

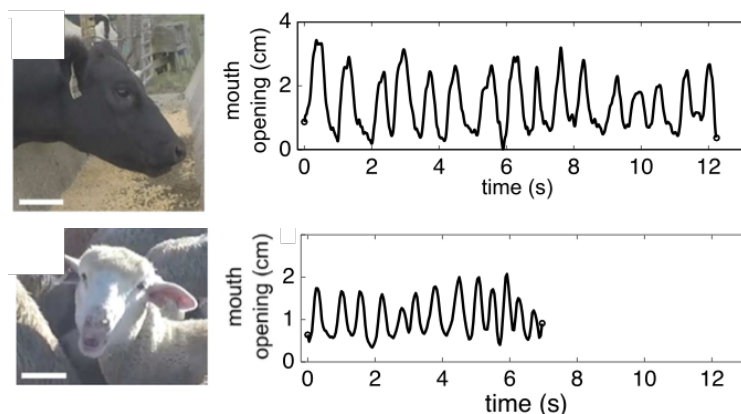
Übungsblatt 9

Besprechung in der Woche vom 25.1.2021

Aufgabe 1

Harmonisches Kauen: Ein Forscherteam hat die Kaubewegungen von Landsäugetieren untersucht (Viro *et al.*, *Scientific Reports*, 2017). Die Abbildung unten zeigt experimentelle Daten zur Öffnung des Maules als Funktion der Zeit für eine Kuh mit Masse $M_K = 427$ kg (oben) und für ein Schaf mit Masse $M_S = 31$ kg (unten). Wir wollen die Kaubewegung als harmonische Schwingung nähern.

- a) Bestimmen Sie aus den gezeigten Daten die ungefähre Kaufrequenz der Kuh f_K und des Schafes f_S . Was ist das Verhältnis f_K/f_S ?



- b) Was sind die Periodendauern der Kaubewegungen T_K und T_S ?
- c) Als einfaches Modell für die Kaubewegungen nehmen wir an, dass i) es sich um eine harmonische Schwingung des Kiefers handelt, ii) dass die Masse des Kiefers einem festen Anteil p der Gesamtmasse des Tieres entspricht ($M_{\text{Kiefer}} = p \cdot M_{\text{Tier}}$) und iii) dass die Kaumuskulatur eine lineare Rückstellkraft mit einer Federkonstante K ausübt, wobei p und K für alle Tiere gleich sind. Was ist die Vorhersage des Modells für das Verhältnis f_K/f_S ?
- d) Beschreibt das Modell die experimentellen Daten? Wie könnte man das Modell verbessern?

Aufgabe 2

Wiesenschaukel: Auf der Wiesn gibt es kleine Schiffschaukeln ($l = 4,0$ m), die von bis zu 2 Personen nur durch Gewichtsverlagerung angetrieben werden können (siehe Abbildung). Zunächst schaukelt nur Hans ($m_H = 70,0$ kg) auf der Schaukel ($m_S = 125$ kg). Nehmen Sie an, die Schaukel startet aus der Ruhe 2,0 m über dem tiefsten Punkt der Schaukel und Hans. Sie können Reibungseffekte vernachlässigen.

- a) Wie groß ist seine Geschwindigkeit, wenn Hans den tiefsten Punkt erreicht?



- b) Wie groß ist die Kraft, die auf die Aufhängung wirkt, wenn Hans den tiefsten Punkt erreicht?
- c) Unter der Annahme, dass Sie das System als ideales (mathematisches) Pendel nähern können, wie lange dauert es, bis Hans vom Zeitpunkt an dem er den tiefsten Punkt erreicht, wieder in seiner Ausgangslage ankommt?
- d) Wie viel Energie müsste Hans durch Gewichtsverlagerung noch in die Schwingung stecken, damit er den Überschlag gerade eben schafft? Welcher Geschwindigkeit am tiefsten Punkt entspricht das und wie ändert sich nun die Kraft auf die Aufhängung?
- e) Wie ändern sich die Ergebnisse der ersten vier Teilaufgaben, wenn Hans Freund Thomas ($m_T = 100\text{kg}$) zusätzlich mit auf der Schaukel steht?

Aufgabe 3

Molekülschwingung: In sogenannten Molekulardynamiksimulationen werden Atome als Punktmassen und chemische Bindungen als elastische Federn dargestellt. Wir betrachten hier ein Wasserstoffatom ($m_H = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$), das über eine Einfachbindung an ein wesentlich schwereres Molekül gebunden ist. Wir können hier die Bewegung des größeren Moleküls vernachlässigen und die Einfachbindung als harmonische Feder mit der Federkonstanten (in den in Molekulardynamiksimulationen üblichen Einheiten) $k_H = 140 \text{ \AA}^{-2} \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}$ annehmen.

- a) Geben Sie den Wert der Federkonstante k_H in SI Einheiten an.
- b) Stellen Sie die Differentialgleichung der Bewegung auf und lösen Sie diese.
- c) Was ist die Periodendauer der Schwingung des Wasserstoffatoms? Wie ändern sich die Periodendauer, wenn man anstelle von Wasserstoff nun Deuterium ($m_D = 2m_H$) bzw. Tritium ($m_T = 3m_H$) verwendet. (Hinweis: Hierbei können Sie für die Federkonstanten von Deuterium/Tritium folgendes annehmen: $k_H = k_D = k_T$)
- d) In Molekulardynamiksimulationen werden die Newton'schen Bewegungsgleichungen numerisch gelöst, indem man die Zeit in kleine Intervalle (sogenannte Zeitschritte) δt einteilt und für jeden Zeitschritt nacheinander die aktuellen Positionen der Atome berechnet. Als Faustregel muss man δt dabei so wählen, dass der Integrationsschritt mindestens 10 mal kleiner ist als die kürzeste Schwingungsperiode im simulierten System. Was für einen Integrationszeitschritt muss man nehmen, wenn wir davon ausgehen, dass die oben berechnete Wasserstoffschwingung die kürzeste Schwingungsperiode im simulierten System ist? Wie viele Integrationschritte muss man berechnen, um insgesamt 1 ns zu simulieren? Wie viele Schritte werden benötigt, um 1 ms zu simulieren?

Aufgabe 4

Handypendel: Hier wollen wir in der phyphox App Schwingungen mit unserem Handy messen. Dafür benötigen Sie euer Handy mit der phyphox App, stabilen Faden/Klebeband. Damit bauen Sie ihr Handy zu einem Fadenpendel um. Ihr Fadenpendel führt eine periodische Bewegung durch. Das bedeutet unter anderem, dass der Pendelkörper nach gleichlangen Zeitabschnitten (der Periodendauer T) immer wieder die gleiche Winkelgeschwindigkeit besitzt. Dies nutzt phyphox für das Experiment "Fadenpendel".

Das sogenannte Gyroskop deines Smartphones misst ständig die Winkelgeschwindigkeit in drei Bewegungsrichtungen. Diese Werte liest phyphox kontinuierlich aus (und stellt sie graphisch im Reiter "ROHDATEN" dar). Aus diesen Daten bestimmt phyphox die Zeitspanne, nach der immer wieder gleiche Werte auftreten. Eine graphische Darstellung der Ergebnisse findet Ihr im Reiter "AUTO-KORRELATION". Diese Zeitspanne ist die Periodendauer T , phyphox gibt diesen Wert und auch den der Frequenz f im Reiter "LÄNGE" aus.

Hinweis: Fadenpendel bewegen sich nur dann "harmonisch" (wir werden diesen Begriff später genauer erklären), wenn die Anfangsauslenkung x_0 nicht zu groß ist. Dies ist für Anfangswinkel kleiner als 20° der Fall. Bei einem Pendel mit der Fadenlänge $l = 1,00$ m darf die Anfangsauslenkung ungefähr $x_0 = 0,30$ m betragen, für kleinere Fadenlängen entsprechend weniger.

Wichtig ist auch, jeweils die Fadenlänge l deiner Anordnung zu bestimmen. Diese Fadenlänge l ist der Abstand des oberen Drehpunktes zur Mitte der Aufhängung deines Smartphones. Die wirklichen Fäden sind ein kleines Stück länger. Messen Sie also am besten mit einem Maßband den genauen Abstand.

- a) Messen Sie die Periodendauer T mit der App für drei verschiedene Pendellängen l
- b) Tragen Sie die gemessenen Periodendauern gegen die Länge auf.
- c) Was für einen physikalischen Zusammenhang erkennen Sie?