Prof. Dr. Jürgen Eschner
Gebäude E 2 6, Raum 3.02
☎ +49 (681) 302 58016
✉ juergen.eschner@physik.uni-saarland.de
www.uni-saarland.de/lehrstuhl/eschner

Experimentalphysik I
– Wintersemester 2019/20 –
Übungsblatt 12

Aufgabe 42 – Angetriebene Schwingung mit Dämpfung – Amplitude

Betrachten Sie eine angetriebene, gedämpfte Schwingung im stationären Zustand. Die treibende Kraft sei $F_0 \cos(\omega\, t)$, die Reibungskraft $-b\, v$, die Federkonstante D und die Masse m.

a) Leiten Sie die Werte der Schwingungsamplitude bei $\omega = \omega_0$, $\omega = \omega_1$ und $\omega = \omega_\mathrm{R}$ her, sowie die auf die Amplitude bei $\omega = 0$ normierten Werte. (Die Größen ω_0, ω_1, ω_R und γ seien wie in der Vorlesung bzw. im Buch definiert.)

b) Wie groß sind die normierten Amplitudenwerte und deren relative Abweichungen voneinander für $\frac{\gamma}{\omega_0} = 10^{-1}$, $\frac{\gamma}{\omega_0} = 10^{-3}$ und $\frac{\gamma}{\omega_0} = 10^{-7}$?

c) Bestimmen Sie die absoluten Unterschiede zwischen ω_0, ω_1 und ω_R für eine optische Schwingung mit der Frequenz $\omega_0 = 2\pi \cdot 5 \times 10^{14}\,\mathrm{Hz}$ und der Dämpfung $\gamma = 2\,\pi \cdot 10\,\mathrm{MHz}$. (Die Werte sind typisch für ein Atom, das resonant zum Leuchten angeregt wird.)

Aufgabe 43 – Angetriebene Schwingung mit Dämpfung – Energie

Betrachten Sie wieder das System aus Aufgabe 42.

a) Berechnen Sie die in einer Schwingungsperiode dissipierte Energie W_Diss und die über die Schwingungsperiode gemittelte dissipierte Leistung P als Funktion der Antriebsfrequenz ω.

b) Zeigen Sie, dass die dissipierte Leistung $P(\omega)$ (bei vorgegebener Kraftamplitude F_0) für $\omega = \omega_0$ maximal wird.

c) Zeigen Sie, dass für den Fall schwacher Dämpfung, $\gamma \ll \omega_0$, die Funktion $P(\omega)$ durch eine Lorentz-Funktion $P(\omega) \simeq P_\mathrm{max}/(1 + \frac{(\omega-\omega_0)^2}{(\Delta\omega/2)^2})$ approximiert werden kann, und bestimmen Sie P_max und $\Delta\omega$. (Hinweis: Für diese Approximation müssen Sie an geeigneter Stelle im Nenner $\omega \simeq \omega_0$ verwenden, nicht jedoch dort wo die Differenz $\omega - \omega_0$ gebildet wird!)

d) Bestimmen Sie die Halbwertsbreite dieser Funktion, d.h. den Abstand der beiden Frequenzen, bei denen $P(\omega)$ auf die Hälfte ihres Maximalwertes abgefallen ist. Skizzieren Sie $P(\omega)$ in der Umgebung von ω_0.

e) Der Gütefaktor $Q = 2\pi \frac{E}{W_\mathrm{Diss}}$ mit der Gesamtenergie des Systems E und der pro Periode dissipierten Energie W_Diss ist eine Weise, die Dämpfung eines Oszillators zu charakterisieren. Berechnen Sie einen Ausdruck für Q und bestimmen Sie dessen Werte für die drei Situationen aus Aufgabe 42b) sowie für die Situation in 42c).

Aufgabe 44 – Gekoppelte Pendel mit Antrieb und Dämpfung

Zwei Körper mit Massen $m_1 = m_2 = m$ seien durch Federn mit den Rückstellkonstanten $D_1 = D_2 = D$ an ihre Ruhelagen $x_1 = 0$ und $x_2 = 0$ gebunden (siehe Vorlesung). Außerdem seien sie durch eine Feder mit der Federkonstanten D_{12} miteinander schwach gekoppelt. Die Schwingung sei nun schwach gedämpft. Schwache Dämpfung bedeutet hier, dass die beiden Resonanzkurven $A(\omega)$ der Normalschwingungen gut voneinander getrennt sind, der Abstand ihrer Maxima also erheblich größer als ihre Halbwertsbreite ist.

Nun werde eine der beiden Massen periodisch mit der Kraft $F = F_0 \cos(\omega t)$ angetrieben. Betrachten Sie **qualitativ** den stationären Zustand:

a) Wie sehen die Schwingungsamplituden sowohl der beiden Normalmoden als auch der beiden Einzelkörper als Funktion von ω aus? Skizzieren Sie diese vier Schwingungsamplituden gegen ω.

b) Skizzieren Sie ebenfalls die Schwingungsphase (relativ zum Antrieb) für die beiden Normalmoden und für die beiden Einzelkörper gegen ω.