

## Abschlussklausur

Name: \_\_\_\_\_

Matrikelnummer: \_\_\_\_\_

- Bitte schreiben Sie Ihren Namen auf jede Seite und legen Sie Ihren Lichtbildausweis bereit.
- Erlaubte Hilfsmittel: Taschenrechner, zwei beidseitig beschriebene DIN A4 Blätter.
- Bearbeitungszeit: 120 min
- Ergebnisse bitte nur auf die Aufgabenblätter (ggf. auch die Rückseiten beschreiben).
- Viel Erfolg!

Aufgabe	Erreichte Punkte	Mögliche Punkte
1		30
2		15
3		20
4		20
5		15
$\Sigma$		100

### Einige nützliche Konstanten

Gravitationskonstante  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$

Erdmasse  $M_E = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

Erdradius  $R_E \approx 6400 \text{ km}$

Atmosphärischer Luftdruck bei  $20^\circ\text{C} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Dichte von Luft bei  $20^\circ = 1,20 \text{ kg/m}^3$

Name: \_\_\_\_\_

### Aufgabe 1

Verständnisfragen (30 Punkte). Geben Sie kurze Antworten (1-2 Sätze, ggf. mit kurzer Rechnung) auf die folgenden Fragen.

- a) Zu Beginn des *Superbowls* (dem Endspiel der US-amerikanischen Football Meisterschaft) fliegt eine Formation von Düsenjets mit konstanter Geschwindigkeit  $v = 800$  km/h über das Stadium. Im Stadium und im Luftraum darüber hat die Luft Normaldruck und eine Temperatur von  $20^\circ\text{C}$ . Fliegen die Düsenjets schneller oder langsamer als die Schallgeschwindigkeit in der Luft?
- b) Beim *Kickoff* (dem Anstoß) wird ein langer und hoher Ball getreten. Der Ball befindet sich, im Inertialsystem des Stadions gemessen, genau für 4 s in der Luft. Wenn einer der Piloten (siehe erste Teilaufgabe) in seinem Inertialsystem die Zeit misst, die der Ball in der Luft ist, misst er ein längeres oder kürzeres Zeitintervall als 4 s? Kann ein Pilot diesen Zeitunterschied mit seiner Armbanduhr (Ablesegenauigkeit  $\delta t = 0.1$  s) messen?
- c) Der Ball beim *Kickoff* (siehe die letzten beiden Teilaufgaben) lege insgesamt eine horizontale Distanz  $L$  zurück, bis er auf dem Spielfeld landet. Zum Zeitpunkt an dem der Ball seine größte (vertikale) Höhe erreicht, hat er eine horizontale Distanz von kleiner, gleich oder größer  $L/2$  zurückgelegt? Warum?

**Name:** \_\_\_\_\_

- d) *Otto von Guericke* ließ zwei abgedichtete hohle Halbkugeln mit 40 cm Durchmesser herstellen und mit der von ihm erfundenen Luftpumpe evakuieren. Welche Kraft war zur Trennung nötig (in einer Umgebung mit normalem atmosphärischen Luftdruck)?
- e) Wie ändert sich die Volumenflussrate durch ein Rohr, wenn statt der Nennweite 10 (Innendurchmesser 12,5 mm) die Nennweite 50 (Innendurchmesser 53 mm) verwendet wird? Alle anderen Parameter (unter anderem die Länge, die Druckdifferenz zwischen den Enden und die Viskosität des Fluids) sollen gleich bleiben und die Strömung als laminar und viskos angenommen werden.
- f) Ein Schiff schwimmt in einem großen Becken. Wie verändert sich der Wasserspiegel im Becken, wenn das Schiff sinkt? Warum?

**Name:** \_\_\_\_\_

- g) Unter welchen Voraussetzungen zeigt ein schwingungsfähiges System harmonisches Verhalten?
- h) Wie ändert sich die Kreisfrequenz  $\omega$  und die Gesamtenergie  $E_{\text{ges}}$  des Systems aus der letzten Teilaufgabe, wenn sich die Amplitude  $x_{\text{max}}$  halbiert?
- i) Eine Vollkugel und eine Hohlkugel, deren Masse in einem dünnen Rand konzentriert ist, rollen die gleich schiefe Ebene hinab. Wenn beide Kugeln die gleiche Masse  $M$ , die gleiche Oberflächenbeschaffenheit und den gleichen Radius haben und zeitgleich aus der Ruhelage losgelassen werden, welche Kugel erreicht das untere Ende der schiefen Ebene zuerst? Warum?
- j) Wie ändert sich das Ergebnis aus der letzten Teilaufgabe, wenn die Kugeln rutschen und nicht rollen? Sie können davon ausgehen, dass beim Rutschen keinerlei Drehbewegung auftritt.

Name: \_\_\_\_\_

## Aufgabe 2

**Geostationärer Satellit (15 Punkte).** Für Wetter- und Kommunikationssatelliten ist oft vorteilhaft, wenn ihre Umlaufbahnen *geostationär* sind, d.h. wenn ihre Umlaufzeit  $T$  um die Erde genau der Rotationsperiode der Erde, d.h.  $T = 1$  Tag, entspricht. In diesem Fall befindet sich der Satellit immer über demselben Punkt auf der Erdoberfläche, so dass z.B. Antennen oder Beobachtungsinstrumente nicht kontinuierlich neu ausgerichtet werden müssen. Für den Rest der Aufgabe können Sie die Erdrotation und Reibung vernachlässigen und die Erde als perfekte Kugel betrachten.

a) Stellen Sie eine Gleichung für stabile, kreisförmige Umlaufbahnen um die Erde auf. Geben Sie einen Ausdruck für den Radius der Umlaufbahn als Funktion der Umlaufzeit  $T$  an.

b) Wie weit über der Erdoberfläche befindet sich ein Satellit in einer *geostationären* Umlaufbahn?

c) Mit welcher Geschwindigkeit bewegt sich ein Satellit auf einer *geostationären* Umlaufbahn?

Name: \_\_\_\_\_

### Aufgabe 3

**Abgeworfener Sandsack (20 Punkte).** Ein Heißluftballon steigt vertikal mit einer konstanten Geschwindigkeit von 5 m/s. Als der Ballon genau 40 m über dem Erdboden ist, koppelt die Besatzung einen Sandsack ab (der zunächst mit dem Ballon verbunden war und mit ihm aufgestiegen ist). Nach dem Loskoppeln befindet sich der Sandsack im freien Fall. Sie können die Luftreibung vernachlässigen.

a) In welcher Höhe befindet sich der Sandsack 0,5 und 2,0 s nach seinem Abkoppeln?

b) Wie lange nach seinem Abkoppeln schlägt der Sandsack auf dem Boden auf?

c) Mit welcher Geschwindigkeit schlägt der Sandsack auf dem Boden auf?

**Name:** \_\_\_\_\_

d) Was ist die maximale Höhe über dem Erdboden, die der Sandsack erreicht?

e) Skizzieren Sie die Graphen von Beschleunigung  $a$  gegen Zeit  $t$ , Geschwindigkeit  $v$  gegen  $t$ , und Höhe  $z$  gegen  $t$ .

Name: \_\_\_\_\_

#### Aufgabe 4

**Projekt Gyrobus (20 Punkte).** Ein *Gyrobus* der Masse  $M = 1000$  kg wird durch die in einem Schwungrad gespeicherte Energie angetrieben. Das Schwungrad ist eine zylinderförmige Scheibe mit Radius  $r = 50$  cm und Dicke  $d = 10$  cm aus Stahl mit einer Dichte  $\rho = 7000$  kg/m<sup>3</sup>.

a) Mit welcher Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  muss sich die Schwungscheibe am Anfang der Fahrt mindestens drehen, damit der Bus eine Paßstrasse mit einem Gesamthöhenunterschied von  $h = 500$  m hinauffahren kann? In dieser Teilaufgabe können Sie Reibung vernachlässigen.

b) Wir gehen davon aus, dass die Schwungscheibe im Bus mit der in Teilaufgabe a) bestimmten minimalen Winkelgeschwindigkeit aufgeladen ist (d.h. also auf die gleiche Rotationsenergie wie in a) aufgeladen ist). Wie weit kann der Bus auf einer ebenen Strecke mit 50 km/h fahren? Berücksichtigen Sie den Luftwiderstand; der Widerstandskoeffizient des Buses betrage  $C_w = 0.5$  und seine Querschnittsfläche  $4$  m<sup>2</sup> und die Temperatur 20°C. Sie können Energieverluste im Bus und die Rollreibung vernachlässigen.



**Name:** \_\_\_\_\_

- c) An einer Haltestelle soll die sich in Ruhe befindliche Schwungscheibe wieder auf die im Aufgabenteil a) bestimmte Winkelgeschwindigkeit beschleunigt werden. Dazu steht eine konstante elektrische Leistung von  $P_{el} = 3000 \text{ W}$  zur Verfügung. Wie lange dauert der Aufladevorgang, wenn die Energieverluste beim Aufladen 20% betragen?

- d) Skizzieren Sie i) die Rotationsenergie und ii) die Winkelgeschwindigkeit als Funktion der Zeit während des Aufladevorgangs.

