

### Allgemeine Hinweise:

- Kommentieren Sie Ihre Lösungen! (Erläuterungen, Begründungen, Folgerungen)
- Rechnen Sie in SI-Einheiten (kg, m, s etc.)!
- Überprüfen Sie die physikalischen Einheiten in Ihren Rechenschritten und Lösungen! (Vor allem bei längeren Rechenwegen!)
- Lesen Sie die Aufgaben zunächst alle einmal und beginnen Sie dann mit der für Sie einfachsten Aufgabe!

**Erlaubte Hilfsmittel:** Taschenrechner, Formelsammlung, Schreibutensilien

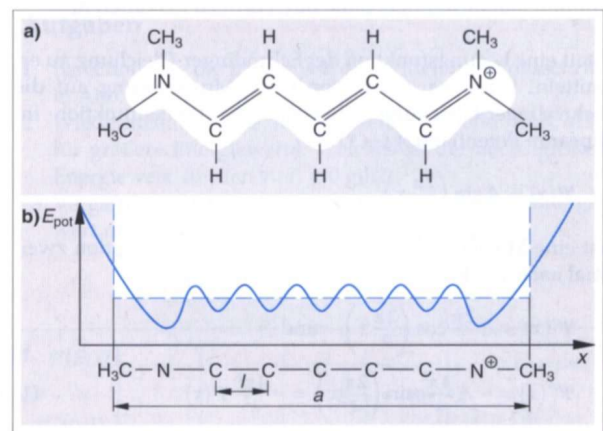
### Aufgabe 1: Der lineare Potentialtopf

Die Farbe eines Farbstoffs lässt sich in manchen Fällen, wenn die Molekülstruktur bekannt ist, vorausberechnen. In der Abbildung ist ein Cyaninfarbstoff dargestellt, bei dem 8 Atome jeweils ein Elektron nicht für eine Bindung benötigen. Diese Elektronen sind entlang der Kette nahezu frei beweglich. Diesen Bereich kann man deswegen in guter Näherung als unendlich hohen linearen Potentialtopf für die  $e^-$  ansehen.

- 1.1. Leiten Sie allgemein unter der Annahme, dass die  $\Psi$ -Funktionen der  $e^-$  in einem Potentialtopf der Länge  $a$  stehende Wellen mit den Randbedingungen  $\Psi(0)=0$  und  $\Psi(a)=0$  sind, die Gleichung für die erlaubten

Energieniveaus her: 
$$E_n = \frac{h^2}{8m_e a^2} \cdot n^2 \quad \text{mit } n=1,2,3,\dots$$

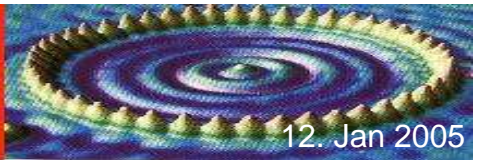
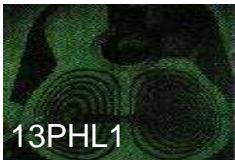
- 1.2. Berechnen Sie  $E_1$  bis  $E_5$  für das Cyaninmolekül mit  $a=1,21 \text{ nm}$  !
- 1.3. Im Grundzustand besetzen die 8 freien  $e^-$  zu zweit ein Energieniveau (eine Folge des *Pauli-Prinzips*, das wir noch behandeln werden), d.h. die Energieniveaus  $E_1$  bis  $E_4$  sind besetzt. Bei einer energetischen Anregung wechselt ein  $e^-$  von  $E_4$  nach  $E_5$ .
- Welche Wellenlänge hat das emittierte Licht, wenn sich das Molekül energetisch abregt?
  - Welcher Farbe entspricht diese Wellenlänge?
  - Warum erscheint der Farbstoff dem Betrachter dann trotzdem rot?



Farbstoffmoleküle des Cyanins. **a)** Der weiße Bereich ist der Antriebsbereich der im Molekül frei beweglichen Elektronen, die Valenzelektronen genannt werden. **b)** Der Verlauf der potentiellen Energie für ein Valenzelektron in einem Farbstoffmolekül. Er wird näherungsweise durch ein Kasten-Potential (gestrichelt) ersetzt.

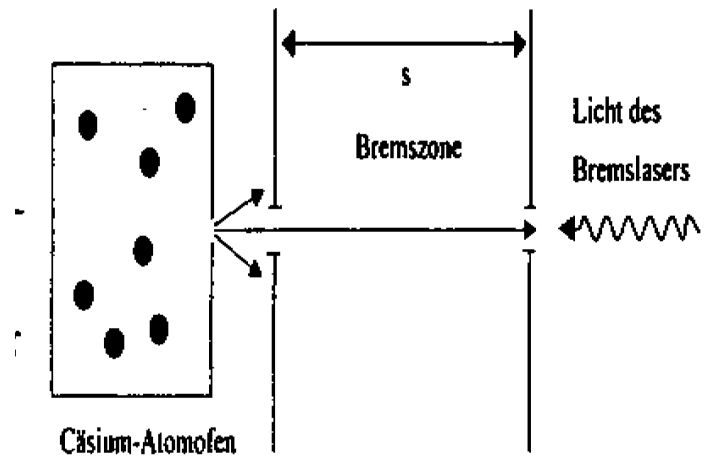
### Aufgabe 1: Laserbremsung eines Atomstrahls

In einem Atomofen befindet sich Cäsium-Gas der Temperatur  $T$ . Die mittlere Geschwindigkeit der Teilchen beträgt  $\bar{v} = 300 \text{ m/s}$ . Durch ein kleines Loch in der Ofenwand tritt ein Strahl von Atomen in einen evakuierten Raum ein. Die Atome sollen nun durch Resonanzabsorption von Photonen abgebremst werden. Dabei geht ein Atom in einen angeregten Zustand über und übernimmt gleichzeitig den Photonenimpuls. Zur Abbremsung wird der Atomstrahl entgegen seiner Bewegungsrichtung mit einem gebündelten Laserstrahl der Wellenlänge  $\lambda = 852 \text{ nm}$  beleuchtet (siehe Zeichnung).



- 2.1. Welche Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$  erfährt ein Cäsium-Atom bei der Absorption eines Photons?

Gehen Sie im Folgenden davon aus, dass die Cäsium-Atome den Ofen mit der einheitlichen Geschwindigkeit  $v=300\text{ m/s}$  verlassen. Die Teilchen werden innerhalb der Strecke  $s=100\text{ cm}$  auf die Endgeschwindigkeit  $v'=50\text{ m/s}$  abgebremst. Der Einfluss der Gravitation ist zu vernachlässigen. Nach einer mittleren Lebensdauer von  $\tau=30\text{ ns}$  geht ein angeregtes Cäsium-Atom unter Aussendung eines Photons wieder in den Grundzustand über und kann erneut ein Photon absorbieren.



- 2.2. Erklären Sie, warum trotz des dabei auftretenden Rückstoßes nach Mittelung über viele Absorptions- und Emissionszyklen eine Abbremsung des Atoms erfolgt. Wie viele Photonen werden für die Abbremsung eines Atoms benötigt?
- 2.3. Berechnen Sie die mittlere Beschleunigung und die Zeit für die Abbremsung eines Atoms längs der Strecke  $s$  auf die Geschwindigkeit  $v'=50\text{ m/s}$ .
- 2.4. Mit einem Bremslaser der Leistung  $10\text{ mW}$  ( $\lambda = 852\text{ nm}$ ) werden  $107$  Atome (praktisch gleichzeitig) abgebremst. Berechnen Sie, welcher Prozentsatz der vom Laser in der Bremszeit ausgesandten Photonen von den Atomen absorbiert wird.
- 2.5. Ermitteln Sie unter Berücksichtigung der mittleren Lebensdauer des angeregten Zustands, ob man mit entsprechend intensiverer Laserstrahlung bei gleichbleibender Wellenlänge die Cäsium-Atome schon innerhalb der Strecke  $s'=10\text{ cm}$  abbremsen könnte. Begründen Sie Ihre Antwort.

Konstanten  
und Einheiten

entnehmen Sie bitte der Formelsammlung