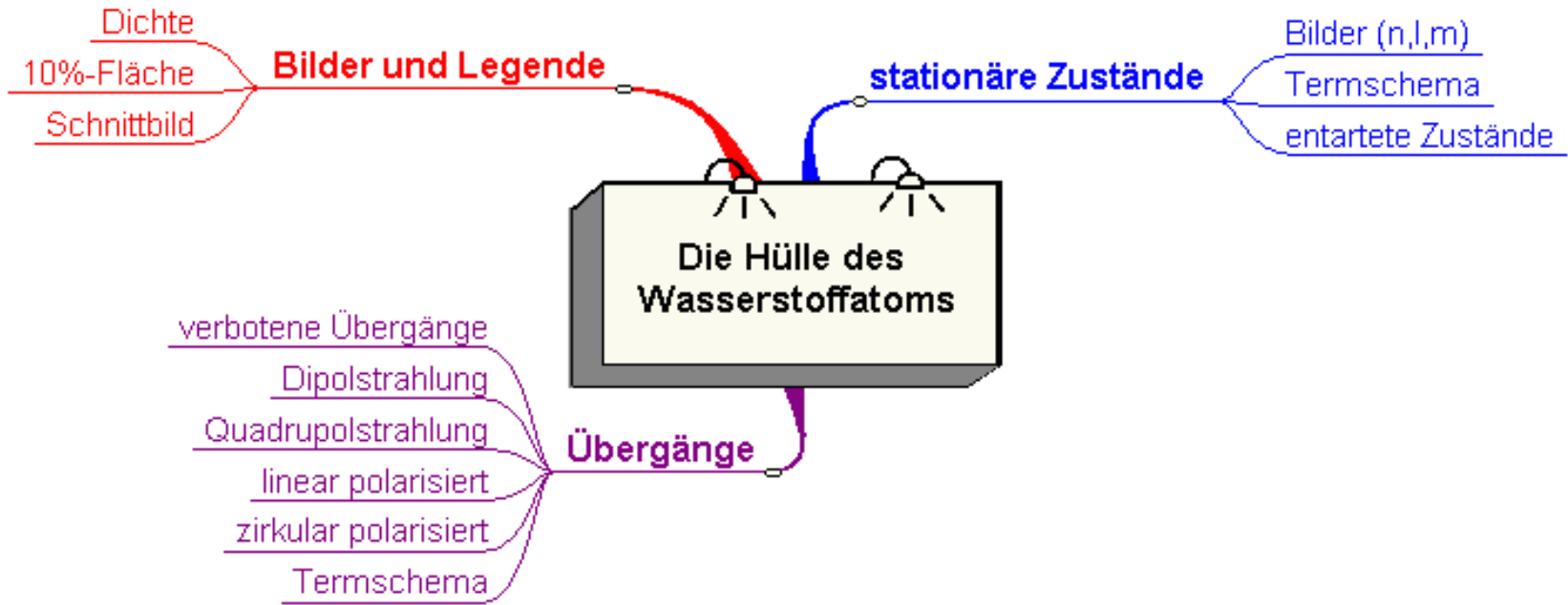
2. Stationäre Zustände

2.4 Entartete Zustände



Überlagerung der 2s-
2p-Zustände:
 sp^2 -Hybrid-Orbital

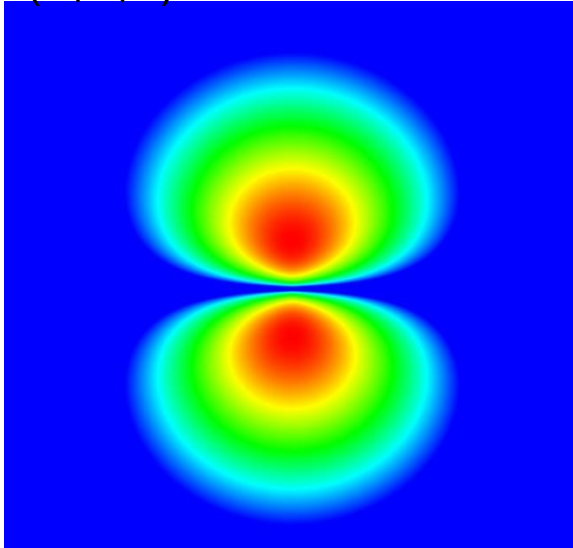




3. Übergänge

3.1 Dipolstrahlung

(2,1,0)

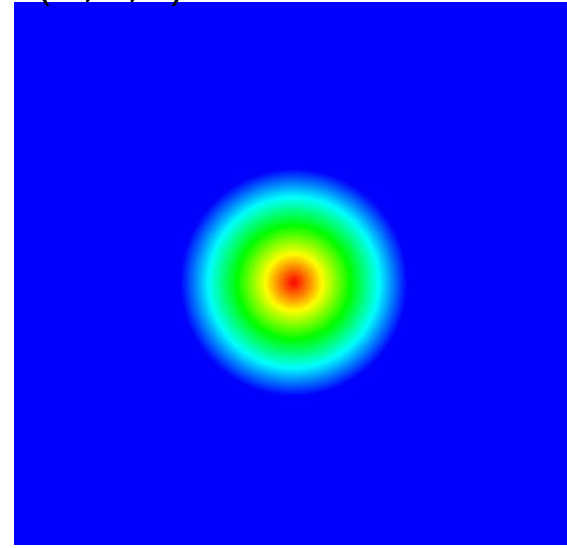


Übergang Dichte

Übergang Dichte Stroboskop

Übergang 3D

(1,0,0)



Eine Schwingung: 10^{-15} s

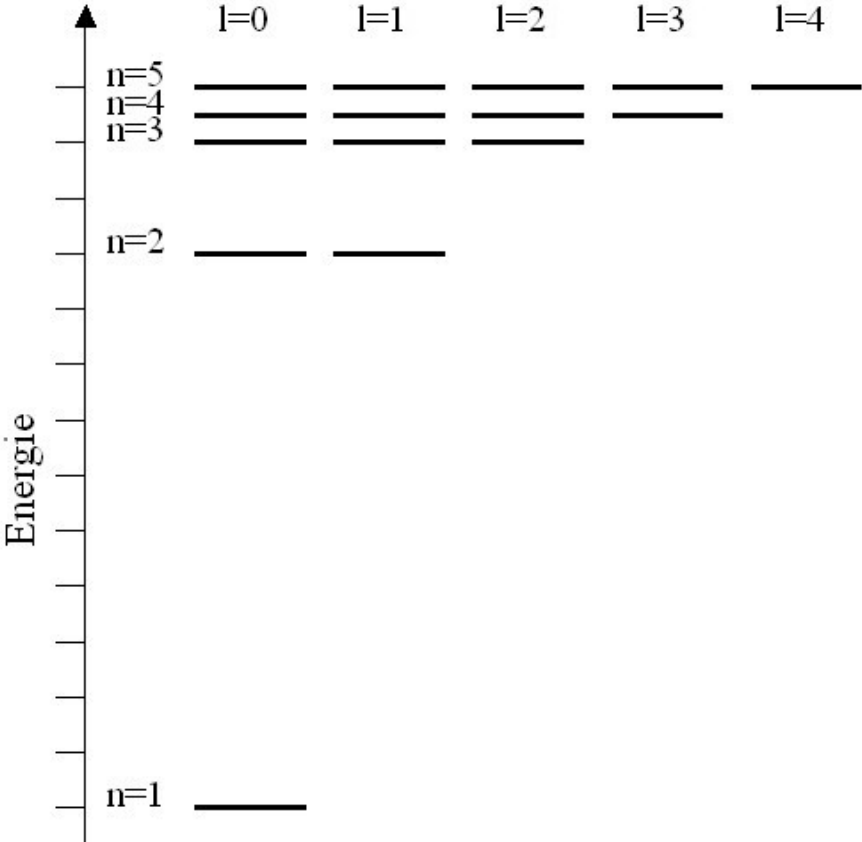
Anzahl der Schwingungen: 10^7

Dauer des Übergangs: 10^{-8} s

$\Delta l = \pm 1$: Dipolcharakter

3. Übergänge

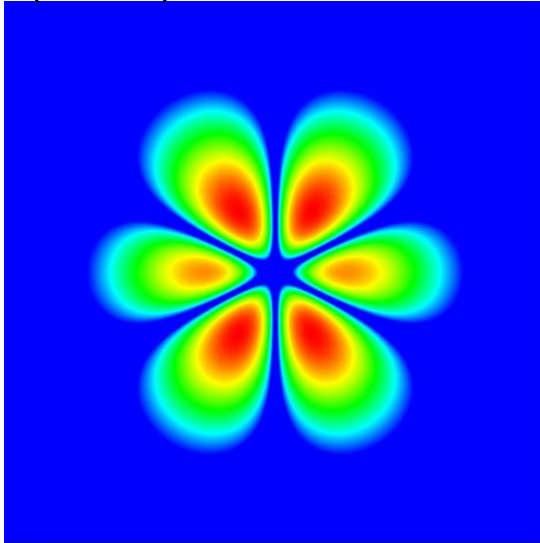
3.2 Termschema-Übergänge



3. Übergänge

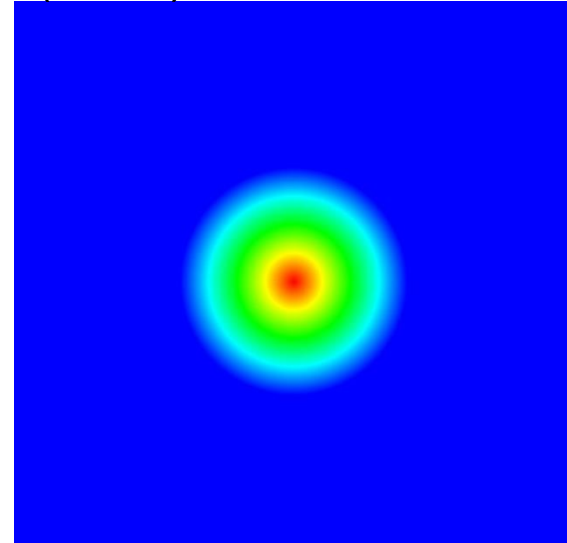
3.3 Quadrupolstrahlung

(4,3,1)



Übergang Stroboskop

(2,1,0)



$\Delta l = 0$ oder $\Delta l = \pm 2$:
Quadrupolcharakter

3. Übergänge

3.4 Beispiele von Quadrupolstrahlung und höhere Anregungen

$$\underline{(3,1,1) - (2,1,0)}$$

Quadrupolstrahlung

$$\underline{(4,3,0) - (2,1,0)}$$

$$\underline{(4,2,2) - (3,2,0)}$$

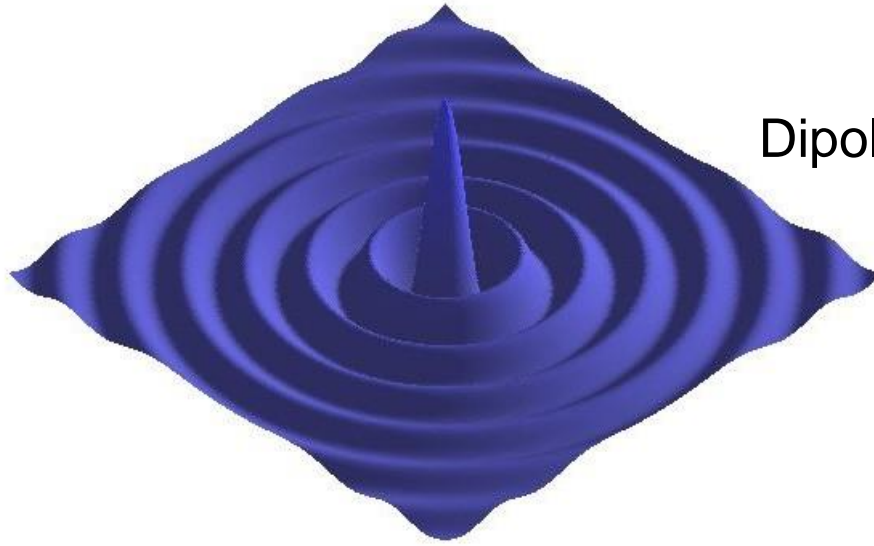
$$\underline{(6,4,2) - (5,3,2)}$$

Übergänge hochangeregter
Zustände

$$\underline{(12,5,1) - (10,6,1)}$$

3. Übergänge

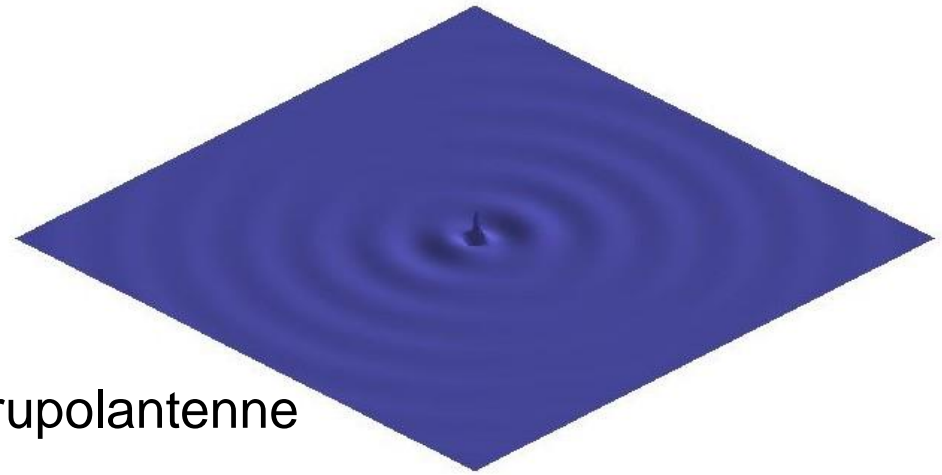
3.5 Vergleich Dipol- Quadrupolstrahlung



Dipolantenne

Hat die Strahlung Dipolcharakter, dann ist der Übergang „erlaubt“ ($\Delta l = \pm 1$).

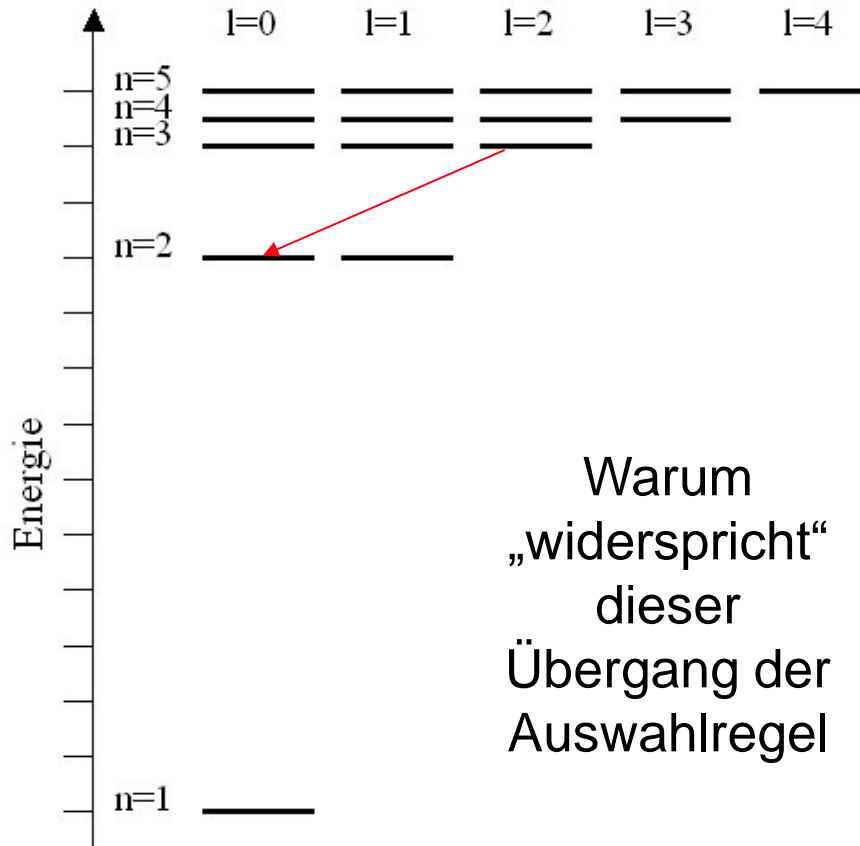
Hätte die Strahlung Quadrupolcharakter, dann ist der Übergang „nicht erlaubt“ ($\Delta l = 0$ oder $\Delta l = \pm 2$).



Quadrupolantenne

3. Übergänge

3.6 Auswahlregel



Warum
„widerspricht“
dieser
Übergang der
Auswahlregel

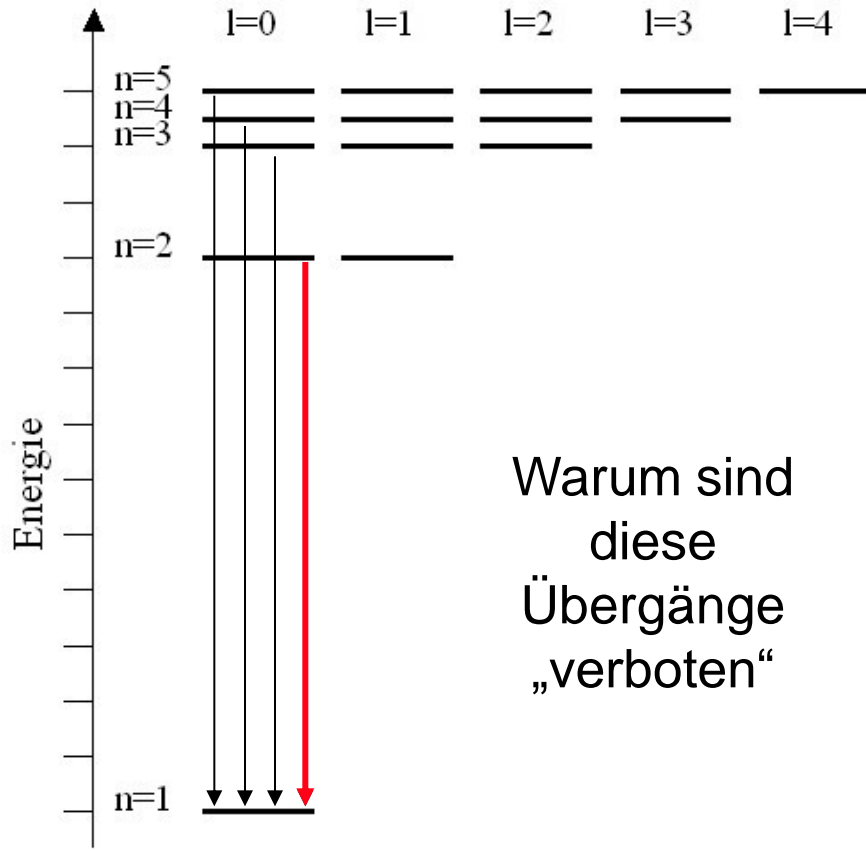
Drehimpuls eines
Photons: $1\hbar$

Übergang nur
wenn: $\Delta l = \pm 1$

Wo ist der Drehimpuls
bei Übergängen mit
Quadrupolstrahlung?

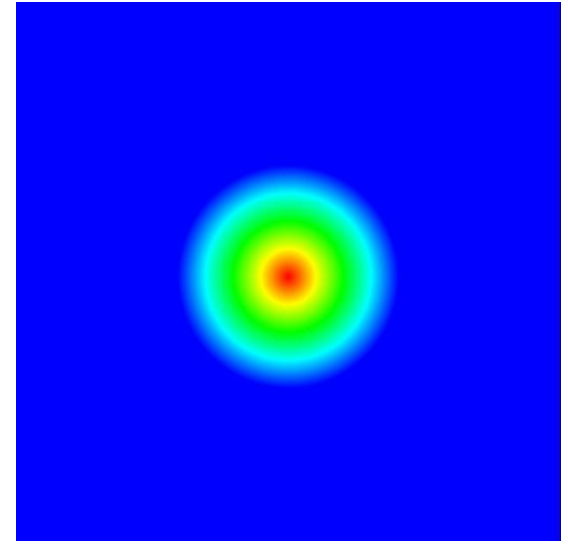
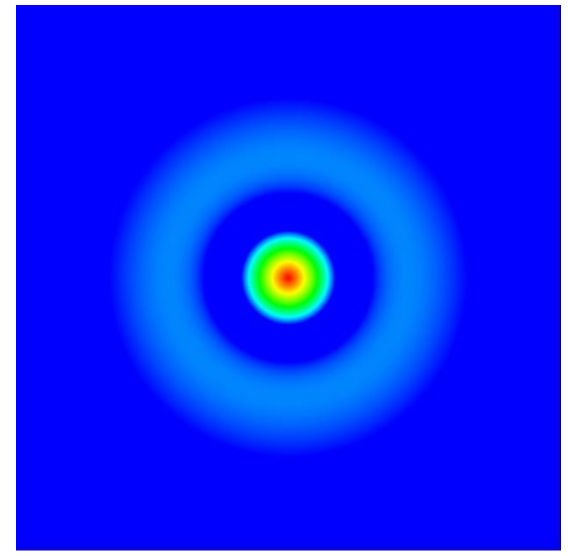
3. Übergänge

3.7 Verbotene Übergänge



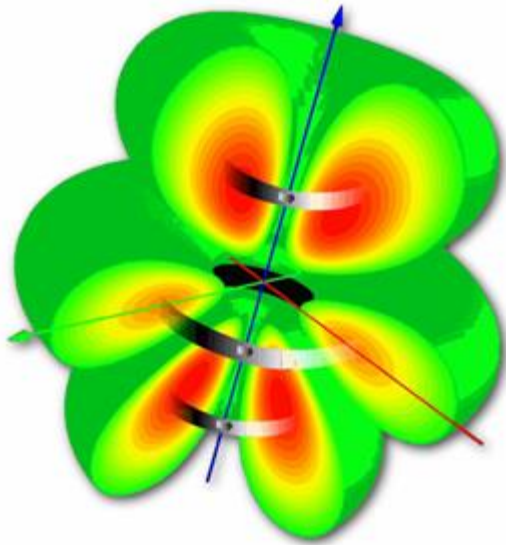
Warum sind diese Übergänge „verboten“

So tun als ging es.



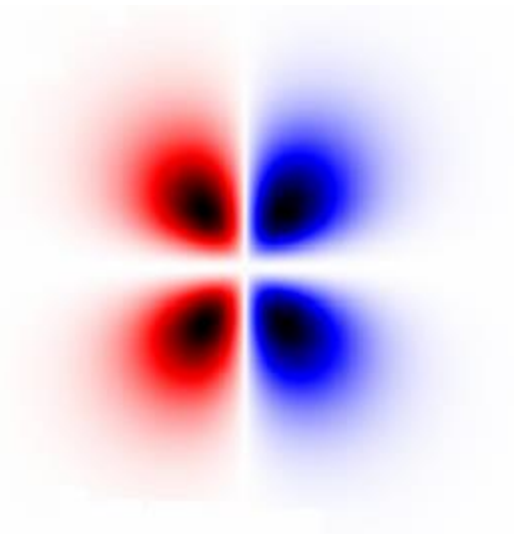
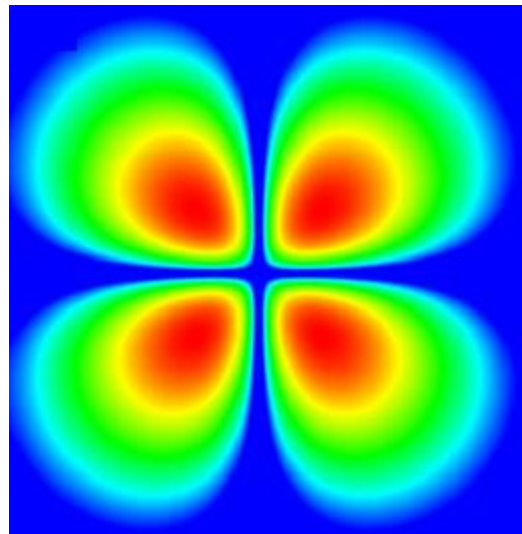
3. Übergänge

3.8 Strömendes Elektronium



Elektroniumdichte im Schnitt und Strömung des Elektroniums durch Pfeile angedeutet

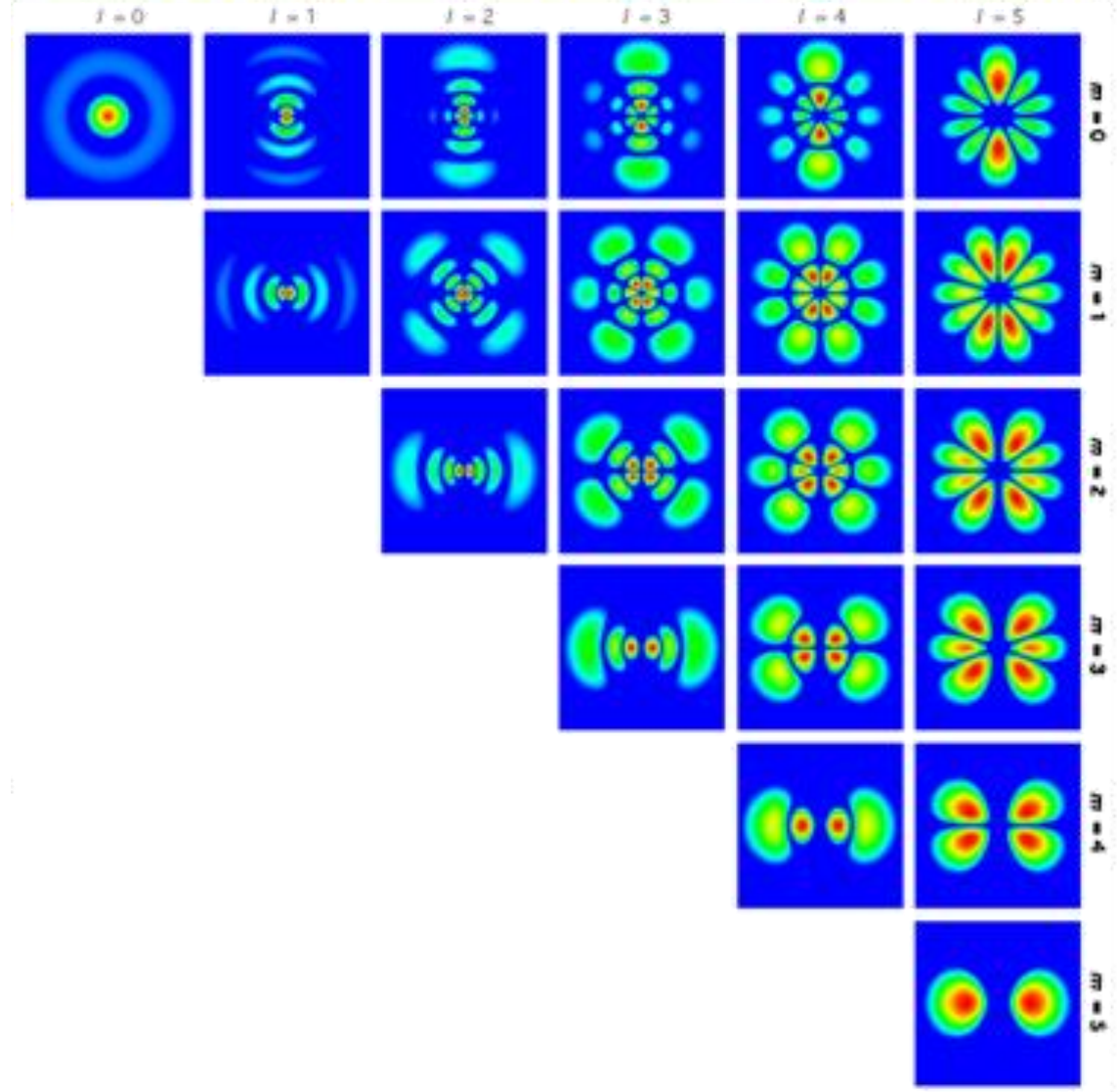
Elektroniumdichte in 2D Darstellung und Stromdichte: rot aus der Bildebene heraus, blau in die Bildebene hinein



2. Stationäre Zustände (noch einmal)

2.1 Dichte-Bilder (6,l,m)

$$n = 6$$



3. Übergänge

3.9 Übergänge $\Delta m = 0$

$$\underline{(2,1,0) - (1,0,0)}$$

$$\underline{(4,3,0) - (2,1,0)}$$

$$\underline{(6,4,2) - (5,3,2)}$$

$$\underline{(12,5,1) - (10,6,1)}$$

Ändert sich bei einem Übergang die Quantenzahl m nicht, so wird linear polarisiertes Licht ausgestrahlt.

3. Übergänge

3.10 Übergänge $\Delta m = \pm 1$

$$\underline{(2,1,1) - (1,0,0)}$$

$$\underline{(2,1,-1) - (1,0,0)}$$

Ändert sich bei einem Übergang die Quantenzahl m um ± 1 , so wird zirkular polarisiertes Licht ausgestrahlt.

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.

Was fehlt noch?

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.