

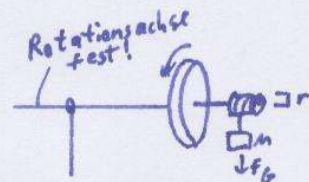
Versuch 3A

Gruppenleiter: I. Heller

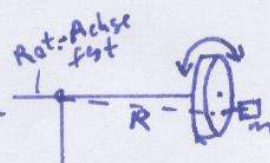
In 3 Versuchen soll das Trägheitsmoment eines Kreises bestimmt werden: 1. mit Winkelbeschleunigung; 2. mit der Schwingungsdauer einer Pendelbewegung; 3. mit der Schwingungsdauer einer Präzessionsbewegung und der Anzahl der Rotationen.

Versuchsaufbau:Beschreibung:

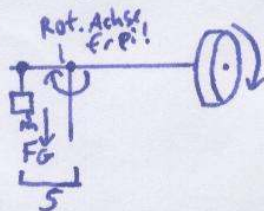
1. Teil: Man wickle einen Faden auf einen Zylinderansatz am Kreis, sodass ein an diesem Faden angehängtes Gewicht den Kreis durch seine Gewichtskraft in der Rotation beschleunigt. Mit dieser Gewichtskraft, dem Radius des Zylinders und der Umlaufzeit des Kreises für die Winkel  $2\pi$ ,  $4\pi$ ,  $6\pi$ ,  $8\pi$  und  $10\pi$  kann so das Trägheitsmoment bestimmt werden.



2. Teil: Man beschwere die Kreisscheibe an einem Punkt, der nicht auf ihrer Rotationsachse liegt, mit einem zusätzlichen Gewicht und messe die Schwingungsdauer für kleine Auslenkwinkel. Mit dem Abstand der Masse von der Rotationsachse, der Gewichtskraft der Masse und der über mehrere Messungen gemittelten Schwingungsdauer lässt sich nun das Trägheitsmoment bestimmen.



3. Teil: Man beschwere die Achse des Kreises hinter dem Aufhängepunkt mit einem Gewicht, sodass der Kreis Präzessionsbewegungen ausführt. Nun messe man die Zeit für eine Präzessionsumkehrung und die Anzahl der dabei vollführten Rotationen. Mit diesen Messungen lässt sich nun das Trägheitsmoment bestimmen.

Formeln:

Versuch 1:  $I = \frac{mgrt^2}{2f}$

Versuch 2:  $I = \left(\frac{I}{2\pi}\right)^2 \cdot mgR - mR^2$

Versuch 3:  $I = \frac{mgST^2}{4\pi^2 n}$

Messungen:

Versuch 1:  $d = 0,049 \text{ m} \Rightarrow r = 0,0245 \text{ m}$

$m = 0,1 \text{ kg}$ ,  $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$\varphi$	$t$	$I = \frac{mgrt^2}{2f}$
$2\pi$	4,81 s	0,044 kgm <sup>2</sup>
$4\pi$	6,43 s	0,046 kgm <sup>2</sup>
$6\pi$	8,65 s	0,048 kgm <sup>2</sup>
$8\pi$	9,84 s	0,046 kgm <sup>2</sup>
$10\pi$	11,19 s	0,048 kgm <sup>2</sup>

$\Rightarrow I_{\varnothing} = 0,046 \text{ kgm}^2$

Versuch 2:  $R = 0,19\text{m}$  ,  $m = 0,1\text{kg}$  ,  $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$   
 $T_1 = 3,295\text{s}$  ,  $T_2 = 3,235\text{s}$  ,  $T_3 = 3,22\text{s}$   
 $\Rightarrow T_{\text{Ø}} = 3,25\text{s}$   
 $\Rightarrow I = \left(\frac{3,25\text{s}}{2\pi}\right)^2 \cdot 0,1\text{kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,19\text{m} - 0,1\text{kg} \cdot (0,19\text{m})^2$   
 $= 0,046\text{kgm}^2$

Versuch 3:  $m = 0,048\text{kg}$  ,  $s = 0,37\text{m}$  ,  $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

T	n	$\frac{mT^2}{n}$	$I = \frac{mT^2}{n} \cdot \frac{gs}{4\pi^2}$
48,82 s	144	0,794 kg s <sup>2</sup>	0,075 kg m <sup>2</sup>
38,47 s	95	0,758 kg s <sup>2</sup>	0,069 kg m <sup>2</sup>
38,00 s	95	0,7296 kg s <sup>2</sup>	0,071 kg m <sup>2</sup>
38,19 s	74	0,946 kg s <sup>2</sup>	0,087 kg m <sup>2</sup>
43,62 s	110	0,830 kg s <sup>2</sup>	0,076 kg m <sup>2</sup>
45,09 s	100	0,976 kg s <sup>2</sup>	0,09 kg m <sup>2</sup>
36,19 s	99	0,635 kg s <sup>2</sup>	0,058 kg m <sup>2</sup>

$\Rightarrow I_{\text{Ø}} = 0,075\text{kgm}^2$

Fehlerberechnung:

Versuch 1:  $\frac{\Delta I}{I} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta s}{s}$

$\Delta m = 0,001\text{kg}$  ,  $\Delta r = 0,0005\text{m}$

$s_x = \frac{f_x}{t_x^2}$

X	1	2	3	4	5	Ø
$s_x$ in $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	0,272	0,262	0,252	0,26	0,251	0,2594

$\Rightarrow \Delta s = 0,0126 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$\Rightarrow \frac{\Delta I}{I} = \frac{0,001\text{kg}}{0,1\text{kg}} + \frac{0,0005\text{m}}{0,0245\text{m}} + \frac{0,0126 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,2594 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$

$= 0,079 \hat{=} 7,9\%$

$\Rightarrow \Delta I = 0,0036\text{kgm}^2$

Versuch 2:  $\frac{\Delta I}{I} = \frac{2\Delta T}{T} + \frac{2\Delta m}{m} + \frac{3\Delta R}{R}$

$\Delta m = 0,001\text{kg}$  ,  $\Delta T = 0,045\text{s}$  ,  $\Delta R = 0,001\text{m}$

$\Rightarrow \frac{\Delta I}{I} = \frac{2 \cdot 0,045\text{s}}{3,25\text{s}} + \frac{2 \cdot 0,001\text{kg}}{0,1\text{kg}} + \frac{3 \cdot 0,001\text{m}}{0,19\text{m}}$

$= 0,05 \hat{=} 5\%$

$\Rightarrow \Delta I = 0,0023\text{kgm}^2$

Versuch 3:  $\frac{\Delta I}{I} = \frac{\Delta s}{s} + \frac{\Delta\left(\frac{mT^2}{n}\right)}{\frac{mT^2}{n}}$

$\Delta s = 0,001\text{m}$  ,  $\frac{mT^2}{n} = 0,814\text{kg s}^2 \Rightarrow \Delta\left(\frac{mT^2}{n}\right) = 0,179\text{kg s}^2$

$\Rightarrow \frac{\Delta I}{I} = \frac{0,001\text{m}}{0,37\text{m}} + \frac{0,179\text{kg s}^2}{0,814\text{kg s}^2} = 0,223 \hat{=} 22,3\%$

$\Rightarrow \Delta I = 0,017\text{kgm}^2$

## Auswertung:

	Errechnete Werte	Fehler	Literaturwert
Versuch 1	$I = 0,046 \text{ kgm}^2$	$\pm 0,0036 \text{ kgm}^2$	nicht vorhanden
Versuch 2	$I = 0,046 \text{ kgm}^2$	$\pm 0,0023 \text{ kgm}^2$	nicht vorhanden
Versuch 3	$I = 0,075 \text{ kgm}^2$	$\pm 0,017 \text{ kgm}^2$	nicht vorhanden

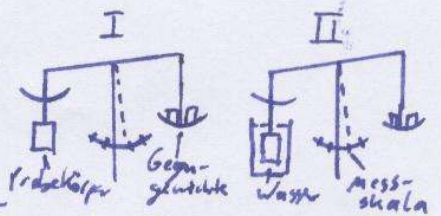
Versuch 3B

Gruppenleiter: I. Heller

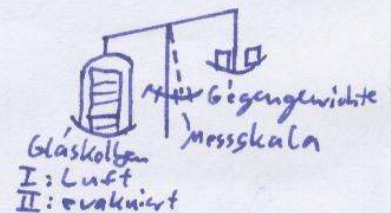
Im ersten Teil soll die Dichte eines Probekörpers mithilfe einer Hydrostatischen Waage ermittelt werden.  
Im zweiten Teil soll ein Glaskolben mit Luft, Wasser und einmal evakuiert gewogen werden, um die Dichte von Luft zu bestimmen. Diese soll in Normalbedingungen umgerechnet werden.

Versuchsaufbau:Beschreibung:

1. Teil: Um die Masse des Probekörpers zu bestimmen, wird zuerst die Ruhelage der verwendeten Balkenwaage ermittelt und der entsprechende Zeigerstand abgelesen. Danach setzt man den Probekörper in eine Waagschale und ein entsprechend großes Gegengewicht in die andere, sodass der Zeigerstand innerhalb der Messskala abgelesen werden kann. Zur Ermittlung der Empfindlichkeit der Waage wird ein relativ leichtes Gegengewicht hinzugelegt. Auch hier wird darum der Zeigerstand abgelesen. Die 1. und 2. Messung ergibt mit der Empfindlichkeit der 2. und 3. Messung das Gewicht des Probekörpers in Luft. Nun wird die 2. Messung wiederholt, wobei nun der Probekörper in Wasser getaucht wird. Die Empfindlichkeit wird übernommen. Mit der Dichte des Wassers und den beiden Gewichtsmessungen kann nun die Dichte des Körpers bestimmt werden.



2. Teil: Mit dem eben beschriebenen Verfahren soll nun die Masse eines Glaskolbens mit Luft, sowie die eines evakuierten Glaskolbens bestimmt werden. Zusätzlich wird die Masse eines Glaskolbens mit Wasser elektronisch ermittelt. Die Glaskolben sind baugleich/identisch. Ist nun die Dichte von Wasser bekannt, kann die Dichte von Luft ermittelt werden. Um die Dichte auf Normalbedingungen umrechnen zu können, benötigt man außerdem die aktuelle Temperatur und den Luftdruck. Dieses wird an einem Quecksilberbarometer abgelesen und entsprechend korrigiert.

Formeln:

$$1. \text{ Teil: } s_0 = \frac{1}{4} (s_{L1} + s_{L2} + 2s_r)$$

$$E = \frac{s_2 - s_1}{\Delta m}$$

$$s_K = s_{EL} \frac{G_L}{G_L - G_F} = s_{FL} \frac{m_L}{m_L - m_F}$$

## 2. Teil:

$$s_L(p, T) = \frac{m_{KL} - m_K}{m_{KW} - m_K} \cdot s_{H_2O}$$

## Messungen:

Teil 1:

S	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	r	=>
0	6 skt	5,2 skt	-5,7 skt	0,05 skt
1	-7 skt	-6,6 skt	-4 skt	-5,4 skt
2	4 skt	3,2 skt	-4,2 skt	-0,3 skt

$$m_{GL} = 31,7 \text{ g}, \quad \Delta m_{GL} = 100 \text{ mg}$$

S	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	r	=>
W	-8,2 skt	-7 skt	-0,1 skt	-3,85 skt

$$m_{GW} = 20,6 \text{ g}$$

Teil 2:

Luft:

S	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	r	=>
1	-7 skt	-4,5 skt	5 skt	-0,375 skt
2	-5,2 skt	-4,9 skt	-1,6 skt	-3,325 skt

Evakuiert:

S	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	r	=>
1	-4 skt	-3 skt	3 skt	-0,25 skt

$$m_{GL} = 234,9 \text{ g}, \quad \Delta m_{GL} = 100 \text{ mg}$$

$$m_{GE} = 234,5 \text{ g}$$

$$m_W = 590 \text{ g}$$

Luftdruck:

Kuppenhöhe: +750,7 mmHg  
Säulenhöhe: +749,5 mmHg  
Temperatur: +22,5 °C  $\hat{=}$  295,65 K  
Breitengrad: 50° 35'

Korrektur

Kuppenhöhe: +0,64 mmHg  
Temperatur: -3,7 mmHg  
Schwere: +0,903 mmHg  
Meeresspiegel: -0,02 mmHg

$$\Rightarrow \text{Druck: } p = 747,325 \text{ mmHg} \hat{=} 99635 \text{ Pa}$$

## Rechnungen:

Teil 1:

$$E = \frac{1 - 0,3 + 5,4}{100 \text{ mg}} \text{ skt} = 0,051 \frac{\text{skt}}{\text{mg}}$$

$$\Delta m_L = \frac{1 - 5,4 - 0,051 \text{ skt}}{0,051 \frac{\text{skt}}{\text{mg}}} = 106,9 \text{ mg}$$

$$\Rightarrow m_L = 31,7 \text{ g} - 0,1069 \text{ g} = 31,6931 \text{ g}$$

$$\Delta m_W = \frac{1 - 3,85 - 0,051 \text{ skt}}{0,051 \frac{\text{skt}}{\text{mg}}} = 76,47 \text{ mg}$$

$$\Rightarrow m_W = 20,6 \text{ g} - 0,07647 \text{ g} = 20,5235 \text{ g}$$

$$\Rightarrow S_u = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot \frac{31,6931 \text{ g}}{31,6931 \text{ g} - 20,5235 \text{ g}} = 2,739 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Teil 2:

$$E = \frac{1,325 - 0,3751 \text{ skt}}{100 \text{ mg}} = 0,037 \frac{\text{skt}}{\text{mg}}$$

$$\Delta m_{KL} = \frac{1 - 0,375 - 0,051 \text{ skt}}{0,037 \frac{\text{skt}}{\text{mg}}} = 17,49 \text{ mg}$$

$$\Rightarrow m_{KL} = 234,9 \text{ g} - 0,01749 \text{ g} = 234,883 \text{ g}$$

$$\Delta m_{K} = \frac{1 - 0,25 - 0,051 \text{ skt}}{0,037 \frac{\text{skt}}{\text{mg}}} = 8,11 \text{ mg}$$

$$\Rightarrow m_K = 234,5 \text{ g} - 0,00811 \text{ g} = 234,492 \text{ g}$$

$$S_L = \frac{234,883 \text{ g} - 234,492 \text{ g}}{590 \text{ g} - 234,492 \text{ g}} \cdot 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 0,001117 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \hat{=} 1,117 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$$

Normalbedingungen:

$$S = \frac{m \cdot P}{R \cdot T} \Rightarrow M = \frac{S \cdot R \cdot T}{P} \Rightarrow \rho_0 = \frac{S \cdot R \cdot T \cdot P_0}{P \cdot R \cdot T_0}$$

$$P_0 = 1,013 \text{ bar} \hat{=} 101300 \text{ Pa}$$

$$T_0 = 0^\circ\text{C} \hat{=} 273,15 \text{ K}$$

$$\Rightarrow S_0 = \frac{0,1117 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \cdot 8,314 \frac{\text{J}}{\text{molK}} \cdot 99635 \text{ Pa} \cdot 295,65 \text{ K} \cdot 101300 \text{ Pa}}{99635 \text{ Pa} \cdot 8,314 \frac{\text{J}}{\text{molK}} \cdot 273,15 \text{ K}}$$

$$= 1,2292 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \hat{=} 0,0012292 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Fehlerberechnung:

$$\text{Teil 1: } \frac{\Delta S_K}{S_K} = \frac{\Delta m_{KL}}{m_{KL}} + \frac{\Delta(m_{KL} - m_{KF})}{m_{KL} - m_{KF}} = \frac{\Delta m_{KL}}{m_{KL}} + \frac{\Delta m_{KL} + \Delta m_{KF}}{m_{KL} - m_{KF}}$$

$\Delta m_{KL}$  und  $\Delta m_{KF}$  wurden zur Versuchszeit nicht bestimmt und daher von einer anderen Gruppe mit identischem Aufbau übernommen!

$$\Delta m_{KL} = \frac{1 \text{ skt}}{0,05611 \frac{\text{skt}}{\text{mg}}} = 17,82 \text{ mg}$$

$$\Delta m_{KF} = \frac{1 \text{ skt}}{0,05611 \frac{\text{skt}}{\text{mg}}} = 17,82 \text{ mg}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta S_K}{S_K} = \frac{17,82 \text{ mg}}{37,6931 \text{ g}} + \frac{17,82 \text{ mg} + 17,82 \text{ mg}}{37,6931 \text{ g} - 20,5235 \text{ g}} = 0,00373 \hat{=} 0,37\%$$

$$\Rightarrow \Delta S_K = 0,0101 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Teil 2:

$$\frac{\Delta S_L}{S_L} = \frac{\Delta m_{KL} + \Delta m_K}{m_{KL} + m_K} + \frac{\Delta m_{KL} + \Delta m_K}{m_{KL} - m_K}$$

$\Delta m_{KL}$  und  $\Delta m_K$  nicht bestimmt, daher von Nachbargruppe übernommen!

$$\Delta m_{KL} = 0,001 \text{ kg} \hat{=} 1000 \text{ mg}$$

$$\Delta m_K = \frac{1 \text{ skt}}{0,033 \frac{\text{skt}}{\text{mg}}} = 30,3 \text{ mg}$$

$$\Delta m_K = \frac{1 \text{ skt}}{0,033 \frac{\text{skt}}{\text{mg}}} = 30,3 \text{ mg}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta S_L}{S_L} = \frac{2 \cdot 30,3 \text{ mg}}{234,689 \text{ g} - 234,492 \text{ g}} + \frac{30,3 \text{ mg} + 1000 \text{ mg}}{590 \text{ g} - 234,492 \text{ g}} = 0,156 \hat{=} 15,6\%$$

$$\Rightarrow \Delta S_L = 0,192 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \hat{=} 0,000192 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\Delta S_0 = \frac{0,192 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \cdot 8,314 \frac{\text{J}}{\text{molK}} \cdot 295,65 \text{ K} \cdot 101300 \text{ Pa}}{99635 \text{ Pa} \cdot 8,314 \frac{\text{J}}{\text{molK}} \cdot 273,15 \text{ K}} = 0,211 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$$

$$\hat{=} 0,000211 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Auswertung:

	Errechnete Werte	Fehler	Literaturwert
Teil 1	$\rho_K = 2,739 \frac{g}{cm^3}$	$\pm 0,0101 \frac{g}{cm^3}$	$2,7 \frac{g}{cm^3}$
Teil 2	$\rho_L = 0,00117 \frac{g}{cm^3}$	$\pm 0,000192 \frac{g}{cm^3}$	$0,00119 \frac{g}{cm^3}$
	$\rho_{Lu} = 0,00123 \frac{g}{cm^3}$	$\pm 0,000211 \frac{g}{cm^3}$	$0,00129 \frac{g}{cm^3}$

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Aluminium>  
" / Luftdichte