Kapitel 1

Freie Schwingungen

1.1 Das physikalische Pendel

Wir hatten das mathematische Pendel betrachtet (Punktmasse an masselosem steifen Faden), und als Erweiterung mit dem Drehschwinger beliebige Masseverteilungen hinzugenommen. Schauen wir uns nun das physikalische Pendel an, im Beispiel einer großen Pendeluhr. Das Pendel besteht aus einer Zylinderscheibe mit Radius $r = 5$ cm und Dicke $h = 1$ cm, befestigt an einem $l = 95$ cm langen Stab von $d = 1$ cm Durchmesser. Das eine Ende des Stabes endet an der Drehachse A, das andere am Außenmantel der Zylinderscheibe. Das gesamte Pendel ist einteilig und homogen aus Gusseisen gefertigt, mit einer Dichte von $\rho = 7.2$ g/cm^3.

1. Berechnen Sie in allgemeinen Begriffen (also für Dicke h und Radius r) das Volumen eine Zylinders. Bilden Sie hierzu das Volumenintegral in Zylinderkoordinaten. Geben Sie davon ausgehend die Masse in allgemeinen Begriffen an (unter Verwendung der Dichte ρ). Zwischenergebnis: Für das Volumen gilt $V = \pi r^2 h$.

2. Berechnen Sie in allgemeinen Begriffen (also für Höhe h, Radius r, und Dichte ρ) das Trägheitsmoment eines Zylinders um seine Symmetrieachse. Bilden Sie wie in der Vorlesung das Volumenintegral in Zylinderkoordinaten. Drücken Sie Ihr Ergebnis dann durch die zuvor berechnete allgemeine Darstellung der Masse M aus. Zwischenergebnis: Für das Trägheitsmoment gilt $J = \frac{1}{2}Mr^2$.

3. Berechnen Sie das Trägheitsmoment der Zylinderscheibe um ihre Schwerpunktsachse J_B und mit dem Steinerschen Satz auch ihr Trägheitsmoment um die Drehachse J_A (Zahlen einsetzen).

4. Das Trägheitsmoment eines Vollzylinders mit Länge l, Radius r und Masse M, der um eine Schwerpunktsachse senkrecht zu seiner Symmetrieachse dreht, ist:

$$J = \frac{1}{4}Mr^2 + \frac{1}{12}Ml^2$$

   Geben Sie davon ausghend zunächst das Trägheitsmoment J_C des Pendelstabes (ohne Zylinderscheibe!) um seinen Schwerpunkt an, und dann das Trägheitsmoment J_A um den tatsächlichen Drehpunkt des Pendels.

5. Geben Sie nun das Trägheitsmoment des gesamten Pendels an.

6. Vergleichen Sie: Wenn Sie dieses physikalische Pendel durch ein mathematisches Pendel, also eine einzige Punktmasse mit gleichem Wert wie die Masse des physikalischen Pendels, ersetzen sollten, bei welchem Radius würden Sie diese Masse anordnen? Vergleichen Sie diesen Wert mit dem tatsächlichen Radius des Mittelpunkts der Zylinderscheibe.

Kapitel 2

Gedämpfte Schwingungen

2.1 Analoganzeigen

Sie werden bei Analogmessgeräten mit Drehzeigern vielleicht schon einmal gesehen habe, dass die Zeiger mit einer Flüssigkeit umgeben sind. Eine der Funktionen dieser Flüssigkeit besteht darin, den Zeiger geeignet zu dämpfen. Betrachten wir ein etwas vereinfachtes Modell hierfür, nämlich einfach das starre Fadenpendel.

1. Die Fadenlänge l sei 5 cm, die Masse m sei 10 g. Wie groß ist die Eigenkreisfrequenz ω_0 des Pendels?

2. Wie groß müsste der Reibungskoeffizient k aus $F_R = kv_t$ sein, damit kritische Dämpfung eintritt?

3. Das Pendel startet bei $t_0 = 0$ mit $\varphi(t_0) = 10°$ und $\dot{\varphi}(t_0) = 0$. Geben Sie die Funktion $\varphi(t)$ an und erstellen Sie mit Hilfe von EDV den Graphen dieser Funktion für kritische Dämpfung.

4. Wie lange dauert es in diesem Fall, bis die Amplitude auf weniger als 1° abgefallen ist? Hinweis: Lesen Sie die Lösung aus dem in der letzten Teilaufgabe erstellten Graphen in sinnvoller Skalierung ab.

5. Nehmen Sie an, der Reibungskoeffizient sei nun doppelt so groß wie bei kritischer Dämpfung. Erstellen Sie wieder den Graphen der Funktion $\varphi(t)$ per EDV, und beantworten Sie wieder die Frage, wie lange es dauert, bis 1° unterschritten wird.

6. Nehmen Sie an, der Reibungskoeffizient sei nun halb so groß wie bei kritischer Dämpfung. Erstellen Sie wieder den Graphen der Funktion $\varphi(t)$ per EDV, und beantworten Sie wieder die Frage, wie lange es dauert, bis 1° unterschritten wird.

Kapitel 3

Erzwungene Schwingungen

3.1 Resonanz

Sie haben von sechs verschiedenen Resonatoren jeweils unterschiedliche Informationen vorliegen. Berechnen Sie jeweils die Güte und ordnen Sie die Resonatoren, die in den folgenden Teilaufgaben beschrieben werden, bezüglich ihrer Güte. Wenn Sie eine einzelne Teilaufgabe nicht lösen können, lassen Sie sie aus und ordnen die verbleibenden Güten relativ zueinander.

1. Wenn das erste System ohne Anregung schwingt, fällt die Amplitude während drei vollen Periode um 25 %.

2. Wenn das zweite System ohne Anregung schwingt, wird während jeder vollen Periode ein zehntel der gespeicherten Energie dissipiert.

3. Beim dritten System beobachten Sie eine Phasenverschiebung von -90° zwischen Anregung und einem Drehschwinger. Die Winkelrichtgröße ist 10 Nm/rad, die Amplitude ist 2 rad. Berechnen Sie den Energieinhalt der Schwingbewegung. Die Periodendauer beträgt 5 s. Sie messen einen Leistungsbedarf von 3 W, um die Schwingung in diesem Zustand zu stabilisieren durch die Anregung.

4. Beim vierten System beobachten Sie im quasistatischen Fall $\omega \to 0$ eine Amplitude von 5°, in Resonanz eine Amplitude von 70°.

5. Beim fünften System beträgt die Resonanzfrequenz 200 Hz, die Bandbreite sind 5 Hz.

6. Beim sechsten System ist die Resonanzfrequenz um 3 % kleiner als die Eigenfrequenz.

Kapitel 4

Gekoppelte Schwingungen

4.1 Koppelpendel

Zwei physikalische Pendel sind durch eine Feder miteinander verbunden. Die Pendel bestehen jeweils aus einem Edelstahl-Stab mit 45 cm Länge und 1 cm Durchmesser rund. Der verwendete Stahl hat eine volumenbezogener Masse von 7.9 g/cm^3. An dem Stab ist jeweils eine Stahlkugel gleicher volumenbezogener Masse befestigt. Die Distanz zwischen Drehachse und Zentrum der Stahlkugel sind 50 cm, die Kugel hat einen Durchmesser von 10 cm. Die Pendel haben einen Abstand von 20 cm zueinander, ihre Drehachsen liegen parallel und auf gleicher Höhe im Erdschwerefeld, die Pendel schwingen in derselben Ebene. In 20 cm Abstand von den Drehachsen gibt es jeweils eine kleine Bohrung im Edelstahl-Stab, in die eine Feder eingehängt ist mit Federrate 0.1 N/mm, die diese Pendel miteinander verbindet. Die Feder ist im ungespannten Zustand 20 cm lang. Wir betrachten nur kleine Auslenkungen.

1. Berechnen Sie das Trägheitsmoment und das Richtmoment beider Einzelpendel.
2. Berechnen Sie die beiden Eigenfrequenzen des Koppelpendels.
3. Wenn Sie nur eines der Pendel auslenken und dann loslassen, während das andere in Ruhe ist, welche Schwebungsperiodendauer erwarten Sie?

Kapitel 5

Stehende Wellen

5.1 Saitenschwingung

Die Länge einer Gitarrensaite seien 65 cm zwischen den Einspannpunkten.

1. In sog. gleichstufiger Stimmung liegen die Töne geometrisch geteilt, also mit einem konstantem Frequenzverhältnis zwischen aufeinander folgenden Halbtönen. Zwölf solcher Halbtöne entsprechen einer Frequenzverdopplung (eine sog. Oktave). Berechnen Sie, an welchen Positionen Stege im Hals eingelassen sein sollten (also Positionen, auf die die Saite verkürzt werden kann). Berechnen Sie diese Positionen für die gesamte erste Oktave auf der Saite (also bis zur Mitte der Saite).

2. Berechnen Sie außerdem alle Positionen (auf derjenigen halben Saite, auf der Sie die Bundpositionen berechnet haben), an denen eine der ersten fünf Oberschwingungen Knoten hat (also feste Nullstellen). Welche Positionen stimmen ± 2 mm mit Bundpositionen überein?

3. Ein Anbieter von Gitarrensaiten spezifiziert die höchste Diskant-Saite (ein E mit $\nu = 239.6\ \mathrm{s}^{-1}$ in gleichstufiger Stimmung) mit einer Zugkraft äquivalent der Gewichtskraft einer Masse von 6.939 kg. Der Durchmesser dieser speziellen Saite wird mit 711 µm angegeben. Welche volumenbezogene Masse hat das Material, aus dem die Saite hergestellt wird?

Kapitel 6

Laufende Wellen

6.1 Oberflächenwellen

Die Dispersionsrelation für eine bestimmte Art von Oberflächenwellen (sog. *Schwerewellen*) in tiefem Wasser (Wellenlänge viel kleiner als Wassertiefe) lautet mit g der Fallbeschleunigung:

$$\omega = \sqrt{gk}$$

1. Berechnen Sie die Phasengeschwindigkeit v_φ und die Gruppengeschwindigkeit v_g in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ. Welche Wellenlängen bewegen sich schneller fort; lange oder kurze?

2. Bestätigen Sie anhand dieser beiden Ergebnisse folgende Identität:

$$v_g = v_\varphi - \lambda \frac{\mathrm{d}v_\varphi}{\mathrm{d}\lambda}$$

3. Ausgehend von den Definitionen von v_φ und v_g, und unter Verwendung der üblichen Ableitungsregeln (insbesondere Produkt-, Quotienten- und Kettenregel), versuchen Sie die in der vorherigen Teilaufgabe angegebene Identität zu beweisen. Hinweis: Arbeiten Sie zunächst nur mit ω und k und beweisen Sie im ersten Schritt die folgenden Identität:

$$v_g = v_\varphi + k \frac{\mathrm{d}v_\varphi}{\mathrm{d}k}$$

   Beginnen Sie damit, den ganz rechten Term entsprechend den Ableitungsregeln aufzulösen. Der Übergang zu λ ergibt sich dann durch Einsetzen von $\lambda = 2\pi/k$ und nochmalige Anwendung der Kettenregel.

6.2 Körperschall

Wir betrachten drei Materialien, die sich grundsätzlich in ihrem Bindungsverhalten unterscheiden: Gusseisen (metallische Bindung), Kochsalz NaCl (ionische Bindung) und Diamant (kovalente Bindung).

1. Berechnen Sie für alle drei Materialien die Schallgeschwindigkeit $v_\varphi = v_g$ für Longitudinalschwingung in einem langen dünnen Stab.

2. Nehmen Sie an, bei einer Probe mit $A = 1$ cm^2 Querschnitt und $l = 20$ cm Länge sollten Sie den E-Modul ausgehend von der relativen Längung des Probenkörpers unter Einwirkung einer äußeren Kraft bestimmen. Ihnen stehen 100 kN Kraft auf Zug zur Verfügung. Für eine vernünftige quantitative Messung nehmen wir an, dass eine absolute Längenänderung von mindestens 1 mm notwendig ist (für bspw. 10 µm Auflösung hätte man dann eine relative Auflösung von 1:100). Für welche dieser drei Materialien halten Sie eine direkte Messung für realistisch (abgesehen davon, dass es schwierig wird, einen so großen Diamanten zu finden; wir vernachlässigen auch die Querkontraktion und einen eventuell eintretenden Bruch)?

3. In einem Gusseisenbauteil befindet sich eine Fehlstelle, eine Luftblase (Lunker). An diesem Übergang zwischen Gusseisen und Luft wird Körperschall reflektiert. Sie setzen eine Ultraschall Sender-Empfänger-Einheit auf die Bauteiloberfläche auf, und messen die Zeit, die zwischen einem ausgesandten Puls und dem empfangenen Puls verstreicht. Sie verschieben die Einheit so lange, bis diese Zeit minimal ist. Sie messen dann $\Delta t = 10$ µs zwischen Aussenden und Empfangen. In welcher Tiefe s liegt der Lunker?

Kapitel 7

Beugung und Interferenz

7.1 Interferenz

1. Betrachten Sie die Abbildungen 7.1 und 7.2 im Skriptum, insbesondere Teilbilder 7.1.b1, 7.2.a1 und 7.2.c1. In all diesen Fällen ist $d = (n + \frac{1}{2})\lambda$. Sollte dann nicht die Amplitude entlang der gesamten Ebene, in der die Spalte liegen, aufgrund destruktiver Interferenz gerade null sein? Das ist nicht der Fall. Warum?

2. Entlang der Verbindungsebene beider Spalte liegen mehrere Maxima der Intensität, die darauf zurückzuführen sind, dass sich (partiell) eine stehende Welle ausbildet. Die Höhe der Maxima ist unterschiedlich, weil die Kreiswellen mit wachsendem Radius abfallende Amplitude hatten. Für ψ_0 die Amplitude der Welle bei einem Radius von $r_0 = 1$ mm (angenommene Spaltbreite), geben Sie die Abhängigkeit der Amplitude vom Radius um den Spalt an. Hinweis: Der Energieinhalt für Kreise jedes gegebenen Radius' muss gleich sein.

7.2 Einfachspalt

In der Photographie ist die Beugung am Einfachspalt (bzw. einer Kreisblende) ein Faktor, der die mögliche Auflösung einer Abbildung begrenzt. Wir betrachten hier der Einfachheit halber einen Einfachspalt, wie in der Vorlesung erläutert, und eine Wellenlänge von 555 nm. Es besteht der Wunsch, dass 20 mm hinter dem Spalt das Beugungsmuster maximal die Breite eines Pixels hat (bspw. auf einem CCD-Sensor), mit dem ein Bild aufgenommen werden soll. Als Kriterium wird verwendet, dass das gesamte zentrale Maximum im Beugungsbild auf einen einzigen Pixel abgebildet wird, die Nebenmaxima jedoch auf die umliegenden Pixel. Der Pixel habe eine Breite von 6 µm. Welche Breite darf der Spalt maximal haben?

Kapitel 8

Reflektive Optik

8.1 Farbtemperatur

Eine 60 W Glühlampe habe eine Farbtemperatur von 2700 K. Unter Verwendung des WIENschen Verschiebungsgesetzes, bei welcher Wellenlänge hat dieses Glühlicht sein Maximum? Was fällt Ihnen auf?

Kapitel 9

Refraktive Optik

9.1 Strahlenoptik

Sie haben eine Sammellinse mit +100 mm Brennweite zur Verfügung, sowie eine Streulinse mit −100 mm Brennweite. Außerdem gibt es einen Gegenstand von 1 cm Ausdehnung senkrecht zur Blickrichtung, von dem Sie einmal ein 2 cm ausgedehntes reelles Bild anfertigen wollen auf einer Mattscheibe.

1. Welche Linse wählen Sie?
2. Wie ordnen Sie Linse, Gegenstand und Mattscheibe zueinander an, um das zu erreichen?
3. Wo erscheint das Bild, und in welcher Orientierung?

9.2 Achromatischer Zweilinser

Wir wollen aus zwei Gläsern ein achromatisches Objektiv konstruieren. Ziel ist es, dass die Brennweite der Kombination sowohl für 380 nm, als auch für 780 nm genau $f = 100$ mm beträgt. Zur Verfügung haben wir zwei verschiedene Gläser:

- Kronglas (bspw. SCHOTT LaSF9),
  mit einem Brechungsindex vom $n_{kv} = 1.913$ bei 380 nm; und $n_{kr} = 1.834$ bei 780 nm.
- Flintglas (bspw. SCHOTT FK51A),
  mit einem Brechungsindex von $n_{fv} = 1.499$ bei 380 nm; und $n_{fr} = 1.483$ bei 780 nm.

Aus jedem dieser beiden Gläser dürfen Sie eine beliebige Linse fertigen, allerdings unter folgenden Randbedingungen: Die Linse aus Kronglas ist symmetrisch (also $r_{k1} = r_{k2} = r_k$), und einer der Radien der Linse aus Flintglas entspricht dem Negativen der Radien der Linse aus Kronglas (also $r_{f1} = -r_k$ und $r_{f2} = r_f$). Letztere Bedingung ermöglicht bspw. die Linsen anschließend zu verkitten und damit weniger Reflektion und Streuung zu haben im System.

1. Berechnen Sie für allgemeines r_k und r_f die Brechkraft des Systems für beide Wellenlängen. Lassen Sie die Brechungsindizes zunächst symbolisch stehen.
2. Setzen Sie die Forderung ein, dass die Brechkraft in beiden Fällen der Kehrwert der selben Brennweite f sein soll.
3. Lösen Sie dieses Gleichungssystem nach r_k und r_f auf.
4. Skizzieren Sie das resultierende Objektiv für einen Linsendurchmesser von 30 mm.

9.3 Dispersion beim Prisma und beim Gitter

1. Betrachten Sie ein Prisma aus Flintglas, mit denselben optischen Eigenschaften wie in der vorherigen Aufgabe beschrieben. Das Prisma hat drei gleiche Winkel, also je 60°. Mit Hilfe dieses Prismas erhalten Sie einen gewissen Winkelunterschied zwischen rotem und violettem Licht (Dispersion). Gehen Sie vor wie in der Vorlesung und legen Sie den einfallenden Strahl so, dass der mittlere Strahl im Glas parallel zur dritten Seite verläuft.
2. Welchen Spaltabstand d müsste ein optisches Gitter haben, um gerade dieselbe Dispersion zwischen rotem und violettem Licht zu erhalten? Legen Sie das erste Maximum *neben* dem zentralen Maximum zugrunde. Verwenden Sie die Kleinwinkelnäherung, um den Spaltabstand zu berechnen.

Kapitel 10

Doppler-Effekt

10.1 Klassischer Doppler-Effekt

Einem Temposünder soll der Prozess gemacht werden, ohne dass es eine gültige Radarmessung der Geschwindigkeit gibt. Erlaubt wären innerorts 50 km/h gewesen. Zuverlässige Zeugen sagen aus, im Vorbeifahren hätte die Geräuschänderung des Fahrzeugs an einen Kuckucks-Ruf erinnert. Der Kuckucks-Ruf besteht nun aus zwei Tönen, mit Frequenzen etwa 678 Hz und 565 Hz (im Mittel). Wie schnell war der mutmaßliche Temposünder tatsächlich?

10.2 Relativistischer Doppler-Effekt

1. Wie schnell muss ein Flugkörper sich auf die Sonne zu (oder von der Sonne weg?) bewegen, damit sich die Frequenz des Sonnenlichts aus Sicht dieses Flugkörpers um 1 % vergrößert?

2. Beim Sonnenaufgang bewegen wir uns auf die Sonne zu, beim Untergang von ihr weg. Aus einer Tageslänge von $T = 23$ h, 56 min, 4.099 s, und für einen Erdradius am Äquator von $r = 6378.137$ km, wie groß ist die relative Änderung der Frequenz des Sonnenlichts?

Kapitel 11

Quantenmechanik

11.1 Photoeffekt

Die Bindungsenergie in einem Metall betrage 12 eV.

1. Geben Sie die maximale Wellenlänge des (nicht unbedingt sichtbaren!) Lichts an, das benötigt wird, um überhaupt den Photoeffekt auslösen zu können.

2. Nehmen sie nun an, die Wellenlänge sei um 10 % kürzer. Berechnen Sie die kinetische Energie des Elektrons, und berechnen Sie nach den Methoden der klassischen Mechanik seine Geschwindigkeit.

3. Vergleichen Sie mit der Lichtgeschwindigkeit. Ab ca. 1 bis 10 % Lichtgeschwindigkeit ist die klassische Mechanik nicht mehr gerechtfertigt, man muss relativistisch rechnen. Ist das hier der Fall?

11.2 Doppelspalt-Experiment

Die de Broglie-Beziehung ordnet auch massebehafteten Teilchen wie Elektronen eine Wellenlänge zu. Diese Teilchen können als Folge dessen auch Beugung und Interferenz erfahren. Das sog. Doppelspalt-Experiment liefert die experimentelle Bestätigung für diese Vorhersage.

1. Berechnen Sie den Impuls eines Elektrons, das sich mit 1 % Lichtgeschwindigkeit bewegt (klassische Rechnung).

2. Berechnen Sie die Wellenlänge dieses Elektrons unter Verwendung der de Broglie-Beziehung.

3. Vergleichen Sie mit dem sichtbaren Wellenlängenbereich.

4. Sie präparieren nun zwei dünne Spalte in einem Abstand d, die diese Elektronenwelle durchqueren soll. Welchen Abstand wählen Sie, um ein Interferenzbild zu erzeugen, in dem es drei Intensitätsmaxima im Halbraum hinter dem Spalt gibt (Winkelbereich *kleiner* 180°, vgl. ggf. Abbildungen 7.1 und 7.2 im Skript zur Vorlesung)? Kommentieren Sie das Ergebnis.

Kapitel 12

Periodisches System der Elemente

12.1 Erze

Die meisten Metalle kommen in der Natur nicht gediegen, sondern gebunden in Erzen vor. Dabei sind die eigentlich interessierenden Minerale weiter mit für den Zweck uninteressanten Gesteinen umgeben. Geben Sie für die im Folgenden rechts genannten Minerale jeweils an, welchen Gewichtsanteil des gewünschten Metalls sie enthalten. Hinweis: verwenden Sie die rechts angegebenen Atomgewichte (es handelt sich jeweils um Mittelwerte für natürliche Isotopen-Gemische).
Hinweis: es ist 1 u = $1.660\,538\,921 \cdot 10^{-27}$ kg.

$$m_{\mathrm{Fe}} = 55.85 \text{ u}$$
$$m_{\mathrm{O}} = 16.00 \text{ u}$$
$$m_{\mathrm{C}} = 12.01 \text{ u}$$
$$m_{\mathrm{Ag}} = 107.9 \text{ u}$$
$$m_{\mathrm{S}} = 32.06 \text{ u}$$

1. Magnetit Fe_3O_4
2. Hämatit Fe_2O_3
3. Siderit $Fe[CO_3]$
4. Akanthit Ag_2S

12.2 Helium-Spektrum

Berechnen Sie die Wellenlängen für das Leuchtspektrum eines einfach ionisiertes Helium-Atoms, also $^4He^+$. Beachten Sie, dass die Kernladung sich gegenüber dem Fall für das Wasserstoffatom verändert hat. Berechnen Sie die Terme bis einschließlich der fünften Schale (für n_i und n_f, soweit definiert), geben Sie darüber jeweils nur den Grenzwert für die Schale $n_i = \infty$ an (Einfang aus dem Unendlichen, bis $n_f = 8$). Gibt es sichtbare Linien?

Kapitel 13

Ionische Bindung

13.1 Aufbau des Periodensystems

Phosphor hat die Elektronenkonfiguration [Ne]$3s^2 3p^3$, wobei die vollständige Edelgaskonfiguration des Neon ($1s^2 2s^2 2p^6$) nicht ausgeschrieben wurde. Detailliert für die unterschiedlichen Orientierungen der p-Orbitale kann man alternativ schreiben [Ne]$3s^2 3p_x^1 3p_y^1 3p_z^1$. Geben Sie für die folgenden abweichenden Elektronenkonfigurationen an, warum sie nicht verwirklicht werden.

1. [Ne]$3s^2 3p_x^3$.
2. [Ne]$3s^2 3p_x^2 3p_y^1$.
3. [Ne]$3s^1 3p^3 3d^1$.
4. [Ne]$3s^2 3p^2 3f^1$.

Kapitel 14

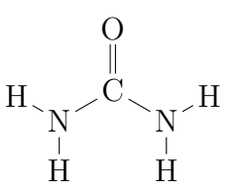
Kovalente Bindung

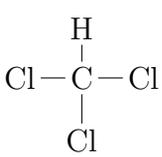
14.1 Kovalente Bindung

Skizzieren Sie die Bindungsorbitale in Kohlenstoffverbindungen, und benennen Sie die Hybridisierungen, jeweils für eine Einfachbindung, eine Doppelbindung und eine Dreifachbindung.

14.2 Summenformeln

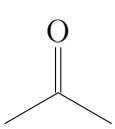
Notieren Sie die Summenformeln zu folgenden Molekülen unter Verwendung des HILL-Systems.

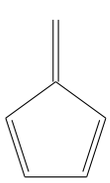
1. Harnstoff 

2. Chloroform 

14.3 Skelettformeln

Komplettieren Sie die Skelettformeln durch Eintragen aller Atompositionen inkl. Kohlenstoff und Wasserstoff, sowie der nicht dargestellten Bindungen zwischen Kohlenstoff und Wasserstoff. Notieren Sie die Summenformeln unter Verwendung des HILL-Systems.

1. Aceton 

2. Fulven 

Kapitel 15

Metallische Bindung

15.1 Bindungstypen

Beschreiben Sie in eigenen Worten, was man unter einer ionischen, einer kovalenten und einer metallischen Bindung versteht. Beschreiben Sie in der Abgrenzung zwischen ionischer und kovalenter Bindung auch, was es mit den Begriffen homöopolar und heteropolar auf sich hat. Es sollte auch der Begriff Elektronegativität in Ihrer Beschreibung vorkommen.

15.2 Kubisch raumzentrierte Struktur

Berechnen Sie die Packungsdichte im bcc-Gitter.

15.3 Hexagonale und kubisch flächenzentrierte Struktur

In der Vorlesung wurde festgestellt, dass eine hexagonale Struktur mit Stapelfolge ABCABC... als fcc-Struktur dargestellt werden kann (in der Regel tut man das auch). Damit wollen wir uns etwas detaillierter beschäftigen. In Abb. 15.1 ist ein quaderförmiger Ausschnitt aus einem hexagonalen Gitter mit ABCABC...-Stapelfolge in Dreiseitenansicht und perspektivisch gezeichnet. A-, B- und C-Lagen sind mit unterschiedlichen Grauwerten dargestellt. Auf der Internetseite zur Veranstaltung finden Sie eine .stp-Datei, so dass Sie die Geometrie nach Belieben frei rotieren können.

1. Zeichnen Sie eine einzelne primitive Einheitszelle ein und geben Sie die Zahl der darin enthaltenen Atome an.

2. Zeichnen Sie eine hexagonale Einheitszelle ein und geben Sie die Zahl der darin enthaltenen Atome an.

3. Zeichnen Sie eine fcc-Einheitszelle ein. Hinweise: die Zelle liegt "schief" in der gewählten Darstellung. Machen Sie sich bewusst, in welche Richtung nächste Nachbarn liegen, jeweils im hexagonalen Gitter und im fcc-Gitter.

4. Wie groß ist der Abstand b der Würfelecken im fcc-Gitter, ausgedrückt durch den Abstand a zwischen zwei benachbarten Atomen (durch dicke Striche verbunden)?

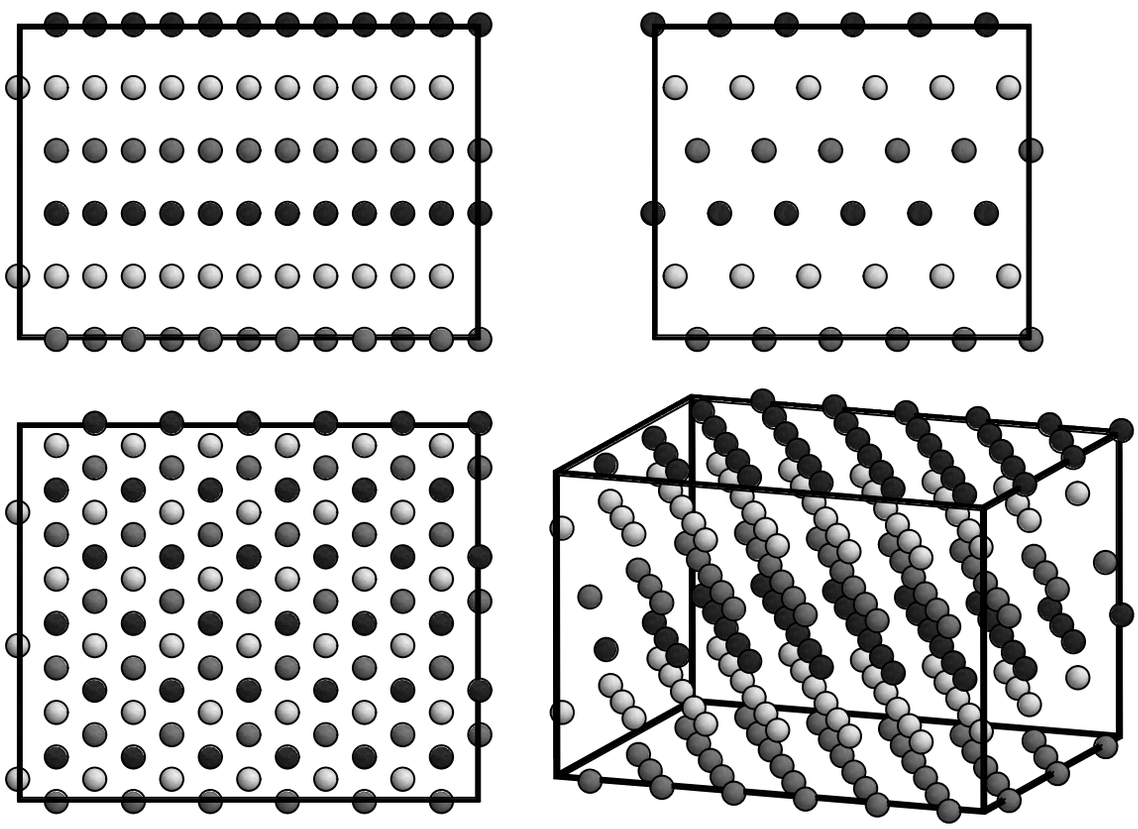


Abbildung 15.1: Hexagonales Gitter mit ABCABC...-Stapelfolge

Anhang A

Einheiten, Konstanten und Stoffwerte

A.1 Definierende Konstanten im SI

Bezeichnung	Zeichen	Zahlenwert	Einheit
Hyperfeinübergangsfrequenz des ^{133}Cs	$\Delta\nu_{\mathrm{Cs}}$	9 192 631 770	Hz
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	c_0	299 792 458	m/s
Planck-Konstante	h	$6.626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$	J s
Elementarladung	e	$1.602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$	C
Boltzmann-Konstante	k_B	$1.380\,649 \cdot 10^{-23}$	J/K
Avogadro-Konstante	N_A	$6.022\,140\,76 \cdot 10^{23}$	1/mol
Photometrisches Strahlungsäquivalent	K_{cd}	683	cd sr/W

A.2 Konstanten

Bezeichnung	Zeichen	Zahlenwert	Einheit
reduzierte Planck-Konstante	$\hbar$	$1.054\,571\,817... \cdot 10^{-34}$	J s
Rydberg-Konstante	R_∞	$10.973\,731\,568\,160(21) \cdot 10^{6}$	1/m
elektrische Feldkonstante	ϵ_0	$8.854\,187\,8128(13) \cdot 10^{-12}$	F/m
magnetische Feldkonstante	μ_0	$1.256\,637\,062\,12(19) \cdot 10^{-6}$	H/m
allgemeine Gaskonstante	R	8.314462618...	J/(mol K)
Gravitationskonstante	G	$6.674\,30(15) \cdot 10^{-11}$	$\mathrm{m^3/(kg\,s^2)}$
Normfallbeschleunigung	g_n	9.80665	$\mathrm{m/s^2}$
Fallbeschleunigung (Näherung)	g	9.81	$\mathrm{m/s^2}$
Elektronenmasse	m_e	$9.109\,383\,7015(28) \cdot 10^{-31}$	kg
		0.510 998 95 000(15)	MeV/c_0^2
Protonenmasse	m_p	$1.672\,621\,923\,69(51) \cdot 10^{-27}$	kg
		938.272 088 16(29)	MeV/c_0^2
Neutronenmasse	m_n	$1.674\,927\,498\,04(95) \cdot 10^{-27}$	kg
		939.565 420 52(54)	MeV/c_0^2
Deuterionenmasse	m_d	$3.343\,583\,7724(10) \cdot 10^{-27}$	kg
		1875.612 942 57(57)	MeV/c_0^2
Tritionenmasse	m_t	$5.007\,356\,7446(15) \cdot 10^{-27}$	kg
		2808.921 132 98(85)	MeV/c_0^2

A.3 Einheiten außerhalb des SI

Größe	Bezeichnung	Zeichen	Umrechnung
	Einheiten, die mit dem SI verwendet werden		
Zeit	Minute	min	1 min = 60 s
	Stunde	h	1 h = 60 min
	Tag	d	1 d = 24 h
ebener	Grad	°	$1° = \pi$ rad/180
Winkel	Minute	’	1’ = 1°/60
	Sekunde	”	1” = 1’/60
Fläche	Hektar	ha	1 ha = 10^4 m^2
Volumen	Liter	l, L	1 L = 1 l = 1 dm^3
Masse	Tonne	t	1 t = 1000 kg
	Dalton,	Da	1 Da = $1.660\,539\,066\,60(50) \cdot 10^{-27}$ kg
	(vereinheitlichte)		1 Da = $931.494\,102\,42(28)$ MeV/c_0^2
	atomare Masseneinheit	u	1 u = 1 Da
Energie	Elektronenvolt	eV	1 eV = $1.602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ J
	veraltete Einheiten		
Kraft	Kilopond	kp	1 kp = $g_n \cdot 1$ kg = 9.80665 N
Leistung	Pferdestärke	PS	1 PS = 75 kpm/s = 735.49875 W
Druck	technische Atmosphäre	at	1 at = 1 kp/cm^2 = 98.0665 kPa
Absolutdruck	technische Atmosphäre absolut		
		ata	1 ata = 1 at
Überdruck	technische Atmosphäre über dem Bezugsniveau		
		atü	$\frac{p}{[\text{atü}]} = \frac{p}{[\text{ata}]} - 1$
	Einheiten, die in der Thermodynamik verwendet werden		
Normaldruck	physikalische Atmosphäre		
		atm	1 atm = 101.325 kPa
Wärmemenge	thermochemische Kalorie		
		cal_{th}	1 cal_{th} = 4.184 J
Temperatur	Grad Celsius	°C	$\frac{\vartheta}{[°\text{C}]} = \frac{T}{[\text{K}]} - 273.15$
	Grad Fahrenheit	°F	$\frac{\vartheta}{[°\text{F}]} = \frac{9}{5}\frac{\vartheta}{[°\text{C}]} + 32$
	Einheiten, die in der Nautik verwendet werden		
Geschw.	Knoten	kn	1 kn = 1 M/h
Länge	Seemeile	M, sm	1 M = 1852 m
	Einheiten, die im angloamerikanischen Einheitensystem verwendet werden		
Länge	*statute mile* (Meile)	mile, mi	1 mi = 1760 yd
	yard	yd	1 yd = 3 ft
	foot (Fuß)	ft, ’	1 ft = 1’ = 12”
	inch (Zoll)	in, ”	1 in =1” = 2.54 cm
Volumen	*imperial gallon*	Imp.gal.	1 Imp.gal. = 4.54609 l
Masse	*pound* (Pfund)	lb	1 lb = 453.59237 g
	Einheiten, die im cgs und im Gaußschen cgs-Einheitensystem verwendet werden		
dynamische Viskosität	Poise	P	1 P = 0.1 Pas
kinematische Viskosität	Stokes	St	1 St = 10^{-4} m^2/s

A.4 Stoffwerte

Stoff	Größe		Zeichen	Zahlenwert	Einheit
		Feststoffe			
Aluminium	Wärmeausdehnungkoeffizent		α	$23.8 \cdot 10^{-6}$	1/K
Blei	volumenbezogene Masse		ρ	11.342	g/cm^3
Diamant	volumenbezogene Masse		ρ	3.52	g/cm^3
	Elastizitätsmodul		E	1035	kN/mm^2
Eis	volumenbezogene Masse		ρ	0.9167	g/cm^3
	spezifische Wärmekapazität		c	2.06	kJ/(kgK)
Eisen	spezifische Wärmekapazität		c	452	J/(kgK)
Gusseisen	volumenbezogene Masse		ρ	7.2	g/cm^3
	Elastizitätsmodul		E	100	kN/mm^2
Kochsalz	volumenbezogene Masse		ρ	2.17	g/cm^3
	Elastizitätsmodul		E	44	kN/mm^2
Messing	Wärmeausdehnungkoeffizent		α	$18 \cdot 10^{-6}$	1/K
Stahl	Wärmeleitfähigkeit		λ	14.5	W/(Km)
		Flüssigkeiten			
Benzin	volumenbezogene Masse		ρ	0.75	g/cm^3
	Heizwert		H	41	MJ/kg
Süsswasser	spezfische Wärmekapazität		c	4.18	kJ/(kgK)
	spezifische Schmelzwärme		q_s	332.5	kJ/kg
	Kompressionsmodul		K	2.08	kN/mm^2
	dynamische Viskosität	bei 20 °C	η	1.00	mPas
	volumenbezogene Masse	bei 20 °C	ρ	0.9983	g/cm^3
	volumenbezogene Masse	bei 25 °C	ρ	0.9970	g/cm^3
Seewasser	dynamische Viskosität	bei 15 °C	η	1.2231	mPas
	volumenbezogene Masse	bei 15 °C	ρ	1.0257	g/cm^3
		Gase			
Kohlendioxid	Binnendruck $\cdot V_m^2$		a	0.3637	Pam^6/mol^2
	Kovolumen		b	$42.7 \cdot 10^{-6}$	m^3/mol
Luft	volumenbezogene Masse		ρ	1.2041	kg/m^3
	Isentropenexponent		γ	1.38	–
	Schallgeschwindigkeit		c_S	343	m/s
Methan	volumenbezogene Masse		ρ	0.6596	kg/m^3
	molare Masse		M	16.04	g/mol
	spezifische Wärmekapazität bei isochorer Erwärmung		c_V	1.6975	kJ/(kgK)
	spezifische Wärmekapazität bei isobarer Erwärmung		c_p	2.2207	kJ/(kgK)
	Isentropenexponent		γ	1.31	–

Alle Stoffwerte für Gase beziehen sich auf physikalische Normalbedingungen ($p = 1$ atm und $\vartheta = 0$ °C)