

Drehimpuls



Bildquelle: <https://www.pexels.com/de-de/foto/schnee-frau-winter-jahreszeit-7353173/>

Klassenstufe	Oberthemen	Unterthemen	Anforderungsniveau	Durchführungsniveau	Vorbereitung
Sek. 2	Drehbewegung	Impulserhaltung	10 Min.

Aufgabenstellung

Was passiert, wenn zwei rotierende Objekte zusammenstoßen und sich dann gemeinsam drehen? Wie lässt sich diese komplexe Wechselwirkung modellieren und vorhersagen? Welche Größen bleiben konstant?

Genauere Messung der Winkelgeschwindigkeit kurz vor und kurz nach einem Zusammenstoß.

Lerne, wie man ein Modell konstruiert und es auf der Grundlage von Messdaten modifiziert.

Erfahre, wie man das Ergebnis einer komplexen Kollision zwischen rotierenden Objekten vorhersagen kann.

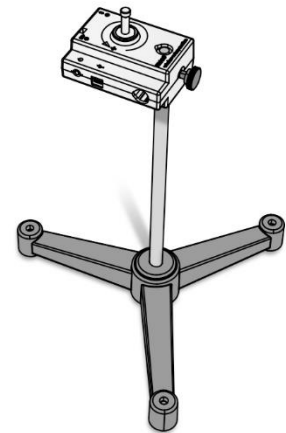
Warum wird man in einer Pirouette schneller, wenn man die Arme einzieht?

1. Materialien und Ausrüstung

- SPARKvue
- Drehbewegungssensor
- Zubehör zum Drehbewegungssensor
- Stativmaterial

2. Versuchsablauf

1. Miss die Masse und den Radius einer der beiden identischen Vollscheiben und des Rings und trage die Werte in das Feld über Tabelle 1 ein.
2. Befestige die Tischklemme, die Stange und den Drehbewegungssensor wie in Abbildung 1 gezeigt.
3. Entferne die Metallschraube an der Oberseite des Drehbewegungssensors, nehme die Riemenscheibe ab und lege beide zur Seite.
4. Achte auf eine kleine rechteckige Vertiefung in der Mitte einer Seite jeder Scheibe. Befestige eine der Scheiben am Drehbewegungssensor, indem die Vertiefung mit der Seite nach unten über die Metallwelle legst und die Schraube wieder anbringst. Möglicherweise musst du die Welle mit einem Finger festhalten, um die Schraube sicher anzuziehen. Wenn sie sich nicht festziehen lässt, hast du möglicherweise die falsche Schraube. Es gibt eine längere Schraube, die mit den Scheiben und Ringen geliefert wird. Hebe diese für später auf.
5. Verbinde den Drehbewegungssensor mit SPARKvue. Ändere die Datenrate auf 100 Hz. Erstelle einen Graphen der Winkelgeschwindigkeit über der Zeit.
6. Drehe die Scheibe langsam und übe, die andere Scheibe mit der Vertiefung nach unten auf die Scheibe fallen zu lassen. Sie sollte in der Mitte landen und mit der unteren Scheibe bündig sein. Achte darauf, dass die fallen gelassene Scheibe nicht zu berühren, wenn sie mit der unteren Scheibe in Kontakt kommt.
7. Sage voraus, was mit der anfänglichen Winkelgeschwindigkeit geschieht, wenn die zweite Scheibe auf die erste fällt. Wird die Winkelgeschwindigkeit zunehmen, abnehmen oder gleichbleiben? Wenn die anfängliche Winkelgeschwindigkeit 10 1/s beträgt, wie hoch wird dann die endgültige Winkelgeschwindigkeit sein? Es ist in Ordnung, eine falsche Vorhersage zu machen.
8. Starte die Messung und lass die Scheibe langsam gegen den Uhrzeigersinn drehen. Eine Drehung im Uhrzeigersinn führt zu negativen Werten für die Winkelgeschwindigkeit. Beobachte den Winkelgeschwindigkeitswert. Wenn er sich 10 1/s nähert, lass die zweite Scheibe fallen. Wenn sie so landet, dass sie mit der unteren Scheibe bündig ist, beende die Aufzeichnung. Andernfalls versuche es erneut.
9. Suche den Teil des Diagramms, der die Kollision zeigt. Er zeigt eine allmählich abnehmende Winkelgeschwindigkeit, gefolgt von einem steilen Abfall, der im Bruchteil einer Sekunde auftritt, und dann eine Wiederaufnahme der allmählichen Abnahme. Die allmähliche Abnahme ist auf die Reibung im Drehbewegungssensor zurückzuführen. Der steile Abfall ist auf die gegenseitige Reibung zwischen den Scheiben während des Zusammenstoßes



zurückzuführen. Verwende die Werkzeuge von SPARKvue, um die Winkelgeschwindigkeit kurz vor dem steilen Abfall zu ermitteln. Trage diese Anfangswinkelgeschwindigkeit in Tabelle 1 ein. Ermittle die Winkelgeschwindigkeit unmittelbar nach dem steilen Abfall. Diese trägst du als Endwinkelgeschwindigkeit in Tabelle 1 ein. Es kann hilfreich sein, die vertikale Achse zu erweitern, um diese 2 Datenpunkte genau zu messen.

10. Überprüfe deine Vorhersage für die endgültige Winkelgeschwindigkeit. War diese richtig? Erläutere, inwiefern die Daten deine Vorhersage rechtfertigen oder widerlegen.
11. Wiederhole den Vorgang für eine weitere Kollision, aber lass die Scheibe diesmal fallen, wenn sich die Winkelgeschwindigkeit 20 1/s nähert, dann 30 1/s, 40 1/s und 50 1/s. Notiere die Daten für alle Versuche in Tabelle 1.

Masse der Scheibe = _____ kg

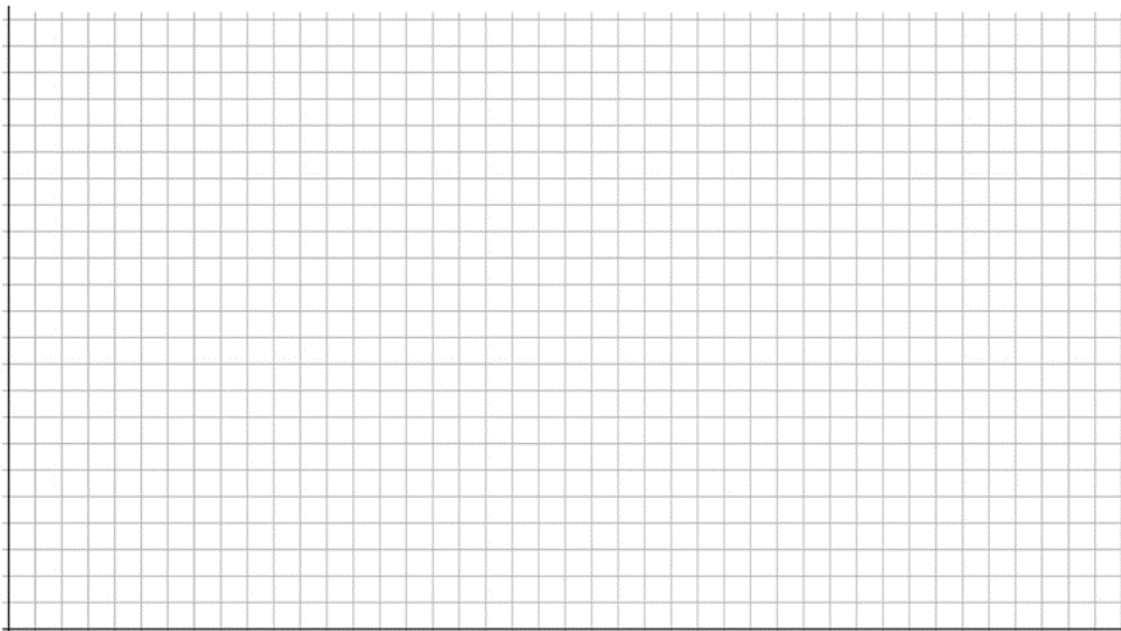
Radius der Scheibe = _____ m

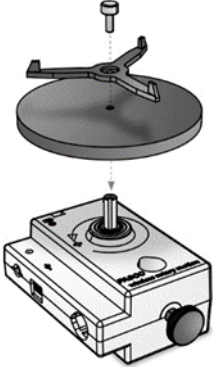
Masse des Rings = _____ kg

Radius des Rings = _____ m

Versuch	Anfangs- Winkelgeschwindigkeit (1/s)	Endgültige Winkelgeschwindigkeit (1/s)
1		
2		
3		
4		
5		

12. Zeichne ein Diagramm der anfänglichen Winkelgeschwindigkeit ω_0 auf der vertikalen Achse und der endgültigen Winkelgeschwindigkeit ω auf der horizontalen Achse. Achte darauf, beide Achsen mit der richtigen Skala und den richtigen Einheiten zu beschriften. Zeichne eine Ausgleichsgerade mit Hilfe eines Lineals.



13. Wähle 2 Punkte auf der Linie der Ausgleichsgerade und berechne die Steigung. Was sind die Einheiten der Steigung? Was denkst du, was sie darstellt?
14. Sage voraus, was mit der anfänglichen Winkelgeschwindigkeit geschieht, wenn der Ring anstelle der zweiten Scheibe auf die rotierende Scheibe fällt. Wenn die anfängliche Winkelgeschwindigkeit 10 1/s beträgt, wie hoch wird dann die endgültige Winkelgeschwindigkeit sein? Erläutere die Gründe für deine Vorhersage und berechne, wenn möglich. Es ist in Ordnung, eine falsche Vorhersage zu machen.
15. Entferne die Scheibe vom Drehbewegungssensor. Möglicherweise musst einen Finger auf die Welle legen, um sie festzuhalten, während du die Schraube löst. Die Ausrichtungshilfe für den Ring ist ein schwarzes Kunststoffteil mit 3 Armen. Sie dient dazu, den Ring bei einer Kollision zu fangen. Führe die Schraube durch eine der Ausrichthilfen und bringe die Scheibe wieder so an, dass die Ausrichthilfe oben liegt und bündig mit der Oberfläche der Scheibe abschließt. Möglicherweise muss die Welle mit einem Finger festgehalten werden, um die Schraube sicher anzuziehen. Siehe Abbildung 2.
 
16. Starte die Messung und lasse die Scheibe langsam gegen den Uhrzeigersinn drehen. Beobachte den Wert der Winkelgeschwindigkeit. Wenn er sich 10 1/s nähert, lass den Ring auf die Scheibe fallen. Verwende die Werkzeuge von SPARKvue, um ω_0 und ω zu finden. Halte die Ergebnisse unten fest. Überprüfe deine Vorhersage für die endgültige Winkelgeschwindigkeit. Erläutere, inwiefern die Daten deine Vorhersage rechtfertigen oder widerlegen.
 $\omega_0 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ 1/s}$ $\omega = \underline{\hspace{2cm}} \text{ 1/s}$
17. Viele Schüler sagen voraus, dass der Ring die gleiche Auswirkung auf die Winkelgeschwindigkeit haben wird wie die Scheibe. Sie stellen fest, dass das Fallenlassen der Scheibe zu einer Endwinkelgeschwindigkeit führt, die etwa die Hälfte der Anfangsgeschwindigkeit beträgt. Sie stellen auch fest, dass die beiden Scheiben die gleiche Masse hatten und dass die Masse des Rings fast die gleiche ist wie die einer Scheibe. Es ist logisch und vernünftig anzunehmen, dass der Ring die gleiche Wirkung hat. Es gibt jedoch noch einen weiteren Faktor, der bei der Rotation eine Rolle spielt. Neben der Masse ist auch die Lage der Masse in Bezug auf den Drehpunkt wichtig. Es ist schwieriger, eine Masse zu drehen, je weiter sie vom Zentrum entfernt ist. Bei der Scheibe ist die Masse vom Zentrum zum Rand hin verteilt, während beim Ring die gesamte Masse am Rand liegt. Dadurch ist der Ring schwerer zu drehen als die Scheibe, obwohl sie ungefähr die gleiche Masse und den gleichen Radius haben. Ein Maß dafür, wie schwer es ist, ein Objekt um einen Punkt zu drehen, nennt man Rotationsträgheit. Ihr Symbol ist I . Die Steigung der Linie deines Diagramms ist das Verhältnis zwischen der endgültigen Rotationsträgheit (beide Scheiben) und der anfänglichen Rotationsträgheit (eine Scheibe). Verwende nun die Daten der Ring-Scheiben-Kollision, um das Verhältnis der Rotationsträgheit des Rings zur Scheibe, I_R/I_D , zu schätzen.
18. Die Rotationsträgheit von Grundformen kann berechnet werden. Jede Form hat eine andere Gleichung. Für eine Scheibe, die sich um ihren Mittelpunkt dreht, lautet die Gleichung: $I_D = 1/2(mr^2)$. Für einen dünnen Ring, der sich um seinen Mittelpunkt dreht, lautet die Gleichung: $I_R = mr^2$, wobei m die Masse des Objekts und r sein Radius ist. Berechne anhand dieser Gleichungen und der gemessenen Werte für die Massen und Radien die Rotationsträgheit jedes Objekts und das Verhältnis von I_R/I_D . Vergleiche dein Ergebnis mit deiner Vorhersage für I_R/I_D .

19. Da wir nun wissen, dass die Steigung das Verhältnis der endgültigen Rotationsträgheit (beide Objekte zusammen) zur anfänglichen Rotationsträgheit (Scheibe allein), I/I_0 , ist, können wir eine Gleichung für den Graphen schreiben. Verwende die Gleichung für eine Gerade, $y = mx + b$. Ersetze y durch ω_0 , x durch ω und die Steigung m durch I/I_0 . Der y-Achsenabschnitt b ist die anfängliche Winkelgeschwindigkeit, wenn die endgültige Winkelgeschwindigkeit Null ist. Diese sollte Null sein.
20. Die Gleichung für den Graphen wird normalerweise in dieser Form aufgestellt: $I_0\omega_0 = I\omega$. Die Größe $I\omega$ wird Drehimpuls genannt und hat das Symbol L . Der Drehimpuls ist eine Erhaltungsgröße wie der lineare Impuls und die Energie. Bei einer Kollision ist der Drehimpuls konstant, wenn die Summe der externen Drehmomente auf das System null ist. In diesem Experiment gab es ein externes Drehmoment durch die Reibung im Drehbewegungssensor. Während des kurzen Intervalls des Zusammenstoßes können wir dieses Drehmoment jedoch vernachlässigen und die Drehimpulserhaltung verwenden, um das Ergebnis des Zusammenstoßes vorherzusagen. Berechne das Verhältnis von ω_0/ω für eine Kollision zwischen dem Ring und zwei zusammen rotierenden Scheiben. Verwende die Gleichung $I_0\omega_0 = I\omega$ und deine Werte für I_D und I_R .
21. Teste deine Vorhersage, indem du die beiden Scheiben mit einer Ausrichtungshilfe mit der längeren Schraube, die mit den Scheiben und Ringen geliefert wurde, am Drehbewegungssensor befestigen. Lasse den Ring fallen und messe ω_0 und ω . Berechne ω_0/ω für den Aufprall. Vergleiche sie mit deiner Vorhersage und berechne den prozentualen Fehler.