

Reversionspendel

Das Reversionspendel ist ein Musterbeispiel für die Planung und Optimierung eines experimentellen Aufbaus um mögliche Fehlerquellen zu eliminieren. Der Pendelaufbau und die trickreiche Messung gestatten es, auftretende Schwierigkeiten aufgrund der endlichen Ausdehnung von Pendel und Pendelkörper zu eliminieren und so die Gleichungen auf die des mathematischen Pendels zurückzuführen.

1 Lernziele

- Abhängigkeit der Periodendauer $T(\varphi_0)$ bei Pendelschwingungen von der maximalen Auslenkamplitude φ_0
- Trägheitsmoment I bei ausgedehnten Körpern und der Steiner'sche Satz
- mathematisches versus physikalisches Pendel
- Bestimmung der lokalen Fallbeschleunigung aus der Periodendauer von Pendelschwingungen

2 Experimenteller Aufbau

- Reversionspendel bestehend aus dem Pendelstab, fester Masse M_2 und einer beweglichen Masse M_1 , siehe Abschnitt 8 Zusatzmaterial
- Lichtschranke mit Präzisionszeitmesser
- Laserentfernungsmessgerät mit einer Genauigkeit von 1 mm

3 Messungen

- a) Bestimmen Sie die Abhängigkeit der Periodendauer $T_o(\varphi_0)$ des Pendels für verschiedene Auslenkungen φ_0 . Dieses für die Stellung $x = 50$ cm der beweglichen Masse M_1 zwischen den Schneiden und der festen Masse M_2 oben, siehe Abschnitt 8.
- b) Nehmen Sie für verschiedene Positionen x der Masse M_1 zwischen den Schneiden die Periodendauer $T_{o,u}(x)$ auf, jeweils eine Versuchsreihe mit der beweglichen Masse oben beziehungsweise unten. Bestimmen Sie aus der grafischen Darstellung die ungefähren Positionen $x_{1,2}$ der Schnittpunkte der Kurven $T_o(x)$ und $T_u(x)$.
- c) Bestimmen Sie zusätzliche Messpunkte in der Umgebung von $x_{1,2}$, um die Genauigkeit der Schnittpunkte mit den zugehörigen Periodendauern $T_{1,2}$ zu erhöhen.

4 Versuchsdurchführung

- zu 3a) Stellen Sie sicher, dass die feste Masse M_2 sich oben befindet und sich die bewegliche Masse auf $x = 50$ cm befindet. Lenken Sie das Pendel vorsichtig in seiner Schwingungsebene aus: **die maximale Auslenkung φ_0 darf 10° nicht überschreiten**. Durch Druck auf Start am Zeitmesser wird kontinuierlich die Periodendauer aus zwei Durchgängen durch die Lichtschranke ausgegeben. Ermitteln Sie die Periodendauern für mindestens 8 verschiedene maximale Auslenkwinkel.
- zu 3b) Die zylindrische Masse M_1 hat einen Radius von 5 cm. Somit können Sie deren Position aus dem Abstand Schneidenhalterung–Oberkante Masse auf ± 1 mm genau bestimmen. Einen Punkt haben Sie bereits erfasst. Nehmen Sie für mindestens 9 weitere, gleichmäßig verteilte Positionen die zugehörige Periodendauer $T_o(x)$ auf, wobei die maximale Auslenkung circa 3° betragen soll. Drehen Sie danach das Pendel **vorsichtig** um, so dass sich die kleine, feste Masse M_2 unten befindet. Achten Sie auf die scharfen Schneiden und das sich die obere wirklich sicher in der Mitte der Kerbe befinden. Bestimmen Sie ebenfalls für 10 Positionen x die Periodendauer $T_u(x)$, ebenfalls mit $\varphi_0 = 3^\circ$. Tragen Sie beide Datenreihen in einem Diagramm als Punktdiagramm (Scatter-Plot) auf und führen Sie eine Regression mit einem Polynom 3. Grades durch. Die Abszissenwerte $x_{1,2}$ der Schnittpunkte werden für die nächste Aufgabenstellung benötigt. In Origin® gibt es die Möglichkeit sich die Koordinaten der Cursorposition ausgeben zu lassen.
- zu 3c) Die feste Pendelmasse befindet sich noch immer unten. Nehmen Sie für 5 weitere Positionen um x_1 und 5 Positionen um x_2 die Periodendauer $T_u(x)$ auf. Drehen Sie das Pendel erneut um und bestimmen Sie analog weitere Periodendauern $T_o(x)$ um die Punkte um x_1 und x_2 .

5 Auswertungen

Zur Auswertung stehen Computer mit der Software Origin® zur Verfügung.

- Periodendauer $T(\varphi_0)$* : Tragen Sie $T(\varphi_0)$ auf und extrapolieren Sie $T(\varphi_0 = 0)$. In einer weiteren Abbildung tragen Sie mit diesem Wert die dimensionslose Größe $T(\varphi_0)/T(\varphi_0 = 0)$ Ihrer Messwerte und zusätzlich die theoretische Kurve bis zur quadratischen Ordnung auf, siehe Vorbereitung. Der ermittelte Wert für $T(\varphi_0 = 0)$ und Ihre berechnete Periodendauer aus der Versuchsvorbereitung sollen im Diagramm vermerkt werden. Diskutieren Sie mögliche systematischen Abweichungen.
- Bestimmung von $T_{1,2}$* : Bestimmen Sie die Periodendauern T_1 und T_2 der Schnittpunkte grafisch aus Ihren Messungen mit dem Auslenkwinkel von $\varphi_0 = 3^\circ$. Die Zeiten T_1 und T_2 sollten recht gut übereinstimmen. Schätzen Sie aus Ihrer Abbildung die Messungenauigkeit $u(T)$ ab.
- g -Bestimmung*: Zur exakten g -Berechnung aus der Periodendauer $\langle T \rangle = \frac{1}{2}(T_1 + T_2)$ muss diese noch mathematisch auf $\varphi \rightarrow 0$ korrigiert werden. Des Weiteren muss berücksichtigt werden, dass das Pendel in Luft einen relativen Auftrieb der Größenordnung $\rho_{\text{Luft}}/\rho_{\text{Pendel}} \approx 1.5 \cdot 10^{-4}$ erfährt. Beides wird in der Gleichung (37) in Ref. [1] im Kap. 2.2 berücksichtigt. Berechnen Sie den lokalen Wert von g aus dem Mittelwert von T_1 und T_2 .
- Fehlerrechnung zur g -Bestimmung*: Bestimmen Sie nach dem gaußschen Fehlerfortpflanzungsgesetz die Messabweichung $u(g)$ aus Ihrer persönlichen Abschätzung (keine Berechnung) von $u(T)$, wobei die einfließende Pendellänge $d = 993.9$ mm als fehlerfrei angenommen wird. Vergleichen Sie Ihren g -Wert und dessen Messabweichung $u(g)$ mit mit der Angabe der Physikalisch Technischen Bundesanstalt für Saarbrücken (siehe Zusatzmaterial).

6 Literatur

In der Referenz [1] im Kap. 2.2 finden Sie eine genaue Beschreibung mit den zugehörigen mathematischen Ableitungen zum Reversionspendel.

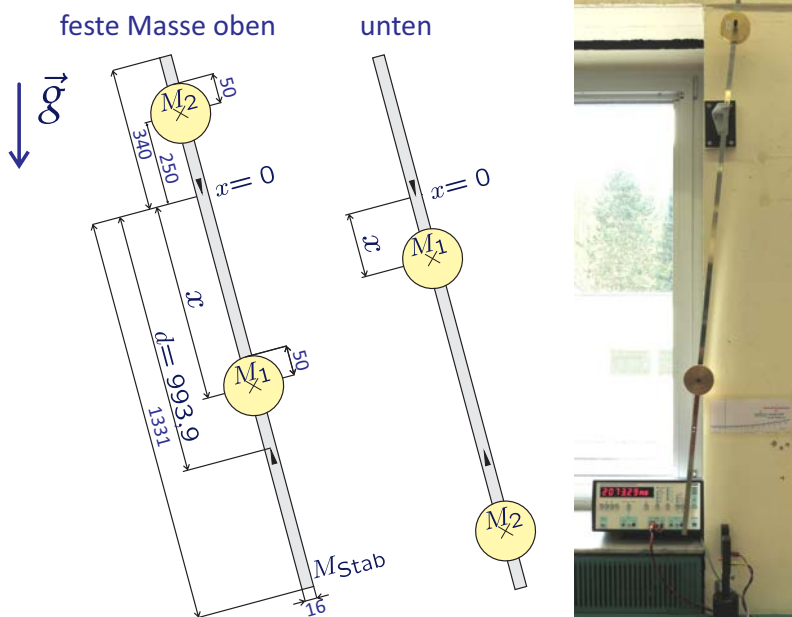
- [1] W. Schenk und F. Kremer (Hrsg.) *Physikalisches Praktikum*. Springer, 14. Auflage, 2014. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-00666-2>.
- [2] D. Meschede. *Gerthsen Physik*. Springer, 25. Auflage, 2015. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-45977-5>.

7 Vorbereitung, Fragen und Berechnungen vor dem Versuchsantritt

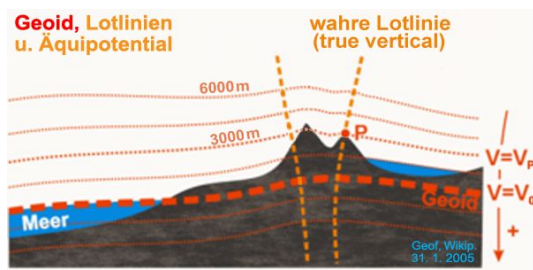
- mathematisches versus physikalisches Pendel: Differentialgleichung und Periodendauer für kleine Auslenkungen
- Was ist die exakte Periodendauer $T(\varphi_0)$ eines mathematischen Pendels als Funktion der maximalen Auslenkung. Dies ist eine unendliche Reihe. Diskutieren Sie den Fall $\varphi_0 \rightarrow 180^\circ$ siehe Wikipedia?
- Schwerpunktbestimmung ausgedehnter Körper
- Trägheitsmoment: allgemeine Berechnung, Formelzeichen, Einheit
- Trägheitsmomente einfacher Körper: Zylinder und Quader
- Steiner'scher Satz
- Berechnungen vor der Versuchsdurchführung, siehe auch Zusatzmaterial:
 - a) Berechnen Sie die Trägheitsmomente durch den Schwerpunkt der Massen $M_{1,2}$ und des Stabes M_{Stab} , welcher als Quader angesehen wird.
 - b) Berechnen Sie den Schwerpunkt x_S des Pendels mit M_1 an $x = 50$ cm und das Trägheitsmoment des Pendels bezüglich des Aufhängepunktes.
 - c) Berechnen Sie die zu erwartende Periodendauer des Pendels mit M_1 an $x = 50$ cm.

8 Zusatzmaterial

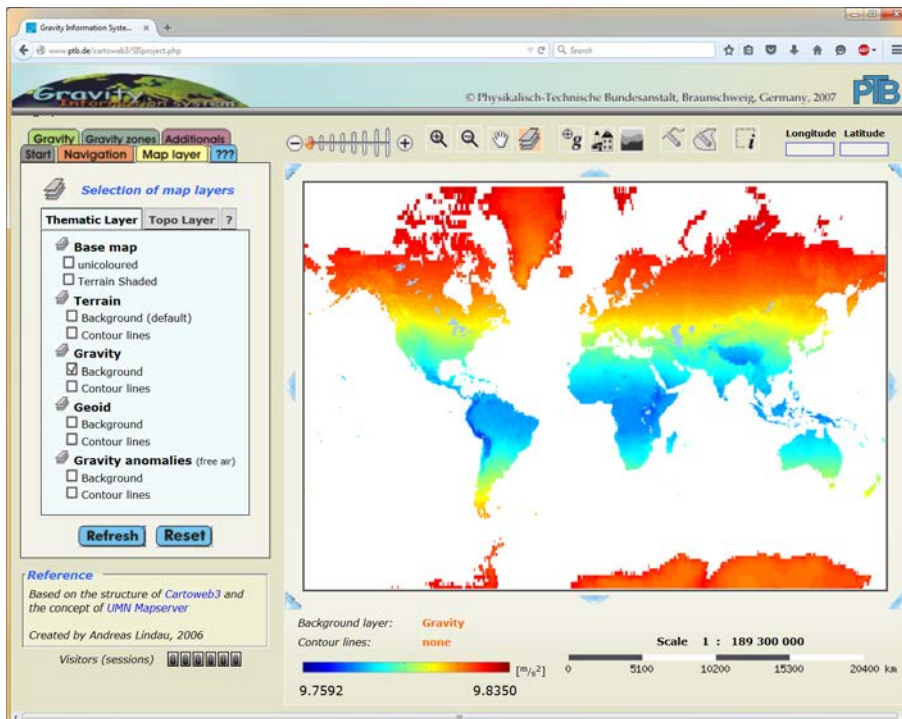
- Die Abmessungen (nicht maßstabgetreu) des verwendeten Reversionspendels in mm.
Die homogenen Massen sind $M_1 = 1422 \pm 2 \text{ g}$, $M_2 = 1003 \pm 2 \text{ g}$, $M_{\text{Stab}} = 1265 \pm 2 \text{ g}$.



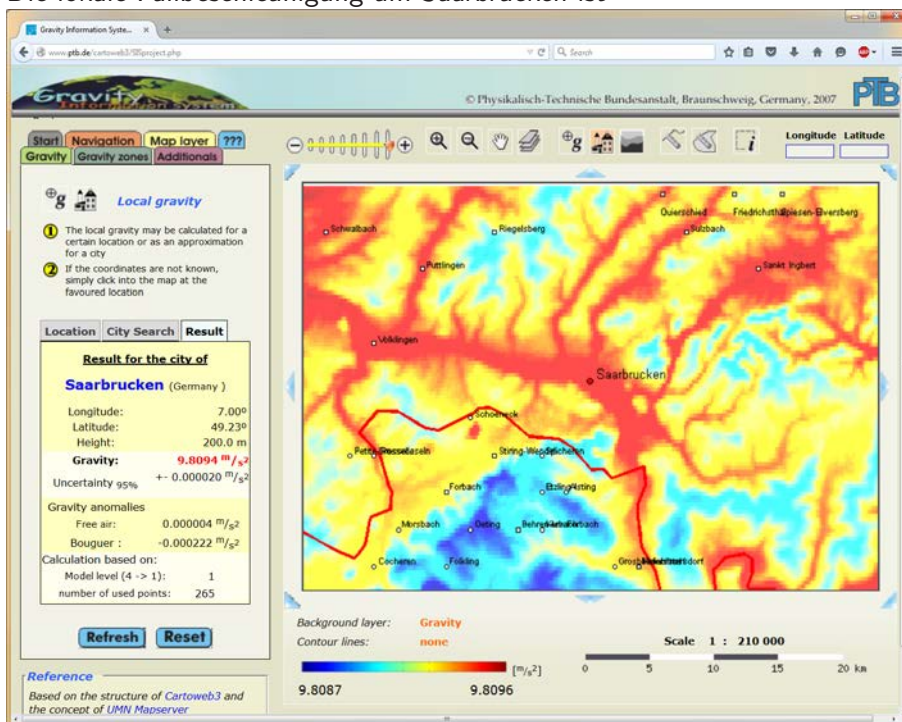
- Die Bestimmung der lokalen Fallbeschleunigung lässt Rückschlüsse auf mögliche Erzlagerstätten zu und wird heutzutage sogar vom Weltraum aus durchgeführt.



- Die gemessene Fallbeschleunigung $g = |\vec{g}|$ setzt sich aus dem lokalen Gravitationsfeld und der Zentrifugalbeschleunigung zusammen $\vec{g} = \vec{g}_{\text{gravi}} + \vec{g}_{\text{zentri}}$. Verringert oder verstärkt die Zentrifugalbeschleunigung den Betrag der Fallbeschleunigung? Können Sie den Betrag dieser Korrektur für Saarbrücken berechnen?



- Die lokale Fallbeschleunigung um Saarbrücken ist



siehe bei der Physikalisch Technischen Bundesanstalt <http://www.ptb.de/cartoweb3/SISproject.php>