Fachhochschule Aalen
Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen
Physik I Dr. Haan
SS 2004

Nachklausur am 4. Oktober 2004

Folgendes bitte deutlich schreiben:

Name: ________________________________

Vorname: ______________________________

Geburtstag: ____________________________

Matrikelnummer: ________________________

Sie haben für die Klausur 90 Minuten Zeit. Lösungen zählen nur dann, wenn der richtige Lösungsweg durch die Angabe der entsprechenden Formeln ersichtlich ist.
Zugelassene Hilfsmittel: Hering: Physik für Ingenieure, Kuchling: Taschenbuch der Physik, Scriptmitschrift der Vorlesung (gebunden, keine „Lose-Blatt-Sammlung"), Übungsaufgaben aus der Vorlesung (gebunden) und Taschenrechner.

Viel Erfolg,

Ihr

Hubertus Haan

1. Aufgabe (27 Punkte)

aus: Berliner Zeitung vom 11. Dezember 2003

Ungleicher Kampf

Michael Schumacher fährt im Ferrari mit einem Eurofighter um die Wette

ROM, 10. Dezember. Ungleiche Kämpfe faszinieren seit jeher das Publikum: David, der Steine gegen den Riesen Goliath schleudert, die Liliputaner, die Gulliver mit Seilen am Boden festzurren, Odysseus, der dem Riesen Polyphem das Auge ausbrennt. Der nächste Kampf in dieser Reihe findet an diesem Donnerstag um 11.30 Uhr auf dem Militärflughafen Baccarini im toskanischen Grosseto statt. Michael Schumacher tritt gegen Maurizio Cheli an. Der Deutsche sitzt in seinem Ferrari F2003-GA, der Italiener im nagelneuen Eurofighter Typhoon. Gemessen wird nach 500 Metern, nach 1 000 Metern und zuletzt noch einmal nach 1 500 Metern.

Die Piloten werden ihre Geräte auf zwei parallelen Pisten zum Start aufstellen. Das Rennen selbst wird nicht einmal eine halbe Minute dauern. Schumacher müsste die Strecke, wenn alles gut geht, in rund 23 Sekunden zurücklegen, das Düsenflugzeug, das nach 500 Metern bereits abhebt, dürfte dafür aber nach allen Berechnungen etwas weniger Zeit benötigen.

Nur wenig Chancen

Die italienische Zeitung La Stampa gibt Schumacher denn auch nur eine winzige Chance. Im ersten Abschnitt könnte der Ferrari-Pilot noch etwas schneller sein, glaubt das Blatt. Doch nach einem Kilometer sollten die beiden ziemlich gleichauf liegen und nach eineinhalb Kilometern müsste das Flugzeug klar gewonnen haben. Wie ungleich der Kampf ist, geht schon aus den technischen Daten der Konkurrenten hervor. Der Eurofighter wiegt 14 Tonnen und das Rennauto nur 600 Kilogramm. Schumacher muss mit schlappen 900 PS(=661.5 kW) *auskommen, während die Triebwerke des von Deutschland, Großbritannien, Spanien und Italien gebauten Kampfjets 120 kN Schub entwickeln. Auch die Höchstgeschwindigkeit der Konkurrenten unterscheidet sich erheblich: Schumacher erreichte mit seinem Wagen in Monza einen persönlichen Rekord von 368,8 km/h. Für den Jet ist Mach 2 die Spitze, doppelte Schallgeschwindigkeit* (=2*330 m/s).

Ihre Aufgabe ist es, zu berechnen, wer als erster die 500 m, 1000 m und 1500 m erreicht: der Ferrari oder der Eurofighter. Die zu verwendenden Daten sind im Artikel unterstrichen. Vereinfachende Annahmen: Luftwiderstand und Reibung beider Fortbewegungsgeräte seien zu vernachlässigen. Das heißt, während der Beschleunigungsphase liegt eine „Gleichmäßig beschleunigte Translation“ vor. Machen Sie die weitere Annahme, dass bei Erreichen der Höchstgeschwindigkeit der Rest der Wegstrecke als „Gleichförmige Translation“ zurückgelegt wird. Um zu entscheiden, welches Fortbewegungsmittel noch innerhalb der 1500 m langen Startbahn seine Höchstgeschwindigkeit erreicht, schlage ich folgende Reihenfolge der Berechnungen vor:

(a) Wie lange dauert es bei konstanter Beschleunigung aus dem Stand, bis der Ferrari und der Eurofighter jeweils ihre Höchstgeschwindigkeit erreicht haben und welche Strecke haben Sie dabei zurückgelegt ?
(b) Wie lange braucht der Ferrari und der Eurofighter bis zur 500 m Marke?
(c) Wie lange braucht der Ferrari und der Eurofighter bis zur 1000 m Marke?
(d) Wie lange braucht der Ferrari und der Eurofighter bis zur 1500 m Marke?
(e) Nach welcher Strecke sind Ferrari und Eurofighter genau nebeneinander (Kopf-an-Kopf)?

Lösung:
(a)

$$Eurofighter:$$

$$120\,kN\ Schub \Rightarrow F = m*a \ mit \ m = 10To \Rightarrow a = \frac{120\,kN}{14*1000kg} = 8.57\frac{m}{s^2} \qquad (2)$$

$$v = a*t \quad und \quad s = \frac{1}{2}at^2 \quad \Rightarrow \ s = \frac{v^2}{2a} = \frac{(660\frac{m}{s})^2}{2*8.57\frac{m}{s^2}} = 25414m \quad (2)$$

$$t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = 77s \quad (2)$$

$$Ferrari$$

$$v = 368.8\,km/h = \frac{368.8}{3.6}\ m/s = 102.44\,m/s$$

$$P = F*\frac{s}{t} = F*v = m*a*v = 661.5\,kW \ \Rightarrow \ a = \frac{P}{m*v} = \frac{661.5kW}{600kg*102.44\ m/s} = 10.76\frac{m}{s^2} \quad (2)$$

$$s = \frac{v^2}{2a} = \frac{(104.88\frac{m}{s})^2}{21.52\frac{m}{s^2}} = 511\ m \qquad (2)$$

$$t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = 9.75\,s \quad (1)$$

(b)

$Eurofighter:$

$$t=\sqrt{\frac{2s}{a}}=\sqrt{\frac{2*500m}{8.57\frac{m}{s^2}}}=10.8\,s \qquad (2)$$

$Ferrari$

$$t=\sqrt{\frac{2s}{a}}=\sqrt{\frac{2*500m}{10.67\frac{m}{s^2}}}=9.68\,s \qquad (1)$$

$Eurofighter:$

(c)

$$t=\sqrt{\frac{2s}{a}}=\sqrt{\frac{2*1000m}{8.57\frac{m}{s^2}}}=15.28\,s \qquad (1)$$

$Ferrari$

Beschleunigt bis $511m$ *in* $9.75s.$ (1)

weitere Strecke gelichförmig $s=v*t \Rightarrow t=\frac{s}{v}=\frac{1000m-511m}{102.44\frac{m}{s}}=4.77s$ (1)

also insgesamt $9.75s+4.77s=14.52s$ (1)

(d)

$Eurofighter:$

$t=18.71\,s$ (1)

$Ferrari$

also insgesamt $9.75s+9.65s=19.39\ s$ (1)

(e)

$$\textit{Eurofighter}:$$
$$s=\frac{1}{2}a_e t^2 \qquad (1)$$
$$\textit{Ferrari}$$
$$s=\frac{1}{2}a_f {t_1}^2+v_{\max}(t-t_1) \quad (1)$$
$$und \;\; t_1=\frac{v_{\max}}{a_f}=9.75s \quad (siehe\ Teil\ (a)) \quad (1)$$

$$\textit{Kopf}-an-\textit{Kopf} \;\Rightarrow\; gleichsetzen$$
$$\frac{1}{2}a_e t^2=\frac{1}{2}a_f {t_1}^2+v_{\max}(t-t_1)$$
$$\frac{1}{2}a_e t^2-v_{\max}t+v_{\max}t_1-\frac{1}{2}a_f {t_1}^2=0$$
$$\frac{1}{2}a_e t^2-v_{\max}t+v_{\max}\frac{v_{\max}}{a_f}-\frac{1}{2}a_f\frac{{v_{\max}}^2}{{a_f}^2}=0$$
$$\frac{1}{2}a_e t^2-v_{\max}t+\frac{1}{2}\frac{{v_{\max}}^2}{a_f}=0$$
$$t^2-\frac{2v_{\max}}{a_e}t+\frac{{v_{\max}}^2}{a_f a_e}=0$$
$$t_{1/2}=\frac{v_{\max}}{a_e}\pm\sqrt{(\frac{v_{\max}}{a_e})^2-\frac{{v_{\max}}^2}{a_f a_e}} \;=\; 11.95s+5.30=17.25 \quad (3)$$

$$\textit{Eurofighter}$$
$$s=\frac{1}{2}a_e t^2=1275m \quad (1)$$
$$\textit{Ferrari}$$
$$s=\frac{1}{2}a_f {t_1}^2+v_{\max}(t-t_1)=511m+768=1279 \quad (1)$$

2. Aufgabe (9 Punkte)

aus: Der Spiegel online, 28. September 2004

"Space Ship One" fliegt zehn Millionen Dollar entgegen

Das privat finanzierte Raumschiff "Space Ship One" hat seinen Rekordflugversuch von mehr als 100 Kilometern bis an den Rand des Weltalls gemeistert. Wenn der Flug innerhalb von zwei Wochen wiederholt wird, kann das Team von Raumfahrtenthusiasten zehn Millionen US-Dollar kassieren. Flüge für Weltraum-Touristen sind bereits in Planung.

(a) Falls „Space Ship One" in 100 km ohne zusätzlichen Antrieb verweilen will, könnte es auf eine Kreisbahn um die Erde schwenken. Welche Umlaufdauer (Periode T) müsste der Kapitän einhalten?

(b) In welcher Höhe über der Erdoberfläche müsste sich ein Körper befinden, um stabil geostationär zu stehen. (Ergebnis bitte mit Formeln begründen und berechnen, nicht irgendwo abschreiben).

Bitte rechnen Sie mit folgenden Werten:
Erdradius r=6370 km
Erdmasse= $6.0 * 10^{24}\,kg$
Periode der Erddrehung: 24 Stunden

Gravitationskonstante $\gamma_G = 6.637 * 10^{-11} \frac{m^3}{kg * s^2}$

Lösung:

(a)

$$F_G = F_Z = \gamma_G \frac{m_E m_{ship}}{r^2} = m_{ship}\omega^2 r = m_{ship}(\frac{2\pi}{T})^2 r = \frac{m_{ship} v^2}{r} \qquad (2)$$

$$\Rightarrow T = \sqrt{\frac{r^3 4\pi^2}{\gamma_G m_E}} = \sqrt{\frac{(6370*10^3 m + 100*10^3 m)^3 4\pi^2}{6.637*10^{-11}\frac{m^3}{kg*s^2}*6*10^{24} kg}} = 5181 s = 86 \min \qquad (2)$$

(b)

$$F_G = F_Z = \gamma_G \frac{m_E m_{ship}}{r^2} = m_{ship}\omega^2 r = m_{ship}(\frac{2\pi}{T})^2 r = \frac{m_{ship} v^2}{r} \qquad (2)$$

$$\Rightarrow r^3 = \frac{\gamma_G m_E T^2}{4\pi^2} = \frac{6.637*10^{-11}\frac{m^3}{kg*s^2}*6*10^{24} kg*(24*60*60s)^2}{4\pi^2}$$

$$r = 42303km \;\; oder \;\; (42303 - 6370km) = 35933 \; km \; über \; der \; Erdoberfläche \qquad (3)$$

3. Aufgabe (19 Punkte)

Ein Taucher entdeckt in 20 m Tiefe eine alte Kanonenkugel aus Stahl und will diese unbedingt heben. Er misst dazu die runde Kugel und stellt 20 cm Durchmesser = 10 cm Radius fest.

$$\rho_{Stahl} = 6.3\frac{g}{cm^3} = 6.3\frac{kg}{dm^3} = 63\frac{kg}{Liter} \qquad \rho_{Wasser} = 1\frac{g}{cm^3} = 1\frac{kg}{dm^3} = 1\frac{kg}{Liter}$$

a) Welche Masse und welches Gewicht (=Gewichtskraft!) hat die Kanonenkugel im Wasser?

Wieder zu Hause fertigt er einen speziellen Hebesack an, der genau so bemessen ist, dass er, wenn voll mit Luft befüllt, die Kugel in 20 m zu heben vermag.

b) Welches Volumen muss der Hebesack haben (das Gewicht der Hülle und der Luft im Hebesack sind zu vernachlässigen)?

Er überlegt sich, ob er es schafft, die Kugel, wenn diese einmal an der Oberfläche am Hebesack hängt, in sein Schlauchboot zu heben.

c) Welche Masse und welches Gewicht (=Gewichtskraft) hat die Kugel außerhalb des Wassers?

Wieder in 20 m angekommen bläst er den Hebesack mit Luft aus seiner Taucherflasche auf.

d) Wie viele Luftmoleküle muss er in den Hebesack füllen (die Wassertemperatur sei 20 °C)?

Nun beginnt der Hebesack zu steigen, wobei sich die Luft im Hebesack ausdehnt.

e) Wie viele Luftmoleküle entweichen aus dem unten offenen Hebesack, bis dieser an der Oberfläche ist?

Oben angekommen stellt er fest, dass die Wasserpolizei in der Nähe ist und entschließt sich, die Kugel langsam wieder zu versenken. Dazu drückt er vorsichtig die an der Oberfläche am Hebesack hängende Kugel wieder in die Tiefe, ohne beim Abstieg Luft in den Hebesack zu geben.

f) Welches Volumen hat der Hebesack (nur der mit Luft gefüllte Teil ist gemeint), wenn die Kugel wieder am Boden angekommen ist?

g) Welche Masse und welches Gewicht haben das System Kugel und Hebesack nun am Boden?

Lösung

(a)

Masse $\rho_{Stahl} * Volumen_{Kugel} = 6.3\frac{g}{cm^3} * \frac{4}{3}\pi(10cm)^3 = 26389g$ (1)

Gewicht(skraft)=(m*g-Auftrieb des verdrängten Wassers*g)

$$G = (26.389kg - \frac{1}{1000}\frac{kg}{cm^3} * \frac{4}{3}\pi(10cm)^3)9.81\frac{m}{s^2} = (26.389kg - 4.19kg) * 9.81\frac{m}{s^2} = 217.77N \quad (3)$$

(b)

Auftrieb muss so groß sein, dass die Masse des verdrängten Wassers * g genau so groß ist, wie das Gewicht der Kugel im Wasser.

$$G_A = \rho_{Wasser} * V_{Ballon} * g = 217.77N$$
$$\Rightarrow V_{Ballon} = \frac{217.77N}{\rho_{Wasser} g} = \frac{217.77N}{\frac{1}{1000}\frac{kg}{cm^3} * 9.81\frac{m}{s^2}} = 22198cm^3 = 22.198\ Liter \quad (2)$$

(c)

Masse 26.389 kg (1)

Gewicht $G = 26.389kg * 9.81\frac{m}{s^2} = 258.88N$ (1)

(d)

$$PV = NKT$$
$$N = \frac{PV}{KT} = \frac{3*10^5 Pa * 22.198*10^{-3} m^3}{1.381*10^{-23} J/K * 293K} = 1.6*10^{24} Teilchen \quad (3)$$

(e)

$$\frac{P}{N} = const \quad \Rightarrow \quad N_{Wasseroberfläche} = \frac{P_{Wasseroberfläche}}{P_{20m}} N_{20m} = \frac{1*10^5}{3*10^5} N_{20m} \quad (2)$$

also ist noch 1/3 der ursprünglichen Teilchenzahl drin.

(f)

$$V = \frac{NKT}{P} = \frac{\frac{1}{3}*1.6*10^{24}*1.381*10^{-23} J/K * 293K}{3*10^5 Pa} = 7.2*10^{-3} m^3 = 7.2\ Liter \quad (2)$$

g)

Masse 6.3 kg (1)

$$G_A = m * g - \rho_{Wasser} * V_{Ballon} * g = 26.389kg * 9.81\frac{m}{s^2} - \frac{1kg}{dm^3} * 7.2dm^3 * 9.81\frac{m}{s^2} =$$
$$258.9N - 70.6N = 188.3N \quad (3)$$

4. Aufgabe (6 Punkte)

Die Wärmekapazität einer unbekannten Substanz soll bestimmt werden.

Dazu wird die Substanz der Masse 150 g und der Temperatur 35°C in ein Kalorimeter getaucht.

Das Kalorimeter ist mit 250 g Wasser ($c_{Wasser} = 4190 \frac{J}{kg * K}$)der Temperatur 15 °C gefüllt und das Gehäuse des Kalorimeters hat eine Wärmekapazität von 178J/K.

Es stellt sich eine Mischungstemperatur von 15.90 °C ein.

Welche Wärmekapazität hat die unbekannte Substanz?

Lösung:

$$m_u c_u (T_u - T_m) = m_{Wasser} c_{Wasser} (T_m - T_1) + C(T_m - T_1)$$

$$c_u = \frac{m_{Wasser} c_{Wasser} (T_m - T_1) + C(T_m - T_1)}{m_u (T_u - T_m)} = \frac{0.25kg * 4190 \frac{J}{kg * K} * 0.90K + 178 \frac{J}{K} * 0.9K}{0.15kg * 19.1K} = 385 \frac{J}{kg * K}$$

(6)