

Leon the electron was not sure just to where he'd been blasted when the photon struck, but indicators suggested he was now in one of the atom's degenerate orbitals.

#### Beiträge zu Energieniveaus des H-Atoms:

- Bohr'sche Energieterme:  
(nichtrelativistische) Coulomb-Wechselwirkung Elektron-Kern
- Feinstruktur (nach Dirac):
  - Relativistische Massenzunahme
  - Spin-Bahn Kopplung
- Hyperfeinstruktur:  
Wechselwirkung von Kernspin und Drehimpuls der Elektronen
- Lamb-Shift:  
Wechselwirkung des Atoms mit dem elektromagnetischen Strahlungsfeld

### 4-8 / 3 Wiederholung H-Atom

- Quantenzahlen (Bohrsche Terme + Feinstruktur):**

- Hauptquantenzahl  $n = 1, 2, \dots$
- Bahndrehimpulsquantenzahl  $l = 0, 1, \dots, n-1$  ( $n$  Werte)  
magnetische Quantenzahl  $m_l$  mit  $-l \leq m_l \leq l$  ( $2l + 1$  Werte)
- Spinquantenzahl  $s = \frac{1}{2}$   
magnetische Quantenzahl  $m_s = \pm \frac{1}{2}$
- Gesamtdrehimpulsquantenzahl  $j = l \pm \frac{1}{2}$   
magnetische Quantenzahl  $m_j$  mit  $-j \leq m_j \leq j$  ( $2j + 1$  Werte)

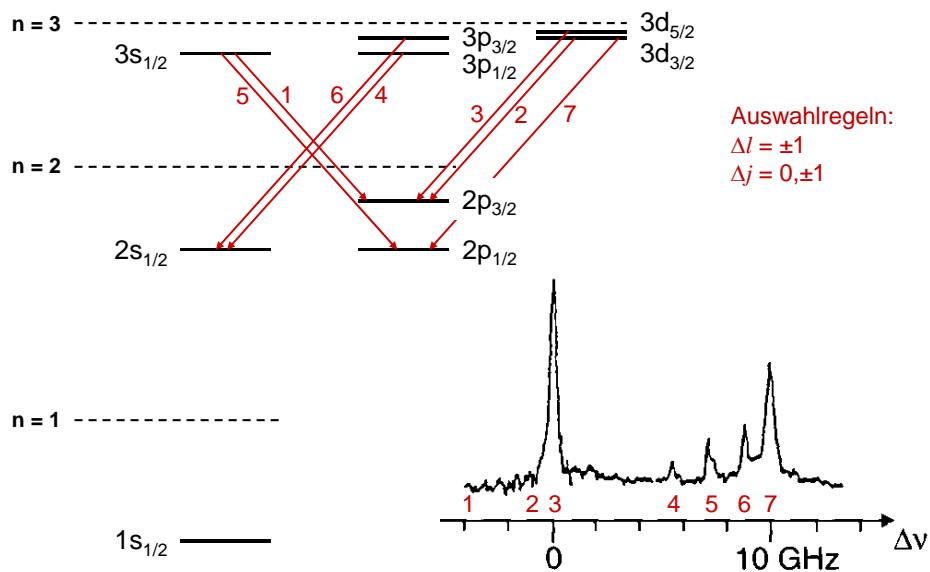
- Nomenklatur:**  $n^{(2s+1)l_j}$  z.B.  $3d_{5/2}$  bzw.  $3^2d_{5/2}$

- Energie (Bohrsche Terme  $E_n$  + Feinstruktur):**

$$E_{nj} = E_n \left[ 1 - \frac{Z^2 \alpha^2}{n} \left( \frac{1}{j + \frac{1}{2}} - \frac{3}{4n} \right) \right] \quad \text{mit} \quad E_n = -R_y \cdot h \cdot c \cdot \frac{Z^2}{n^2} \approx -13.6 \text{ eV} \cdot \frac{Z^2}{n^2}$$

### 4-8 / 4 Wiederholung Feinstrukturaufspaltung

#### Termschema und $H_\alpha$ -Übergänge H-Atom



## 4-8 / 5      Eigenschaften Kernspin

---

### Eigenwerte und Quantenzahlen:

- Betrag:  $|\vec{I}| = \sqrt{I(I+1)}\hbar$
- Z-Komponente:  $I_z = m_I \cdot \hbar; \quad -I \leq m_I \leq I$

### Magnetisches Kernmoment:

$$\vec{\mu}_I = \gamma \vec{I} = g_I \frac{\mu_K}{\hbar} \cdot \vec{I}$$

$$\text{Kernmagneton } \mu_K = \frac{e_0 \hbar}{2m_p} = \frac{\mu_B}{1836}$$

Kerr-g-Faktor  $g_I$

- Häufig wird maximal beobachtete Komponente  $g_I \mu_K I$  als magnetisches Moment des Kerns bezeichnet
- Kerr-g-Faktor kann positiv oder negativ sein  $\rightarrow$  Magnetisches Kernmoment parallel oder antiparallel zu Kernspin

## 4-8 / 6      Hyperfeinstruktur

---

### Gesamtdrehimpuls des Atoms (inkl. Kern):

$$\vec{F} = \vec{j} + \vec{I} \quad |\vec{F}| = \sqrt{F(F+1)}\hbar; \quad |j-I| \leq F \leq j+I$$

### Spin-Bahn-Kopplungsenergie:

$$\Delta E_{HFS} = -\vec{\mu}_I \cdot \vec{B}_j = \frac{1}{2} a_{HFS} [F(F+1) - j(j+1) - I(I+1)]$$

$$\text{Hyperfeinstruktur-Kopplungskonstante } a_{HFS} = \frac{g_I \mu_K B_j}{\sqrt{j(j+1)}}$$

Beiträge zu  $B_j$ :

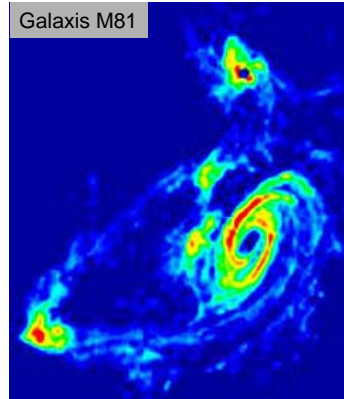
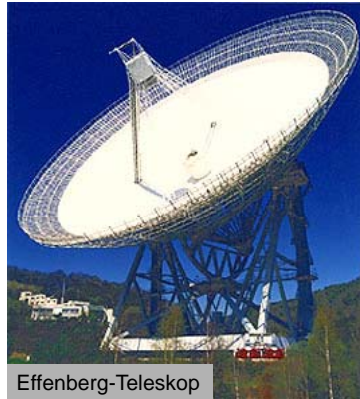
- „Kontakt“-Wechselwirkung von Kernspin mit Spin der (s-) Elektronen am Kernort
- „Orbital“-Wechselwirkung der magnetischen Dipolmomente von Kern und Elektron

4-8 / 7

Anwendung der Hyperfeinstruktur

Radioastronomie:

Beobachtung der Konzentration von interstellarem neutralem Wasserstoff über 21 cm Linie



<http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect20/A3.html>

4-8 / 8

Lamb-Shift

Experimentelle Beobachtung:

- Aufhebung der j-Entartung in Feinstruktur des H-Atoms
- Direkte Übergänge  $2^2s_{1/2} \rightarrow 2^2p_{1/2}$  durch Absorption von Mikrowellenstrahlung (1050 MHz) induzierbar

Ursprung:

- Absorption/Emission „virtueller“ Photonen

