

## 1 Laserkühlen

Ein Natriumatom (Masse  $m_{\text{Na}} = 23$  amu) mit der anfänglichen Geschwindigkeit  $v_0 = 900$  m/s absorbiert Photonen der Wellenlänge  $\lambda = 589,1$  nm, die aus einem Laserstrahl entgegen der Flugrichtung stammen (die Dopplerverschiebung wird vernachlässigt!). Wie oft muss das Atom ein Photon absorbieren, um vollständig abgebremst zu werden? Wie groß sind Bremsbeschleunigung, Bremszeit und Bremsweg des Atoms, wenn  $3 \cdot 10^7$  Photonen/s absorbiert werden?

## 2 Thomsonsches Atommodell

J. J. Thomson betrachtete als Modell für ein Wasserstoffatom eine homogen geladene Kugel mit Radius  $a$  und mit der positiven Ladungsdichte

$$\rho = \frac{3}{4\pi a^3} e$$

( $e$ : Elementarladung). In dieser Ladungswolke bewegt sich das punktförmige Elektron mit Masse  $m_e$ , Ladung  $-e$ .

- (a) Bestimmen und skizzieren Sie das elektrische Feld innerhalb und außerhalb der Kugel.
- (b) Zeigen Sie, dass innerhalb der Kugel auf das Elektron die rücktreibende Kraft

$$F = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 a^3} r$$

wirkt, wobei  $r$  der Abstand des Elektrons zum Mittelpunkt der geladenen Kugel ist.

- (c) Bestimmen Sie die Schwingungsfrequenz  $\nu$  des Elektrons um den Mittelpunkt der Kugel, wenn  $a = 0,1$  nm ist.
- (d) Welchem Teil des elektromagnetischen Spektrums (Radio, Infrarot, sichtbar, UV, Röntgen usw.) entspricht diese Schwingungsfrequenz?

### 3 Bohrsches Atommodell

Bohr legte die stationären Kreisbahnen des Elektrons im Wasserstoff durch die Quantenbedingung

$$\int p \, dq = nh \quad n : \text{ganze Zahl}$$

fest. Dabei sind  $q$  und  $p$  Orts- und Impulskoordinaten des Elektrons, und das Integral erstreckt sich über einen Umlauf des Elektrons. Bestimmen Sie

- (a) Radien und Energien der Bohrschen Bahnen. Für die Bestimmung der Energien betrachten Sie die Gesamtenergie  $E = E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}}$ . Zeigen Sie zunächst, dass  $E_{\text{kin}} = -\frac{1}{2}E_{\text{pot}}$  ist ( $r = \infty$  als Nullpunkt der potentiellen Energie).
- (b) die beim Übergang von einer Bahn höherer Energie ( $n_1$ ) zu einer Bahn tieferer Energie ( $n_2$ ) ausgesandte Frequenz des Lichtes.
- (c) die Ionisationsenergie des Wasserstoffatoms.

### 4 Gravitation

Wie groß ist der Radius eines hypothetischen Wasserstoffatoms im Grundzustand ( $n = 1$ ), dessen Elektron (Masse  $m_e$ ) durch die Gravitationswechselwirkung mit einem elektrisch neutralen Atomkern der Masse des Protons  $m_p$  auf der Umlaufbahn um den Kern gehalten wird?