Mechanik
Schwingungslehre
Mathematisches und Physikalisches Pendel

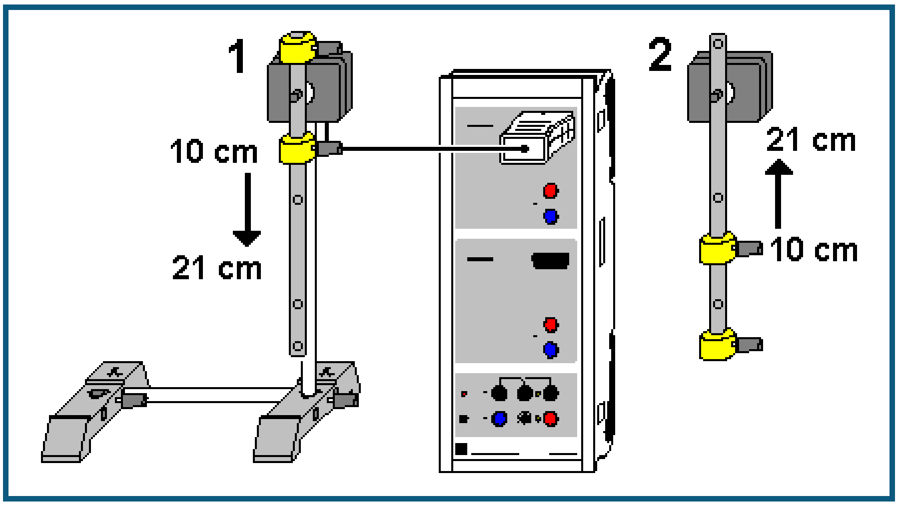
Bestimmung der Erdbeschleunigung mit einem Stabpendel

Beschreibung aus CASSY Lab 2

Zum Laden von Beispielen und Einstellungen bitte die CASSY Lab 2-Hilfe verwenden.

CASSY Lab 2 (2013-06-07)

Bestimmung der Erdbeschleunigung mit einem Reversionspendel



auch für Pocket-CASSY geeignet

Versuchsbeschreibung

Bei einem physikalischen Pendel gilt bei kleinen Auslenkungen für die Schwingungsdauer

$T = 2\pi\cdot\mathrm{sqrt}(l_r/g)$

mit der reduzierten Pendellänge l_r = J/ms. Sind die reduzierte Pendellänge l_r und die Schwingungsdauer T bekannt, dann kann daraus die Erdbeschleunigung $g = l_r\cdot 4\pi^2/T^2$ berechnet werden.

Oft kann die reduzierte Pendellänge nicht mit der gewünschten Genauigkeit bestimmt werden, weil die genaue Bestimmung des Trägheitsmoments oder des Schwerpunkts schwierig ist. Beim Reversionspendel wird die Masseverteilung so verändert, dass die Schwingungsdauern für die beiden Drehachsen gleich sind. Daraus folgt dann, dass die reduzierte Pendellänge l_r dem Abstand der beiden Drehachsen entspricht und damit sehr genau bekannt ist.

Nach dem Steinerschen Satz ist $J = J_S + ms^2$, wobei J_S das Trägheitsmoment des Pendels bezogen auf die Achse durch den Schwerpunkt und s der Abstand zwischen Schwerpunkt und Drehachse ist. Die reduzierte Pendellänge ist also

$l_r = J/ms = J_S/ms + s$.

Die zweite Drehachse liege nun auf der anderen Seite des Schwerpunkts und habe bei gleicher Schwingungsdauer und gleicher reduzierter Pendellänge den Abstand x vom Schwerpunkt. Dann gilt auch

$l_r = J_S/mx + x$.

Löst man nach x auf, erhält man $x = l_r - s$. Der Abstand der beiden Drehachsen s+x entspricht also genau der reduzierten Pendellänge l_r.

Da die Schwingungsdauer T genau bestimmt werden kann, eignet sich das Reversionspendel gut zur Bestimmung der Erdbeschleunigung g.

Benötigte Geräte

1	Sensor-CASSY	524 010 oder 524 013
1	CASSY Lab 2	524 220
1	Drehbewegungssensor S	524 082
1	Physikalisches Pendel	346 20
1	Stativstange, 25 cm, d = 10 mm	301 26
2	Stativfüße MF	301 21
1	PC mit Windows XP/Vista/7/8	

Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Das Pendel wird auf die Achse des Drehbewegungssensors geschraubt und die beiden Massestücke zunächst wie in (1) skizziert am Pendel befestigt.

Den Stab des Pendels von oben angefangen mit Bleistift in 1-cm-Schritten markieren. Es reicht der Bereich von 10 cm bis etwa 21 cm.

Versuchsdurchführung

- Einstellungen laden
- Variable Pendelmasse auf die Position x = 10 cm setzen und etwa 10° auslenken
- Wenn der Anzeigewert für die Schwingungsdauer T_{A1} konstant geworden ist und Amplitude α_{A1} auf etwa 5° abgenommen hat, Messwert mit aufnehmen und Position in Spalte x eintragen (Tabellenzelle mit der Maus anklicken)
- Pendelmasse jeweils um 1 cm nach unten schieben und Messung bis x = 21 cm wiederholen
- Messe wieder auf x = 10 cm versetzen und Aufhängepunkt des Pendels wie in (2) wechseln, Pendel also umdrehen
- **Messung → Neue Messreihe anhängen** wählen
- Pendel wieder um etwa 10° auslenken, warten bis der Anzeigewert für die Schwingungsdauer T_{A1} konstant geworden ist und Amplitude α_{A1} auf etwa 5° abgenommen hat, Messwert mit aufnehmen und Position in Spalte x eintragen (Tabellenzelle mit der Maus anklicken)
- Pendelmasse jeweils um 1 cm nach **oben** schieben und Messung bis x = 21 cm wiederholen

Auswertung

In der grafischen Darstellung sind zwei Schnittpunkte der Schwingungsdauerkurven zu sehen. In beiden Schnittpunkten ist die Schwingungsdauer und damit die reduzierte Pendellänge gleich. Sie entspricht dem Abstand der beiden Drehachsen, also l_r = 0,20 m.

Durch eine waagerechte Markierung lässt sich die dazugehörende Periodendauer im Beispiel auf T = 0,898 s bestimmen. Das führt zu einer Erdbeschleunigung von $g = l_r \cdot 4\pi^2/T^2$ = 7,896 m/T^2 = 9,79 m/s^2.

Alternativ kann die Erdbeschleunigung in etwas höherer Auflösung auch in der Darstellung **g** abgelesen werden.

Anmerkungen zum Messfehler

Zusätzlich zum Fertigungsfehler des Stabes, der sich als Fehler der reduzierten Pendellänge l_r nieder schlägt (etwa Δl_r = ±0,1 mm, also Δg = ±0,005 m/s^2), kommt noch der Fehler in der Schwingungsdauer T. Neben dem reinen Messfehler (hier etwa ΔT = ±0,001·T, also Δg = ±0,02 m/s^2) gibt es einen systematischen Fehler. Wie im Experiment Abhängigkeit der Schwingungsdauer von der Amplitude bereits gezeigt, hängt die Periodendauer leicht von der Amplitude ab. Bei 5° Amplitude ist dieser systematische Fehler ΔT = +0,0005·T, also Δg = -0,01 m/s^2. Bei kleineren Amplituden wird die Bestimmung der Schwingungsdauer durch den Drehbewegungssensor unsicher. Bei größeren Amplituden übersteigt dieser systematische Fehler schnell den normalen Messfehler (für 10° Amplitude folgt ΔT = +0,002·T und Δg = -0,04 m/s^2).