

PHYWE

Betriebsanleitung

Fahrradkreisel
Drehscheibe nach Prandtl

02565.00
02571.00



1 ZWECK UND BESCHREIBUNG

Der Fahrradkreisel 02565.00 dient zusammen mit der Drehscheibe 02571.00 zum Nachweis des Satzes von der Erhaltung des Drehimpulses.

Er besteht aus einem Speichenrad mit Handgriffen an beiden Seiten der Achse. Die Radfelge ($d=0,5\text{m}$) ist zur Erhöhung des Trägheitsmomentes mit einer Eiseneinlage versehen. Eine Seiltrommel dient zum Aufziehen des Kreisels. Die Drehscheibe nach Prandtl (Drehschemel mit $d=0,45\text{m}$) besitzt eine Fußstütze und ist um ihre Vertikalachse reibungsarm drehbar.

2 HANDHABUNG

Die beiden Handgriffe werden der Achse des Fahrradkreisels festgeschraubt.

Aufziehen des Kreisels: In vielen Fällen genügt es, den Kreisel mit einer Hand an einem Griff festzuhalten und mit der anderen Hand die Felge in Rotation zu versetzen.

Für größere Drehzahlen die mitgelieferte Nylonschnur stramm auf die Seiltrommel wickeln und dabei den Anfang der Schnur durch die nachfolgenden Windungen festklemmen.

Den Fahrradkreisel mit dem der Seiltrommel abgewandten Griff in die mitgelieferte Pfanne setzen, die in einem Stativfuß gehalten worden ist. Durch Abziehen der Schur wird der Kreisel in Rotation versetzt.

Achtung!

Nie in die Speichen des rotierenden Fahrradkreisels greifen! Zum Anwerfen von Hand oder zum Bremsen nur an der Außenseite der Felge anfassen. Damit der Fahrradkreisel nicht in unnötig schnelle Rotation gerät, sollte die Schnur zum Aufziehen nicht länger als 1,5 m sein.

Den Kreisel stets mit beiden Händen festhalten!

Der Drehschemel wird auf einem möglichst ebenen Fußboden aufgestellt, eine leichte Neigung stört jedoch beim Experimentieren kaum. Bei größeren Neigungen mit den Stellschrauben gut horizontal ausrichten (Wasserwaage benutzen).

3 EXPERIMENTE

Der/die Experimentierende sitzt auf dem ruhenden Drehschemel und hält den ebenfalls ruhenden Fahrradkreisel in der Hand. Die/der Experimentierende sollte nach Augenmaß etwa über der Rotationsachse des Drehschemels sitzen, da sonst durch das Körpergewicht ein Drehmoment ausgeübt wird.

3.1 Radachse *vertikal* halten, Fahrradkreisel von Hand anwerfen:

Der Drehschemel beginnt mit entgegengesetztem Drehsinn wie der Fahrradkreisel zu rotieren.

Fahradkreisel abbremsen oder Radachse in die horizontale Lage bringen: Der Drehschemel kommt zur Ruhe.

3.2 Radachse *horizontal* halten, Fahrradkreisel von Hand anwerfen: Der Drehschemel bleibt in Ruhe. Radachse in die vertikale Lage bringen: Der Drehschemel beginnt mit entgegengesetztem Drehsinn wie der Fahrradkreisel zu rotieren.

Der/die Experimentierende sitzt auf dem ruhenden Drehschemel; eine zweite Person hält den Fahrradkreisel und zieht ihn mit der Schnur auf.

3.3 Rotierenden Fahrradkreisel - Radachse *vertikal* – in Empfang nehmen: Der Drehschemel bleibt in Ruhe.

Radachse aus der Vertikalen ($\alpha=+90^\circ$) in die Horizontale ($\alpha=0^\circ$) und weiter bis $\alpha=-90^\circ$ neigen: Der Drehschemel beginnt im gleichen Drehsinn wie der Fahrradkreisel zu rotieren; für $\alpha=-90^\circ$ ist die Rotationsbewegung am größten.

Radachse zurück in die Ausgangslage bringen: Der Drehschemel kommt zur Ruhe.

3.4 Rotierenden Fahrradkreisel - Radachse *horizontal* – in Empfang nehmen: Der Drehschemel bleibt in Ruhe.

Radachse aus der Horizontalen ($\alpha=0^\circ$) nach oben ($\alpha=+90^\circ$) und nach unten ($\alpha=-90^\circ$) neigen: Die Beobachtungen sind die gleichen wie in 3.2. Die/der Experimentierende hält in den Händen zwei Gewichte (z.B. Handlungsgewichtsstücke, 5kg, Best.-Nr. 44096.81).

3.5 Während der Rotation die Arme ausstrecken und anziehen: Die Winkelgeschwindigkeit ändert sich.

4 EXPERIMENTIERLITERATUR

Versuchseinheiten Physik, Rotationsenergie und Drehimpuls 16000.51

Zusatz: Theoretische Grundlagen

Für das System S, bestehend aus dem Drehschemel (DS), der/dem Experimentierenden (E) und dem Fahrradkreisel (FK), setze sich der Drehimpuls L_z um die z-Achse des Systems aus zwei Anteilen zusammen; dies sind

a) der Drehimpuls L_{DS} , resultierend aus der Rotation des Systems um die Drehschemelachse, ohne Berücksichtigung der Kreiselrotation. Der Drehimpuls L_{DS} hat setzt die Richtung der z-Achse, d.h.:

$$L_{DS} = (L_{DS})_z$$

b) der Drehimpuls L_{FK} , der aus der Kreiselrotation um die Radachse resultiert, wobei nur die z-Komponente von L_{FK} in L_z eingeht. Bezeichnet man den Neigungswinkel der Radachse gegen die Horizontale mit α , so ist die z-Komponente von L_{FK} gegeben durch:

$$(L_{FK})_z = L_{FK} \cdot \sin \alpha. \quad (1)$$

Solange auf das System S kein äußeres Drehmoment M_z einwirkt, bleibt der Gesamtdrehimpuls L_z des Systems konstant.

$$L_z = L_{DS} + L_{FK} \cdot \sin \alpha = \text{const.} \quad (2)$$

Allgemein lässt sich ein Drehimpuls L durch die zugehörige Winkelgeschwindigkeit ω und das Trägheitsmoment Θ um die Drehachse ausdrücken, und zwar ist $L = \Theta \cdot \omega$.

Es sei ω_{DS} die Winkelgeschwindigkeit und Θ_{DS} das Trägheitsmoment des Systems S um die Drehschemelachse, ferner ω_{FK} die Winkelgeschwindigkeit und Θ_{FK} das Trägheitsmoment des Fahrradkreisels um die Radachse; Gleichung (2) sieht dann so aus:

$$L_z = L_{DS} + L_{FK} \cdot \sin \alpha = \text{const.} \quad (2a)$$

Eine Änderung der z-Komponente L_{FK} des Kreiseldrehimpulses verursacht gemäß Gleichung (2) eine entgegengesetzte gleiche Änderung von L_{DS} , sofern die Änderung der Kräfte **innerhalb** des Systems bewirkt wird, d.h. vom Experimentierenden auf den Drehschemel.

$$\Delta L_{DS} = - \Delta(L_{FK} \cdot \sin \alpha) \quad (3)$$

bzw. bei konstanten Trägheitsmomenten nach Gleichung (2a):

$$\Delta \omega_{DS} = - k \cdot \Delta(\omega_{FK} \cdot \sin \alpha). \quad (3a)$$

Hierbei ist der Faktor $k = \Theta_{FK} / \Theta_{DS}$ stets erheblich kleiner als 1.

Setzt man voraus, dass zu Versuchsbeginn der Drehschemel in Ruhe ist, und bezeichnet man die Anfangswerte der übrigen Größen mit L_{FK}^0 , ω_{FK}^0 und α^0 so erhält man aus Gleichung (3) bzw. (3a) die Beziehungen:

$$L_{DS} = L_{FK}^0 \cdot \sin \alpha^0 - L_{FK} \cdot \sin \alpha \quad (4)$$

bzw.:

$$\omega_{DS} = k \cdot (\omega_{FK}^0 \cdot \sin \alpha^0 - \omega_{FK} \cdot \sin \alpha). \quad (4a)$$

Die beobachtete Winkelgeschwindigkeit ω_{DS} des Drehschemels hängt also sowohl vom Ausgangszustand des Gesamtsystems S, wie auch von den anschließend vom den ExperimentatorInnen vorgenommenen Änderungen an ω_{FK} und α ab.

Spezialfälle:

1) Hier ist $L_{FK}^0 = 0$ und / oder $\sin \alpha^0 = 0$. Die Gleichungen (4) bzw. (4a) vereinfachen sich jetzt zu:

$$L_{DS} = -L_{FK} \cdot \sin \alpha \quad (5)$$

bzw.:

$$\omega_{DS} = -k \cdot \omega_{FK} \cdot \sin \alpha. \quad (5a)$$

Diese Anfangsbedingungen sind in den Punkten 3.1; 3.2 und 3.4 der Versuchsbeispiele gegeben; und zwar ist im Einzelnen in:

3.1: $\alpha^0 = 90^\circ$ und $L_{FK}^0 = 0$

3.2: $\alpha^0 = 0$ und $L_{FK}^0 = 0$

3.4: $\alpha^0 = 0$ und $L_{FK}^0 = L_{FK} = \text{const.} \neq 0$.

2) $L_{FK}^0 = L_{FK} = \text{const.}$ und $\alpha^0 = 90^\circ$. Die Gleichungen (4) bzw. (4a) vereinfachen sich hier zu:

$$L_{DS} = L_{FK}^0 \cdot (1 - \sin \alpha) \quad (6)$$

bzw.:

$$\omega_{DS} = k \cdot \omega_{FK}^0 \cdot (1 - \sin \alpha). \quad (6a)$$

Diese Anfangsbedingungen sind im Punkt 3.3 der Versuchsbeispiele realisiert.

Auf Grund der auftretenden Reibungsmomente, auch wenn diese gering sind, bleibt der Gesamtdrehimpuls L_z um die z-Achse streng genommen nicht konstant, sondern nimmt allmählich bis auf Null ab.

Anmerkung:

Je nach Drehsinn ist den Drehimpulsen bzw. Winkelgeschwindigkeiten das Vorzeichen (+) oder (-) zuzuordnen. Man kann etwa L_{DS} bzw. ω_{DS} ein positives Vorzeichen geben, wenn sich, von oben betrachtet, der Drehschemel entgegen dem Uhrzeigersinn dreht.

Beim Fahrradkreisel legt man das Vorzeichen wie folgt fest:

Wenn die/der Experimentierende den Kreisel an einem Griff in der linken Hand hält und ein Beobachter von der Seite des freien Griffes auf das Rad blickt, so gibt man bei Raddrehung entgegen dem Uhrzeigersinn L_{FK} bzw. ω_{FK} ein positives Vorzeichen.