

Quantenphysik in der Sekundarstufe I

Atomphysik

Dr. Holger Hauptmann
Europa-Gymnasium Würth
holger.hauptmann@gmx.de

Inhalt

1. Der Aufbau der Atome
2. Größe und Dichte der Atomhülle
3. Die verschiedenen Zustände der Atomhülle
4. Photonen
5. Die Anregung von Atomen mit Photonen
6. Die Rückkehr in den Grundzustand
7. Die Halbwertszeit der angeregten Zustände
8. Die Anregung von Atomen mit Elektronen
9. Anwendungen (Gase als Lichtquellen)

1. Der Aufbau der Atome

Grundlagen:

- Die Stoffe um uns bestehen aus *Atomen*.
- Es gibt gut 100 verschiedene Atome (sog. Elemente).
- Setzt man Atome zusammen erhält man *Moleküle*.
- Die große Zahl verschiedener (Rein-)Stoffe ergibt sich aus unzähligen Kombinationen von Atomen zu Molekülen.

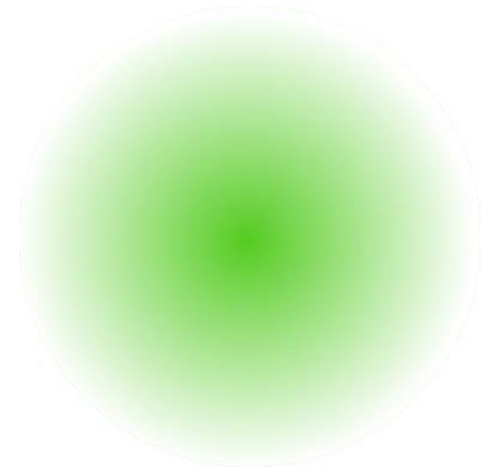
Atome:

- kugelförmig
- insgesamt elektrisch neutral
- bestehen aus einem Kern und einer Hülle

1. Der Aufbau der Atome

Atomhülle:

- kugelsymmetrisch um Kern verteilt
- Dichte nimmt nach außen ab
- elektrisch negativ geladen
- Radius etwa 10^{-10} m (Kugel mit 90% der Atomhülle)
- Elementarportion: Elektron (Teilchen)



1. Der Aufbau der Atome

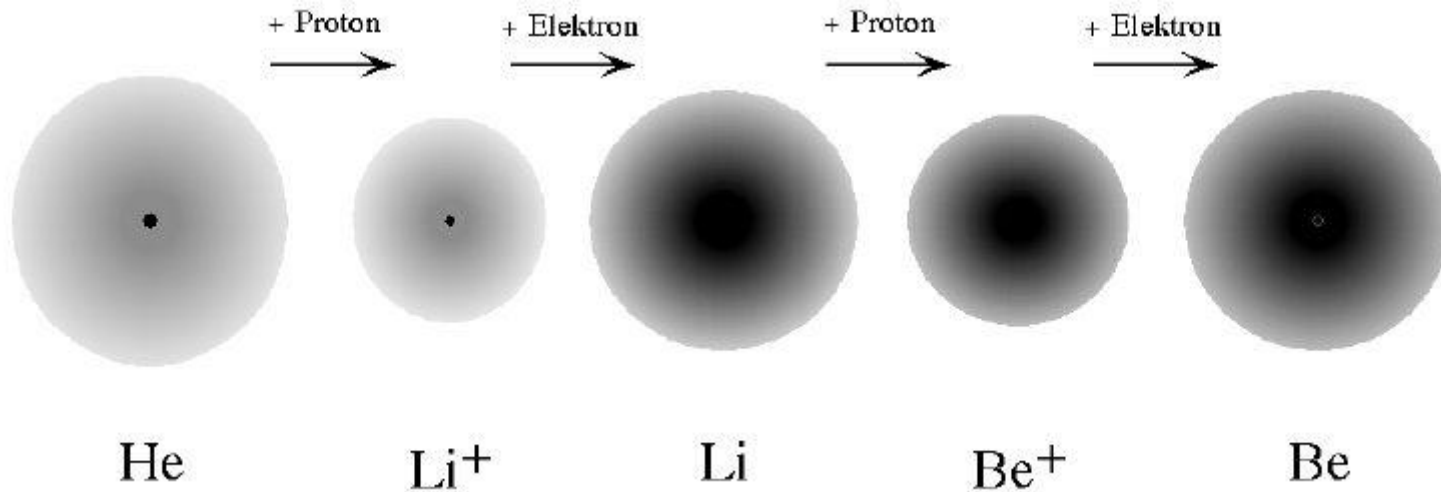
Atomkern:

- sehr klein (Durchmesser etwa $1/50\,000$ des Atomdurchmessers)
- sehr schwer (etwa 99,9% der Gesamtmasse des Atoms)
- Dichte konstant
- elektrisch positiv geladen
- Elementarportionen: Protonen und Neutronen
- Anzahl der Elektronen ist gleich Protonenzahl
- Protonenzahl bestimmt Atomsorte (Ordnungszahl)

1. Der Aufbau der Atome

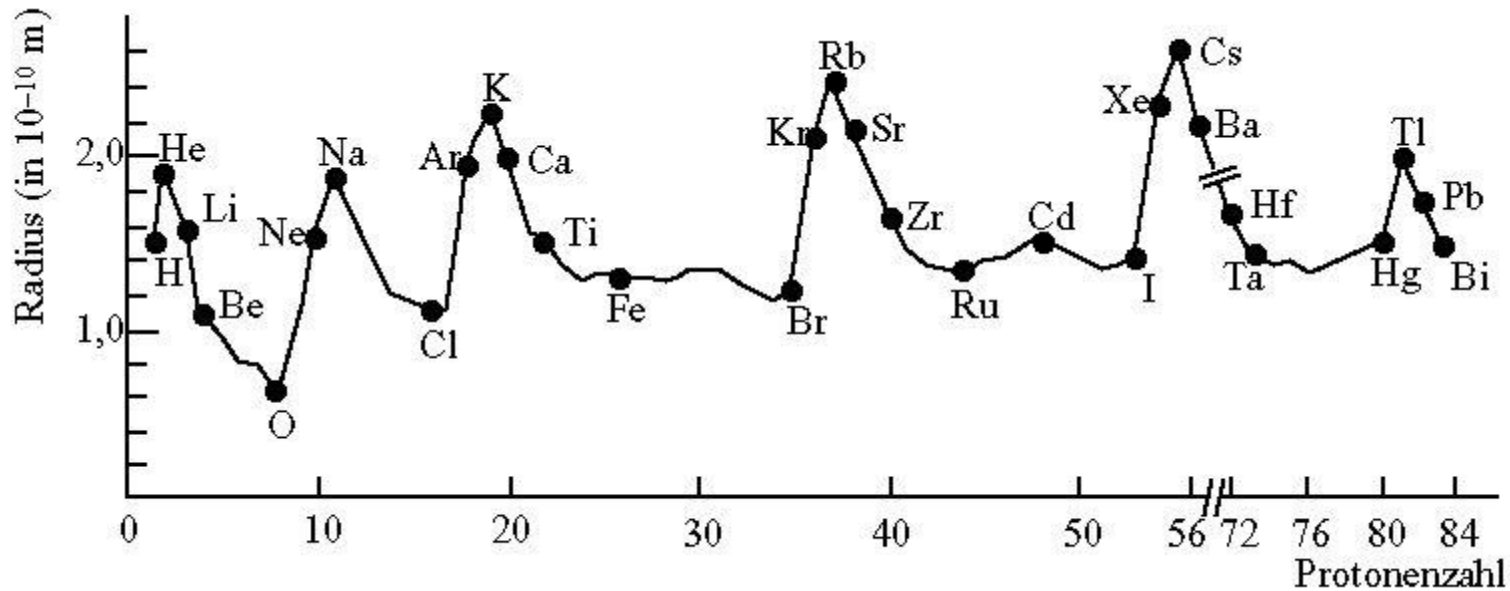
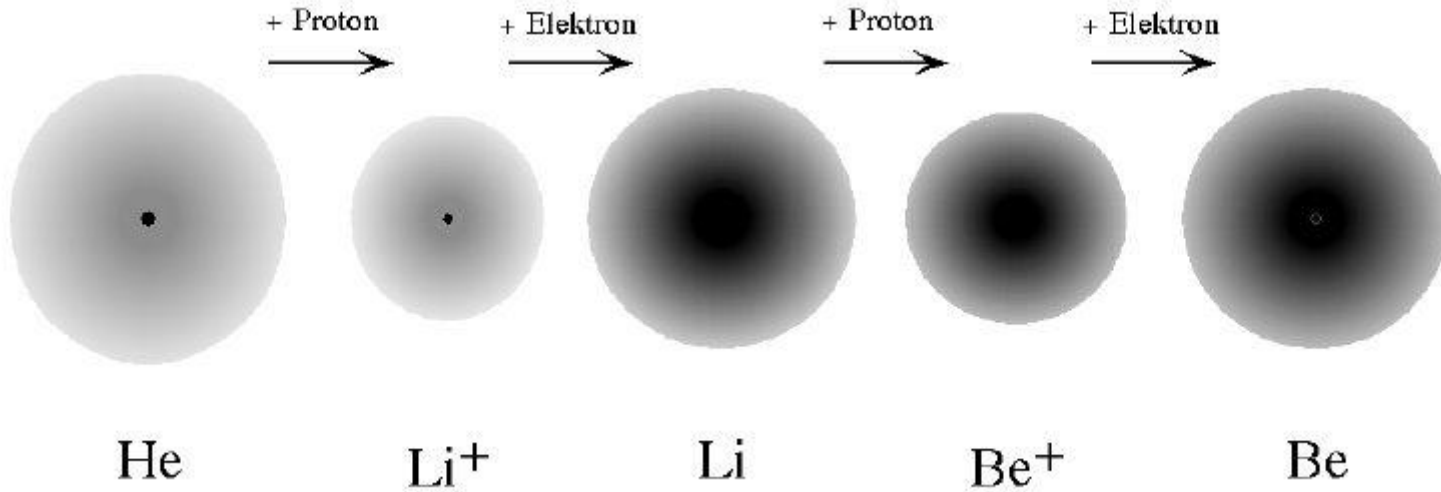
	Masse	elektrische Ladung	magnetisch
Elektron	$0,91 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$	$-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	stark
Proton	$1672,6 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$	$+1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	schwach
Neutron	$1674,9 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$	0	schwach

2. Größe und Dichte der Atomhüllen



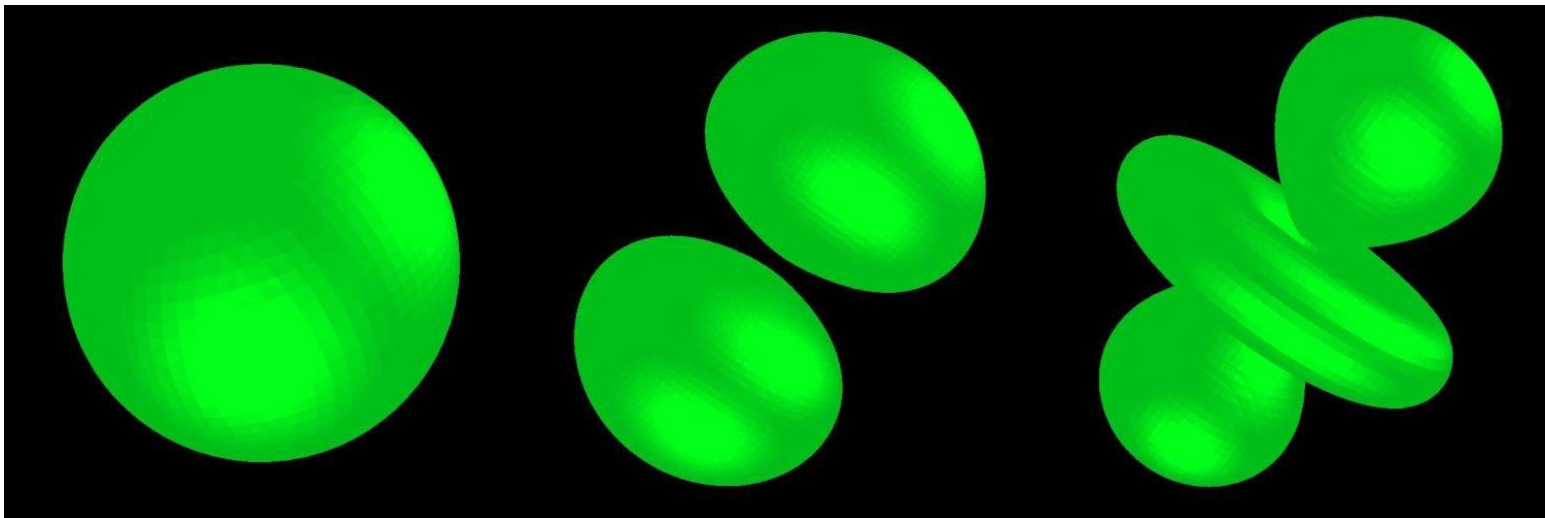
Der Radius der meisten Atome weicht nur wenig von 10^{-10} Meter ab. Sehr große Unterschiede gibt es dagegen bei der Dichte der Atomhüllen.

2. Größe und Dichte der Atomhüllen



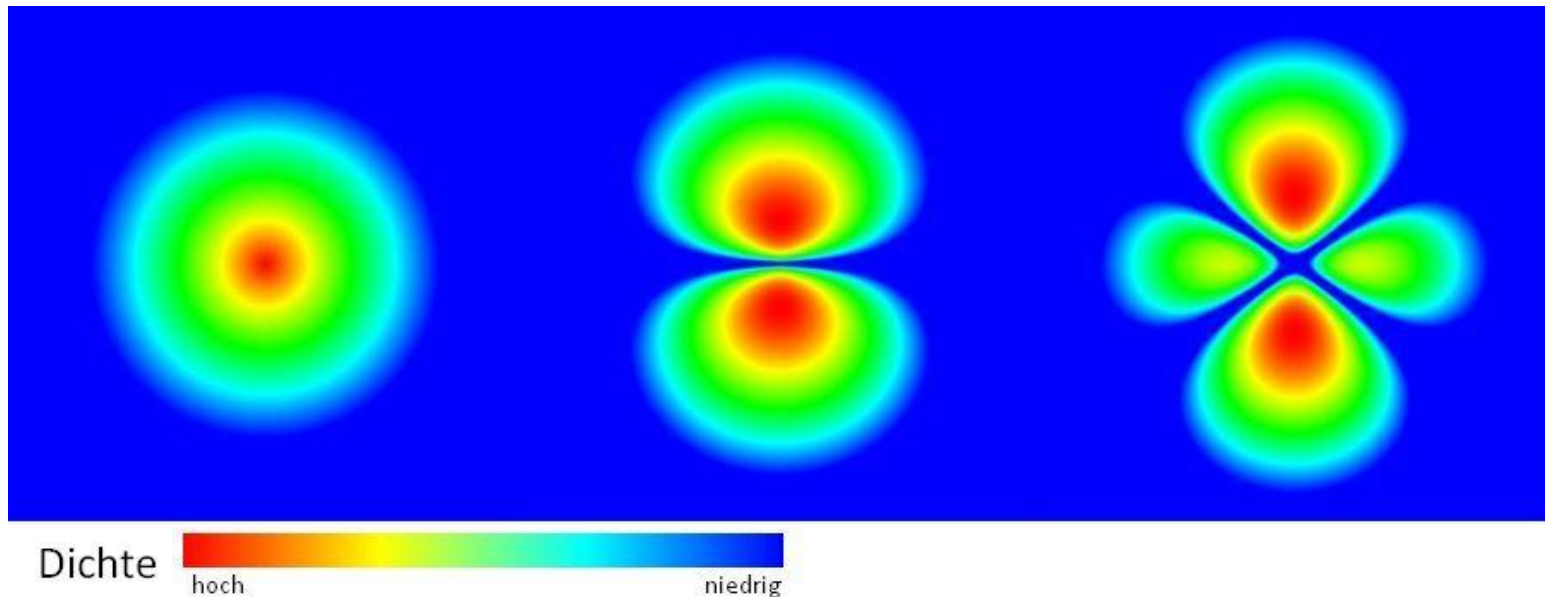
3. Die verschiedenen Zustände der Atome

- Atome sind nur im Grundzustand kugelrund.
- Wie Luftballons kann man Atome verformen, dazu benötigt man Energie.
- In manchen Formen können die Atome „einrasten“, man erhält einen *angeregten Zustand*.



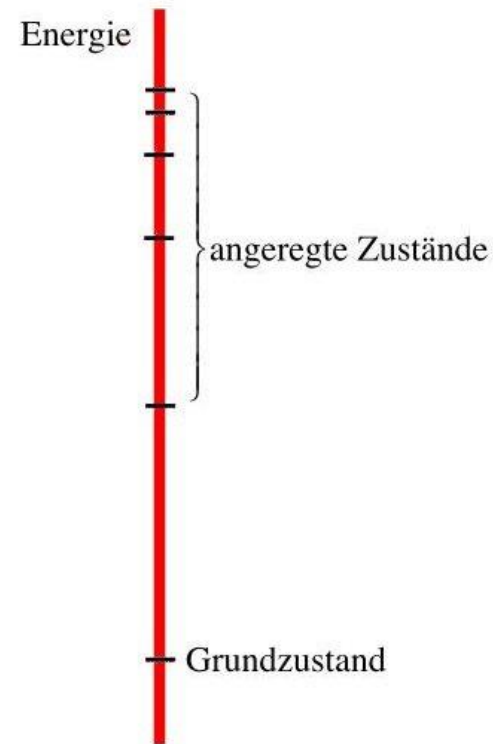
3. Die verschiedenen Zustände der Atome

- Atome sind nur im Grundzustand kugelrund.
- Wie Luftballons kann man Atome verformen, dazu benötigt man Energie.
- In manchen Formen können die Atome „einrasten“, man erhält einen *angeregten Zustand*.



3. Die verschiedenen Zustände der Atome

- Zur Anregung kann man das Atom z. B. mit Photonen oder Elektronen beschießen.
- Ein Atom kann in der Atomhülle nur ganz bestimmte Energiemengen speichern.
- Energieleiter:



4. Photonen

Aus Optik bekannt:

- weißes Licht enthält alle Farben des Regenbogens
- Licht ist eine elektro-magnetische Welle

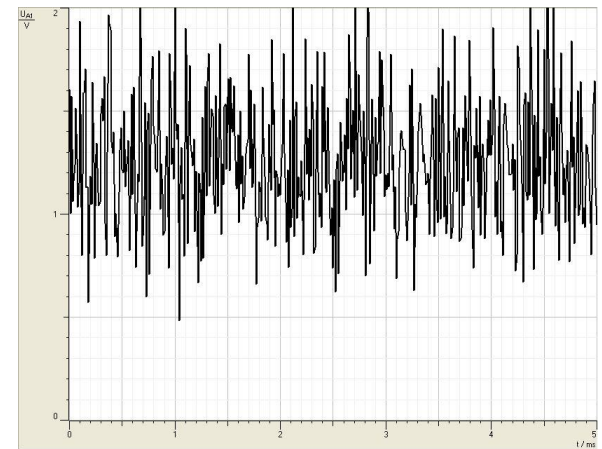
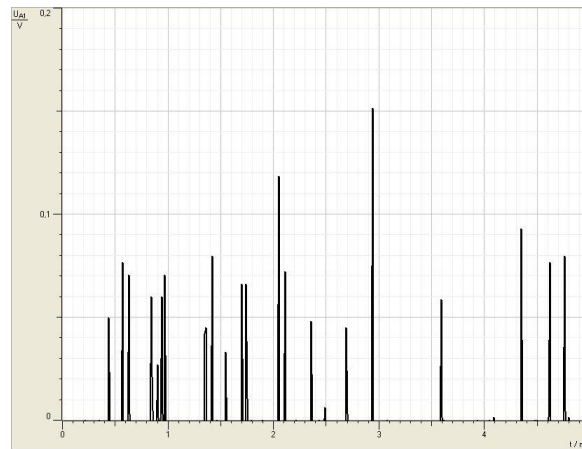
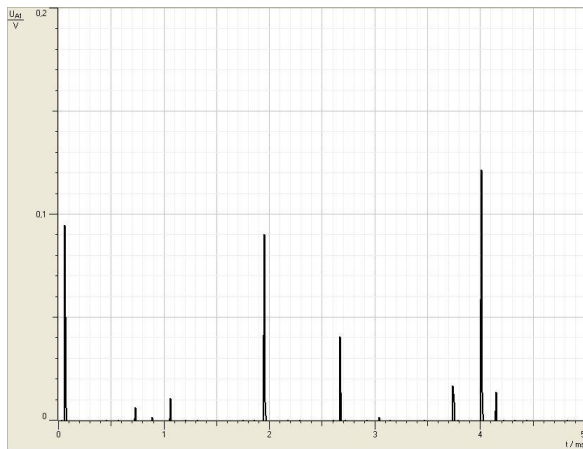
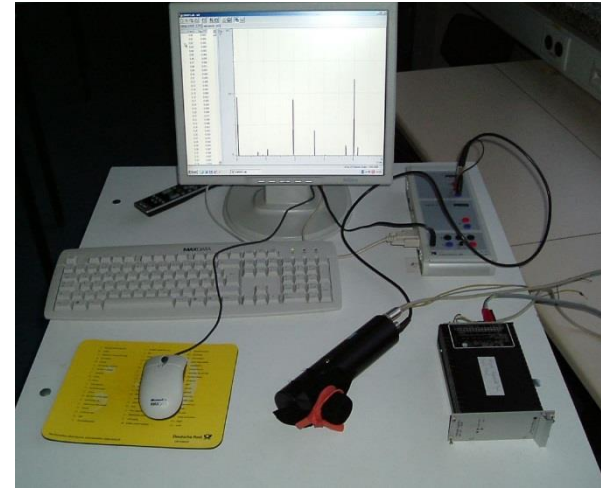
Neu:

- Auch Licht besteht aus Elementarportionen: *Photonen*
- Die Energie eines Photons ist abhängig von der Lichtfarbe.
(und proportional zur Frequenz: $E_{\text{Photon}} = h \cdot f = h \cdot c / \lambda$)

4. Photonen

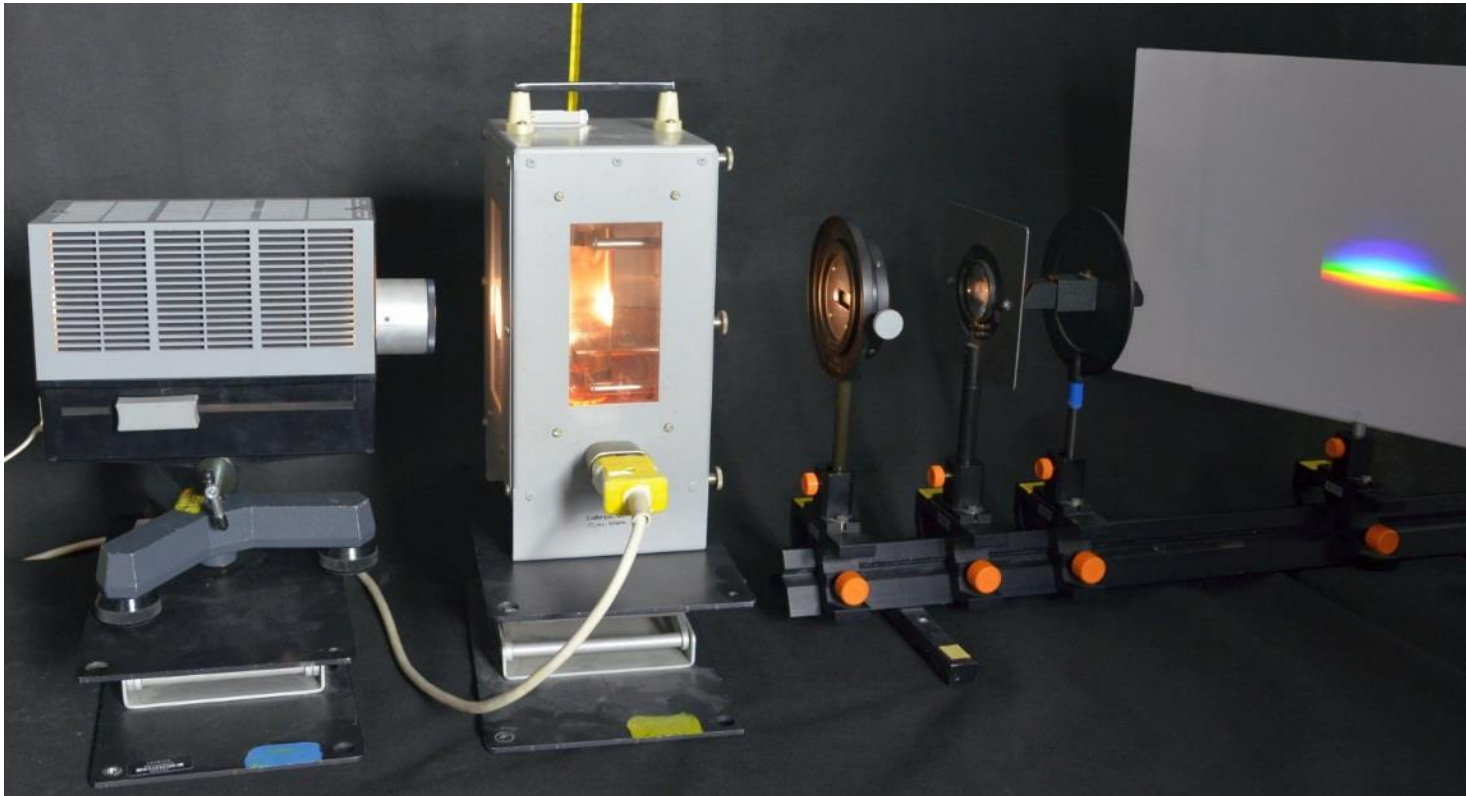
Nachweis von Einzelphotonen mit dem Photomultiplier

Signal bei zunehmender Lichtmenge:



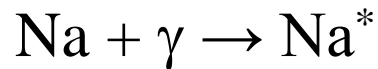
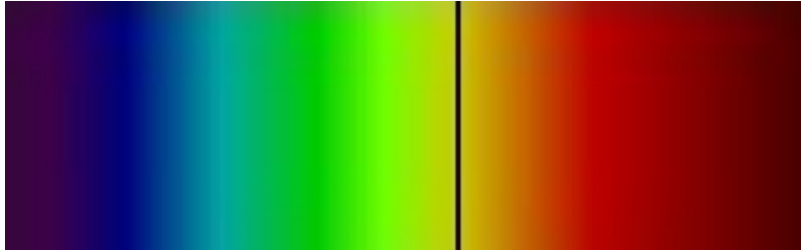
5. Die Anregung von Atomen mit Photonen

- Photonen mit passender Energie können Atome anregen. Die Photonen werden dabei absorbiert.
- Experiment: Anregung von Natrium-Dampf



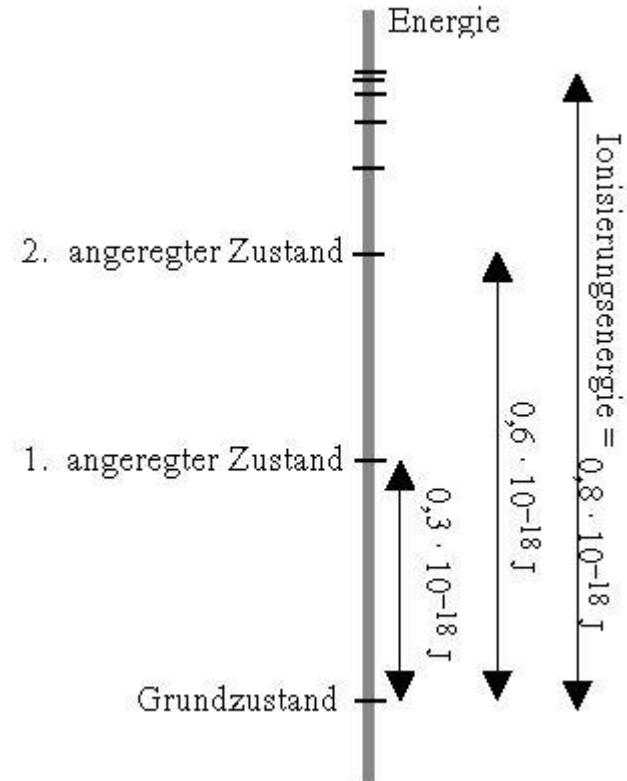
5. Die Anregung von Atomen mit Photonen

- Im Spektrum fehlt Licht der Wellenlänge $\lambda = 589 \text{ nm}$



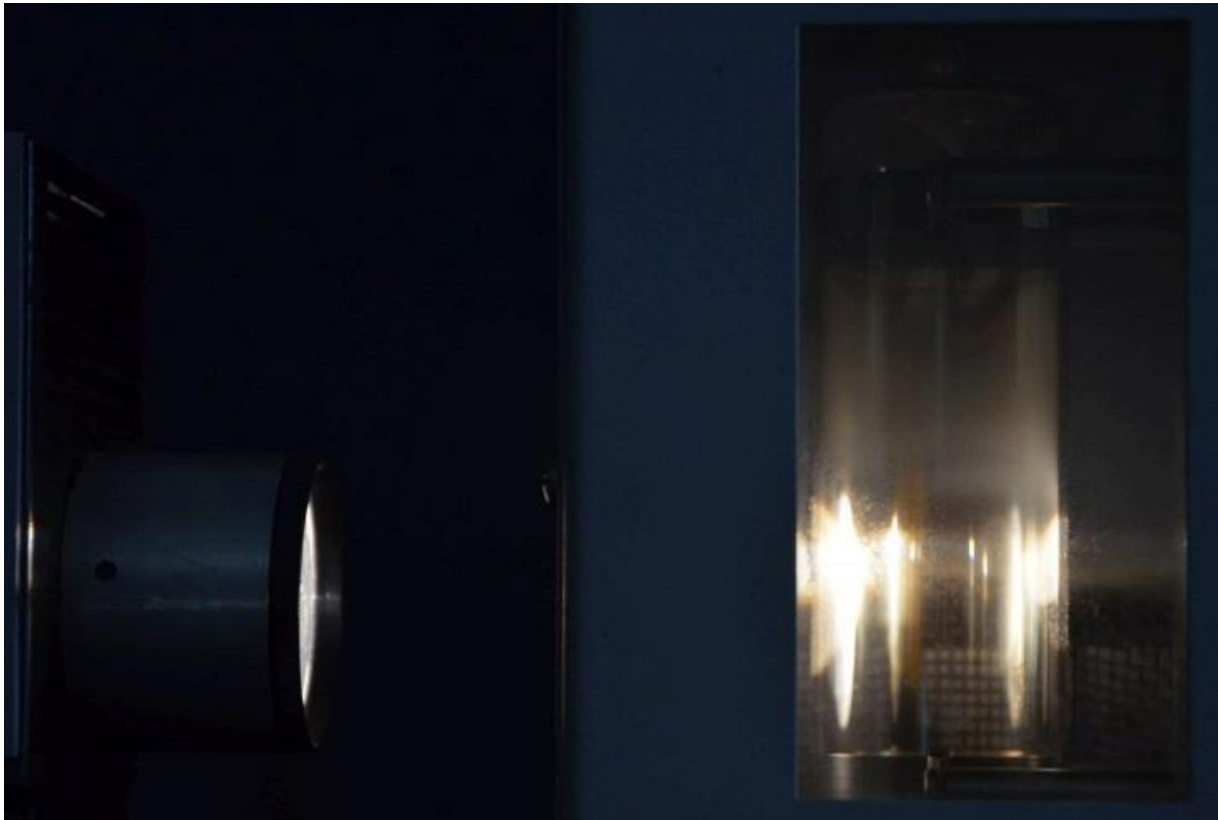
- Wellenlänge $\lambda = 589 \text{ nm}$

$$\Rightarrow E_{\text{Photon}} = h \cdot c / \lambda \approx 0,3 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$



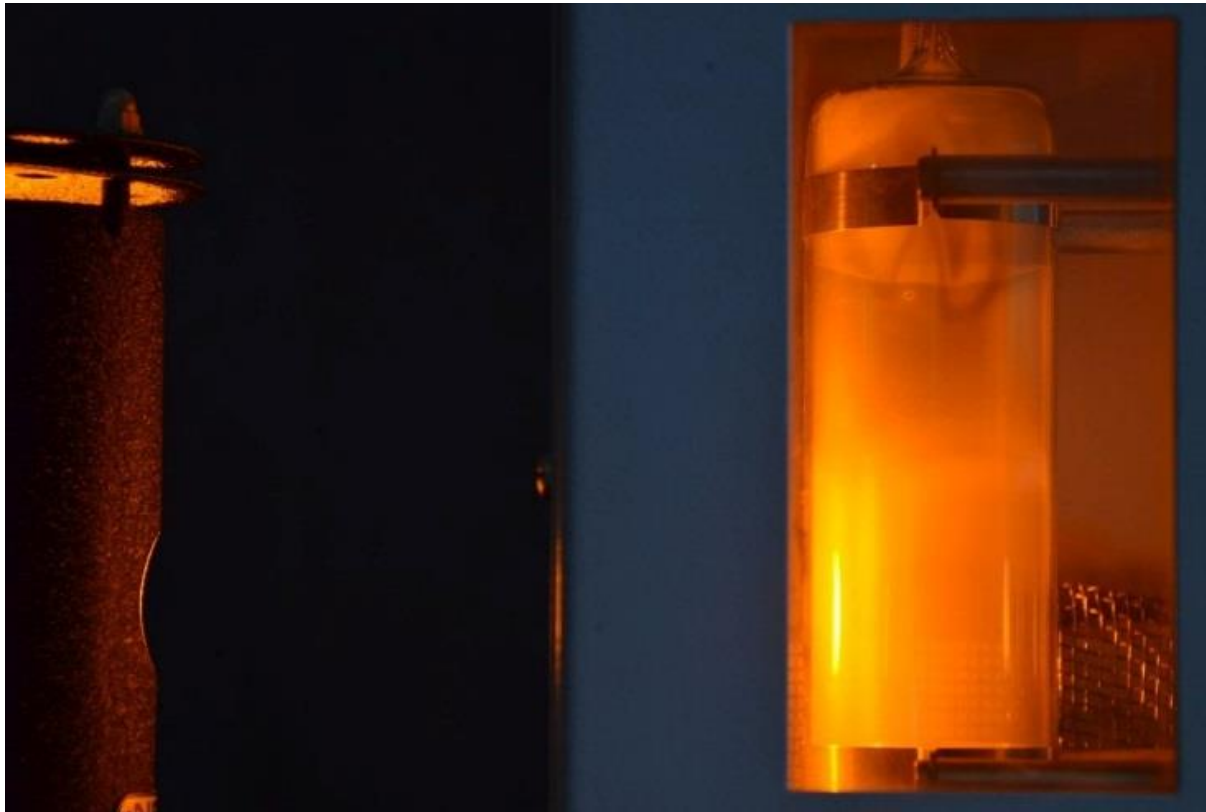
5. Die Anregung von Atomen mit Photonen

- Die meisten Photonen können nicht absorbiert werden.
- Folge: Gase sind durchsichtig.



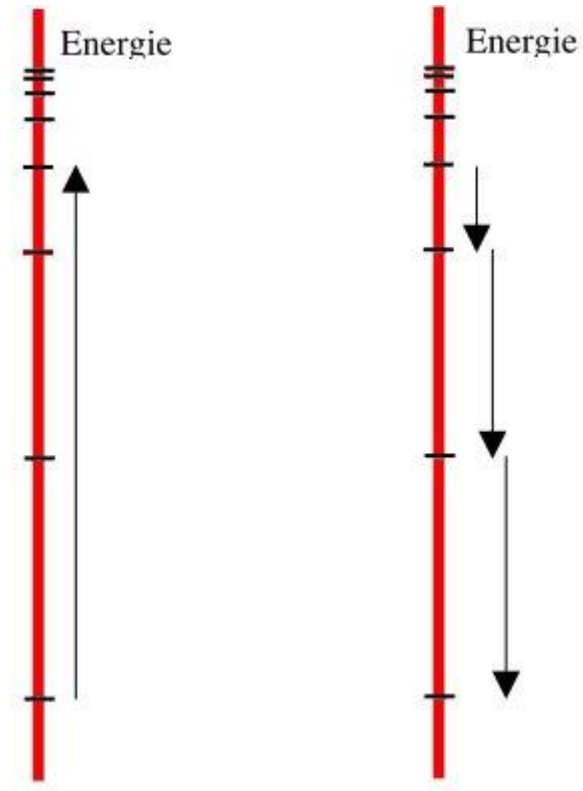
5. Die Anregung von Atomen mit Photonen

- Die meisten Photonen können nicht absorbiert werden.
- bei Beleuchtung mit Na-Dampf Flamme: gelber Nebel



6. Die Rückkehr in den Grundzustand

- Angeregte Atome kehren nach einer gewissen Zeit in den Grundzustand zurück.
- Höher angeregte Atome können in einem oder mehreren Schritten in den Grundzustand zurückkehren.
- \Rightarrow Beim Rückgang in den Grundzustand emittiert ein angeregtes Atom ein Photon oder mehrere Photonen.



7. Die Halbwertszeit der angeregten Zustände

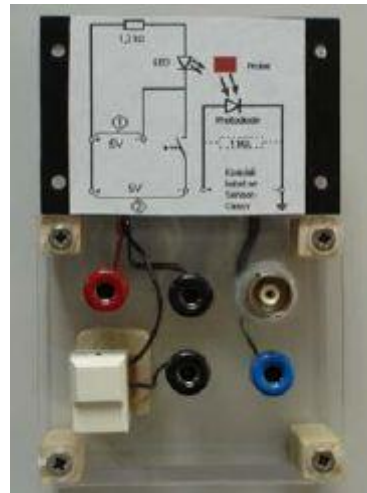
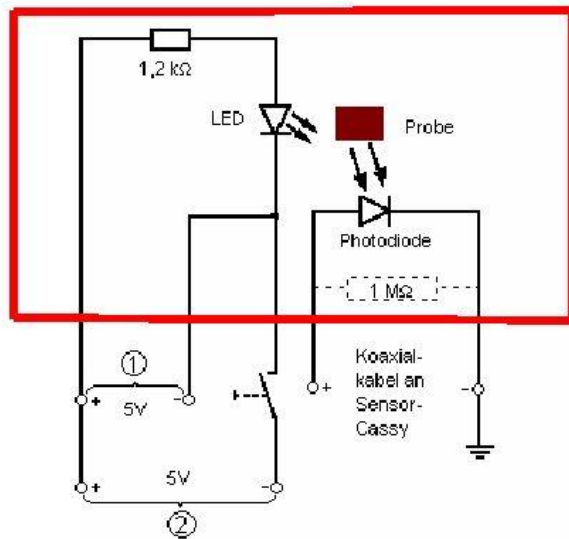
Wie lange bleibt ein Atom im angeregten Zustand?

- Wann ein bestimmtes angeregtes Atom ein Photon emittiert, lässt sich nicht vorhersagen.
- Die Halbwertszeit sagt uns, wann die Anzahl der Atome im angeregten Zustand auf die Hälfte abgenommen hat.
- Folgerung: Die Zahl der Atome in einem angeregten Zustand nimmt exponentiell ab.
- Ein typischer Wert der Halbwertszeit ist 10^{-8} Sekunden.
- Modellexperimente: Würfeln / Sprungscheiben

7. Die Halbwertszeit der angeregten Zustände

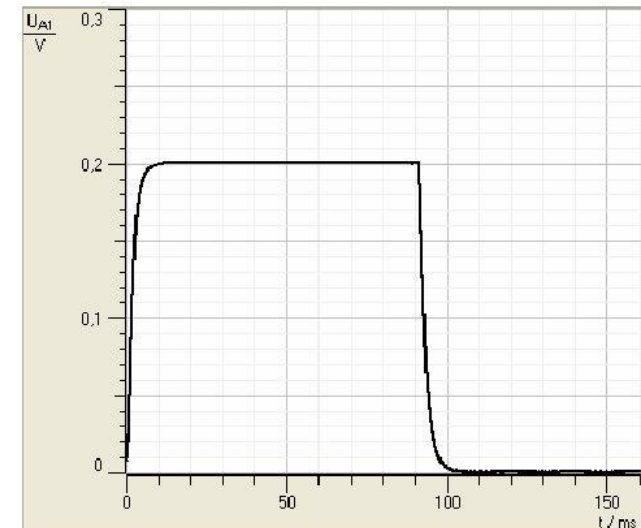
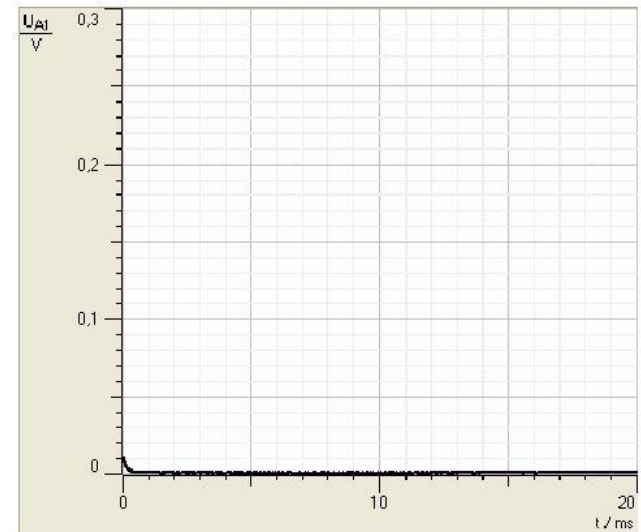
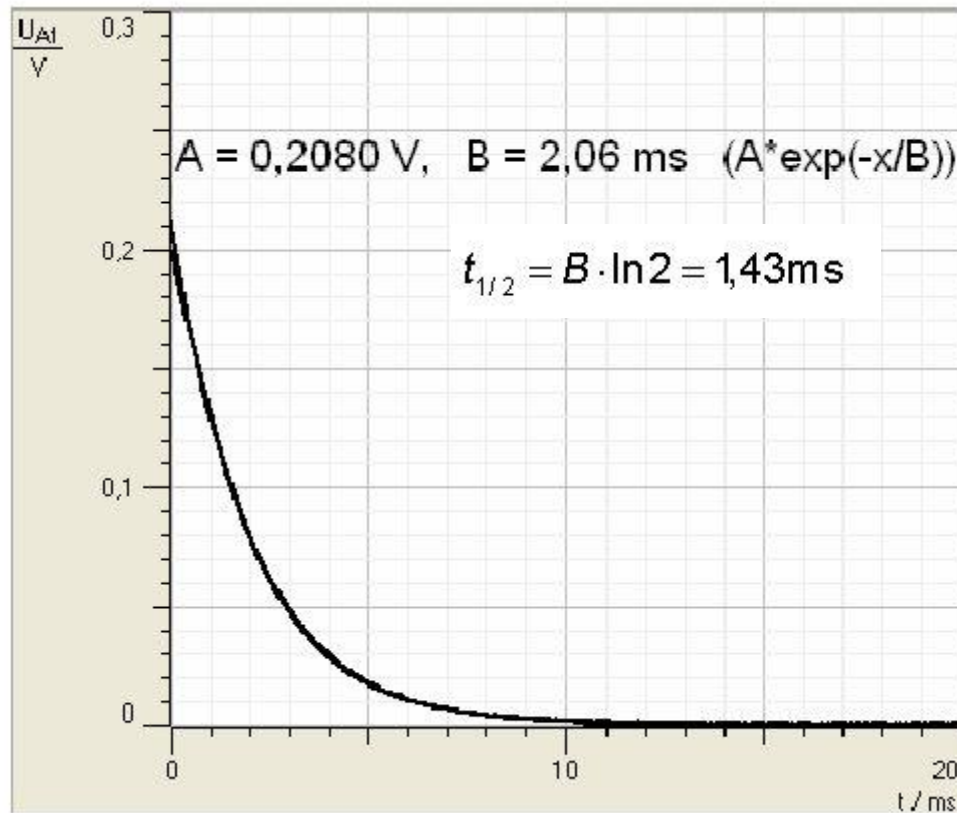
Ein Experiment zur Messung der Halbwertszeit elektronisch angeregter Zustände:

- verwendet werden Laser-Materialien (lange HWZ)
- Anregung mit einer hellen LED
- Messung der Intensität des emittierten Lichts nach Abschalten der LED mit einer Photodiode



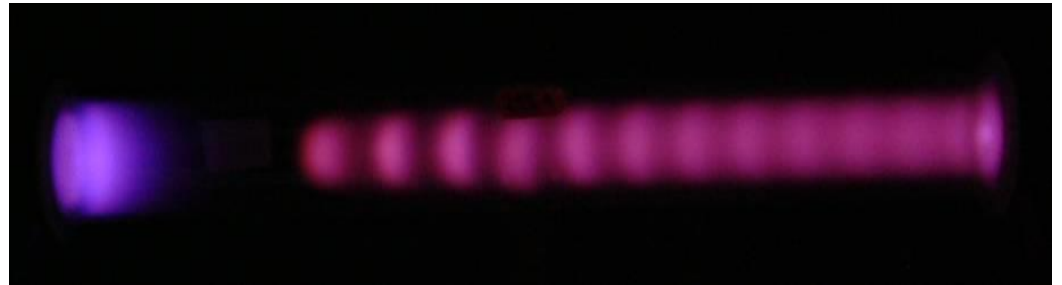
7. Die Halbwertszeit der angeregten Zustände

Ergebnisse:



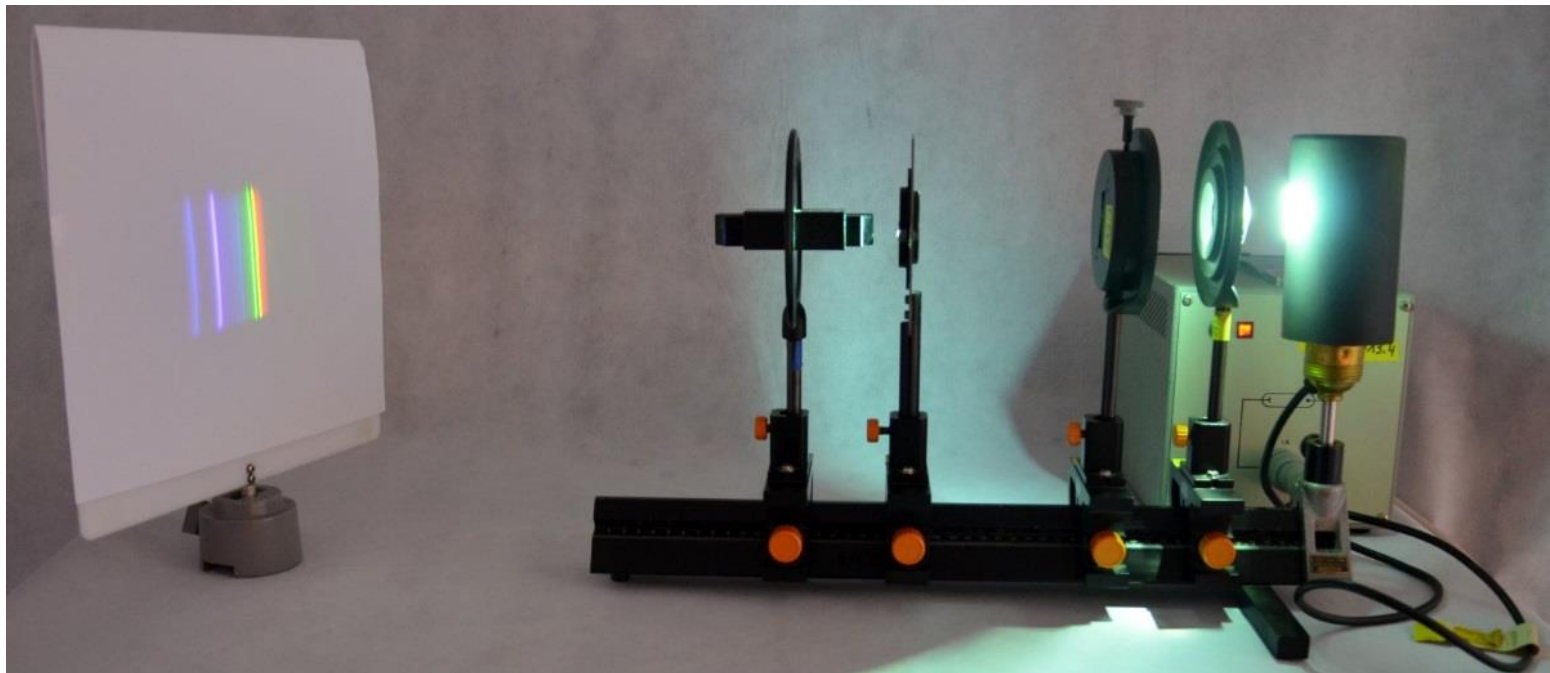
8. Die Anregung von Atomen mit Elektronen

- Atome können mit schnellen Elektronen angeregt werden.
- klassisches Oberstufen-Experiment: Franck-Hertz-Versuch
- mögliches Experiment für die Mittelstufe: Gasentladung in Luft



8. Die Anregung von Atomen mit Elektronen

- Atome können mit schnellen Elektronen angeregt werden.
- klassisches Oberstufen-Experiment: Franck-Hertz-Versuch
- mögliches Experiment für die Mittelstufe: Gasentladung in Luft
- oder: Spektrum einer Quecksilberdampf-Lampe



9. Anwendungen (Gase als Lichtquellen)

Leuchtstoffröhren

- In Leuchtröhren werden Atome mit Elektronen angeregt. Beim Rückgang in den Grundzustand emittieren die Atome Photonen.
- Ein Leuchtstoff auf der Innenseite der Röhre absorbiert das zunächst entstehende UV-Licht und erzeugt sichtbares Licht.

Die Spektren von Gasen

- Jedes Gas emittiert Licht mit bestimmten, für das Gas typischen Wellenlängen. Die Spektren von Gasen sind deshalb leicht voneinander zu unterscheiden.
- Experiment: Gasentladungsröhren mit Geradsichtprismen betrachten