

Schiefe Ebene (SEB)

Themengebiet: Mechanik

Zusammenfassung

In diesem Versuch geht es um elementare Begriffe der Mechanik, z.B. Kräftezerlegung, Haft- und Gleitreibung, und beschleunigte Bewegung... Da die Grundlagen bekannt sind (Experimentalphysik 1, wenn nicht schon aus der Schule), wird der Theorieteil des Versuchs kurz gehalten.

1 Grundlagen

1.1 Kräftezerlegung

Auf einen Körper wirkt die Gewichtskraft F_g senkrecht zur Erdoberfläche. Befindet sich der Körper auf einer Ebene mit einem Neigungswinkel α zur Erdoberfläche, dann lässt sich die Gewichtskraft zerlegen in eine Komponente senkrecht (F_{\perp} , auch *Normalkraft*) und eine parallel (F_{\parallel} , auch *Tangentialkraft*) zur Ebene. Dies ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Normal- und die Parallelkomponente der Gewichtskraft sind dann

$$F_{\perp} = F_g \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

$$F_{\parallel} = F_g \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

1.2 Gleit- und Haftreibung

An der Grenzfläche zwischen Körpern treten Reibungskräfte parallel zu dieser Grenzfläche auf. Wir betrachten hier die *trockene Reibung* oder *Coulomb-Reibung*, d.h. ein Körper bewegt sich ohne Schmiermittel auf einer festen Unterlage. Die Reibungskraft F_R ist proportional zur Normalkraft F_{\perp} zwischen Körper und Unterlage

$$F_R = \mu \cdot F_{\perp}. \quad (3)$$

μ heißt *Reibungskoeffizient*, er hängt von der Art und der Beschaffenheit der Oberflächen von Unterlage und Körper ab.

Bewegen sich die Körper nicht gegeneinander, so spricht man von Haftreibung. Die Haftreibungskraft

$$F_H = \mu_H \cdot F_{\perp} \quad (4)$$

verhindert, dass der Körper sich in Bewegung setzt, solange die ansetzende Kraft kleiner als F_H ist. μ_H heißt *Haftreibungskoeffizient*

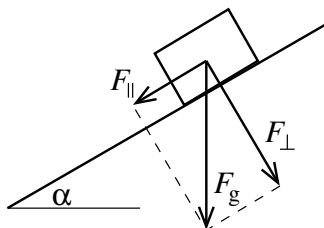


Abbildung 1: Bezeichnungen bei der Kräftezerlegung

Rutschen oder gleiten die Körper gegeneinander, so hat spricht man von *Gleitreibung*, mit dem *Gleitreibungskoeffizient* μ_G

$$F_G = \mu_G \cdot F_{\perp} \quad (5)$$

Die Gleitreibungskraft ist immer kleiner als die Haftreibungskraft. Wenn eine angreifende Kraft einen Körper erst einmal in Bewegung gesetzt hat, beschleunigt sie ihn weiter.

Die beschleunigende Kraft auf einen Körper der Masse m ist dann die Differenz aus der angreifenden Kraft parallel zur Grenzfläche und der Reibungskraft. Auf der schiefen Ebene erhält man die angreifende Kraft aus Gleichung (2), die Reibungskraft ist das Produkt des Reibungskoeffizienten mit der Normalkraft aus Gleichung (1) zu

$$F = m \cdot a = F_{\parallel} - \mu \cdot F_{\perp} = F_g \cdot (\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha), \quad (6)$$

sofern der Term in der Klammer größer als Null ist. Die Beschleunigung a erhält man mit der Erdbeschleunigung g zu

$$a = g \cdot (\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha), \quad (7)$$

Wenn der Körper „gerade noch nicht rutscht“, ergibt sich für den Haftreibungskoeffizienten

$$\mu_H = \tan \alpha. \quad (8)$$

1.3 Trägheitsnavigation

So wie man aus einer gegebenen Ortskurve

$$\vec{s}(t) = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (9)$$

durch Ableiten die Geschwindigkeit $\vec{v}(t)$ und nochmaliges Ableiten die Beschleunigung $\vec{a}(t)$ erhält, kann man umgekehrt durch zweifache Integration der Beschleunigung wieder die Ortskurve erhalten, sofern man die Anfangsbedingungen (z.B. $\vec{s}(t=0)$ und $\vec{v}(t=0)$) kennt.

Durch die Messung der Beschleunigung in allen drei Raumrichtungen lässt sich somit prinzipiell der Ort zu jeder Zeit bestimmen.

2 Versuchsaufbau

Der Grundaufbau besteht aus einem „Rutscher“ (vgl. Abbildung 2) auf den Gewichte aufgesteckt werden können und an den Kraftmesser in tangentialer und senkrechter Richtung angebracht werden können.

Für die Messungen des Haftreibungskoeffizienten wird der Rutscher auf ein wagrechtes Brett gestellt, und die horizontale Kraft gemessen.

Für die Bestimmung der Kräftezerlegung wird das Brett nun geneigt und die tangentiale und senkrechte Kraftkomponente wird gemessen (vgl. Abbildung 3).

Für die Gleitreibung wird der Rutscher auf der schiefen Ebene rutschen gelassen, und mit einem Ultraschallsensor wird die Bewegung aufgezeichnet.

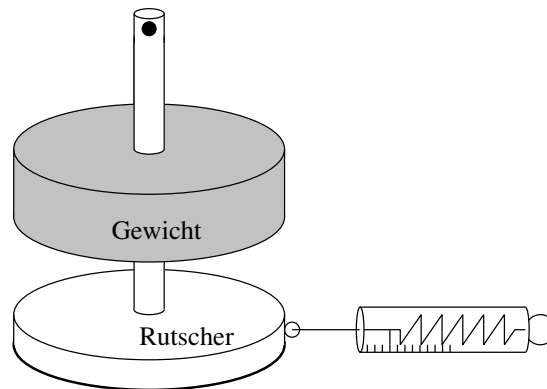


Abbildung 2: Rutscher mit verschiedenen Oberflächen, auf den bis zu drei Gewichte aufgesteckt werden können. Im Mittelstab und an der Grundfläche befinden sich Aufnahmemöglichkeiten für Kraftmesser.

3 Durchführung

Aufgabe 1: Überprüfen der Kräftezerlegung

Messen Sie für mehrere (min. 5) verschiedene Winkel der schiefen Ebene die Normal- und Tangentialkraft des Rutschers mit einem Gewicht. Achten Sie bei der Messung darauf, dass der Rutscher gerade „abhebt“, die Grundfläche aber parallel zur schiefen Ebene ist. Die Richtung der Messung der Normalkraft muss senkrecht zur Ebene sein.

Aufgabe 2: Bestimmung des Haftreibungskoeffizienten

Stellen Sie die Grundplatte in eine waagrechte Position. Bestimmen Sie zunächst die Masse des Rutschers ohne die Gewichte. Befestigen Sie die Federwaage an der Halterung und ziehen Sie *langsam* an. Bestimmen Sie die Kraft, bei der der Rutscher zu rutschen beginnt.

Die Messung der Haftreibungskraft ist großen statistischen Schwankungen unterworfen. Um Aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, müssen Sie daher einige Einzelwerte (≥ 15) aufnehmen. Überlegen Sie sich auch mögliche sonstige Unsicherheiten.

Wiederholen Sie die Messungen für den Rutscher mit einer und mit zwei Gewichtsscheiben.

Aufgabe 3: Bestimmung des Gleitreibungskoeffizienten

Messen Sie für mehrere (min. 4) verschiedene Winkel der schiefen Ebene die Tangentialbeschleunigung auf den Rutscher über den Ultraschallabstandssensor (Messung mit dem Computer; Ein Template für das Messprogramm Cassy-Lab finden Sie auf der Webseite). Führen Sie für jeden Winkel drei Messungen durch.

Man erhält weniger Messausreißer, je größer das Gewicht der rutschenden Masse ist. Auf der anderen Seite wird die Stabilität des Aufbaus bei großen Steigungen und großen Gewichten schlechter. Sinnvoll ist es, bei kleinen Winkeln zwei oder drei Gewichte auf den Rutscher zu legen, bei großen Steigungen nur ein Gewicht.

Achtung: Halten Sie unbedingt während der Messung die Haltestange der schiefen Ebene fest, damit der Aufbau nicht umkippen kann.

Aufgabe 4: Trägheitsnavigation

Dieser Versuchsteil entfällt im Corona-Praktikum.

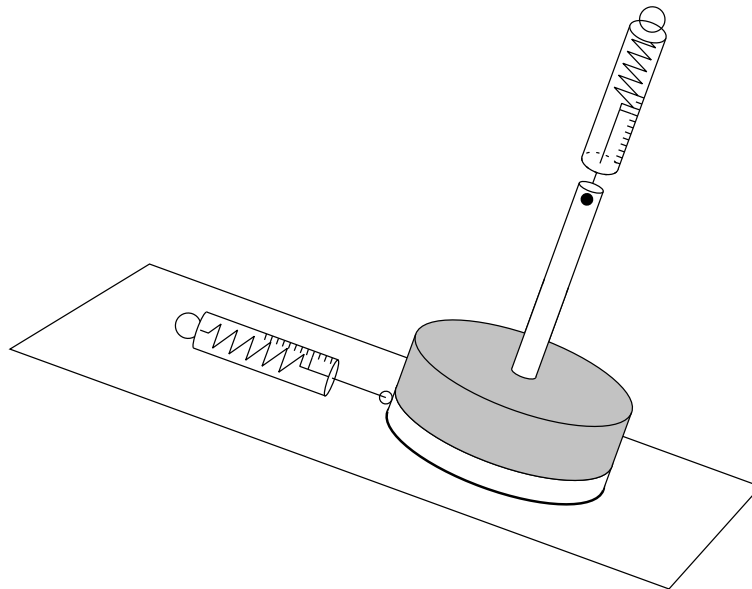


Abbildung 3: Messung der Kräftezerlegung auf der schiefen Ebene. Die tangentielle und normale Kraftkomponente kann für verschiedene Neigungswinkel bestimmt werden.

4 Auswertung

Aufgabe 5: Kräftezerlegung

Tragen Sie die Verhältnisse von Tangential- und Normalkraft zur Gewichtskraft (F_{\parallel}/F_g und F_{\perp}/F_g), sowie das Verhältnis aus Tangentialkraft zur Normalkraft (F_{\parallel}/F_{\perp}) jeweils gegen den Neigungswinkel der schiefen Ebene auf. Überprüfen Sie ob bzw. wie gut die Messwerte zum theoretische erwarteten Verlauf passen.

Aufgabe 6: Haftreibungskoeffizient

Berechnen Sie für jedes Gewicht aus den Messwerten die mittlere Haftkraft mit der Typ-A-Unsicherheit. Tragen Sie diese in einem Graphen gegen die Masse (Rutscher plus Gewichte) auf. Passen Sie an die Messpunkte eine Ausgleichsgerade an und bestimmen Sie den Haftreibungskoeffizienten mit Unsicherheit. Diskutieren Sie alle berücksichtigten Unsicherheiten.

Aufgabe 7: Gleitreibungskoeffizient

Tragen Sie die Messdaten (Weg gegen Zeit) in einem Diagramm auf. Passen Sie an die Daten Theoriekurven an und bestimmen Sie daraus für jeden Winkel die Beschleunigung auf den Rutscher.

Berechnen Sie das Verhältnis aus Normalbeschleunigung und Erdbeschleunigung ($g = 9,807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}[1]$). Tragen Sie die Werte gegen den Neigungswinkel auf, passen Sie eine Theoriefunktion an und bestimmen Sie daraus den Rutschreibungskoeffizienten inklusive der Unsicherheit.

Literatur

- [1] Richtlinie für die Eichung von nichtselbsttätigen Waagen EA 9, vom 15. Juli 1999