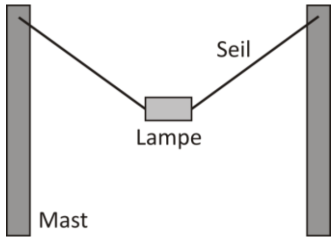
Grundlagen der Experimentalphysik I (WS 2017/18)
Prof. Dr. Martin Dressel
Übungsblatt 4 (17.11.17 und 20.11.17)

Aufgabe 4.1

Eine Straßenlampe ist an einem Drahtseil zwischen zwei Masten aufgehängt (siehe Abbildung rechts). Die Distanz der beiden Masten beträgt 30 m und die Masse der Straßenlampe ist 20 kg. Das Drahtseil soll so stark durchhängen, dass die Zugkraft, die das Drahtseil auf die beiden Masten ausübt, höchstens je 1000 N beträgt. Wie groß muss in diesem Fall der Durchhang in der Mitte mindestens sein? Was müsste das Seil aushalten, wenn der Durchhang auf 0,1 m erniedrigt würde?



Aufgabe 4.2

Ein Fallschirmspringer mit der Masse m springt von einem ruhig schwebenden Helikopter aus großer Höhe ab. Neben der Schwerkraft wirkt auf ihn eine geschwindigkeitsabhängige Luftwiderstandskraft, welche proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit ist (Kraft entgegen der Bewegungsrichtung):

$$F_L = \frac{1}{2} c_W \cdot A \cdot \varrho \cdot v^2$$

a) Stellen Sie die Bewegungsgleichung für die Geschwindigkeit $v(t)$auf. Bestimme Sie hierzu die resultierende Gesamtkraft auf die Masse und nutzen Sie das erste Newtonsche Axiom.

b) Nach einiger Zeit stellt sich ein stationärer Zustand ein, bei dem sich die Geschwindigkeit $v(t)$ nicht mehr ändert. Bestimmen Sie die Endgeschwindigkeit v_∞ des Fallschirmspringers aus der Bedingung $\frac{dv(t)}{dt}$ = 0. Wie groß ist v_∞ in den folgenden Fällen?

ϱ [kg/m³]	m [kg]	A [m²]	c_W	
1,17	90	0,2	1,1	Kopf nach unten
1,17	90	16	1,33	Fallschirm offen

c) Die Bewegungsgleichung aus a) ist eine nichtlineare Differentialgleichung 1. Ordnung und beschreibt die zeitliche Änderung der Geschwindigkeit $v(t)$.
Bringen Sie die Gleichung auf die Form:

$$\frac{dv}{dt} = g \cdot \left(1 - \frac{v^2}{v_\infty^2}\right)$$

Dann integrieren Sie in der Form

$$\frac{dv}{1 - \frac{v^2}{v_\infty^2}} = g\,dt$$

Substituieren Sie $x = \frac{v}{v_\infty}$ und $dx = \frac{dv}{v_\infty}$ und benutzen Sie die folgenden Beziehungen:

$$\int \frac{1}{1 \pm x}\,dx = \pm \ln(1 \pm x), \quad \frac{2}{1-x^2} = \frac{1}{1+x} + \frac{1}{1-x}, \quad \frac{e^{2x}-1}{e^{2x}+1} = \tanh x$$

Bestimmen Sie die funktionelle Abhängigkeit $v(t)$ und stellen Sie $v(t)$ für den Fall „Kopf nach unten“ graphisch dar.

Aufgabe 4.3

Bei Apollo 12 arbeiten die Triebwerke der ersten Stufe für t_B = 161 s. Die Masse der Rakete verringert sich dabei von 2880 t auf 761 t. Für die Ausströmgeschwindigkeit können Sie einen Wert von v_g = 2630 m/s ansetzen.

a) Berechnen Sie, welche Endgeschwindigkeit die Rakete besessen hätte, wenn sie nicht gegen die Schwerkraft anzukämpfen gehabt hätte.
b) Berechnen Sie die Geschwindigkeit von Apollo 12 nach Brennschluss der ersten Stufe unter der Annahme, dass die Bewegung der Rakete senkrecht nach oben erfolgt, Nehmen Sie hierfür die konstante Gravitationsbeschleunigung g = 9,81 m/s^2.
c) Berechnen Sie die Beschleunigung von Apollo 12 unmittelbar nach dem Start, nach 100 s und bei Brennschluss nach 161 s.

Aufgabe 4.4

Ein voll beladener Airbus A380 mit 560 t startet mit vollem Schub aus der Ruhe. Das Flugzeug verfügt über vier Triebwerke mit je 311 kN Schub, eine effektive Flügelfläche von A_F = 825 m^2, einen Auftriebsbeiwert c_A = 1,3 und einen Luftwiderstandsbeiwert c_W = 0,09 beim Start. Die Triebwerke haben einen Wirkungsgrad von 40%. Kerosin hat eine Dichte von 0,8 kg/l und eine Energiedichte von 11,9 kWh/kg. Die Dichte der Luft ist 1,225 kg/m^3.

Die Auftriebskraft ist $F_A = \frac{1}{2} c_A \cdot A_F \cdot \varrho \cdot v^2$

Die Reibungskraft ist $F_L = \frac{1}{2} c_W \cdot A_F \cdot \varrho \cdot v^2$

a) Wie groß ist die Beschleunigung auf der Startbahn? Rechnen Sie mit und ohne Reibung.
   Hinweis: Die Ergebnisse aus Aufgabe 4.2 c) können hier hilfreich sein.
b) Wie lange dauert es bis zum Abheben? Welche Strecke wird dabei zurückgelegt? Rechnen Sie mit und ohne Reibung.
c) Welche kinetische Energie hat das Flugzeug zum Zeitpunkt des Abhebens?
d) Wie viel Kerosin verbraucht der Startvorgang bis zum Abheben (mit und ohne Reibung)?