Fachrichtungen der Physik

UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

Physikalisches Grundpraktikum für Physiker/innen

Teil I

Drehbewegungen

WWW-Adresse Grundpraktikum Physik: http://grundpraktikum.physik.uni-saarland.de/

Kontaktadressen der Praktikumsleiter:

Dr. Manfred Deicher
Zimmer: 1.11, Gebäude E 2.6
e-mail: manfred.deicher@tech-phys.uni-sb.de
Telefon: 0681/302-58198

Dr. Patrick Huber
Zimmer: 3.23, Gebäude E2.6
e-mail: p.huber@physik.uni-saarland.de
Telefon: 0681/302-3944

DREHBEWEGUNGEN

Stoffgebiet: Dynamik starrer Körper

Energie-, Impulserhaltungssatz

D'Alembertsches Prinzip

Zwangskräfte

Drehbewegung fester Körper

Drehmoment

Trägheitsmoment

Richtmoment

Trägheitskraft

Zentripetalkraft, Zentrifugalkraft

Corioliskraft

Kreisel

Elastischer, unelastischer Stoß

Fragen:

1. Wie sind Drehmoment und Drehimpuls definiert?

2. Wie lautet die Definition des Trägheitsmomentes?

3. Was besagt der Steinersche Satz?

4. Was versteht man unter den Hauptträgheitsachsen eines Körpers? Was sind freie Achsen?

5. Was versteht man unter dem Gewicht eines beschleunigten Körpers? ($\ddot{x}$=const.)

6. Was besagt der Drehimpulserhaltungssatz? Wie läßt er sich experimentell beweisen?

7. Wie sind Zentripetal- und Zentrifugalkraft definiert? Wie unterscheiden sie sich?

8. In welche Energieformen wird die potentielle Energie eines Körpers, der eine schiefe Ebene hinunterrollt, umgewandelt? Wie sind diese Energien definiert?

9. Warum ist der Quotient E_{trans}/E_{rot} beim Maxwellschen Fallrad während eines Falles konstant?

10. Welche Kräfte wirken auf einen Satelliten, der die Erde umläuft? Wann ist seine Umlaufbahn stabil?

11. Berechnen Sie die Bewegungsgleichung (7) von Teil B durch Differenzieren des für eine Höhe x aufzustellenden Energiesatzes.

12. Verifizieren Sie Gl.(6) von Teil B.

13. Neben dem d'Alembertschen Prinzip sind weitere allgemeine Prinzipien der Mechanik formuliert worden. Geben Sie zwei davon an.

Grundlagen:

Um von den Gesetzen der fortschreitenden Bewegung zu denen der Drehbewegung zu gelangen, setzt man anstelle von Kraft $\vec{F}$, Masse m, Wegstrecke $\vec{s}$, Geschwindigkeit $\vec{v}$ und Beschleunigung $\vec{a}$ die Größen Drehmoment $\vec{M}$, Trägheitsmoment J, Winkel φ, Winkelgeschwindigkeit $\frac{d\vec{\varphi}}{dt}$ und Winkelbeschleunigung $\frac{d^2\vec{\varphi}}{dt^2}$.

Geradlinige Bewegung (Translation)

	Formel	Einheit
Weg	$\vec{s} = \frac{1}{2}\vec{a}t^2 + \vec{v}t + \vec{s}_0$	m
Geschwindigkeit	$\vec{v} = \frac{d\vec{s}}{dt} = \dot{\vec{s}}$	ms^{-1}
Beschleunigung	$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{s}}{dt^2} = \ddot{\vec{s}}$	ms^{-2}
Masse	m	kg
Kraft	$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = \frac{d\vec{p}}{dt}$	N
Impuls	$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$	Ns

Kreisbewegung (Rotation)

	Formel	Einheit
Winkel	$\vec{\varphi} = \frac{1}{2}\frac{d\vec{\omega}}{dt}\ t^2 + \vec{\omega}t + \vec{\varphi}_0$	rad
Winkelgeschwindigkeit	$\vec{\omega} = \frac{d\varphi}{dt} = \dot{\vec{\varphi}}$	rad s^{-1}
Winkelbeschleunigung	$\frac{d\vec{\omega}}{dt} = \frac{d^2\vec{\varphi}}{dt^2} = \ddot{\vec{\varphi}}$	rad s^{-2}
Trägheitsmoment	$J = \int r^2 dm$	kg m^2
Drehmoment	$\vec{D} = J \cdot \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \frac{d\vec{L}}{dt}$	Nm
Drehimpuls	$\vec{L} = J \cdot \vec{\omega}$	Nm s

Im folgenden sollen Drehungen um eine feste Achse betrachtet werden.

Die der Bewegungsgleichung bei einer Translation $K = m\ddot{s}$ analoge Gleichung für Drehbewegungen lautet demnach

(1) $$D = J \cdot \ddot{\varphi}$$

D : Betrag des Drehmomentes
J : Trägheitsmoment
$\ddot{\varphi}$: Betrag der Winkelbeschleunigung

Wirkt ein zeitlich konstantes Drehmoment, so ist auch die Winkelbeschleunigung

(2) $$\ddot{\varphi} = \frac{D}{J} = \text{const.}$$

Durch zweimalige Integration läßt sich aus (2) der in der Zeit t zurückgelegte Winkel φ ermitteln.

(3) $$\varphi = \frac{1}{2}\ddot{\varphi}\, t^2 + \dot{\varphi}_0\, t + \varphi_0$$

$\dot{\varphi}_0$: Anfangswinkelgeschwindigkeit
φ_0: Anfangswinkel (zur Zeit t=0)

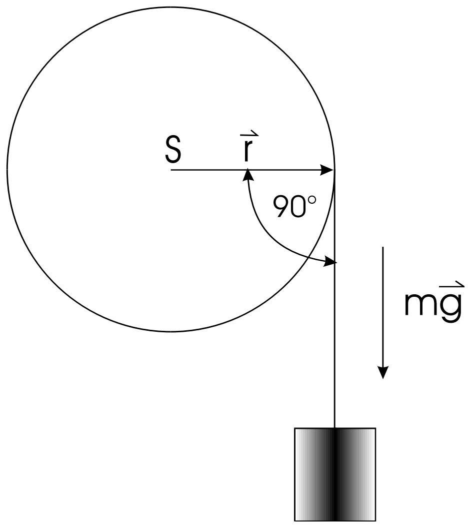
Es seien für das folgende $\dot{\varphi}_0$=0 und φ_0=0.

Kennt man die Zahl n der in der Zeit t zurückgelegten Umdrehungen, $\varphi = n \cdot 2\pi$, so kann man aus (3) die Winkelbeschleunigung $\ddot{\varphi}$ berechnen. Damit läßt sich aus (1) das Trägheitsmoment J bestimmen, wenn D bekannt ist.

Bei einem Teil der Versuche wird das konstante Drehmoment durch Gewichtskräfte erzeugt, die über ein Seil tangential an einer an einem Drehkörper befestigten Kreisscheibe , d.h. senkrecht zum Radiusvektor $\vec{r}$ angreifen. Dann gilt (siehe Abb.):

$$D = m \cdot g \cdot r \qquad (4)$$

m : Masse der Gewichtsstücke
g : Erdbeschleunigung
r : Radius des Rades



Das Trägheitsmoment eines starren Körpers läßt sich durch Integration der Gleichung

$$dJ = r^2 dm \tag{5}$$

dm : Massenelement
r : Abstand des Massenelementes von der Drehachse

bestimmen.

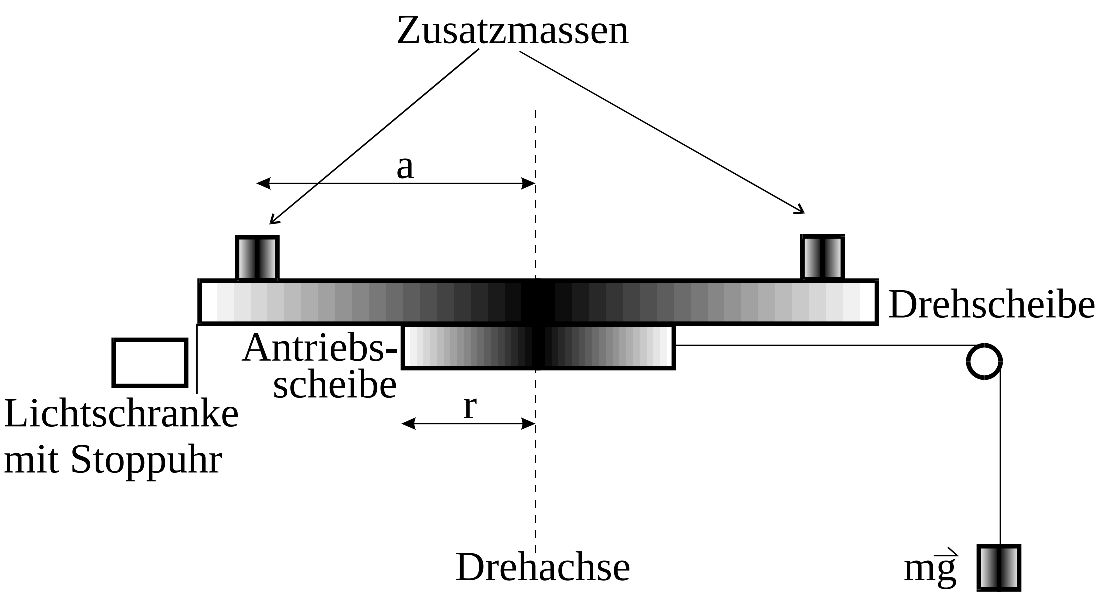
Verläuft die Drehachse nicht durch den Schwerpunkt des Körpers, so läßt sich das Trägheitsmoment um die Achse A aus dem Trägheitsmoment J_S um die dazu parallele Achse durch den Schwerpunkt nach dem Steinerschen Satz berechnen:

$$J_A = J_S + M \cdot a^2 \tag{6}$$

J_S : Trägheitsmoment um die Schwerpunktsachse
M : Gesamtmasse des Körpers
a : Abstand Schwerpunktachse zur Drehachse

Versuch A: Drehtisch

Aufgabe:
Man bestimme
a) das Trägheitsmoment des leeren Drehtisches und
b) das Trägheitsmoment des Drehtisches, der mit Gewichten in verschiedenen Abständen von der Drehachse belastet wird.



Messung:

In Aufgabe a) erzeuge man gemäß Gleichung (4) durch
3 verschiedene Massen m=100g, 200g und 300g und zwei verschiedene Radien der Antriebsscheibe von 2,5cm und 3,5cm sechs verschiedene Drehmomente und bestimme die Winkelbeschleunigung $\ddot{\varphi}$ aus Gleichung (3) für jeweils 3 Umdrehungen ($\varphi = 6\pi$). Die Zeit t für 3 Umdrehungen messe man jeweils 3 mal und nehme den Mittelwert.

Man trage die Funktion $D = f(\ddot{\varphi})$ graphisch auf und entnehme daraus das Trägheitsmoment J des Drehtisches (Fehlerrechnung !).

In Aufgabe b) überprüfe man die Gültigkeit des Steinerschen Satzes auf folgende Weise: Auf dem Drehtisch sind symmetrisch zur Achse in verschiedenen Abständen a je zwei Löcher gebohrt. Man stecke die zwei Gewichte mit ihren Stiften auf dem Drehtisch in jeweils zwei zusammengehörende Löcher und bestimme dann nacheinander für alle Abstände a von der Drehachse das Trägheitsmoment des Tisches mit Gewichten. Die verschiedenen Trägheitsmomente messe man wie in Aufgabe a) mit dem durch m=200g und r=2,5cm gegebenen Drehmoment.

Von den so erhaltenen Gesamtträgheitsmomenten J_{ges} von Tisch und Gewichten ziehe man dann das in Aufgabe a) gemessene Trägheitsmoment des Drehtisches J_T und die Trägheitsmomente der Gewichte J_S bezüglich ihrer zur Drehachse parallelen Achse durch ihren Schwerpunkt ab. Letzteres berechnet man aus der Masse M und dem Radius R der Gewichte gemäß:

$$J_S = \frac{1}{2} M R^2 \qquad (7)$$

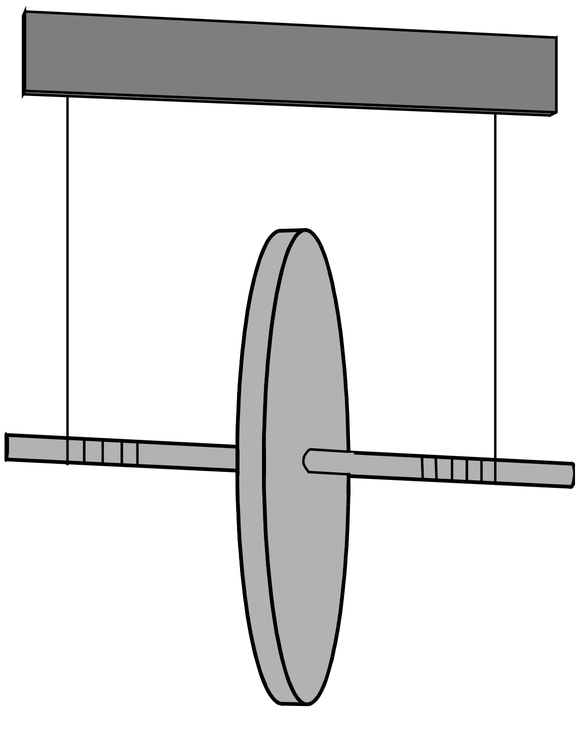
da die Gewichtskörper Zylinderform haben. Die Differenz $J_{ges} - (J_T + 2 \cdot J_S)$ trage man als Funktion von a^2 graphisch auf.

Wie können Sie aus dieser Kurve die Gültigkeit des Steinerschen Satzes nachprüfen?

Zusatzaufgabe:
Man berechne die Rotationsenergie des unbelasteten Drehtisches nach Durchlaufen von 3 Umdrehungen bei m = 200g und r = 2,5cm.

Versuch B: Maxwellsches Fallrad

Grundlagen:



Das Maxwellsche Fallrad ist eine Metallscheibe, die senkrecht an zwei an ihrer Achse befestigten Fäden hängt. Wickelt man diese Fäden auf und läßt dann das Rad fallen, so spulen sie sich ab, und neben der Translationsbewegung entsteht eine Rotationsbewegung des Rades.

Das Maxwellsche Fallrad stellt ein Anwendungsbeispiel des d'Alembertschen Prinzips dar, das besagt:

$$\sum_i K_i - \sum_i Z_i - m \cdot \ddot{x} = 0 \qquad (1)$$

wobei K_i die von außen an einem Körper angreifenden Kräfte, Z_i die Zwangskräfte und $m \cdot \ddot{x}$ die d'Alembertsche Trägheitskraft bedeuten.

(m=Masse, $\ddot{x}$=Beschleunigung des Körpers). Durch Hinzufügen der Trägheitskraft erhält man so auch für den Fall beschleunigter Bewegungen eine Gleichgewichtsbedingung für die Kräfte. Beim Maxwellschen Fallrad vereinfacht sich Gl.(1) zu :

(2) $$m \cdot g - Z - m \cdot \ddot{x} = 0$$

wobei Z die Zwangskraft durch die Kopplung der Rotations- an die Translationsbewegung und mg die Schwerkraft darstellen. Gl(2) bedeutet also eine Zerlegung der Bewegung des Rades in die Translation und die dadurch erzwungene Rotation um die zur Drehachse parallele Schwerpunktsachse. Letztere wird durch das Drehmoment

(3) $$D = J_0 \cdot \ddot{\varphi} = Z \cdot r$$

bewirkt, wobei J_0 das Trägheitsmoment bezüglich der zur Drehachse parallelen Schwerpunktsachse des Rades ist, und $\ddot{\varphi}$ die Winkelbeschleunigung bedeutet.

Die geometrische Zwangsbedingung, die beide Bewegungen verknüpft, ist

(4) $$dx = r\, d\varphi$$

Zur Vereinfachung denke man sich die Gesamtmasse von Rad und Achse bei gleichbleibendem Trägheitsmoment in einem Ring konzentriert. Dieser habe den Radius R; dann ergibt sich:

(5) $$J_0 = m \cdot R^2$$

Mit (3) und (4) folgt die Zwangskraft

(6) $$Z = \frac{J_0}{r^2} \cdot \ddot{x}$$

und mit (2) und (5) erhält man als vollständige Bewegungsgleichung:

$$mg - m\ddot{x} \cdot (1 + \frac{R^2}{r^2}) = 0 \qquad (7)$$

Anmerkung:
Bei dem einfachen Problem des Fallrades läßt sich Gl.(7) kontrollieren, indem man auf die Zerlegung in Translation und erzwungene Rotation verzichtet und mit Hilfe des Steinerschen Satzes das Trägheitsmoment bezüglich der momentanen Drehachse bildet:

$$J_A = m \cdot (R^2 + r^2) \qquad (8)$$

Die am Schwerpunkt angreifende Schwerkraft verursacht das Drehmoment

$$D_S = m \cdot g \cdot r = J_A \cdot \ddot{\varphi} \qquad (8')$$

und mit (8) und (4) folgt direkt Gl.(7). Es ist zu erwähnen, daß der Vorteil der allgemeinen Formulierung der Gl.(1) in schwierigeren Problemen deutlicher wird.

Das Rad fällt, bis die Fäden abgewickelt sind. In der letzten Viertelumdrehung bevor das Rad seine tiefste Lage erreicht hat, greift der Faden nicht mehr tangential an der Achse an, und statt (4) erhält man als Zwangsbedingung (Fig.2):

$$x^* = r \cdot \sin\varphi \qquad (8'')$$

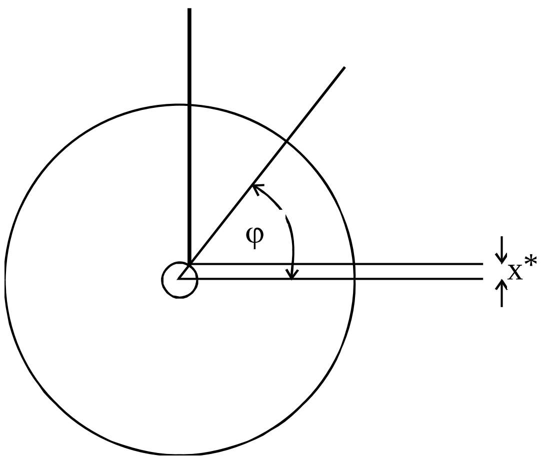


Fig.: 2

Bei φ=90° greift der Faden senkrecht an, und das durch ihn bewirkte Drehmoment ist Null. Translations- und Rotations-bewegung sind entkoppelt. Setzt man völlig unelastische Fäden voraus, so wird, da die Fäden an der Achse befestigt sind, in diesem Augenblick durch den erfolgenden Ruck die kinetische Energie der Translation E_{trans} vom Faden verschluckt, der Impuls ändert sein Vorzeichen, die Fäden spulen sich infolge der verbleibenden Rotationsenergie E_{rot} wieder auf, das Rad steigt in die Höhe, und nach der ersten Viertelumdrehung gilt wieder (4).

Mit Hilfe des Energiesatzes läßt sich die Steighöhe ermitteln. Während des Falles gilt :

$$E_{pot} + E_{trans} + E_{rot} = const \tag{9}$$

(E_{pot} = potentielle Energie). Das Rad sei in der Höhe h_1 losgelassen worden. Eine Viertelumdrehung vor dem unteren Umkehrpunkt sei die Höhe h_2 erreicht; dort gilt:

$$mg\,(h_1 - h_2) = \frac{1}{2} m\dot{x}_0^2 + \frac{1}{2} J_0 \dot{\varphi}_0^2 \tag{10}$$

Im Idealfall völlig unelastischer Fäden geht $\frac{1}{2} m\dot{x}^2$ an die Fäden verloren. Während der anschließenden Aufwärtsbewegung wird E_{rot} in E_{pot} umgewandelt, und das Rad steigt bis h_3 :

$$mg\,(h_3 - h_2) = \frac{1}{2} J_0 \dot{\varphi}_0^2 \tag{11}$$

Man kann, wenn man h_1, h_2 und h_3 kennt, das konstante Verhältnis von Translations- zu Rotationsenergie während des Falles bestimmen. Ebenso kann man das Verhältnis von Fallbeschleunigung $\ddot{x}$ zur Erdbeschleunigung g ermitteln, das sich aus (7) ergibt zu:

$$\frac{\ddot{x}}{g} = \left(1 + \frac{R^2}{r^2}\right)^{-1} \tag{12}$$

Anmerkung:
Völlig unelastische Fäden sind im vorliegenden Versuch nicht zu realisieren, so daß ein erheblicher systematischer Fehler auftritt.

Aufgabe 1:
Wie groß ist $\frac{E_{trans}}{E_{rot}}$ am unteren Umkehrpunkt ?

Messung :

a) Dazu bestimme man h_1, h_2 und h_3 und, da sie in Teil b benötigt wird, die Fallzeit t, jeweils als Mittelwert aus 20 Messungen. Den Quotienten bestimme man mit Hilfe von Gleichung (10) und (11).

b) aus Fallstrecke und Fallzeit bestimme man E_{trans} am unteren Umkehrpunkt. Mit Gleichung (10) berechne man E_{rot}.

c) Man begründe das unterschiedliche Ergebnis.

Aufgabe 2:

a) Wie groß ist $\frac{\ddot{x}}{g}$?

b) Wie verhält sich E_{trans} des Fallrades zu E^{*}_{trans} beim während der gleichen **Zeit** frei fallenden Rad ?

c) Wie verhält sich E_{trans} zu E^{**}_{trans} beim die gleiche **Strecke** frei fallenden Rad?

Messung :

Man bestimme $\ddot{x}$ des Fallrades aus Fallzeit und Fallstrecke, wobei zu beachten ist, daß $\ddot{x}$=const.

Aufgabe 3:

Man berechne aus den Ergebnissen der Aufgabe 2 den Trägheitsradius R und das Trägheitsmoment des Fallrades (m = 380g).

Messung :

Den Radius messe man an 10 verschiedenen Stellen mit der Mikrometerschraube. (Vorsicht ! Mikrometerschraube nur am äußersten Ende drehen !)

Aufgabe 4:

Man bestimme mit Hilfe des d'Alembertschen Prinzips die an einem frei fallenden Körper angreifende Kraft (Fallbeschleunigung = g).

Aufgabe 5:
Untersuchen Sie das Gewicht des fallenden Rades. Wie groß ist es, wenn das Rad ruht, fällt und steigt ?

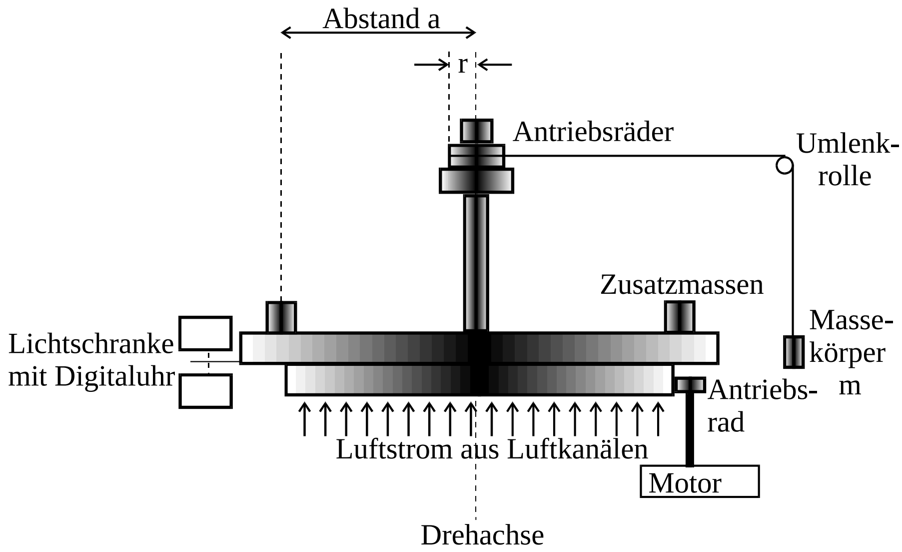
Durchführung:
1. Zuerst ist die als Waagebalken ausgebildete Halterung des Rades zu lockern (der Assistent zeigt es Ihnen).
2. Durch Gegengewichte ist der Zeigerausschlag der Waage für das ruhende Rad auf Null einzustellen.
3. Dann wird der Faden aufgerollt und das Rad fallen gelassen. Sie beobachten einen Zeigerausschlag. Bevor der untere Umkehrpunkt erreicht ist, müssen Sie wegen des dort entstehenden Rucks den Waagebalken festhalten.
4. Bei der anschließenden Aufwärtsbewegung des Rades ist wiederum ein Ausschlag des Zeigers zu beobachten.

Aufgabe 6:
Berechnen Sie das Gewicht für die drei Fälle der Aufgabe 5 mit Hilfe des d'Alembertschen Prinzips und des Resultates von Aufgabe 2.

Versuch C Drehbewegungsgerät nach Jordanhill

Grundlagen :
In diesem Versuch wird ein Luftkissentisch benutzt, über dem eine Drehscheibe (∅ = 298mm, m = 960g) schwebt und mit nur sehr geringer Reibung frei rotieren kann. Für die Aufgaben 1 und 2 wird die Scheibe durch konstant wirkende Kräfte angetrieben, die durch Gewichtskörper erzeugt werden. Für Aufgabe 3 läßt sich die Scheibe mit einem Motor mit konstanter Umlaufgeschwindigkeit antreiben. Zum Antrieb für die Aufgaben 1 und 2 wird der Träger mit der Dreifach-Antriebsscheibe auf die Drehscheibe aufgeschraubt. (Verwenden Sie die **kurzen**, keinesfalls die langen Schrauben!). Das Luftkissen wird mittels eines Gebläses erzeugt, das über einen Schlauch mit dem Lufteinlaßstutzen des Drehtisches verbunden wird. Die Drehtischfläche wird zunächst mit einem Tuch entstaubt. Nach Einschalten des Gebläses wird die Scheibe auf den kleinen Metallstift in der Mitte der Matrizenfläche gelegt.

Achtung:
Achten Sie darauf, daß das Gebläse eingeschaltet ist, bevor eine Bewegung der Scheibe angeregt wird !



Aufgabe 1:
Bestimmen Sie das Trägheitsmoment der Scheibe. Erzeugen Sie dazu gemäß Gleichung (4) der Anleitung durch 3 verschiedene Massen (m=10g, 20g und 30g) und zwei verschiedene Radien der Antriebsscheibe (r=3cm und r=2cm) sechs verschiedene Drehmomente und bestimmen Sie die Winkelbeschleunigung $\ddot{\varphi}$ aus Gl.(3) für je 2 Umdrehungen ($\varphi = 4\pi$). Bei jeder Einstellung messe man die Zeit für 2 Umdrehungen jeweils 3 mal und nehme den Mittelwert. Die Zeitnahme erfolgt mittels einer Lichtschranke, die mit einer Digitaluhr gekoppelt ist. Zunächst wird der an dem Antriebsscheibenträger angebrachte Metallstreifen in den Lichtstrahl gebracht und die Uhr durch Drücken des 'Reset'-Knopfes in die Nullstellung gebracht. (Läuft die Uhr danach sofort los, so ist der Lichtstrahl der Lichtschranke nicht richtig abgedeckt).
Die Scheibe wird mit Hilfe des am Drehtisch befestigten Reibrades in dieser Stellung festgehalten. Nach Wegziehen des Reibrades beginnt die Scheibe sich zu drehen, der Lichtstrahl wird freigegeben, und die Uhr startet. Nach 2 Umläufen stoppt die Uhr automatisch und gibt die benötigte Zeit an.
Tragen Sie die Funktion $D(\ddot{\varphi})$ graphisch auf und entnehmen Sie daraus das Trägheitsmoment J der Drehscheibe (Fehlerrechnung!). Vergleichen Sie mit dem theoretischen Wert.

Aufgabe 2:
Überprüfen Sie den Steinerschen Satz. Dazu stecken Sie die beiden Zusatzmassen (M=250g) auf die vorgesehenen Stifte auf dem Träger. Man messe die Abstände a von der Drehachse . Bestimmen Sie wie in Aufgabe 1 das Trägheitsmoment von Scheibe und Zusatzmassen J_{ges} mit r = 3cm und m = 10g sowie m = 20g. Von J_{ges} ziehe man das Trägheitsmoment der Scheibe J_S sowie das Trägheitsmoment der Zusatzgewichte, J_G, ab. Dabei ist $J_G = \frac{1}{2} MR^2$ wegen der Zylinderform der Zusatzmassen (R = 15 mm).
Die Differenz $J_{ges} - (J_S + 2\,J_G)$ trage man gegen a^2 graphisch auf. Wie kann man anhand dieser Kurve die Gültigkeit des Steinerschen Satzes überprüfen (Begründung!) ?

Aufgabe 3:
Messen Sie die an einem Probekörper angreifende Zentrifugalkraft. Anstelle des Trägers mit den Antriebsscheiben schraube man nun die Schiene mit dem Rollwagen auf die Drehscheibe. In den Wagen lege man den Metallquader. Der Wagen ist mit einem Feder-Dynamometer (Federwaage) verbunden. Dann verbindet man das Reibrad mit der Drehscheibe, die dadurch mittels eines Elektromotors mit variierbarer Drehgeschwindigkeit angetrieben werden kann. Die Drehgeschwindigkeit wird mit der Motorspannung geregelt, die am Netzgerät durch ein Grob- und ein Feinpotentiometer einstellbar ist. Der Motor darf mit maximal 6V Gleichspannung betrieben werden. Die Auslenkung des Feder-Dynamometers bedingt, daß der Abstand des Metallkörpers von der Drehachse nicht konstant ist, sondern mit steigender Drehfrequenz zunimmt. Daher muß dieser Abstand bei jeder Drehfrequenz neu bestimmt werden. Das geschieht, indem man zu dem Abstand zwischen Drehachse und Metallquader-Mitte in Ruhelage die jeweils an der Federwaage ablesbare Federverlängerung addiert.

Die Zentrifugalkraft F_Z sowie die Auslenkung der Feder können direkt an der Federwaage abgelesen werden. Bestimmen Sie die Umlauffrequenz der Scheibe für F_Z = 0.5N, 1.0N, 1.5N, 2.0N, 2.5N und 3.0N und den entsprechenden Umlaufradius der Probemasse. Die Auslenkung x der Feder pro Teilstrich ist am Arbeitsplatz angegeben, der Abstand d vom Schwerpunkt des Wagens zur Drehachse ohne Auslenkung der Feder beträgt 80mm. Bestimmen Sie ω aus der Zeit, die die Scheibe für 5 Umläufe benötigt. Diese wird mit der Digitaluhr gemessen, indem Sie zum Start der Zeitmessung den 'Reset'-Knopf drücken.

Tragen Sie $\frac{F_Z}{x+d}$ gegen ω^2 graphisch auf.

Welche Form hat die so erhaltene Kurve? - Welche Form sollte sie theoretisch haben? Führen Sie die Berechnung selbst durch.

Bestimmen Sie schließlich die Masse von Wagen und Metallblock aus Ihrer Meßkurve.

Vorsicht:

Ist der Elektromotor eingeschaltet, darf nicht versucht werden, die Scheibe mit der Hand im Uhrzeigersinn zu drehen!