Jules Verne und die Schwerelosigkeit

Aufgaben 2.–3.

Die Vorstellung, dass man bei einer freien Flugbahn zum Mond *nur* im neutralen Punkt schwerelos sein soll, ist falsch.
Alle Körper im Raumschiff bewegen sich mit der gleichen Geschwindigkeit auf der gleichen Bahn zum Mond – da sich alles gleich schnell bewegt, scheint es so, als würde keine Kraft auf die Körper wirken. (Galilei: Alle Dinge fallen [im Vakuum] gleich schnell.) Diese Situation ist vergleichbar mit dem freien Fall und sämtlichen Wurfbewegungen. In solchen Situationen entsteht Schwerelosigkeit. Natürlich auch im neutralen Punkt aufgrund der Kompensation der Kräfte – aber diesen Punkt würde man nicht bemerken auf dem Weg zum Mond.

Aufgaben 4.–5.

Im statischen System Erde – Mond ist der „neutrale“ Punkt die Stelle, an der sich die beiden Gravitationskräfte von Erde und Mond kompensieren.
Daher: Wenn r_{Erde} die Entfernung der Masse m von der Erde (M_{Erde}) ist und r_{Mond} die Entfernung der Masse m vom Mond (M_{Mond}), dann ergibt sich folgende Gleichung:

$$F_{\text{Erde}} = F_{\text{Mond}} \Rightarrow G \cdot \frac{m \cdot M_{\text{Erde}}}{r_{\text{Erde}}^2} = G \cdot \frac{m \cdot M_{\text{Mond}}}{r_{\text{Mond}}^2}$$

$$\frac{r_{\text{Erde}}}{r_{\text{Mond}}} = \sqrt{\frac{M_{\text{Erde}}}{M_{\text{Mond}}}} \approx 9\,.$$

Bemerkung

Wollte man die Lage dieses Punktes im *dynamischen* System Erde – Mond berechnen, müsste man außer den beiden Gravitationskräften noch die Zentrifugalkraft berücksichtigen, die aufgrund der Rotation des Systems um den gemeinsamen Schwerpunkt entsteht. Daher liegt der neutrale Punkt näher zur Erde, als sich durch Vergleich der Gravitationskräfte ergeben würde.
Erstaunlicherweise ergeben sich aber insgesamt fünf neutrale Punkte. Sie heißen *Lagrangepunkte* oder auch Librationspunkte und werden manchmal auch etwas salopp „die Parkplätze des Weltalls“ genannt. Wenn Sie mehr darüber erfahren möchten, bietet sich eine Abhandlung des Autors an, die Sie von seiner Homepage herunterladen können (Menüpunkt: „Expertenreferate“). Dort finden Sie auch ein Simulationsprogramm, mit dem sich die Bewegung eines Körpers im Bereich der Lagrangepunkte darstellen lässt. [2)]

Funksignale – mit Lichtgeschwindigkeit unterwegs

Beispiel 1

Der Stern Wega ist etwas weniger als 26 Lichtjahre von uns entfernt. Wenn elektromagnetische Wellen (Fernsehübertragung) 1936 mithilfe starker Sender auf der Erde ausgestrahlt wurden und diese sich ins Weltall ausgebreitet haben, erreichen sie nach fast 26 Jahren das Wega-System. Dort werden sie aufgefangen, verstärkt und zusammen mit anderen Informationen wieder zur Erde zurückgesendet, was ebenfalls etwas weniger als 26 Jahre dauert. Zwischen Aussendung und Empfang liegen also knapp 52 Jahre, was genau der Zeitspanne von 1936 bis 1988 entspricht.

Beispiel 2

Einer Meile entsprechen 1,609 km. Die Funkwellen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus. Es gilt daher:

$$t = \tfrac{s}{v} = \frac{8 \cdot 10^{10} \cdot 1{,}609}{3 \cdot 10^{8}}\,\text{s} = 429\,\text{s} = 7\,\text{min}\ 9\,\text{s}.$$

Die Angaben im Film stimmen sehr gut mit der Rechnung überein.

Ein Segeltörn nach Epsilon Eridani

Aufgabe 3

$$a(t) = \frac{2 \cdot L(t)}{M \cdot c} = \frac{2 \cdot 43\,000 \cdot 10^{12}\,\mathrm{W}}{7{,}58 \cdot 10^{7}\,\mathrm{kg} \cdot 3 \cdot 10^{8}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}} = 3{,}78\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 0{,}385\,\mathrm{g}$$

Dies entspricht dem Wert von Forward sehr gut, der in seinem Artikel die Beschleunigung von ein Drittel g angibt.

Aufgabe 4

Forward geht von einer Entfernung von 10,8 Lichtjahren aus. Die Beschleunigung des Raumschiffs wird mit 0,33 g angegeben. Die Beschleunigungsstrecke wird im Simulationsprogramm so eingestellt, dass sich eine Maximalgeschwindigkeit von ca. 0,5 c ergibt, so wie Forward es im Text angibt.
Damit ergeben sich die folgenden Werte:

	Simulation (Erde)	Forward	Simulation (Raumschiff)	Forward
Beschleu-nigung	1,7 Jahre	1,6 Jahre	1,6 Jahre	
Freiflug	19,8 Jahre	20 Jahre	17,1 Jahre	
Bremsen	1,7 Jahre	1,6 Jahre	1,6 Jahre	
Gesamt-zeit	23,2 Jahre	23,2 Jahre	20,3 Jahre	20,5 Jahre

Die Angaben, die Robert Forward gemacht hat, werden durch die Computersimulation sehr gut bestätigt.

Die Physik auf dem Planeten Mesklin

Aufgabe 1

Mit der Gravitationsbeschleunigung $a_{\mathrm{Grav}} = G \cdot \frac{M}{r^2}$

und der Zentrifugalbeschleunigung $a_z = \omega^2 \cdot r = 4\pi^2 \cdot \frac{r}{T^2}$

sowie $M = 16 \cdot 1{,}9 \cdot 10^{27}\,\mathrm{kg}$ und $T = 1065\,\mathrm{s}$ ergibt sich:
an den Polregionen:

$$a_{\mathrm{Grav}} = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{16 \cdot 1{,}9 \cdot 10^{27}}{(1{,}5885 \cdot 10^{7})^2} \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \approx 8036\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 819\,\mathrm{g},$$

auf dem Äquator:

$$a = G \cdot \frac{M}{r^2} - 4\pi^2 \cdot \frac{r}{T^2}$$

$$= 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{16 \cdot 1{,}9 \cdot 10^{27}}{(3{,}8625 \cdot 10^{7})^2} \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} - 4\pi^2 \cdot \frac{3{,}8624 \cdot 10^{7}}{1065^2} \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 1{,}5\,\mathrm{g}\,.$$

Die Angaben von Clement stimmen nicht exakt, aber zumindest in der Größenordnung.

Aufgabe 2

Mithilfe des Energieerhaltungssatzes erhält man aus

$\frac{1}{2} m v^2 = m \cdot a \cdot h$ die Formel $v = \sqrt{2 \cdot a \cdot h}\,.$

Damit ergibt sich für die Polregion eine Auftreffgeschwindigkeit von
$v = \sqrt{2 \cdot 275 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}5}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 52\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 187\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$
und für die Äquatorregion
$v = \sqrt{2 \cdot 3 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}5}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 5{,}45\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 20\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}\,.$

Aufgabe 3

Da der Auftrieb gleich dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit ist, diese aber um den gleichen Faktor schwerer ist als der Körper des im Wasser liegenden Menschen, wird dieser tatsächlich im Wasser schweben können.
Allerdings wäre der Wasserdruck, der auf den gesamten Körper einwirkt, 275-mal so groß wie auf der Erde. Bereits in 1 Meter Wassertiefe würde ein Druck herrschen wie in 275 Meter Tiefe auf der Erde. Natürlich könnte man versuchen, den Körper knapp unter der Oberfläche zu halten. In dem Roman von Hal Clement wird ein solches Verfahren für den Astronauten tatsächlich angewendet – allerdings nicht für Regionen in Polnähe, sondern für wesentlich moderatere Schwerkraftverhältnisse.