

# Physik 1: Mechanik und Thermodynamik

Humboldt–Universität zu Berlin, Wintersemester 2014/15,  
Dr. M. zur Nedden / Prof. Dr. S. Kowarik (VL),  
Dr. A. Nikiforov, A. Stasik, L. Pithan, M. Kerber und G. Hoffmann (UE)

## Übungsblatt 3

Ausgabe: Do, 30. Oktober 2014 in der Vorlesung oder online

Rückgabe: Do, 06. November 2014 vor Beginn der Vorlesung, 11.15

### Aufgabe 1: Gravitationskraft (35 %)

Der Betrag der Gravitationskraft für eine Masse  $m$  im Schwerfeld der Erde mit der Masse  $M$  ist gegeben durch:

$$F_G(r) = \frac{G m M}{r^2}$$

1. Bestimmen Sie durch Integration die potentielle Energie  $E_P(r)$ . Welche Wahl des Nullpunktes ist dabei für die folgenden Aufgaben sinnvoll?
2. Welche Geschwindigkeit müssen Sie erreichen, um das Gravitationsfeld der Erde verlassen zu können? Lösen Sie die Aufgabe unter Verwendung des Energiesatzes. Die Masse der Erde betrage  $M = 5.974 \cdot 10^{24}$  kg, ihr Radius am Äquator  $R = 6378$  km, die Gravitationskonstante ist  $G = 6.67428 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$ . Der Start finde am Äquator statt. Vernachlässigen Sie ferner die Erdrotation.
3. Ein Kind werfe einen Ball mit einer Anfangsgeschwindigkeit von  $v_0 = 15$  m/s senkrecht nach oben. Welche Masse müsste die Erde haben, dass der Ball das Schwerfeld der Erde verlassen kann?

### Aufgabe 2: Atwoodsche Fallwage (25 %)

An einem Seil, das über einer Rolle hängt, seien an den beiden Enden Gewichte der Massen  $M$  und  $m$  befestigt ( $M > m$ ), auf welche die Gewichtskraft  $M \cdot g$  bzw.  $m \cdot g$  wirke. Das Experiment wurde in der VL vorgeführt. Vernachlässigen Sie bei der Lösung die Reibung sowie die Masse des Seiles und der Rolle.

1. Skizzieren Sie den Versuchsaufbau und zeichnen Sie alle Kräfte ein.
2. Stellen Sie die Bewegungsgleichung für die größere Masse  $M$  auf.
3. Wie groß ist die Beschleunigung? Wie würden Sie damit die Erdbeschleunigung messen?
4. Bonus (10 %): Bauen Sie das Experiment auf und messen Sie Erdbeschleunigung  $g$ .

### Aufgabe 3: Space Shuttle (40 %)

Das *Space Shuttle* war eine wiederverwendbare Raumfähre, welche Nutzlasten von bis zu 20 t in den Weltraum befördern konnte. Damit wurden beispielsweise die tonnenschweren Module der Internationalen Raumstation ISS, die sich in einem Orbit in einer Höhe von durchschnittlich 340 km befindet, dorthin transportiert. Zum Antrieb des Shuttles dienten *Raketen*.

1. Bei der Verbrennung des Treibstoffes einer Rakete wird pro Zeitintervall  $dt$  ein kleiner Teil der Raketenmasse  $dm$  mit einer Geschwindigkeit  $v_R$  relativ zur Rakete nach hinten ausgestossen. Die Rate  $\mu = -\frac{dm}{dt}$  werde als konstant angenommen. Betrachten Sie die Änderung des Gesamtimpulses der Rakete (einschließlich des ausgestossenen Treibstoffes)  $dp$  zwischen den Zeitpunkten  $t$  und  $t + dt$ , und zeigen Sie, dass im Falle der Schwerelosigkeit (d.h. keine äusseren Kräfte) für die Geschwindigkeitsänderung  $dv$  der Rakete im Zeitintervall  $dt$  gilt

$$dv = -v_R \frac{dm}{m}$$

wobei  $m$  die (zeitlich veränderliche) Masse der Rakete sei.

2. Modifizieren Sie nun die Rechnung für eine Rakete, welche sich im Schwerfeld der Erde befinde (Schwerkraft  $F = m \cdot g$ ). Verifizieren Sie, dass die Geschwindigkeit der Rakete zum Zeitpunkt  $t$  mittels

$$v(t) = -v_R \ln \left( 1 - \frac{\mu t}{m(t=0)} \right) - gt$$

berechnen läßt. Die Größe  $-\mu \cdot v_R$  hat die Einheit einer Kraft und wird als *Schub* bezeichnet.

3. Das Space-Shuttle besitzt **drei** baugleiche Haupttriebwerke, welche Flüssigtreibstoff verbrennen. Dieser wird in einem Außentank mitgeführt. An diesem sind zwei Feststoffraketen (*Booster*) befestigt, die zusätzlichen Schub liefern. Die technischen Daten sind wie folgt:

	Außentank	Booster (pro Stück)
Leergewicht [t]	27	63
Startgewicht [t]	757	590
Schub [MN]	$3 \cdot 1.75$	12.46

In unserem Beispiel betrachten wir eine vereinfachte Startsequenz des Shuttels. Dabei arbeiten die Booster und das Haupttriebwerk nacheinander. Beim Start des Shuttels mit einem Eigengewicht von 109 t (*ohne* Booster und Außentank) laufen zunächst nur die Boosterraketen für 2 Minuten und werden dann abgeworfen. Danach werden die Haupttriebwerke gezündet und brennen für weitere 8.5 Minuten. Welche Geschwindigkeit besitzt das Shuttle nach Brennschluss?