Institut f. Angewandte Physik

UE Grundlagen der Physik III WS 2019/20

10. Übung am 9. 1. 2020

53) Laserkühlung von Atomen
Für diese Methode wurde im Jahre 1997 der Nobelpreis für Physik vergeben. Die Grundidee dazu ist, dass ein Atom durch ein Photon in einen angeregten Zustand versetzt wird. Hierbei tritt ein Impulsübertrag auf ein Atom auf. Das Atom verbleibt in dem angeregten Zustand für einen bestimmte Zeit (τ) und emittiert dann das Photon wieder. Erfolgt die Anregung durch einen monochromatischen kollimierten Laserstrahl, so findet bei jedem Zyklus ein gerichteter Impulsübertrag statt. Die Re-Emission des Photons ist aber ungerichtet. Daher findet im Mittel vieler Zyklen nur bei der Anregung ein Nettoimpulsübertrag statt. Wir betrachten nun einen Strahl aus Natriumatomen (relative Atommasse: 23 AME, λ = 589 nm, τ = 16 ns).
a) In welche Richtung muss sich das Atom relativ zur Lichtquelle bewegen, damit ein maximaler Bremseffekt entsteht? Wie groß ist dann der Nettoimpulsübertrag? Wie viele Zyklen braucht man, um Atome mit einer Geschwindigkeit von v = 500 m/s auf nahezu 0 abzubremsen?
b) Für eine Zykluszeit gleich τ wirkt welche Beschleunigung? Wie lange braucht man für den Bremsvorgang gemäß a)?
c) Bisher hatten wir einen wesentlichen Aspekt außer Acht gelassen. Einerseits haben die Natriumatome eine gewisse Geschwindigkeitsverteilung und andererseits ist auch die Resonanzfrequenz aufgrund des Dopplereffektes von der Geschwindigkeit v abhängig. Der wesentliche Trick ist nun, dass man einen Laser hat, den man von Zyklus zu Zyklus mit der Resonanzfrequenz der abgebremsten Atome mitführt. Man sammelt also erst die schnellsten Atome ein, dann immer langsamere Atome, bis man bei v = 0 m/s angelangt ist. Wie schnell (in Hz/s) muss man die Laserfrequenz verstimmen können?
d) Da man die Atome in diskreten Impulsschritten abbremst, ergibt sich eine untere Grenze für das Laserkühlen (sogenanntes Rückstoßlimit). Berechnen sie näherungsweise die mittlere Geschwindigkeit $\langle v \rangle$ der abgebremsten Atome und die entsprechende Temperatur.
(2 Pkte)

54) Moseley'sches Gesetz
a) Berechnen sie die K_α-Linie und die beiden nächstgrößeren Wellenlängen in der K-Serie des Molybdäns.
b) Wie groß ist die kleinste Wellenlänge in der gesamten K-Serie?
c) Vergleichen sie die vorher erhaltenen Werte mit jenen von der „X-ray Transition Energies Database" des NIST(http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayTrans/Html/search.html)
(2 Pkte)

55) Moseley'sches Gesetz
Wenn die Spannung an einer Röntgenröhre von 10 kV auf 20 kV erhöht wird, dann vergrößert sich der Abstand zwischen der Grenzwellenlänge und der überlagerten $K_\alpha -$Linie des Anodenmaterials um den Faktor 3.
a) Aus welchem Material besteht die Röntgenanode?
b) Welche Wellenlänge λ hat die $K_\alpha -$Linie?
(2 Pkte)

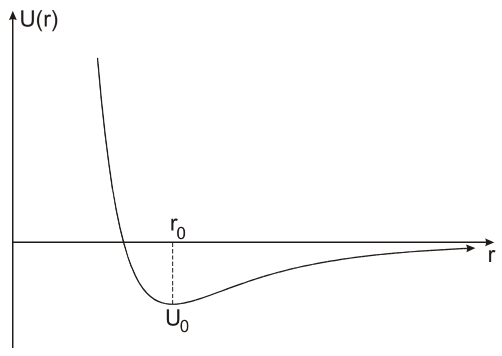
56) Moseley'sches Gesetz
Berechnen sie die kinetische Energie und Geschwindigkeit von Photoelektronen, die durch Zink K_α -Strahlung aus der K-Schale von Eisen freigesetzt werden. Die Wellenlänge der K-Absorptionskante von Eisen sei $\lambda_K = 174\ pm$.
(1 Pkt)

57) Moseley'sches Gesetz
Berechnen sie die Bindungsenergie eines Elektrons in der K-Schale in Vanadium, wenn sie wissen, dass die Wellenlänge der Absorptionskante der Elektronen in der L-Schale etwa 2,4 nm ist.
(1 Pkt)

58) Näherung realistischer Potentiale mit dem Oszillatorpotential
Das Bindungspotential einfacher Moleküle und Festkörper kann oft durch das sogenannte Lennard-Jones Potential (siehe Abbildung) beschrieben werden. Dieses hat die Form

$$U(r) = -Ar^{-n} + Br^{-m}.$$

Der Abstand r_0 entspricht der Bindungslänge, die Energie U_0 der Bindungsenergie (siehe Abbildung).



a) Man berechne die Konstanten A und B als Funktionen von r_0 und U_0.
b) Man approximiere in der Nähe von r_0 das Lennard-Jones-Potential mit Hilfe eines Oszillatorpotentiales und gebe die Federkonstante C des Oszillators an.
(2 Pkte)