

Zentrifugalkraft auf einen umlaufenden Körper – Messung mit dem Radialkraftgerät

Versuchsziele

- Berechnung der Zentrifugalkraft als Funktion der Winkelgeschwindigkeit für verschiedene Radien.
- Berechnung der Zentrifugalkraft als Funktion der Winkelgeschwindigkeit für zwei verschiedene Massen.

Grundlagen

Nach dem ersten Newtonschen Gesetz, dem Trägheitsgesetz gilt, dass ein Körper, an dem keine Kraft wirkt entweder in Ruhe ist oder sich geradlinig mit konstanter Geschwindigkeit bewegt. Führt ein Körper jedoch z.B. eine Kreisbewegung durch, müssen Kräfte auf diesen Körper wirken um diese Richtungsänderung hervorzurufen. Diese Kräfte sind z.B. von einem schnellen Fahrzeug in einer Kurve oder von einem Karussell bekannt.

Bei der Messung der Radialkraft (je nach Bezugssystem Zentripetalkraft oder Zentrifugalkraft) würden die üblichen Kraftmesser mit Federn die Drehung des Körpers mit durchführen und somit die Messung verfälschen.

Auf Anregung von Prof. Schürholz wurde daher in diesem Experiment die Messung der Radialkraft mit einem Torsionsdraht durchgeführt. Dadurch ist der Abstand des Körpers von der Drehachse in Ruhe und bei Rotation identisch. Wenn der Körper die Kreisbewegung durchführt kippt durch die Radialkraft der Spiegel. Die Veränderung des Bogenradius durch Neigung des Spiegels ist vernachlässigbar. Die Neigung des Spiegels ist proportional zur Radialkraft und kann durch einen Lichtzeiger erfasst werden.

Der Zusammenhang zwischen der Kraft und der Auslenkung des Lichtzeigers wird mit Hilfe eines Präzisionskraftmessers ermittelt.

Die Zentrifugalkraft oder Zentripetalkraft F ist gegeben durch:

$$F = m \cdot \omega^2 \cdot r \quad (I)$$

In diesem Experiment wird F als Funktion der Winkelgeschwindigkeit ω für zwei verschiedene Radien r und zwei verschiedene Massen m bestimmt. Die Winkelgeschwindigkeit wird aus der Umlaufzeit T des Lichtzeigers berechnet. T wird manuell mit einer Stoppuhr gemessen.

Geräte

1 Radialkraftgerät	347 22
1 Experimentiermotor.....	347 35
1 Steuergerät zum Experimentiermotor	347 36
1 Glühlampe 6 V/30 W.....	aus 450 511
1 Lampengehäuse mit Kabel	450 60
1 Kondensator mit Blendenhalter.....	460 20
1 Transformator 6/12 V, 30 W.....	521 210
1 Höhenmaßstab	311 22
1 Stativfuß V-förmig, klein.....	300 02
1 Stativstange 25 cm	300 41
1 Sockel	300 11
1 Leybold-Muffe	301 01
1 Handstoppuhr	313 07
1 Präzisionskraftmesser 1,0 N.....	314 141

Aufbau

Der Versuchsaufbau ist in Fig. 1 dargestellt.

- Den Experimentiermotor auf einem stabilen Tisch befestigen, s. Fig. 1.
- Das Radialkraftgerät sollte sich vollständig im Spannfutter des Experimentiermotors befinden.
- Der Höhenmaßstab im Sockel sollte sich in einem Abstand von ca. 80 cm vom Experimentiermotor befinden.
- Die Lampe wird mit dem Kondensator und Schlitzblende ausgestattet und so positioniert, dass der Lichtzeiger auf dem Höhenmaßstab zu sehen ist.

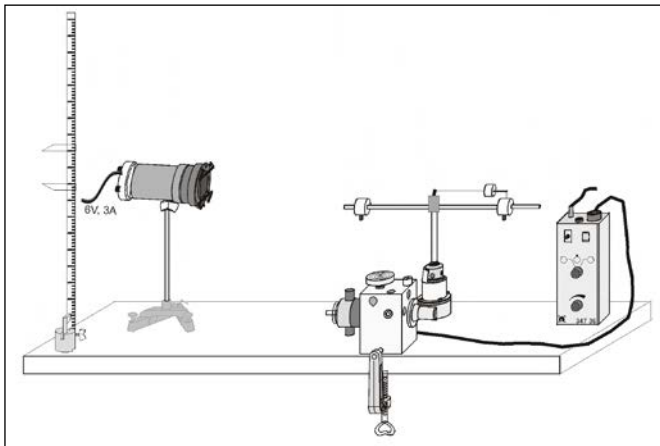


Fig. 1 Versuchsaufbau.

Durchführung

Der Versuch kann in drei Schritten durchgeführt werden.

a) Messung der Zentrifugalkraft als Funktion der Winkelgeschwindigkeit für zwei verschiedene Radien

- Das Radialkraftgerät wird mit der Masse $m = 12,5 \text{ g}$ bei $r = 10 \text{ cm}$ bestückt.
- Durch Erhöhung der Geschwindigkeit des Radialkraftgerätes wird die Ablenkung des Lichtzeigers erreicht. Der Lichtzeiger sollte zu Beginn um einen kleinen Wert, z.B. 2 cm abgelenkt sein.
- Die Umlaufzeit T wird mit einer Stoppuhr gemessen. Damit der Fehler der Messung möglichst klein gehalten wird, sollte T aus dem Mittelwert von z.B. 10 Umläufen bestimmt werden.
- Diese Messung für verschiedene Geschwindigkeiten des Experimentiermotors wiederholen. Es wird empfohlen die Geschwindigkeit immer so zu erhöhen, dass der Abstand des Lichtzeigers ca. 2 cm zum vorherigen Versuch beträgt.
- Das Experiment wiederholen mit dem gleichen Massestück, welches auf den Radius von 20 cm eingestellt wird.

b) Messung der Zentrifugalkraft als Funktion der Winkelgeschwindigkeit für zwei verschiedene Massen

- Das Radialkraftgerät wird mit der Masse $m = 25 \text{ g}$ $r = 10 \text{ cm}$ bestückt.
- Durch Erhöhung der Geschwindigkeit des Radialkraftgerätes wird die Ablenkung des Lichtzeigers erreicht. Der Lichtzeiger sollte zu Beginn um einen kleinen Wert, z.B. 2 cm abgelenkt sein.
- Die Umlaufzeit T wird mit einer Stoppuhr gemessen. Damit der Fehler der Messung möglichst klein gehalten wird, sollte T aus dem Mittelwert von z.B. 10 Umläufen bestimmt werden.

Hinweis: Zum Vergleich der Experimente kann die Masse auch auf den Radius $r = 20 \text{ cm}$ gestellt und das Experiment wiederholt werden.

c) Kalibration des Radialkraftgerätes

- Experimentiermotor ausschalten.
- Masse und Draht vom Radialkraftgerät entfernen.
- Das Radialkraftgerät in so einer Weise ausrichten, dass der Lichtzeiger auf dem Höhenmaßstab beobachtet werden kann.
- Mit Hilfe des Präzisionskraftmessers den Zusammenhang zwischen Kraft und Auslenkung ermitteln. Dazu den Kraftmesser an der Stelle der Masse ansetzen.

Hinweis: Die Nullstellung des Lichtzeigers kann während und nach dem Experiment leicht überprüft werden, indem das Radialkraftgerät aus dem Spannfutter des Experimentiermotors gelöst wird.

Messbeispiel

a) Messung der Zentrifugalkraft als Funktion der Winkelgeschwindigkeit für zwei verschiedene Radien

Tabelle 1: Ablenkung s des Lichtzeigers und Umlaufzeit T für zwei verschiedenen Radien r für die Masse $m = 12,5 \text{ g}$.

$\frac{s}{\text{cm}}$	$\frac{T}{s} (r = 10 \text{ cm})$	$\frac{T}{s} (r = 20 \text{ cm})$
2	1.43	2.06
4	1.10	1.52
6	0.93	1.25
8	0.79	1.12
10	0.71	1.00
12	0.64	0.91
14	0.61	0.86
16	0.56	0.80
18	0.54	0.74
20	0.51	0.73
22	0.48	0.69
24	0.46	0.65
26	0.45	0.64
28	0.42	0.62
30	1.43	0.60

b) Messung der Zentrifugalkraft als Funktion der Winkelgeschwindigkeit für zwei verschiedene Massen

Tabelle 2: Ablenkung s des Lichtzeigers und Umlaufzeit T für zwei verschiedenen Massen m ($r = 10$ cm).

$\frac{s}{\text{cm}}$	$\frac{T}{\text{s}}$ ($m = 12,5$ g)	$\frac{T}{\text{s}}$ ($m = 25$ g)
2	1.43	1.89
	1.10	1.47
6	0.93	1.26
8	0.79	1.10
10	0.71	0.99
12	0.64	0.91
14	0.61	0.84
16	0.56	0.80
18	0.54	0.75
20	0.51	0.72
22	0.48	0.69
24	0.46	0.66
26	0.45	0.63
28	0.42	0.61
30	1.43	0.60

c) Kalibration des Radialkraftgerätes

Tabelle 3: Kraft F als Funktion der Ablenkung s des Lichtzeigers

$\frac{F}{\text{N}}$	$\frac{s}{\text{cm}}$
0.0	0.0
0.1	2.0
0.2	5.0
0.3	7.5
0.4	10.0
0.5	13.0
0.6	15.0
0.7	17.5
0.8	20.5
0.9	22.5
1.0	25.0

Auswertung

Fig. 2 zeigt, dass die Ablenkung s des Lichtzeigers proportional zur Kraft F ist, die auf den Spiegel wirkt:

$$F \sim s \quad (II)$$

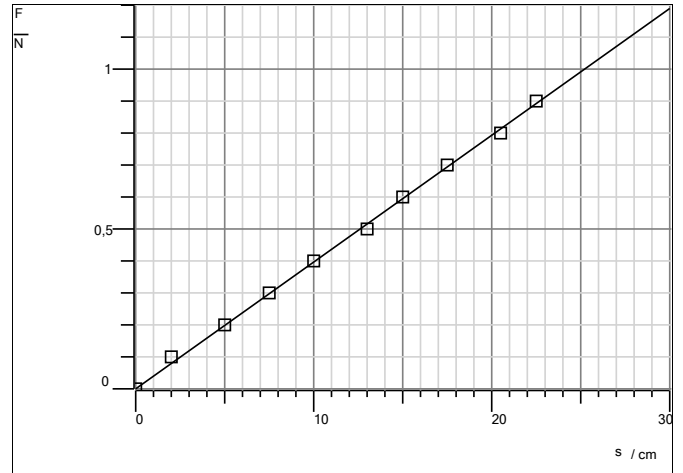


Fig. 2: Gemessene Kraft F als Funktion der Ablenkung s des Lichtzeigers (Radialkraftgerät in Ruheposition).

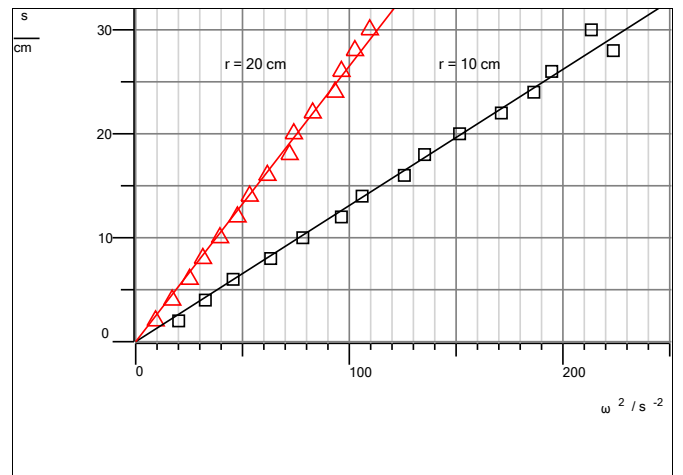


Fig. 3: Messung der Ablenkung s des Lichtzeigers als Funktion der quadratischen Winkelgeschwindigkeit für $m = 12.5$ g.

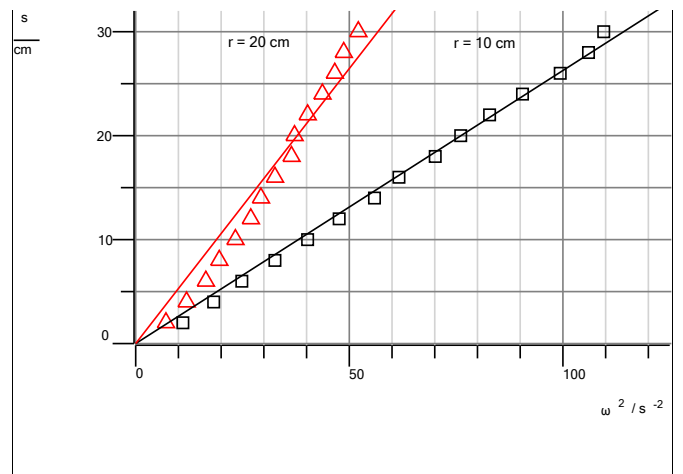


Fig. 4: Messung der Ablenkung s des Lichtzeigers als Funktion der quadratischen Winkelgeschwindigkeit für $m = 25$ g.

Fig. 3 bis Fig. 5 zeigen, dass die Zentrifugalkraft F proportional zum Quadrat der Winkelgeschwindigkeit ω ist:

$$F \sim \omega^2 \quad (\text{III})$$

Fig. 3 und Fig. 4 zeigt, dass die Zentrifugalkraft F proportional zum Radius r ist. Für eine konstante Winkelgeschwindigkeit ω steigt die Kraft F proportional zum Radius:

$$F \sim r \quad (\text{IV})$$

Fig. 5 zeigt, dass die Zentrifugalkraft F proportional zur aufgesteckten Masse m am Zentralkraftgerät ist. Für eine konstante Winkelgeschwindigkeit ω verhält sich die Kraft F proportional zur Masse:

$$F \sim m \quad (\text{V})$$

Die Ergebnisse der Gleichungen (III), (IV) und (V) ergeben zusammen Gleichung (I).

Zusätzliche Information

Für einen ruhenden Beobachter wird die Bewegung der Masse folgendermaßen erklärt: Anstatt gerade aus zu fliegen wird die Masse auf eine Kreisbahn gezwungen. Dies geschieht durch die Zentripetalkraft.

Für den mitbewegten Beobachter ist die Interpretation der Bewegung eine andere. Der Beobachter registriert eine Kraft auf die Masse um diese an ihrem Platz zu halten. Die Zentrifugalkraft. Die Zentrifugalkraft ist entgegengesetzt gleich groß zur Zentripetalkraft.

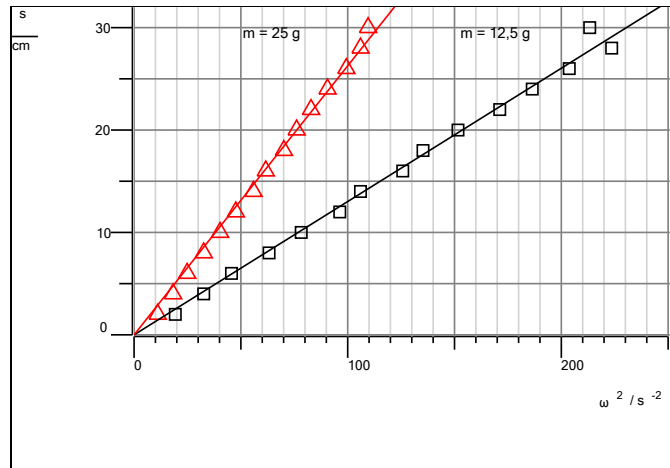


Fig. 5: Gemessene Ablenkung s des Lichtzeigers als Funktion der quadratischen Winkelgeschwindigkeit ω für $r = 10 \text{ cm}$.