

Wir landen auf einem Kometenkern

Manchmal zeigt sich ein Komet am Himmel, der schon mit einem Fernglas oder gar mit bloßem Auge zu sehen ist, wie 1997 der Komet Hale-Bopp. Man sah mehrere Wochen lang seine Koma (Kometenatmosphäre) und seinen Schweif. Der darin verborgene 40 km große feste Himmelskörper war viel zu klein und zu dunkel, um aus der großen Entfernung gesehen zu werden.

Ein solcher Kometenkern besteht aus festen Formen von Wasser, gefrorenen Gasen und Staub. Erst wenn er in den inneren Bereich des Sonnensystems gelangt, gast der Kern unter dem Einfluss der Sonnenstrahlung aus und bildet die Koma, die den dunklen Winzling nun in eine riesige „Leuchtkugel“ mit Schweif verwandelt.

Kometen werden nicht nur von der Erde aus, sondern auch mit Raumsonden erforscht. Der 1867 von dem deutschen Astronomen Wilhelm Tempel (1821-1889) entdeckte Komet Tempel 1 war sogar schon zweimal das Ziel einer Kometenmission. 2005 erzeugte „Deep Impact“ mit ihrer Tochtersonde einen künstlichen Meteoriteneinschlag, um das unter der Oberfläche liegende Material zu untersuchen. 2011 fotografierte Stardust-NEXT den Einschlagkrater und von der Vorgängerin noch nicht untersuchte Teile der Kernoberfläche. Tempel 1 umläuft die Sonne bei einer mittleren Entfernung von $a = 3,11767 AE = 466,4 \cdot 10^6 km$ einmal in $T = 5,505$ Jahren.



Komet Hale-Bopp im April 1997 im Sternbild Perseus über den Bautzener Bergen. Foto: Lutz Clausnitzer

1. Wir können Tempel 1 näherungsweise als eine Kugel mit 6 km Durchmesser und einer Dichte von nur $0,6 gcm^{-3}$ beschreiben. Errechnen Sie seine Masse!
2. Sie wissen, dass ein Mensch auf dem Mond nur etwa ein Sechstel seines irdischen Gewichts hat. Wenn Sie z.B. 75 kg Masse haben, so besitzen Sie auf der Erde ein Gewicht von $F_G = m \cdot g_{Erde} = 75kg \cdot 9,81m \cdot s^{-2} = 736N$ und auf dem Mond ein solches von $F_G = m \cdot g_{Mond} = 75kg \cdot 1,62m \cdot s^{-2} = 122N$. Welches Gewicht hätten Sie auf dem Kometenkern? Ermitteln Sie zunächst die Fallbeschleunigung auf seiner Oberfläche!
3. Stellen Sie sich nun vor, Sie sind mit einem Raumschiff auf Tempel 1 gelandet. Um sich mit den physikalischen Bedingungen vertraut zu machen, führen Sie einige Experimente durch, die Sie von Ihrem Physikumterricht her kennen. Zuerst lassen Sie aus 1m Höhe einen Gegenstand zu Boden fallen. Wie lange dauert sein freie Fall? Nun bauen Sie ein 50cm langes Fadenpendel auf. Welche Schwingungsdauer besitzt es?
4. Ein Erdsatellit, der die Erde in 300km Höhe umrundet, besitzt eine Geschwindigkeit von $7,7kms^{-1}$ und benötigt für einen Umlauf 90min. Angenommen, Tempel 1 bekäme einen Satelliten, der seine Kernoberfläche in 100 m Höhe umkreist, so hätte dieser welche Geschwindigkeit und welche Umlaufdauer?
5. Am 4. Juli 2005 entließ Deep Impact ihre 372kg schwere Tochtersonde in Richtung Tempel 1, wo sie mit $10,2 kms^{-1}$ in die Oberfläche des Kometenkerns einschlug. Das Infrarotspektrometer der vorbei fliegenden Muttersonde und terrestrisch gewonnene optische Spektren verrieten die stoffliche Zusammensetzung des darunter verborgenen Materials. Errechnen Sie die beim Impakt freigesetzte Energie! Vergleichen Sie mit der kinetischen Energie eines besetzten Motorrades, wenn dieses a) auf der Erde und b) auf dem Kometenkern mit $100 kmh^{-1}$ führe.

Lösungen:

1. Der Kometenkern besitzt das Volumen $V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (3000m)^3 = \underline{11,3 \cdot 10^{10} m^3}$ und somit eine Masse von $m_{Kern} = \rho \cdot V = 0,6 \frac{t}{m^3} \cdot 11,3 \cdot 10^{10} m^3 = \underline{6,78 \cdot 10^{10} t}$.

2. Aus Gleichheit von Gewicht (des Menschen) und Gravitation, $m \cdot g_{Kern} = G \cdot \frac{m_{Kern} \cdot m}{r^2}$, ergibt sich mit $r = R_{Kern}$ auf der Oberfläche des Kometenkerns eine Fallbeschleunigung von $g_{Kern} = \frac{G \cdot m_{Kern}}{R_{Kern}^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} m^3 \cdot 6,78 \cdot 10^{13} kg}{(3000m)^2 \cdot kg \cdot s^2} = 0,000502 \frac{m}{s^2}$. Gegenüber dem irdischen Wert ist das $\frac{0,000502}{9,81} = 0,0000512 = 0,00512\%$ oder der 19500ste Teil. Sie verspürten also nur den 19500sten Teil Ihres Gewichts. Das sind 0,038N. Tempel 1 zöge Sie weniger an als die Erde einen 4g schweren Körper.

3. Für die Fallzeit erhält man $t = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{g_{Kern}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1m}{0,000502 m \cdot s^{-2}}} = 63s$, also etwa eine Minute.

Die Schwingungsdauer ist $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g_{Kern}}} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{0,5ms^2}{0,000502m}} = \underline{198s}$, mehr als 3 min.

4. Aus der Gleichheit von Radialkraft und Gravitationskraft, $\frac{m_{Sat} \cdot v_{Sat}^2}{r} = G \cdot \frac{m_{Kern} \cdot m_{Sat}}{r^2}$, folgt

$$v_{Sat} = \sqrt{\frac{G \cdot m_{Kern}}{r}} = \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} m^3 \cdot 6,78 \cdot 10^{13} kg}{3100m \cdot kg \cdot s^2}} = \underline{1,21 \frac{m}{s}}$$

$$\text{man } T_{Sat} = \frac{2\pi \cdot r}{v_{Sat}} = \frac{2\pi \cdot 3100m \cdot s}{1,21m} = 16100s = 268,3 \text{ min} = \underline{4h28 \text{ min}}.$$

Bemerkung: Das Ergebnis für v_{Sat} zeigt, dass ein Mensch auf der Kernoberfläche bereits bei einem Spaziergang die Fluchtgeschwindigkeit erreicht, d.h. schnell genug ist, um in die Umlaufbahn zu gelangen.

5. Die gesuchte Energie ist die Bewegungsenergie der einschlagenden Sonde:

$$E_{kin,S} = \frac{m}{2} v^2 = \frac{372kg \cdot 10200^2 m^2}{2 \cdot s^2} = 1,94 \cdot 10^{10} J = \underline{19,4GJ}.$$

Die kinetische Energie des besetzten Motorrades wäre auf beiden Himmelskörpern:

$$E_{kin,M} = \frac{m}{2} v^2 = \frac{372kg \cdot 27,78^2 m^2}{2 \cdot s^2} = 1,435 \cdot 10^5 J. \quad \text{Damit ergibt sich: } \frac{E_{kin,S}}{E_{kin,M}} = \underline{1,35 \cdot 10^5}.$$

Das Motorrad hätte sowohl auf dem Kometenkern als auch auf der Erde nur den 135000sten Teil der kinetischen Energie der Tochtersonde.