

Kreiselversuche



Abb. 1: Vorführcykel mit verstellbarem Aufpunkt.

Geräteliste:

Fahrradreifen mit Handgriffen, Fahrradreifen mit Verstellbarem Aufpunkt, Drehstuhl, kräftefreier Kreisel, Umkehrkreisel, Büroklammerkreisel, Tischkreisel, Bohrmaschine mit Gummi-Antriebsscheibe, Stehaufkreisel

Versuchsbeschreibung:

Die Bewegungen, die ein Tischkreisel ausführt können beobachtet werden

Präzession

Die Fahrradfelge mit den Handgriffen wird mit der Bohrmaschine auf möglichst hohe Drehzahl gebracht. Die Achse ist dabei horizontal zu halten. Wird die Felge nun vorsichtig losgelassen und nur an einer Seite am Seil gehalten, bleibt die Achse weiterhin in einer horizontalen Lage und führt eine Präzessionsbewegung aus.

Der gleiche Effekt kann mit einem Spielzeugkreisel (Abb. 2) gezeigt werden

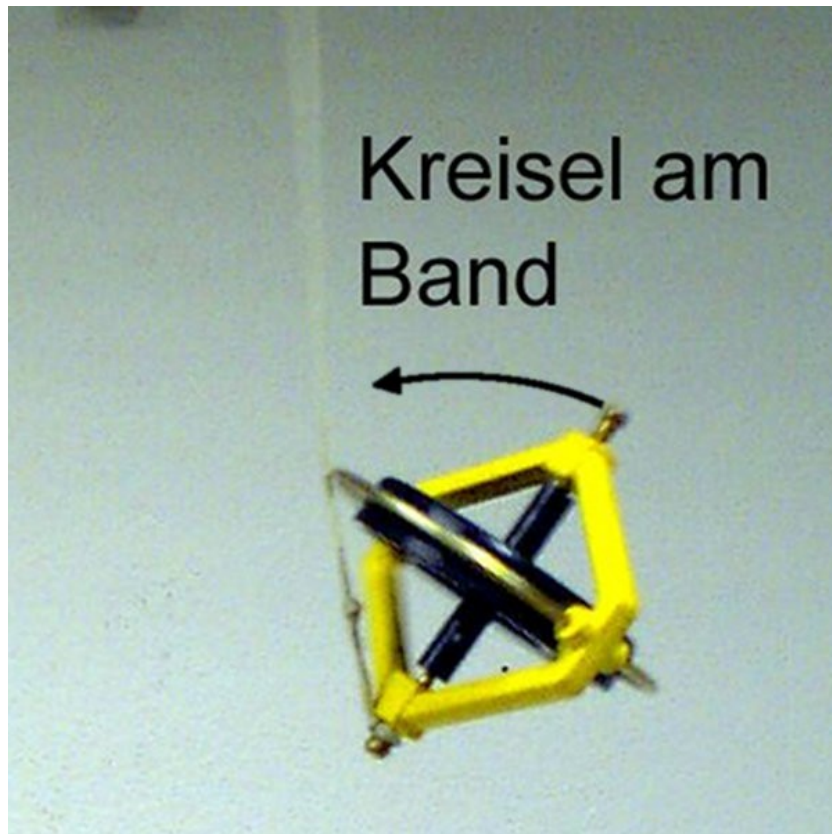


Abb. 2: Kreisel am Band hängend führt Präzessionsbewegung aus

Richtung der Präzessionsbewegung

Die Fahrradfelge mit verstellbarem Aufpunkt wird auf hohe Drehzahl im Uhrzeigersinn gebracht. Die Präzessionsbewegung kann, abhängig von der Entfernung zwischen Aufpunkt und Schwerpunkt, beobachtet werden. Liegt der Schwerpunkt unterhalb des Aufpunktes ist die Drehrichtung der Präzession gegen den Uhrzeigersinn.

Nutationsbewegung

Der Felgenkreisel wird kräftefrei gelagert und auf große Drehzahl gebracht. Auf der Achse wird ein Bild mit Kreissegmenten angebracht. Es schwimmt. Wird die Achse des Kreisels aus der Symmetrie gestoßen (kleiner Handkandenschlaf auf die eigentlich ruhende Kreiselachse) tritt eine neue Kreisbewegung auf, die nun durch einen nicht mehr ganz verschwommenen Kreisring sichtbar wird.

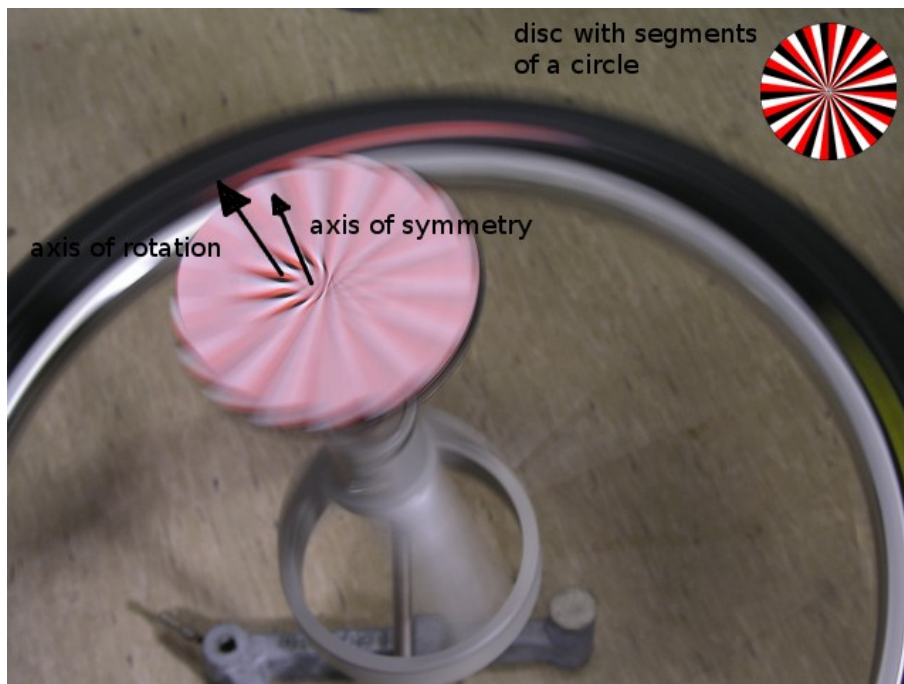


Abb. 3: Präsentation der Nutationsbewegung mit der Fahrradfelge

Nutation beim kardanischen Kreisel (Versuch Drehimpuls)

Wird die Achse mit einem Kraftstoß (Schlag mit der Hand auf den äußeren oder inneren Ring) aus ihrer Position gelenkt, führt sie eine Nutationsbewegung aus.

Stehaufkreisel

Ein Stehaufkreisel wird in schnelle Rotation versetzt, seine Drehung führt dazu, dass sein Schwerpunkt angehoben wird. Er stellt sich auf den Griff.



Abb. 4: Stehaufkreisel

Bei einem der Stehaufkreisel kann eine kleine Spitze ausgefahren werden, er rotiert nur auf der Spitze, sein Schwerpunkt bleibt „unten“.

Bemerkungen:

Bei dem Kreisel in Abb. 3 kann die Präzessionsbewegung in Abhängigkeit zum Auflagepunkt (oberhalb, im oder unterhalb des Schwerpunktes) beobachtet werden. Im Schwerpunkt gelagert zeigt er das gleiche Verhalten wie der kardanischn gelagerte Kreisel. Für eine Lagerung unterhalb des Schwerpunktes und einer (mathematisch) positiven Drehrichtung (von oben betrachtet gegen den Uhrzeigersinn), ist der Drehimpuls \vec{L} positiv $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{v}$ und eine Änderung wie z. B. durch Auslenkung in Richtung der Erdbeschleunigung \vec{g} führt zu einer Präzessionsbewegung \vec{T} mit der gleichen Drehrichtung, beschrieben durch

$$\vec{T} = \vec{L} \times \vec{g} .$$

Für die Lagerung oberhalb des Schwerpunktes kehrt sich die Drehrichtung der Präzession um. Die Winkelgeschwindigkeit der Präzession ω' wird mit $\frac{d\phi}{dt} = \frac{T}{L \sin\alpha}$ angegeben, ein Kreisel präzediert unter einem gegebenen Drehmoment umso langsamer, je schneller er rotiert, je größer also L ist.

Eine Nutation lässt sich mittels des Tensorcharakters vom Trägheitsmoment verstehen. Dadurch dass der Drehimpuls und die Figurenachse (dadurch auch die momentane Drehachse) nicht mehr zusammenfallen, resultiert ein weiterer Drehimpuls. Dieser führt zur so genannten Nutation.

Die momentane Drehachse lässt sich mit einem Trick sichtbar machen. Die Figurenachse ist immer sichtbar und intuitiv klar in der Mitte anzusiedeln. Die momentane Drehachse dreht sich auf dem Kreis auf dem die unterschiedlichen Farben (aufgrund ihrer geringen Bahngeschwindigkeit) differenziert sichtbar sind.

Eine genauere quantitative Beschreibung findet sich u.a. im Demtröder Experimentalphysik 1 Kap. 5 (s. Abb. 5)

Um das Aufstellen des Stehaufkreisels zu beschreiben muss der Reibungsverlust des Kreisels mit einbezogen werden. Als Modell wird die so genannte Bohrreibung mit dem Reibungskoeffizienten N_{Bo} angesetzt. Mit dem Drehmoment T und der Normalkraft F_N lautet diese

$$N_{Bo} = \frac{T}{F_N} .$$

Dafür wird der Auflagepunkt als Auflagefläche betrachtet und die Richtung der Kraft wird zur Bildung eines vertikalen Drehmomentes herangezogen. Dies wird benötigt, denn während der Invertierung der Drehachse wandert der Schwerpunkt nach oben, die potentielle Energie nimmt also zu. Deshalb muss die kinetische Energie abnehmen. Das erzwingt eine Abnahme des vertikal gerichteten Drehimpulses, wozu wiederum ein vertikales Drehmoment erforderlich ist.

Der Vektor der Gewichtskraft zeigt aber bereits senkrecht nach unten, kann also kein vertikales Drehmoment erzeugen. Die einzige horizontale Kraft, welche überhaupt in Frage kommt, ist die Reibungskraft, weshalb die Reibungsverluste unbedingt in Betracht gezogen werden müssen.

Eine detaillierte Beschreibung findet sich unter

<http://www.physik.uni-augsburg.de/~wobsta/tippetop/index.shtml.de>

Die Kräfte der Felge sowie die hohe Drehzahl bergen Verletzungsgefahren. Die Person auf dem Drehstuhl sollte einen „guten“ Gleichgewichtssinn besitzen. Den rotierenden Reifen nicht mit der Hand bremsen, Verbrennungsgefahr.