

## 7.2.15 Schatten der Natriumflamme

\*\*\*\*\*

### 1 Motivation

Eine gelb leuchtende, Natriumdampf enthaltende Flamme wird mit einer Natriumdampflampe beleuchtet. Der dabei bewirkte Schattenwurf der Flamme demonstriert, dass Atome Lichtquanten nicht nur mit fest vorgegebener Frequenz emittieren, sondern auch Licht derselben Frequenz absorbieren.

### 2 Experiment

Abb. 1 zeigt den Versuchsaufbau. Die Flamme eines Bunsenbrenners wird mit dem gelben Licht einer Natriumdampflampe beleuchtet (Wellenlänge  $\lambda = 589 \text{ nm}$ ). Man beobachtet den Schatten des Bunsenbrenners, während die bläuliche Flamme keinen Schatten wirft. Hält man nun mit Hilfe eines Stäbchens Borax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) in die Flamme, so emittiert sie ebenfalls gelbes Licht derselben Wellenlänge. Die gelb leuchtende Flamme wirft aber einen Schatten, da das von der Natriumdampflampe einfallende Licht von den Natriumatomen in der Flamme absorbiert und anschliessend isotrop emittiert wird, wodurch die Lichtintensität bei dieser Wellenlänge in der ursprüngliche Richtung stark abgeschwächt wird.

### 3 Theorie

#### 3.1 Absorption und Emission von Licht

Wir betrachten die möglichen Übergänge eines Elektrons zwischen einem angeregten Zustand und dem Grundzustand eines Atoms mit den Energien  $E_1$  bzw.  $E_0$  (siehe Abb. 2):

- a) **Absorption:** Ein Photon der Energie  $E = E_1 - E_0$  wird von einem Elektron im Grundzustand absorbiert. Damit verschwindet das Photon, und das Elektron befindet sich im angeregten Zustand  $E_1$ .
- b) **Spontane Emission:** Ein Elektron im angeregten Zustand  $E_1$  emittiert ein Photon der Energie  $E = E_1 - E_0$  und der Frequenz  $\nu = E/h$  und geht dabei in den Grundzustand über.
- c) **Resonanzabsorption:** Die angeregten Zustände haben im allgemeinen eine sehr kurze Lebensdauer (z.B.  $\tau \approx 10^{-8} \text{ s}$ ). Ausserdem sind die Zustände nicht unendlich schmal, sondern besitzen eine Breite

$$2\Delta\omega = 2h\Delta\nu = \frac{1}{\tau}, \quad (1)$$

was einer gedämpften Schwingung entspricht;  $h$  ist das Plancksche Wirkungsquantum. Wird nun ein Photon mit einer Frequenz nahe der Resonanzfrequenz  $\nu_0 = (E_1 - E_0)/h$  absorbiert, verschwindet es, und nach einer Zeit in der Grössenordnung von  $\tau$  wird ein neues Photon emittiert. Dieses ist aber wegen der statistischen Natur des Emissionsprozesses (wie beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen) nicht mehr mit der Einfallsrichtung und Polarisation des ursprünglichen Photons korreliert, also nicht *kohärent*!

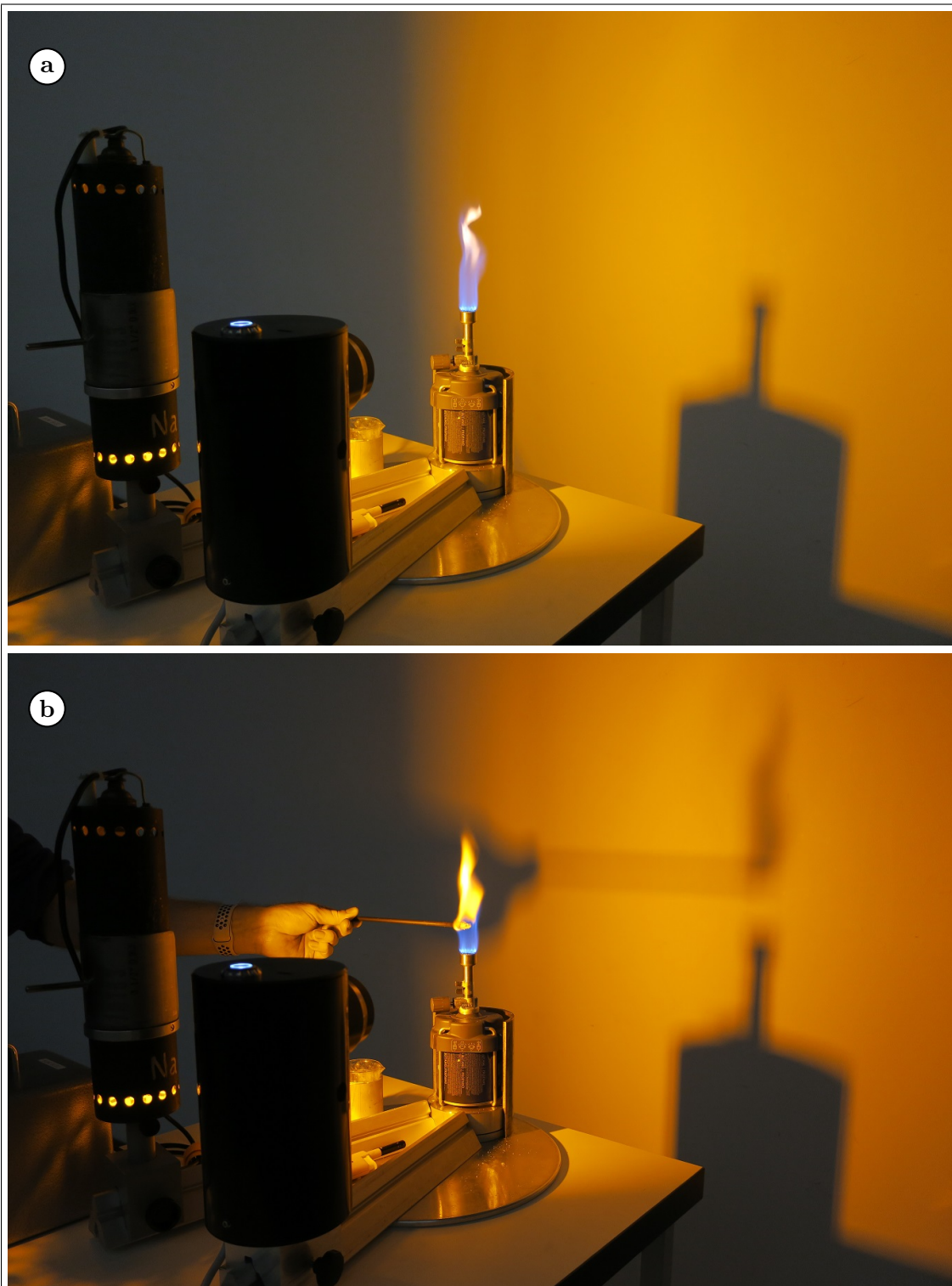


Abbildung 1: „Schatten der Natriumflamme“. **a)** Flamme ohne Natrium, **b)** Flamme mit Natriumdampf. In beiden Fällen wurde die Flamme mit einer Natriumdampflampe beleuchtet.

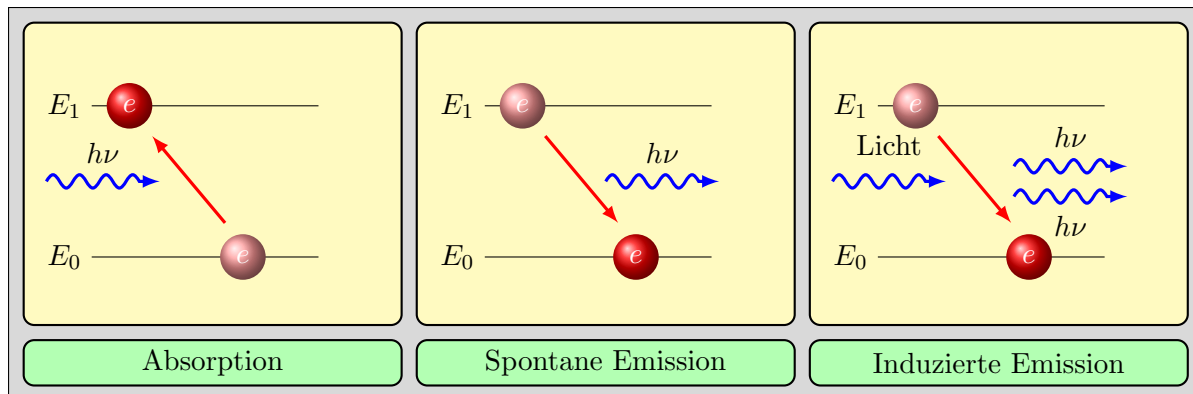


Abbildung 2: Absorption und Emission von Licht,  $h\nu = E_1 - E_0$ .

- d) **Induzierte Emission:** Befinden sich genügend Atome im angeregten Zustand, dann trifft gelegentlich ein einfallendes Photon auf ein angeregtes Atom, und es werden zwei Photonen derselben Frequenz, Polarisation und Richtung emittiert. Diese haben im Gegensatz zur Resonanzabsorption eine feste Phasenbeziehung und sind damit *kohärent*! Nach diesem Prinzip funktionieren Laser und Maser. Dazu benötigt man aber genügend Atome im angeregten Zustand, was aber ohne zusätzliche Massnahmen nicht einfach zu erreichen ist.

Das Besetzungsverhältnis (Anzahl Atome  $N_i$  im jeweiligen Zustand  $i$ ) gehorcht der Boltzmannverteilung:

$$\frac{N_1}{N_0} = e^{-\frac{E_1 - E_0}{kT}} \quad (2)$$

Dabei bedeuten  $k$  die Boltzmannkonstante und  $T$  die absolute Temperatur. Bei Zimmertemperatur und bei Frequenzen im optischen Bereich ist dieses Verhältnis in der Größenordnung  $e^{-100}$  und damit vernachlässigbar klein. Man sucht sich deshalb angeregte Zustände mit langer Lebensdauer  $\tau$  aus, die man indirekt über höher gelegene Zustände durch Anregung mit höherfrequentem Licht bevölkert, und die schnell zerfallen. Damit lässt sich eine Inversion erreichen, die zu einer Laseremission führt.

Abb. 3 zeigt das Energieniveau-Diagramm für Natrium mit einigen wichtigen Übergängen; zum Vergleich ist auch das Energieniveau-Diagramm des Wasserstoffs wiedergegeben.

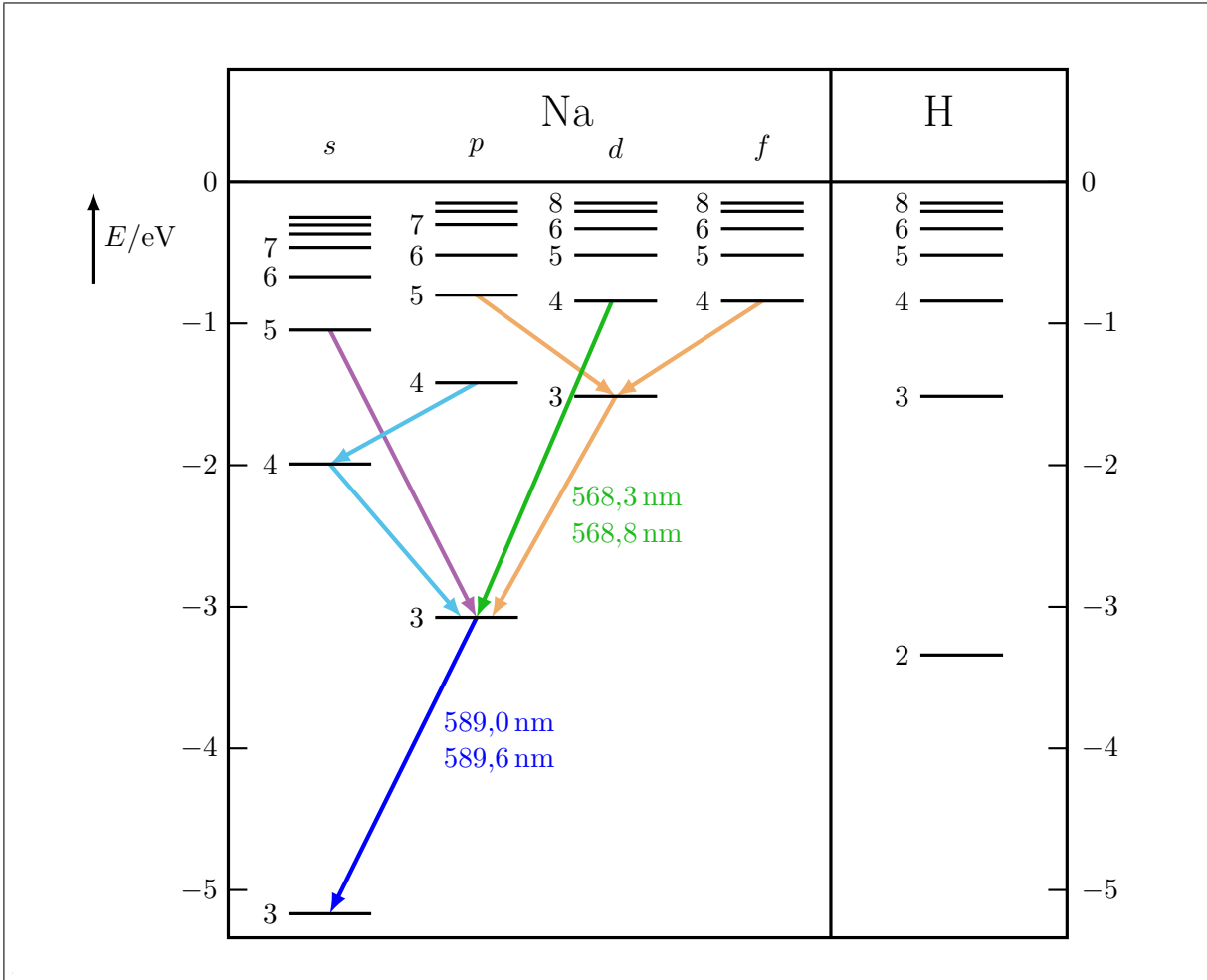


Abbildung 3: Energieniveaus von Natrium und Wasserstoff