



III. Physikalisches Institut B, RWTH Aachen  
Prof. Dr. Christopher Wiebusch, Dr. Philipp Soldin

Übungen zur Physik IV - SS 2024  
Atome Moleküle Kerne

## Übung 11

Ausgabedatum: 26.06.24

Abgabedatum: 03.07.24

Tag der Besprechung: 08.07.24

### Verständnisfragen

#### Kapitel 9.2

1. Wie unterscheiden sich die kovalente und ionische Bindung?
2. Was ist eine metallische Bindung?
3. Was ist eine Wasserstoffbrücken Bindung?
4. Wie entstehen Van-der-Waals Kräfte und was ist die van der Waals Bindung?
5. Wie sind Elektronenaffinität und Ionisationsenergie und Molekülbildungsenergie definiert und wie hängen sie zusammen?
6. Was beschreibt Elektronegativität und wie ist sie definiert?
7. Wie unterscheiden sich chemische Bindungen in ihrer typischen Stärke und Abstand der Atome?

#### Kapitel 9.3

8. Was beschreiben das Lennard-Jones und das Morse Potential?
9. Zu welchen Effekten kommt es bei der Bewegung der Atomrümpfe im Molekül?
10. Wie wird die Schrödingergleichung für die Kernbewegung gelöst?
11. Welche Energieniveaus ergeben sich für Vibrationen und Rotationen aus der Schrödinger Gleichung?
12. Skizzieren sie das Termschema für Moleküle!
13. Was sind Molekülbanden? Welche Molekülübergänge ergeben sich?
14. Wie funktioniert ein Mikrowellenspektrometer?
15. Wie funktioniert ein Infrarot Fourier-Spektrometer?
16. Was ist der Raman Effekt?
17. Wie funktioniert ein Raman-Spektrometer?
18. Welche Anwendungen gibt es für den Raman Effekt?
19. Erklären Sie Fluoreszenz und Phosphoreszenz!

#### Kapitel 10.1

20. Beschreiben Sie das Grundprinzip eines Streuexperimentes!
21. Was ist der Impulsübertrag und wie hängt er mit dem Streuwinkel zusammen?
22. Was ist Thomson Streuung?
23. Beschreiben Sie den Aufbau des Rutherford'schen Streuexperimentes!
24. Was ist das überraschende Ergebnis des Rutherford'schen Streuexperimentes?  
Warum kann das Ergebnis nicht mit Elektronen oder Thomson Streuung erklärt werden?

# Übungsaufgaben

## Aufgabe 1 ★ ★ ★ ☆ ☆

(3 × 10 = 30 Punkte)

### VAN-DER-WAALS-WECHSELWIRKUNG

Die Anziehung zwischen zwei Molekülen werde durch die Van-der-Waals-Kräfte beschrieben. Untersuchen Sie die Abstandsabhängigkeit dieser Kräfte! Betrachten Sie ein Molekül mit einem Dipolmoment  $\vec{p}$ , das entlang der  $x$ -Achse ausgerichtet ist.

- Wie hängt das von einem Dipol hervorgerufene elektrische Feld vom Abstand  $x$  entlang der Dipolachse ab, wenn  $x$  groß gegenüber dem Dipolabstand ist?
- Betrachten Sie jetzt zusätzlich ein zweites, unpolarisiertes Molekül im Abstand  $x$ , entlang der  $x$ -Achse. Berechnen Sie die proportionale Abhängigkeit der potenziellen Wechselwirkungsenergie der beiden Moleküle von ihrem Abstand  $x$  zueinander.

Hinweis: Die potenzielle Energie eines elektrischen Dipols  $\vec{p}$  in einem äußeren elektrischen Feld  $\vec{E}$  ist  $E_{\text{pot}} = -\vec{p} \cdot \vec{E}$ , und der Betrag des im unpolaren Molekül induzierten Dipolmomentes ist proportional zum Betrag von  $\vec{E}$ .

- Berechnen Sie mit  $F_x = -\frac{dE_{\text{pot}}}{dx}$ , die Proportionalität der Kraft zwischen den Molekülen zum Abstand  $x$ .

## Aufgabe 2 ★ ★ ☆ ☆ ☆

(5 + 5 + 10 = 20 Punkte)

### ROTATIONSSPEKTRUM

Die Größenordnung der Rotationsenergien relativ zu den elektronischen Energien im eV-Bereich lässt sich aus einer semiklassischen Betrachtung und der Unschärferelation abschätzen. Man betrachte ein starres, zweiatomiges Molekül. Der quantenmechanische Ausdruck für die Energieniveaus aufgrund der Rotation dieses Systems lautet

$$E_{\text{rot}} = \frac{\hbar^2}{2\theta} j(j+1),$$

wobei  $j$  die Rotationsquantenzahl bezeichnet.

- Zeigen Sie, dass bei einer klassischen Betrachtung in der die Atome umeinander rotieren, das Trägheitsmoment  $\theta = \mu R^2$  ist, wobei  $\mu$  die reduzierte Masse und  $R$  den Atomabstand bezeichnet.
- Zeichnen Sie das Niveauschema des starren Rotators für den Fall des  $\text{CO}$ -Moleküls ( $R = 1.13 \text{ \AA}$ ) und bestimmen Sie die Energie des ersten angeregten Zustandes. (Nehmen Sie ein Periodensystem der Elemente zur Hilfe, um die Massen der Atome  $\text{C}$  und  $\text{O}$  herauszufinden.)
- Rotationsbewegung eines  $\text{H}_2$ -Moleküls: Wie groß muss die Temperatur  $T$  mindestens sein, damit die mittlere thermische Energie ausreicht, um den Zustand mit  $J = 1$  anzuregen? (Abstand der  $\text{H}$ -Atome im  $\text{H}_2$ -Molekül:  $0.75 \text{ \AA}$ .)

Hinweis: Überlegen Sie sich die möglichen Freiheitsgrade für Bewegungen des Moleküls, die sich aus Translationen und möglichen Rotationen zusammensetzen.

## Aufgabe 3 ★ ★ ★ ☆ ☆

(10 + 20 = 30 Punkte)

### SCHWINGUNGSSPEKTRUM VON $\text{Li}_2$

Das Schwingungsspektrum von  $\text{Li}_2$  besteht aus Linien im Mikrowellenbereich, wobei der Abstand zweier benachbarter Linien jeweils  $1.05 \cdot 10^{13} \text{ Hz}$  beträgt. Berechnen Sie den Gleichgewichtsabstand der Bindungspartner in  $\text{Li}_2$ .

- a) Nähern Sie zunächst das Molekülpotential im Minimum durch eine Parabel. Das Minimum des Potentials liegt beim Gleichgewichtsabstand  $R_0$  und die Tiefe der Potentialmulde beträgt  $E_D$ .  $E_D$  bezeichnet hierbei die Dissoziationsenergie und beträgt für  $\text{Li}_2$  1.10 eV. Geben Sie das Potential an und diskutieren Sie die Form! Durch welche experimentelle Beobachtung kann die gefundene Form des Potentials bestätigt und damit die Näherung gerechtfertigt werden?

- b) Schätzen Sie die Größenordnung des Gleichgewichtsabstandes  $R_0$  ab. Dieser entspricht der Amplitude  $A$  eines harmonischen Oszillators bei dem die Vibrationsenergie  $E_{\text{vib}} \approx E_D$ , also in etwa der Dissoziationsenergie entspricht.

Bestimmen Sie damit einen Ausdruck für die "Federkonstante" des genäherten Potentials und bringen Sie diese in Relation mit der Schwingungsfrequenz, um auf  $R_0$  zu schließen.

Hinweis: Um die Größenordnung des Gleichgewichtsabstandes  $R_0$  abzuschätzen, nehmen Sie an, dass das Potential im Abstand von  $\pm r_0/2$  vom Minimum auf die Hälfte seiner Tiefe (also auf den Wert  $-E_D/2$ ) abgefallen ist. Alternativ können Sie sich überlegen, bei welchem Abstand das Molekül dissoziiert, also  $V > 0$  gilt.

#### Aufgabe 4 ★ ★ ☆ ☆ ☆

(10 + 10 = 20 Punkte)

#### STREUUNG VON DEUTERONEN AN TRITIUM

In einem Neutronengenerator werden Deuteronen ( ${}^2_1\text{H}$ ) mit der Energie von  $E = 0.1 \text{ MeV}$  auf ein senkrecht zum Strahl stehendes Tritiumtarget ( ${}^3_1\text{H}$ ) geschossen. In der Kernreaktion eines Deuteron mit einem Tritium wird jeweils ein freies Neutron erzeugt das isotrop emittiert wird. Bei dieser Energie beträgt der Wirkungsquerschnitt für die Reaktion 8 b. Das Tritiumtarget besitzt eine Flächenbelegungsichte von  $\rho_F = \rho \cdot d = 0.2 \text{ mg cm}^{-2}$ . Hierbei ist  $\rho$  die Dichte des Materials und  $d$  die Dicke des Targets.

- a) Welcher Bruchteil der Neutronen erreicht einen  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  großen Detektor, der sich im Abstand von 5 m hinter dem Produktionstarget befindet?
- b) Welchen Flussrate muss der Deuteronstrahl haben, damit auf dem Detektor eine Rate von 100 Neutronen pro Sekunde eintrifft?

*Hinweis:* Nehmen Sie hierbei an, dass alle Neutronen ungestört und ohne weitere Wechselwirkung das Target verlassen und vernachlässigen Sie die Lebensdauer der Neutronen.