

Versuchsprotokolle

Versuch 112

Reversionspendel

Aufgaben

- Bestimmen der lokalen Erdbeschleunigung unter der Maßgabe, dass der relative Fehler nicht $3 \cdot 10^{-4}$ überschreiten darf.
- Bestimmung der Abhängigkeit der Schwingungsdauer von der maximalen Auslenkung.

Grundlagen

Das Reversionspendel und die Erdbeschleunigung

Das Reversionspendel ist ein physikalisches Pendel, das an zwei verschiedenen Achsen aufgehängt werden kann, was eine gewisse „Umkehrung“ (Reversion) im Schwingverhalten zur Folge hat. Dies nutzt man aus, in dem man dieses Pendel z.B. zur Bestimmung der Erdbeschleunigung nutzt.

Zunächst fällt auf, dass zur Messung dieser zwischen beiden Achsen ein sog. Laufgewicht eingebracht ist, welches durch eine Verschiebung die Schwerpunktlage und das Trägheitsmoment, und somit die Schwingungsdauer τ verändert.

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{I_S}{mgs}}$$

Der Vergleich mit dem mathematischen Pendel der Länge L ergibt bei Schwingdauergleichheit sowohl um Achse A wie auch um Achse B:

$$\tau_A = \tau_B = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}},$$

wobei L die sog. reduzierte Pendellänge angibt, welche in dem Fall gleich dem Achsenabstand ist. Allerdings treten weiterhin durch die Abhängigkeit vom Auslenkwinkel und dem Auftrieb in Luft, ein Korrekturfaktor auf:

$$\frac{4\pi^2}{\tau} \cdot L \left(1 + \frac{\varphi^2}{8} + \frac{\rho_{Luft}}{\rho_{Pendel}} \right) = g$$

Durchführung

Versuchsobjekt:

Reversionspendel, elektrischer Zeitähler mit Lichtschranke

mögliche systematische Fehler:

- Reibung in der Aufhängung
- ungenau Bestimmung des Abstandes „Auslenkskala“ Schwingungsachse
- mögliche Ungenauigkeit der elektronischen Zeitmessung (z.B. dadurch, dass Pendelstab und Lichtbündel nicht unendlich dünn sind)
- unbekannte Labortemperatur und Luftdruck

erwartetes Ergebnis:

Ergartet wird die Erdbeschleunigung $g \approx 9,806 \text{ m/s}^2$, sowie eine direkte lineare Abhängigkeit von φ^2

Versuchsablauf:

- Messwertaufnahme für das Gesamtintervall [-230mm, 230mm] in 50mm-er Schritten
- Detailmessung an den Schnittpunkten
- Messung der Schwingungsdauern bei unterschiedlichen Auslenkungen für $l=0\text{mm}$

Fehlerquellen:

$$\tau, l, \varphi, \rho$$

Versuchsprotokolle

Messwerte

Allgemein

$$L = (948,8 + 22,1 \pm 0,15) \text{mm} = (970,1 \pm 0,15) \text{mm}$$

$$L_{\text{ankath}} = (L - 69,4 \pm 0,1) \text{mm} = (900,7 \pm 0,25) \text{mm}$$

Gesamtmessung:

l [mm]	Schwingungsachse A:							Schwingungsachse B:						
	$\bar{5} \cdot \tau_1$ [ms]	$\bar{5} \cdot \tau_2$ [ms]	$\bar{5} \cdot \tau_3$ [ms]	$\bar{5} \cdot \tau_4$ [ms]	$\bar{5} \cdot \tau_5$ [ms]	Mittel	τ [s]	$\bar{5} \cdot \tau_1$ [ms]	$\bar{5} \cdot \tau_2$ [ms]	$\bar{5} \cdot \tau_3$ [ms]	$\bar{5} \cdot \tau_4$ [ms]	$\bar{5} \cdot \tau_5$ [ms]	Mittel	τ [s]
230	9926,3	9926,0	9925,3	9925,3	9925,4	9925,66	1,9851	10125,0	10124,8	10123,3	10123,7	10122,6	10123,88	2,0248
200	9911,3	9911,0	9910,6	9910,8	9910,4	9910,82	1,9822	10024,8	10023,9	10024,0	10023,6	10023,9	10024,04	2,0048
150	9890,0	9889,7	9889,3	9889,1	9889,2	9889,46	1,9779	9892,1	9892,1	9891,7	9891,0	9890,9	9891,56	1,9783
100	9875,5	9874,4	9873,3	9873,6	9873,3	9874,02	1,9748	9814,8	9814,1	9814,4	9813,6	9813,7	9814,12	1,9628
50	9864,4	9864,7	9864,1	9864,0	9863,8	9864,20	1,9728	9772,5	9771,9	9772,4	9771,5	9771,9	9772,04	1,9544
0	9861,2	9861,1	9860,6	9860,5	9860,4	9860,76	1,9722	9763,3	9762,4	9762,7	9762,3	9762,6	9762,66	1,9525
-50	9864,8	9864,1	9864,3	9864,0	9864,3	9864,30	1,9729	9783,8	9783,4	9783,7	9783,2	9783,4	9783,50	1,9567
-100	9874,8	9874,3	9873,7	9873,6	9874,1	9874,10	1,9748	9826,4	9826,4	9826,8	9826,4	9825,7	9826,34	1,9653
-150	9890,1	9889,1	9889,6	9889,1	9889,1	9889,40	1,9779	9891,3	9891,3	9891,0	9891,3	9891,2	9891,22	1,9782
-200	9912,6	9911,6	9911,8	9911,4	9911,7	9911,82	1,9824	9972,8	9972,7	9972,4	9972,2	9972,2	9972,46	1,9945
-230	9929,9	9929,7	9929,2	9929,4	9929,1	9929,46	1,9859	10029,2	10028,6	10028,6	10028,6	10028,6	10028,72	2,0057

Detailmessung

Intervall	l [mm]	$\bar{5} \cdot \tau_A$ [ms]	τ_A [ms]	$\bar{5} \cdot \tau_B$ [ms]	T_B [ms]	Intervall	l [mm]	$\bar{5} \cdot \tau_A$ [ms]	τ_A [ms]	$\bar{5} \cdot \tau_B$ [ms]	T_B [ms]
[200; 100]	175	19799,6	1979,96	19907,3	1990,73	[-100;-200]	-125	19763,9	1976,39	19713,8	1971,38
	170	19794,9	1979,49	19881,1	1988,11		-130	19765,0	1976,50	19726,6	1972,66
	165	19791,3	1979,13	19855,4	1985,54		-135	19770,3	1977,03	19737,3	1973,73
	160	19785,3	1978,53	19834,3	1983,43		-140	19772,8	1977,28	19753,4	1975,34
	155	19781,7	1978,17	19808,8	1980,88		-145	19776,3	1977,63	19770,4	1977,04
	150	19779,2	1977,92	19791,4	1979,14		-150	19780,1	1978,01	19782,2	1978,22
	145	19774,8	1977,48	19770,3	1977,03		-155	19784,0	1978,40	19796,5	1979,65
	140	19771,8	1977,18	19750,6	1975,06		-160	19788,5	1978,85	19813,8	1981,38
	135	19769,4	1976,94	19731,4	1973,14		-165	19793,5	1979,35	19826,8	1982,68
	130	19765,0	1976,50	19716,5	1971,65		-170	19797,4	1979,74	19842,2	1984,22
125	19762,3	1976,23	19696,3	1969,63	-175	19802,0	1980,20	19862,2	1986,22		

Messung zur Auslenkungsabhängigkeit:

Ausl. [mm]	φ	Schwingungsachse A:					Schwingungsachse B:				
		$\bar{5} \cdot \tau_1$ [ms]	$\bar{5} \cdot \tau_2$ [ms]	$\bar{5} \cdot \tau_3$ [ms]	Mittel	τ [s]	$\bar{5} \cdot \tau_1$ [ms]	$\bar{5} \cdot \tau_2$ [ms]	$\bar{5} \cdot \tau_3$ [ms]	Mittel	τ [s]
10	0,0111	9857,7	9857,8	9856,1	9857,2	1971,44	9756,3	9757,1	9756,6	9756,7	1951,33
20	0,0222	9858,8	9858,5	9857,7	9858,3	1971,67	9758,7	9758,5	9758,3	9758,5	1951,70
30	0,0334	9858,7	9859,6	9859,6	9859,3	1971,86	9760,6	9759,7	9760,7	9760,3	1952,07
40	0,0448	9859,9	9859,6	9859,9	9859,8	1971,96	9762,3	9761,5	9762,2	9762,0	1952,40
50	0,0555	9860,6	9860,8	9860,7	9860,7	1972,14	9763,1	9763,0	9761,9	9762,7	1952,53

Auswertung

Konstanten:

$$\rho_{\text{Luft}}^{0^\circ\text{C}} = 1,2928 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}; \rho_{\text{Pendel}} = 10.030 \pm 40 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$L = 970,1 \pm 0,15 \text{mm}; L_{\text{ankath}} = 900,7 \pm 0,25 \text{mm}; \varphi_{\text{Norm}} = \frac{57}{900,7} \pm 1,69 \cdot 10^{-5}$$

Versuchsprotokolle

Rechnung:

Korrektur der Luftdichte:

$$\rho_{Luft}^{0^\circ C} \cdot 273K = \rho_{Luft} \cdot 293K; \rho_{Luft} = 1,2045 \pm 0,025 \frac{g}{cm^3}$$

Korrektur der Schwingdauer:

$$\tau_1 = (1977,95 \pm 0,05)ms; \tau_2 = (1977,6 \pm 0,05)ms$$

$$\tau = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2} = (1977,775 \pm 0,125)ms$$

Berechnung der Erdbeschleunigung:

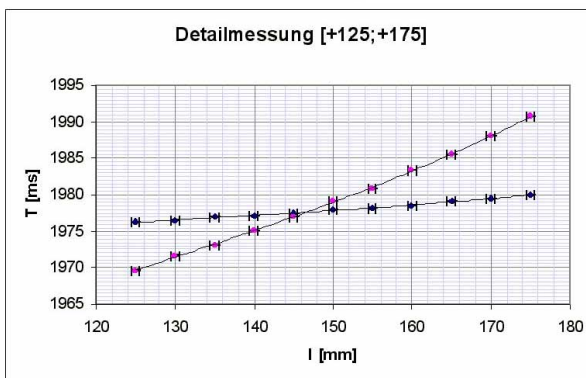
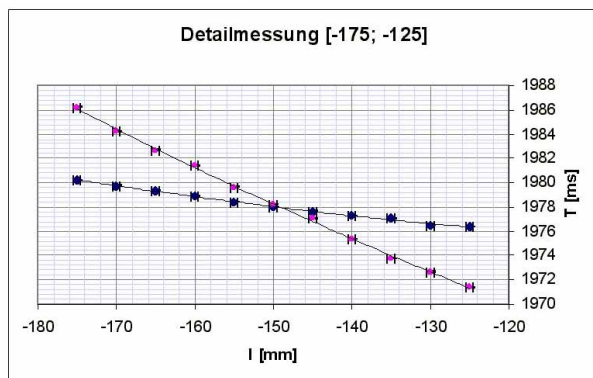
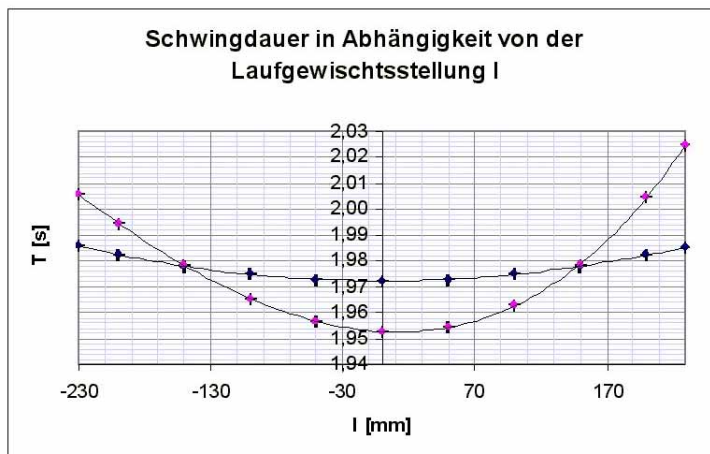
$$g = \frac{4\pi^2}{\tau^2} \cdot L \cdot \left(1 + \frac{\varphi^2}{8} + \frac{\rho_{Luft}}{\rho_{Pendel}} \right) = \frac{4\pi^2}{(1977,775ms)^2} \cdot 970,1mm \cdot \left(1 + \frac{\left[\frac{57}{900,7} \right]^2}{8} + \frac{1,2045}{10030} \right) = 9,79715 \frac{m}{s^2}$$

$$\Delta g = g \cdot \left(2 \frac{\Delta \tau}{\tau} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{2\Delta\varphi \cdot \varphi + \frac{\Delta\rho_{Luft}\rho_{Pendel} + \Delta\rho_{Pendel}}{\rho_{Pendel}}}{1,0006044} \right)$$

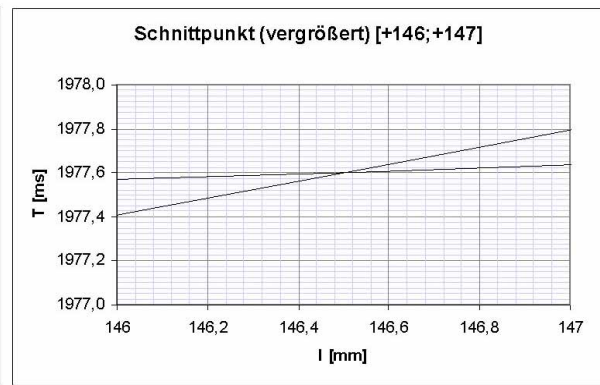
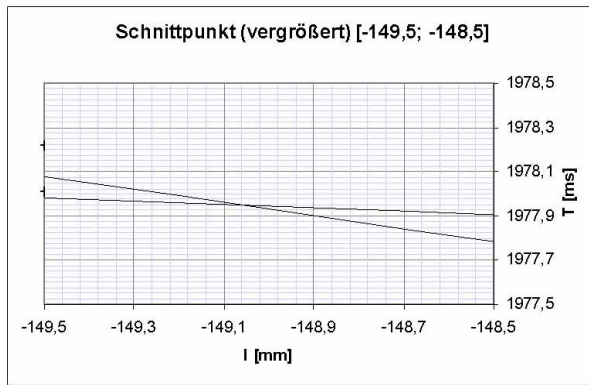
$$= g \cdot (1,26 \cdot 10^{-5} + 1,54 \cdot 10^{-4} + 2,0699 \cdot 10^{-6} + 2,890 \cdot 10^{-6})$$

$$= g \cdot (\pm 2,85 \cdot 10^{-4})$$

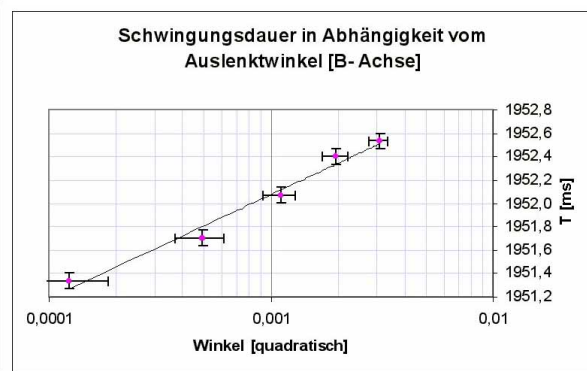
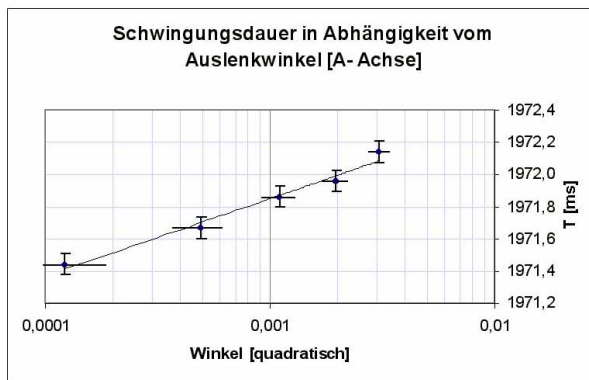
Ergebnisse



Versuchsprotokolle



$$\Rightarrow g = 9,79715 \pm 2,78 \cdot 10^{-3} \frac{m}{s^2}$$



Diskussion

Die Ergebnisse kommen an den erwarteten Wert von $g \approx 9,806 m/s^2$ heran, erreichen diesen aber nicht. Grund dafür könnten systematische Fehler sein, z.B. dass die Luft als trocken angenommen wurde und mit einem solchen Dichte- Wert gerechnet wurde. Weiterhin wurde die Reibung in den Schneiden vernachlässigt, was die Schwingzeit verlängert und so die errechnete Fallbeschleunigung verkleinert.

Auch subjektive Fehler sind nicht ausgeschlossen, zumal die Messtechnik (Auslenkskala fehlte gänzlich und wurde durch ein einfaches Geodreieck und Augenmaß ersetzt. Ähnliches gilt für die Bestimmung von L_{ankath} , dem Abstand zwischen Auslenkskala und Drehachse.

Es konnte gezeigt werden, dass die Schwingdauer $\tau \sim \varphi^2 + \tau_0$ ist. In Anbetracht dieser Umstände werte ich die Ergebnisse als zufriedenstellend. Die abgezeichneten Messwerte sind im Anhang zu finden.

Jena, 20.04.2002