Albert-Ludwigs-Universität
Fakultät für Mathematik und Physik

Abschlußklausur zur Vorlesung Experimentalphysik I WS 2009/10

19. Februar 2010

Hinweise:

Es werden 8 Aufgaben gestellt (bitte überprüfen Sie die Unterlagen). Für jede Teilantwort gibt es einen Punkt (insgesamt 27 Punkte). Die Klausur ist bestanden, wenn mindestens 10 Punkte erreicht worden sind.

Vergessen Sie nicht, Ihren Namen (und Ihre Matrikelnummer) anzugeben!

Bei fast allen Fragen sind bei den Antworten Zahlenwerte (mit den richtigen Einheiten!) anzugeben. Skizzieren Sie auch immer den Lösungsweg - es muss nachvollziehbar sein, wie Sie auf die Lösung gekommen sind.

Name:

Matrikelnummer:

Formelsammlung

Konstanten

atomare Masseneinheit	u	$1.67\ 10^{-27}$ kg
Boltzmannkonstante	k_B	$1.38\ 10^{-23}$ J/K
Avogadro-Zahl	N_A	$6.023\ 10^{23}$
Gravitationskonstante	G	$6.673\ 10^{-11}$ N $\mathrm{m}^2/\mathrm{kg}^2$
Erdbeschleunigung	g	$9.81\ \mathrm{m/s}^2$
Atomgewicht Helium	m_{He}	4 u
Molekülgewicht Luft	m_L	28.8 u
Dichte Wasser	ρ_W	$1000\ \mathrm{kg/m}^3$

Benutzte Größen

Energie	E
Frequenz	f
Kreisfrequenz	$\omega = 2\pi f$
Wellenlänge	λ
Wellenzahl	$k = \frac{2\pi}{\lambda}$
Impuls	p
Masse	m
Teilchenzahl	N
Teilchendichte	$n = N/V$
Massendichte	ρ

Basics

Geschwindigkeit	$\vec{v} = \frac{d}{dt}\vec{r}(t) = \dot{\vec{r}}(t)$
Beschleunigung	$\vec{a} = \frac{d^2}{dt^2}\vec{r}(t) = \ddot{\vec{r}}(t)$
Gleichmäßige Beschleunigung	$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2}\vec{a}t^2$
Kinetische Energie	$E = \frac{1}{2}m\vec{v}^2 = \frac{\vec{p}^2}{2m}$
Impuls	$\vec{p} = m\vec{v}$
Drehimpuls	$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$
für $\vec{r}\perp\vec{p}$	$L = r\,p = r\,m\,v$

Dynamik

Aktionsprinzip	$\vec{F} = m\vec{a}$
Impulserhaltung	$\sum_i \vec{p}_i =$konst.
Energieerhaltung	$\sum_i E_i =$konst.
Gewichtskraft im (konstantem) Erdschwerefeld	$\vec{F} = m\vec{g}$
Kreisbewegung (bewegtes System)	
Zentrifugalbeschleunigung	$a_{Zf} = -\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$
Coriolisbeschleunigung	$a_C = -2\vec{\omega} \times \vec{v}$
Arbeit	$W = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{F} d\vec{s}$
Potentielle Energie im (konstanten) Gravitationsfeld	$E_{pot} = mgh$
Leistung	$P = \frac{dW}{dt}$
Impuls	$\vec{p} = \vec{p}_0 + \int_0^t \vec{F} dt$
Reibung (Coulomb)	$F_R = \mu F_\perp$

Dynamik starrer Körper

Masse eines Körpers	$M = \int_V \rho(\vec{r}) dV$
Schwerpunkt	$\vec{r}_S = \frac{1}{M} \int_V \vec{r}\rho(\vec{r}) dV$
Trägheitsmoment	$J = \int_V r_\perp^2 \rho(\vec{r}) dV$
Trägheitsmoment Kugel	$J = \frac{2}{5} M r^2$
Drehmoment	$\vec{T} = \vec{r} \times \vec{F}$
Drehimpuls	$\vec{l} = \vec{l}_0 + \int_0^t \vec{T} dt$
Winkelbeschleunigung	$\dot{\omega} = \frac{1}{J} T$
kinetische Energie	$E_{kin} = \frac{M}{2} v^2 + \frac{J}{2} \omega^2$
Steiner'scher Satz	$J = J_S + M a^2$

Dynamik deformierbarer Körper

Druck	$p = \frac{F}{A}$
Volumenarbeit	$W = \int_{V_1}^{V_2} p(V) dV$
Druck in Medien im Schwerefeld	$p = \rho g h$
Auftrieb	$F = g \rho V$
Oberflächenenergie	$E = \sigma A$
Stromdichte	$\vec{j}(\vec{r}) = \rho(\vec{r}) \vec{v}(\vec{r})$
Kompressibilität	$\kappa = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dp}$

Schwingungen und Wellen

Schwingungsfrequenz harmonischer Oszillator	$\omega = \sqrt{\frac{D}{m}}$
Wellengeschwindigkeit (Phasengeschw.)	$c = \frac{\omega}{k}$
Schallgeschwindigkeit im elastischen Medium (Stange)	$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ bzw. $v = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$
Schallgeschwindigkeit in Gasen	$v = \sqrt{\frac{1}{\kappa\rho}}$
Doppler-Effekt	$f = \frac{1}{1 \pm v/v_s} f_0$

Wärmelehre

Gleichverteilungssatz	$E = N\frac{f}{2}k_B T$
Zustandsgleichung ideales Gas	$pV = Nk_B T$
1. Hauptsatz	$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$
Adiabatische Zustandsänderung	$p = p_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^{-\gamma}$
	$T = T_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^{-\gamma+1}$
Adiabatenexponent	$\gamma = \frac{c_p}{c_V} = \frac{f+2}{f}$
Freiheitsgrade	$f = 3$ (Atome), $f = 5$ (zweiatomige Moleküle)
Kompressibilität	$\kappa = \frac{1}{\gamma p}$
Entropie	$dS = \frac{dQ}{T}$

Aufgabe 1:

Eine Bowlingkugel (Durchmesser 22 cm, Masse 6 kg) wird so geworfen, dass sie anfangs ohne Rotation über eine Bowling-Bahn gleitet. Wir nehmen an, dass zwischen der Kugel und der Bahn Coulomb-Reibung vorliegt, mit einem Reibungskoeffizienten von $\mu = 0.1$. Die Kugel habe anfangs eine Geschwindigkeit von 5 m/s.

a) Wie groß ist das durch die Reibungskraft verursachte Drehmoment auf die Kugel? (die Drehachse verläuft hier durch den Schwerpunkt!)
b) Wie groß ist die resultierende Winkelbeschleunigung?
c) Für die Translationsbewegung kann man sich die Reibungskraft als im Schwerpunkt angreifend vorstellen. Wie groß ist die resultierende Beschleunigung (Vorzeichen?)?
d) Die Translationsgeschwindigkeit nimmt ständig ab, die tangentiale Geschwindigkeit der Kugeloberfläche aufgrund der Rotation zu. Zu welchem Zeitpunkt sind diese Geschwindigkeiten gleich (dann rollt die Kugel ohne Schlupf)?

Aufgabe 2:

Ein Ballon werde bei normalen Bedingungen (in Luft bei Temperatur 300 K und Druck 10^5 Pa) mit 20 m^3 Helium gefüllt. Der Ballon sei masselos und beliebig leicht dehnbar.

a) Wie groß ist die Tragkraft des Ballons? (d.h. mit welcher Kraft zieht er nach oben; vergessen Sie hierbei nicht die Gewichtskraft des Heliums!)
b) Wenn man den Ballon nun in eine Höhe von 10000 m steigen läßt, wo eine Temperatur von 240 K und ein Druck von $2.5 \cdot 10^4$ Pa herrscht, wie groß ist dann die Tragkraft des Ballons? (wenn das Helium Druck und vor allem Temperatur der Umgebung angenommen hat)
c) Jetzt bringt man den Ballon unter Wasser in eine Tiefe von 100 m (es sei hier T=300 K). Wie groß ist nun seine Tragkraft?

Aufgabe 3:

Muss man beim Curling die Coriolisbeschleunigung berücksichtigen? (hier werden die sogenannten Curlingsteine auf einer Eisbahn so geworfen bzw. angestoßen, dass sie in einer Entfernung von etwa 25 m möglichst präzise andere Steine treffen bzw. an einem gewünschten Ort liegenbleiben). Die Eisbahn liege in Vancouver, also bei 49º nördlicher Breite und sei nach Norden hin ausgerichtet. Der Stein bewege sich also nach Norden, mit einer Geschwindigkeit von 1 m/s. Diese Geschwindigkeit behalte er über die gesamte zurückgelegte Strecke (25 m) bei.
Von oben auf den Nordpol gesehen dreht sich die Erde gegen den Uhrzeigersinn; die Breite wird vom Äquator aus gemessen, ist also 90º am Nordpol.

a) Schreiben Sie die Winkelgeschwindigkeit der Erde und die Geschwindigkeit des Steins als Vektoren auf (die z-Achse sei parallel zur Drehachse der Erde, mit positiven Werten Richtung Norden, die y-Achse liege am Ort der Eisbahn parallel zur Erdoberfläche und zeige nach Osten; die x-Achse zeigt dann dort Richtung Süden schräg nach oben)
b) Wie groß ist also die Coriolisbeschleunigung? Vektor und Betrag angeben!
c) Wie stark wird der Stein also von der geraden Bahn abgelenkt? (d.h. wie groß ist der senkrechte Abstand seiner tatsächlichen Bahn zur geraden Bahn am Ende der 25 m Strecke? Sie können hier vereinfachend annehmen, dass die anfängliche Coriolisbeschleunigung über die ganze Zeit hinweg wirkt)

Aufgabe 4:

Wir betrachten isotherme und adiabatische Kompression. Ein Mol ($6*10^{23}$ Atome) Helium fülle ein Volumen von 10 l bei einer Temperatur von T=300 K.
Dieses Volumen wird nun erst isotherm auf 5 l komprimiert, dann adiabatisch auf 2 l.

a) Welche Druckarbeit wird bei dem ersten Schritt geleistet?
b) Wie groß ist die Endtemperatur des Gases nach dem zweiten Schritt?
c) Welche Druckarbeit wird bei dem zweiten Schritt geleistet?
d) Um wieviel ändert sich die Entropie des Wärmebads beim ersten Schritt? (Ab- oder Zunahme?)

Aufgabe 5:

Ein Wagen mit einer Masse von 1 kg stehe in Ruhe auf einer waagerechten Fläche vor einer Rampe. Nun werde er von einem Geschoß getroffen, wodurch er auf die Rampe zu und diese hinauf rollt. Das Geschoß habe eine Geschwindigkeit von 200 m/s und eine Masse von 20 g; es bleibe im Wagen stecken. Die waagerechte Entfernung des Wagens zur Rampe sei 50 cm; die Rampe habe einen Winkel von 25º gegenüber der Waagerechten. Der Wagen wird als Punktmasse angesehen, Reibung wird vernachlässigt.

a) Wie groß ist die Geschwindkeit des Wagens direkt nach dem Einschlag des Geschosses?
b) Bei welcher Höhe kommt der Wagen auf der Rampe zum Stehen (und kehrt dann um)?
c) Wie lange dauert es vom Moment des Einschlags bis zu dem Moment, in welchem der Wagen wieder seinen Startpunkt passiert?

Aufgabe 6:

Ein unbekanntes gasgefülltes Volumen kann dadurch bestimmt werden, dass man seine Kompressibilität misst. Die geht sehr präzise durch Vermessung einer Oszillation.
Also: an dem unbekannten Volumen, welches mit Luft bei T=300 K und $p=10^5$ Pa gefüllt ist, sei ein senkrechtes, glattes Glasrohr mit einem Innendurchmesser von 1 cm angebracht. In dieses wird eine runde Masse (5 g) eingebracht, die in dem Rohr reibungslos gleiten kann, dieses aber trotzdem dicht abschließt. Das Rohr sei lang genug, dass sich der kleine zusätzliche Druck aufbauen kann, der notwendig ist, um die auf die Masse wirkende Schwerkaft zu kompensieren.
Nach leichtem Anstoßen der Masse oszilliert dieses in dem Rohr mit einer Oszillationsperiode von 1.1 s ; hieraus läßt sich das Volumen berechnen.

a) Wie groß ist der Druck im Behälter, wenn die Masse ruht?
b) Wie groß ist die Zunahme der Druckkraft dF auf die Masse, wenn man sie schnell etwas hinunter drückt (d.h ihre Position um dh verändert), ausgedrückt als Funktion des unbekannten Volumens V_0 ? (adiabatische Kompression)
c) wie groß ist damit die Schwingungsfrequenz der Masse, wieder in Abhängigkeit von V_0 ?(für den in der Formel vorkommenden Druck wird der in a) ausgerechnete mittlere Druck eingesetzt)
d) wie groß ist damit das unbekannte Volumen?

Aufgabe 7:

Mit dem Kundt'schen Rohr kann man die Schallgeschwindigkeit in Festkörpern messen, indem man die Wellenlänge des von dem schwingenden Festkörpers erzeugten Schalls in Luft bestimmt. Eine 1 m lange Eisenstange werde zu longitudinalen Schwingungen angeregt, und zwar in der Grundmode, d.h. mit der längstmöglichen Wellenlänge (an den beiden freien Enden der Stange befinden sich Schwingungsbäuche). Der bei der Schwingung der Stange erzeugte Schall hat in Luft eine Wellenlänge von 13 cm (Schallgeschwindigkeit in Luft 340 m/s).

a) Wie groß ist die Wellenlänge der in der Eisenstange angeregten Welle?
b) Wie groß ist die Frequenz der Schallwelle in der Luft?
c) Wie groß ist also die Schallgeschwindigkeit in der Eisenstange?

Aufgabe 8:

Wir betrachten eine idealisierte „halfpipe“ für Snowboarder, eine waagerechte Rinne mit parabelförmigen Querschnitt (das zugehörige Potential ist konstant in x-Richtung, und steigt in y-Richtung quadratisch an). Die Krümmung der Wände sei so, dass sie in einem Abstand von 4 m zur Mittellinie der Rinne (also bei $y = \pm 4$ m) eine Höhe von $z = 2$ m erreicht haben (die Mittellinie liege bei $z=0$).

a) Schreiben Sie die potentielle Energie $V(x,y)$ eines Snowboarders mit 100 kg Masse auf.
b) Wie groß ist damit die Schwingungsfrequenz bei einer Bewegung nur in y-Richtung (senkrecht zur Rinne)?
c) Wie lautet die Bahnkurve eines Snowboarders, der bei $(x,y,z)=(0,0,0)$ startet mit Startgeschwindigkeit $(v_x,v_y,0)$? (geschrieben als zeitabhängiger dreidimensionaler Vektor).