

Moment pędu



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

Przedział wiekowy od:	Temat główny	Podtemat	Poziom wymagań	Poziom wdrożenia	Przygotowanie
17 lat	Ruch obrotowy	Zachowanie pędu	••	••	10 min.

Zadanie

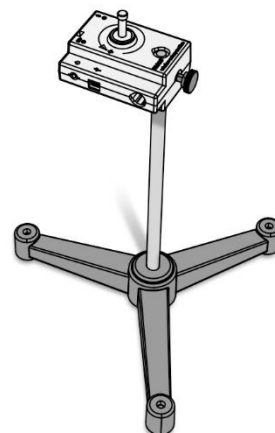
Co się stanie, gdy dwa obracające się obiekty zderzą się i zaczną obracać razem? Jak można modelować i przewidywać tę złożoną interakcję? Które wielkości pozostają niezmiennie? Dokładne zmierzenie prędkości kątowej tuż przed i tuż po zderzeniu. Dowiedz się, jak konstruować model i zmodyfikować go na podstawie zmierzonych danych. Dowiedz się, jak przewidzieć wynik złożonej kolizji między obracającymi się obiektami. Dlaczego w piruecie przyspieszasz, gdy zbliżasz ramiona do ciała?

1. Materiały i wyposażenie

- SPARKvue ([kliknij aby pobrać](#))
- Czujnik ruchu obrotowego (Nr art.: [1184030](#))
- Akcesoria do czujnika obrotowego ruchu (Nr art.: [1194008](#))
- Statyw

2. Opis procedury eksperymentu

1. Zmierz masę i promień jednej z dwóch identycznych pełnych tarcz oraz pierścienia i wpisz wartości w odpowiednie miejsca w tabeli nr 1.
2. Przymocuj zacisk stołowy, statyw i czujnik ruchu obrotowego jak pokazano na rysunku nr 1.
3. Odkręć metalową śrubę na górze czujnika ruchu obrotowego, zdejmij koło pasowe i odłóż je na bok.
4. Zwróć uwagę na małe prostokątne wgłębienie pośrodku jednej ze stron każdej tarczy. Przymocuj jedną z tarcz do czujnika ruchu obrotowego, kładąc wgłębienie stroną w dół na metalowym wale i ponownie przykręć śrubę. Możesz potrzebować przytrzymać wał palcem, aby dobrze dokręcić śrubę. Jeśli nie możesz jej dokręcić, możliwe, że używasz złej śruby. Jest to dłuższa śruba dostarczona z tarczami i pierścieniami. Zatrzymaj ją na później.
5. Sparuj czujnik ruchu obrotowego z oprogramowaniem SPARKvue. Zmień szybkość aktualizacji pobierania danych na 100 Hz. Utwórz wykres prędkości kątowej w funkcji czasu.
6. Powoli obracaj tarczę i pozwól drugiej tarczy z wgłębieniem skierowanym w dół upaść na nią. Powinna wylądować w środku i być równa z dolną tarczą. Upewnij się, że nie dotykasz spadającej tarczy, gdy kontaktuje się ona z dolną tarczą.
7. Spróbuj przewidzieć, co stanie się z początkową prędkością kątową, gdy druga tarcza spadnie na pierwszą. Czy prędkość kątowa wzrośnie, zmniejszy się, czy pozostanie taka sama? Jeśli początkowa prędkość kątowa wynosi 10 1/s, jaka będzie końcowa prędkość kątowa? Dozwolona jest oczywiście błędna prognoza.
8. Rozpocznij pomiar i pozwól tarczy powoli obracać się przeciwnie do ruchu wskazówek zegara. Obrót zgodnie z ruchem wskazówek zegara, spowoduje ujemne wartości prędkości kątowej. Obserwuj wartość prędkości kątowej. Gdy zbliży się do 10 1/s, upuść drugą tarczę. Jeśli wyląduje równo z dolną tarczą, zakończ rejestrowanie danych. W przeciwnym razie spróbuj ponownie.
9. Znajdź na zarejestrowanym wykresie, moment który pokazuje zderzenie. Prezentowany jest stopniowy spadek prędkości kątowej, po którym następuje gwałtowny spadek w ułamku sekundy, a następnie ponowne stopniowe zmniejszanie. Stopniowy spadek jest wynikiem tarcia w czujniku ruchu obrotowego. Gwałtowny spadek wynika z tarcia między tarczami podczas zderzenia. Użyj oprogramowania SPARKvue, aby określić prędkość kątową tuż przed gwałtownym spadkiem. Wpisz tę początkową prędkość kątową do tabeli nr 1. Określ prędkość kątową zaraz po gwałtownym spadku. Wpisz ją jako końcową prędkość kątową w tabeli nr 1. Pomocnym może być rozszerzenie osi pionowej na ekranie z oprogramowaniem, aby dokładnie zmierzyć te dwa punkty danych.



10. Sprawdź swoją prognozę dotyczącą końcowej prędkości kątowej. Czy była prawidłowa? Wyjaśnij, w jaki sposób dane potwierdzają lub obalają Twoją prognozę.
11. Powtórz procedurę dla kolejnego zderzenia, ale tym razem upuść tarczę, gdy prędkość kątowa zbliży się do 20 1/s, następnie 30 1/s, 40 1/s i 50 1/s. Zapisz dane wszystkich prób w tabeli nr 1.

Masa tarczy = _____ kg

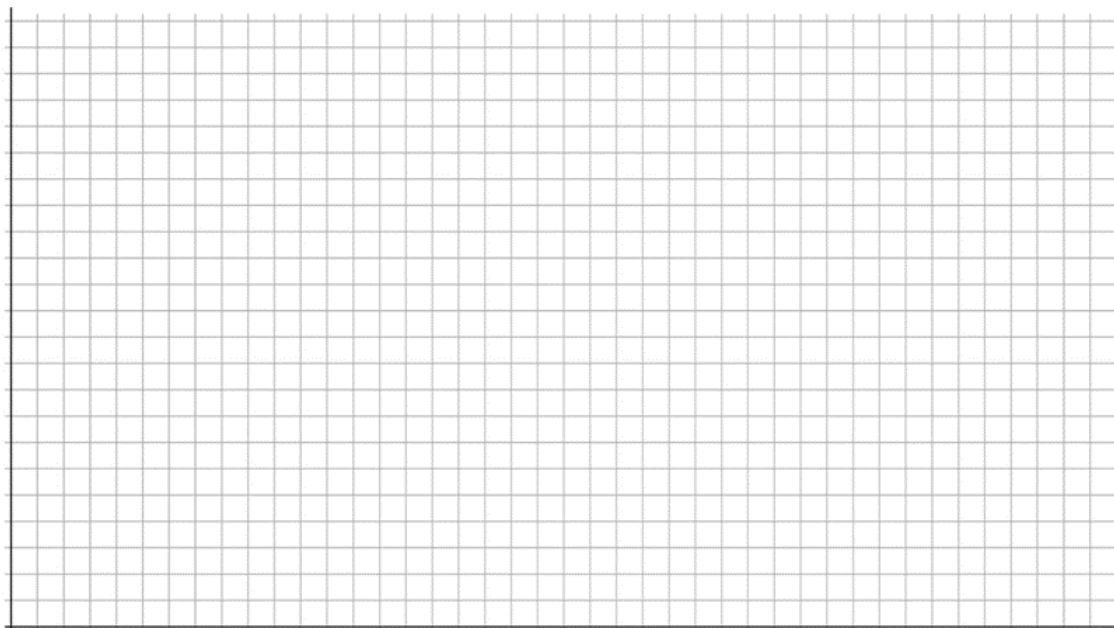
Promień tarczy = _____ m

Masa pierścienia = _____ kg

Promień pierścienia = _____ m

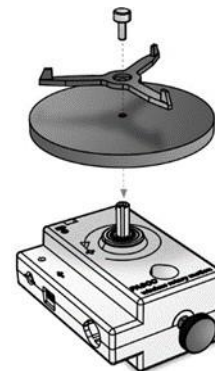
Próba	Początkowa prędkość kątowa (1/s)	Końcowa prędkość kątowa (1/s)
1		
2		
3		
4		
5		

12. Narysuj wykres początkowej prędkości kątowej ω_0 na osi pionowej i końcowej prędkości kątowej ω na osi poziomej. Upewnij się, że obie osie są odpowiednio skalowane i oznaczone właściwymi jednostkami. Narysuj linię trendu przy użyciu linijki.



13. Wybierz dwa punkty na linii trendu i oblicz nachylenie. Jakie są jednostki nachylenia? Co Twoim zdaniem reprezentuje?
14. Spróbuj przewidzieć, co stanie się z początkową prędkością kątową, gdy zamiast drugiej tarczy na obracającą się tarczę spadnie pierścień. Jeśli początkowa prędkość kątowa wynosi 10 1/s, jaka będzie końcowa prędkość kątowa? Wyjaśnij powody swojej prognozy i oblicz, jeśli to możliwe. Możesz dokonać błędnej prognozy.

15. Usuń tarczę z czujnika ruchu obrotowego. Możesz potrzebować przytrzymać wał palcem, podczas gdy odkręcasz śrubę. Przyrząd do wyrównywania pierścienia to czarna część z tworzywa sztucznego z trzema ramionami. Służy ona do zatrzymywania pierścienia podczas zderzenia. Przełóż śrubę przez jedno z ramion wyrównywania i zamocuj tarczę tak, aby wyrównywanie znajdowało się na górze i było równo z powierzchnią tarczy. Może być konieczne przytrzymanie wału palcem, aby mocno dokręcić śrubę. Zobacz rysunek nr 2.



16. Rozpocznij pomiar i pozwól tarczy obracać się powoli w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara. Obserwuj wartość prędkości kątowej. Gdy zbliży się do 10 1/s, upuść pierścień na tarczę. Użyj oprogramowania SPARKvue, aby znaleźć ω_0 i ω . Zapisz wyniki poniżej. Sprawdź swoją prognozę dotyczącą końcowej prędkości kątowej. Wyjaśnij, w jaki sposób dane potwierdzają lub obalają Twoją prognozę.

$$\omega_0 = \text{_____} 1/s \quad \omega = \text{_____} 1/s$$

17. Wielu uczniów przewiduje, że pierścień będzie miał taki sam wpływ na prędkość kątową jak tarcza. Obserwują, że upuszczenie tarczy prowadzi do końcowej prędkości kątowej, która jest około połowy prędkości początkowej. Zauważają również, że obie tarcze mają taką samą masę, a masa pierścienia jest prawie taka sama jak masa jednej tarczy. Logiczne i rozsądne jest przypuszczenie, że pierścień będzie miał taki sam efekt. Jednakże, istnieje inny czynnik wpływający na obrót. Oprócz masy, ważne jest także położenie masy względem punktu obrotu. Trudniej jest obracać masę, im dalej znajduje się ona od centrum. W przypadku tarczy masa rozkłada się od centrum do krawędzi, podczas gdy w pierścieniu cała masa znajduje się na krawędzi. Dlatego pierścień jest trudniejszy do obrócenia niż tarcza, mimo że mają one mniej więcej taką samą masę i promień. Miarą określającą, jak trudno jest obrócić obiekt wokół punktu, nazywa się momentem bezwładności. Jego symbol to I . Nachylenie linii na twoim wykresie reprezentuje stosunek końcowego momentu bezwładności (obie tarcze) do początkowego momentu bezwładności (jedna tarcza). Użyj teraz danych z kolizji pierścienia z tarczą, aby oszacować stosunek momentu bezwładności pierścienia do tarczy, IR/ID .
18. Moment bezwładności podstawowych kształtów można obliczyć. Każdy kształt ma inne równanie. Dla tarczy obracającej się wokół jej środka równanie brzmi: $ID = 1/2(mr^2)$. Dla cienkiego pierścienia obracającego się wokół swojego środka, równanie brzmi: $IR = mr^2$, gdzie m to masa obiektu, a r jest jego promieniem. Oblicz na tej podstawie moment bezwładności każdego obiektu oraz stosunek IR/ID korzystając ze zmierzonych wartości mas i promieni. Porównaj wynik z twoją prognozą dla IR/ID .

19. Teraz, gdy wiemy, że nachylenie jest stosunkiem końcowej bezwładności obrotowej (obu obiektów razem) do początkowej bezwładności obrotowej (samej tarczy), I/I_0 , możemy napisać równanie dla wykresu. Skorzystaj z równania dla linii prostej, $y = mx + b$. Zamień y przez ω_0 , x przez ω , a nachylenie m przez I/I_0 . Punkt przecięcia osi y przez b to początkowa prędkość kątowa, gdy końcowa prędkość kątowa wynosi zero. Powinna ona wynosić zero.
20. Równanie dla wykresu zazwyczaj przedstawia się w formie: $I\omega_0 = I\omega$. Wielkość $I\omega$ nazywana jest pędem kątowym i ma symbol L . Pęd kątowy jest wielkością zachowaną, podobnie jak pęd liniowy i energia. W przypadku zderzenia, pęd kątowy jest stały, jeśli suma zewnętrznych momentów sił działających na system jest równa zero. W tym eksperymencie występuje zewnętrzny moment siły spowodowany tarcie w czujniku ruchu obrotowego. Jednak w krótkim przedziale czasu zderzenia możemy zlekceważyć ten moment siły i użyć zachowania pędu kątowego do przewidzenia wyniku zderzenia. Oblicz stosunek ω_0/ω dla zderzenia między pierścieniem a dwiema obracającymi się razem tarczami. Zastosuj równanie $I\omega_0 = I\omega$ oraz swoje wartości I_D i I_R .
21. Sprawdź swoją prognozę, montując obie tarcze na czujniku ruchu obrotowego za pomocą przyrządu do wyrównywania i dłuższej śruby dostarczonej z tarczami i pierścieniami. Upuść pierścień i zmierz ω_0 i ω . Obliczyć ω_0/ω dla zderzenia. Porównaj to z twoją prognozą i oblicz błąd procentowy.