# Foucault-Pendel

## NACHWEIS DER ERDROTATION MIT EINEM FOUCAULT-PENDEL

- Messung der Schwingungsrichtung als Funktion der Zeit.
- Bestimmung der Drehgeschwindigkeit.
- Bestimmung der geographischen Breite.

UE1050250

07/15 JS

Fig. 1 Foucault-Pendel

## ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

**Ein Foucault-Pendel ist ein langes Fadenpendel mit einer großen Pendelmasse, mit dessen Hilfe die Erdrotation demonstriert werden kann. Es geht auf *Jean Foucault* zurück, der 1851 an einem 2 m langen Pendel entdeckte, dass sich die Schwingungsrichtung im Laufe der Zeit änderte. Später wurde das Experiment mit immer längeren und schwereren Pendeln wiederholt.**

Da sich die Erde um ihre eigene Achse dreht, wirkt in Bezug auf das erdfeste Koordinatensystem des schwingenden Pendels eine Coriolis-Kraft

$$\boldsymbol{F} = 2 \cdot m \cdot \boldsymbol{\Omega}_0 \times \boldsymbol{v} \qquad (1)$$

$m$: Masse des Pendelkörpers
$\boldsymbol{\Omega}_0$: Vektor der Winkelgeschwindigkeit der Erde
$\boldsymbol{v}$: Geschwindigkeitsvektor des schwingenden Pendels

quer zur Schwingungsrichtung. Sie bewirkt eine Drehung der Schwingungsebene mit einer Kreisfrequenz, die von der geographische Breite $\varphi$ des Aufhängepunktes abhängt.

Da das Foucault-Pendel nur um kleine Winkel $\alpha$ ausgelenkt wird, bewegt sich der Pendelkörper ausschließlich in der horizontalen Ebene, die in Fig. 2 durch die nach Norden weisende Achse N und die nach Osten weisende Achse E aufgespannt wird.

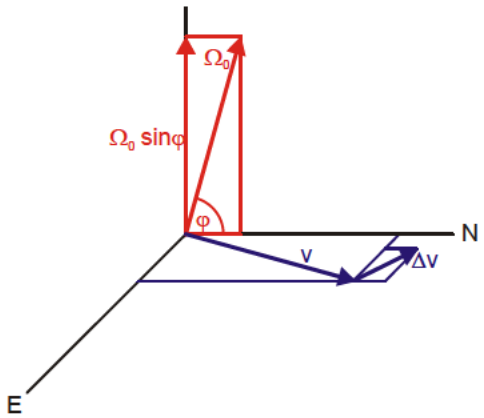


Fig. 2 Darstellung im erdfesten Koordinatensystem des Foucault-Pendels.

Betrachtet werden nur Ablenkungen in der Horizontalen, da der Pendelkörper an einem Faden hängt. Aus diesem Grund ist nur die vertikale Komponente

$$\Omega(\varphi) = \Omega_0 \cdot \sin\varphi \qquad (2)$$

des Vektors $\boldsymbol{\Omega}_0$ relevant.

Daher lautet die Bewegungsgleichung des schwingenden Foucault-Pendels

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} \cdot \boldsymbol{e}_p + 2 \cdot \Omega_0 \cdot \sin\varphi \cdot \frac{d\alpha}{dt} \cdot \boldsymbol{e}_v + \frac{g}{L} \cdot \alpha \cdot \boldsymbol{e}_p = 0 \qquad (3)$$

$L$: Pendellänge, $g$: Fallbeschleunigung
$\boldsymbol{e}_p$: horizontaler Einheitsvektor parallel zur aktuellen Schwingungsrichtung
$\boldsymbol{e}_v$: horizontaler Einheitsvektor senkrecht zur aktuellen Schwingungsrichtung

Deren Lösung lässt sich aufspalten in eine Lösung für den Auslenkwinkel $\alpha$ und eine Lösung für den sich drehenden Einheitsvektor $\boldsymbol{e}_p$ parallel zur aktuellen Schwingungsrichtung:

$$\alpha(t) = \cos(\omega \cdot t + \beta) \text{ mit } \omega = \sqrt{\frac{g}{L}} \qquad (4a)$$

$$\boldsymbol{e}_p(t) = \boldsymbol{e}_E \cdot \cos(\psi(t)) + \boldsymbol{e}_N \cdot \sin(\psi(t)) \qquad (4b)$$

mit
$\psi(t) = \Omega_0 \cdot \sin\varphi \cdot t + \psi_0$ : Schwingungsrichtung
$\boldsymbol{e}_E$: horizontaler Einheitsvektor nach Osten
$\boldsymbol{e}_N$: horizontaler Einheitsvektor nach Norden

Die Schwingungsebene dreht sich also im Laufe der Zeit mit der in Gl. (2) angegebenen Frequenz. Auf der Nordhalbkugel erfolgt die Drehung nach rechts und auf der Südhalbkugel nach links. Dabei ist die Drehgeschwindigkeit an den Polen maximal, während am Äquator keine Ablenkung stattfindet.

Im Experiment wird ein 1,2 m langes Fadenpendel benutzt. Zur Vermeidung elliptischer Schwingungen stößt der Pendelfaden bei jeder Auslenkung gegen einen Charon-Ring. Die Schwingungsrichtung wird durch eine Schattenprojektion des Fadens mit einer hohen Genauigkeit auf einer Winkelskala abgelesen. Bereits nach wenigen Minuten kann die Drehung der Schwingungsebene beobachtet werden. Für eine längere Beobachtungszeit kann die Dämpfung der Schwingung durch eine stufenlos einstellbare elektromagnetische Anregung kompensiert werden.

## GERÄTELISTE

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Foucault-Pendel @230 V | 1000748 (U8403000-230) |
| oder | | |
| 1 | Foucault-Pendel @115 V | 1000747 (U8403000-115) |
| 1 | Digitale Stoppuhr | 1002811 (U11902) |

## AUFBAU

Siehe auch die Bedienungsanleitung zum Foucault-Pendel.

**Wahl des Aufstellungsortes:**

- Foucault-Pendel auf einem horizontalen Platz mit erschütterungsfreier stabiler Grundlage aufstellen.
- Direkte Sonneneinstrahlung vermeiden.

**Überprüfung des Abstandes zwischen Pendelkugel und Elektromagnet:**

- Justierscheibe auf die Messvorrichtung legen und Pendellänge so einstellen, dass die Pendelkugel die Justierscheibe gerade berührt.
- In längeren Intervallen diesen Abstand überprüfen, da sich der Pendelfaden um 1 bis 2 mm dehnen kann.

**Überprüfung der horizontalen Ausrichtung:**

- Justierzylinder auf die Messvorrichtung stecken und Pendelkugel hineinhängen.
- Foucault-Pendel durch Verdrehen der Einstellfüße (zwei Füße gleichzeitig!) so ausrichten, dass die Pendelkugel genau in der Mitte des Justierzylinders hängt.

**Verdrillungen des Aufhängefadens:**

- Faden mit der Pendelkugel einige Stunden frei hängen lassen, um Verdrillungen zu beseitigen.

## DURCHFÜHRUNG

- Pendel mit der Hand auslenken und loslassen.
- Glastür vorsichtig schließen.
- Elektromagnetische Anregung einschalten und Pendel mindestens 5 min lang beobachten.
- Anregung so einstellen, dass das Pendel weder zum Stillstand kommt noch gegen die Glastür schlägt.
- Winkelposition der Lichtquelle zur Schattenprojektion so einstellen, dass der Schatten des schwingenden Pendels auf dem Beobachtungsschirm in der vertikalen Markierung bleibt.

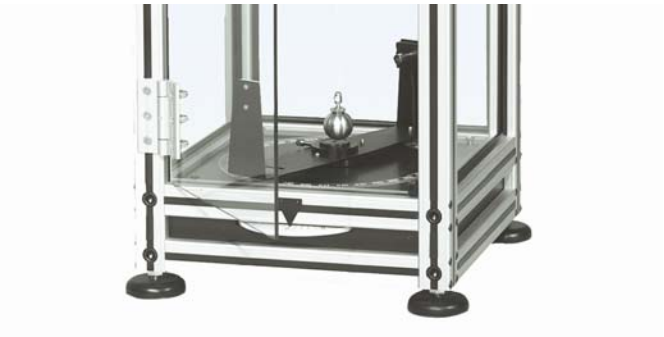

Fig. 3 Lichtquelle zur Schattenprojektion, Beobachtungsschirm und Winkelscheibe des Foucault-Pendels

- Winkelposition auf der Winkelscheibe ablesen und Zeitmessung starten.
- Winkelposition der Lichtquelle etwa alle 10 Minuten nachstellen, so dass erneut der Schatten des schwingenden Pendels auf der vertikalen Markierung bleibt.
- Winkelposition zusammen mit der Messzeit notieren.

## MESSBEISPIEL

Tabelle 1: Messwerte der Schwingungsebene ψ und der Zeit *t*, aufgenommen bei der geographischen Breite φ = 50°

| *t*/s | ψ |
|---|---|
| 0,0 | 179,6° |
| 662,4 | 181,6° |
| 1200,0 | 183,2° |
| 1833,6 | 185,0° |
| 3024,0 | 188,0° |
| 3660,0 | 190,0° |
| 4260,0 | 192,2° |
| 5178,0 | 195,2° |
| 5820,0 | 197,4° |

## AUSWERTUNG

Der Richtungswinkel ψ der Schwingungsebene hängt in guter Näherung linear von der Zeit ab, siehe Fig. 4. Die Steigung der Geraden durch die Messpunkte ist der gesuchte Wert Ω(φ).

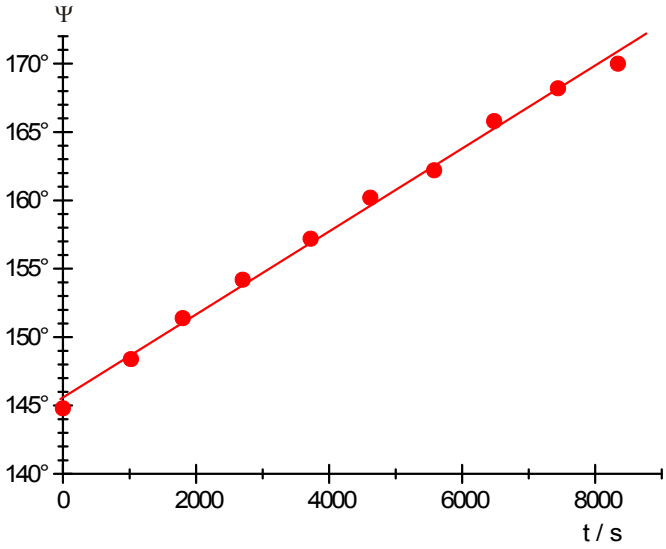


Fig. 4 Richtungswinkel ψ der Schwingungsebene in Abhängigkeit von der Zeit *t* , aufgenommen bei der geographischen Breite φ = 50°

Aus den vorliegenden Messdaten ermittelt man

Ω(φ) = (0,0030 ± 0,0003) °/s

Nach Umformung von Gl. (2) berechnet man daraus die geographische Breite gemäß:

$$\varphi = \frac{180°}{\pi} \cdot \arcsin\left(\frac{86400\ \text{s}}{360°} \cdot \Omega(\varphi)\right) = 46° \pm 4°$$



© Copyright 2015 3B Scientific GmbH