

Ćwiczenie 1

Jaki kształt ma tor ruchu?

Cel ćwiczenia: Kulka rzucona ukośnie do podłoża, porusza się po torze parabolicznym. Jeśli przyjmiemy układ odniesienia, w którym oś x skierowana będzie równoległe w prawo do podłoża, natomiast oś y prostopadle w górę do niego oraz założymy, że wyrzucana kulka początkowo znajdowała się w punkcie $(h_0, 0)$ (tzn. rzut następuje z wysokości h_0), to równanie toru ma następującą postać:

$$y(x) = h_0 + x \operatorname{tg} \alpha - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha}, \quad (1.1)$$

gdzie v_0 – prędkość początkowa kulki, α – kąt pod jakim kulka jest wyrzucana. Powyższy wzór można wyprowadzić z równań ruchu:

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \cos \alpha t \\ y(t) = h_0 + v_0 \sin \alpha t - \frac{1}{2}gt^2. \end{cases} \quad (1.2)$$

- ✓ Wybierz z narzędzi dowolną kulkę, siatkę pomiarową, matę tłumiącą odbicia oraz wyrzutnię ze stelażem. Zmontuj odpowiednio układ.
- ✓ Ustaw wyrzutnię na dowolnej wysokości. Nastaw wyrzutnię ukośnie pod dowolnym kątem i ustal dowolną prędkość początkową kulki.
- ✓ URUCHOM ćwiczenie i obserwuj lot kulki. Czy na podstawie swojej obserwacji jesteś w stanie określić, jaki był tor lotu kulki?
- ✓ Jeśli masz wątpliwości, użyj nagrania z kamery. W różnych chwilach czasu zanotuj położenie kulki (x, y) . Przyjmij układ odniesienia w następujący sposób: niech oś OX będzie równoległa do podłoża i skierowana w prawą stronę, a oś OY prostopadła skierowana ku górze.
- ✓ Powtórz ćwiczenie, zmieniając początkowy kąt nachylenia. Czy tor lotu jest taki sam?
- ✓ Dla ustalonego kąta zmień teraz prędkość początkową i przeprowadź podobną obserwację.
- ✓ Czy na podstawie swoich pomiarów jesteś w stanie wyznaczyć równanie krzywej dla każdego z przypadków, w przyjętym przez Ciebie układzie odniesienia?
- ✓ Powtórz pomiary, używając różnych kulek. Czy dla ustalonych parametrów (wysokość wyrzutni, prędkość początkowa kulki, kąt nachylenia wyrzutni) zmiana masy kulki wpływa na kształt toru lotu?

Ćwiczenie 2

Parametry lotu

Cel ćwiczenia: Ćwiczenie jest rozwinięciem ćwiczenia poprzedniego, teraz skupimy się na określeniu czasu lotu, wysokości maksymalną rzuconej piłki, zasięgu rzutu oraz pozna warunek, przy jakim jest on maksymalny dla danej prędkości.

Zasięg rzutu ukośnego L z wysokości h_0 określa wzór:

$$L = v_0 T \cos \alpha, \quad (1.3)$$

gdzie T to czas trwania lotu, który można wyznaczyć z zależności:

$$T = \frac{v_0 \sin \alpha + \sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha + 2gh_0}}{g}. \quad (1.4)$$

Maksymalna wysokość H osiągnięta przez ciało wynosi:

$$H = h_0 + \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \quad (1.5)$$

i jest osiągnięta dla położenia x_H ciała w poziomie, równego:

$$x_H = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g}. \quad (1.6)$$

Powyższe wzory są słuszne dla dowolnego typu rzutu, przy przyjęciu odpowiednich wartości kąta, wysokości początkowej oraz prędkości początkowej. Naturalnie, całe ćwiczenie można przeprowadzać na innych planetach oraz w przyspieszającej windzie.

✓ Wybierz z narzędzi dowolną kulkę, siatkę pomiarową, matę tłumiącą odbicia oraz wyrzutnię ze stelażem. Zmontuj odpowiednio układ.

Zasięg rzutu

- ✓ Ustaw wyrzutnię na minimalnej wysokości. Nastaw wyrzutnię ukośnie pod kątem $\alpha = 25^\circ$ i ustal dowolną prędkość początkową kulki v_0 .
- ✓ URUCHOM doświadczenie i na podstawie nagrania z kamery wyznacz zasięg rzutu.
- ✓ Powtarzaj ćwiczenie za każdym razem zwiększając kąt wyrzutni o 5° (nie zmieniając przy tym prędkości początkowej kulki), aż do osiągnięcia kąta nachylenia 60° .
- ✓ Wybierz kąt, przy którym zasięg rzutu jest maksymalny. Powtórz pomiary, zwiększając lub zmniejszając wyznaczony kąt o 1° . Wybierz kąt, przy którym zasięg jest największy.
- ✓ Powtórz doświadczenie, zmieniając wysokość wyrzutni oraz prędkość początkową kulki. Czy optymalny kąt dla każdych warunków początkowych będzie taki sam? Wyjaśnij.
- ✓ Czy ten kąt zależy od masy kulki? Wyjaśnij.
- ✓ Określ parametry wpływające na zasięg rzutu i sporządź odpowiednie wykresy zależności zasięgu od nich. Zastanów się w każdym z przypadków, jaka jest to zależność funkcyjna.
- ✓ W jaki sposób zasięg rzutu zależy od wysokości z jakiej startuje ciało, przy stałym kącie i stałej prędkości początkowej?

Czas lotu

- ✓ Ustal dowolny kąt nachylenia wyrzutni i wystrzel kulkę z prędkością początkową $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
- ✓ Zmierz całkowity czas lotu kulki. Aby dokładnie wyznaczyć odpowiedni moment, powinieneś użyć nagrania z kamery i posłużyć się pomiarami położenia w oparciu o siatkę pomiarową.
- ✓ Powtórz ćwiczenie, zmieniając każdorazowo prędkość początkową np. o $\Delta v = 0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
- ✓ Określ parametry, od których zależy czas lotu i wykreśl zależność czasu od każdego z nich. **Podobnie jak w przypadku rzutu poziomego, pomocny w ustalaniu odpowiedniego wzoru będzie rachunek jednostek.**

Maksymalna wysokość kulki

- ✓ Postępuj podobnie jak poprzednio, tym razem jednak skupiając się na pomiarach maksymalnej wysokości, jaką kulka osiąga podczas lotu.
- ✓ Nie wyprowadzając odpowiednich wzorów, spróbuj określić jak ta wysokość zależy od warunków początkowych rzutu.

Ćwiczenie 3

Rzut ukośny czy rzut pionowy?

Cel ćwiczenia: Z punktu widzenia obserwatora sztywno związanego z powierzchnią stołu, rzut ukośny jest równoważny rzutowi pionowemu z odpowiednio szybko poruszającego się wózka. Ćwiczenie służy zobrazowaniu niejednoznaczności opisu rzuty

ukośnego, w zależności od przyjętego układu odniesienia.

- ✓ Wybierz z narzędzi dwie kulki (uczeń już powinien wiedzieć, że parametry rzutu nie zależą od masy kulki, więc może wybrać dwie dowolne kulki), siatkę pomiarową, matę tłumiącą odbicia oraz stelaż szynowy i dwie wyrzutnie. Zmontuj układ.
- ✓ Jeden wózek ustaw na minimalnej wysokości, drugi – na maksymalnej tak, aby nie przeszkadzał we wstępnych pomiarach. Oba dosuń do lewej krawędzi (dostępne są tylko dwa położenia: skrajnie z lewej i skrajnie z prawej strony stelaża).
- ✓ Ustaw zerową prędkość górnego wózka i zerową prędkość początkową kulki (wtedy kąt nachylenia wyrzutni nie ma znaczenia). W przypadku dolnego wózka ustal kąt wychylenia wyrzutni na 90° . Ustal prędkość początkową kulki na $v_d = 3,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ oraz prędkość wózka na $v_w = 2,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
- ✓ Ustaw czas wyrzutu dla obu wózków na 0,01 s.
- Zastanów się! ✓ Jak będzie wyglądał ruch z punktu widzenia obserwatora sztywno związanego ze stołem (takim właśnie obserwatorem jesteś w e-doświadczeniu!)? Wyobraź sobie, że stoisz na wózku, który się porusza. Jak opisałbyś ruch kulki z takiego punktu widzenia?
- ✓ URUCHOM doświadczenie. Obserwuj lot kulki. Czy Twoje przypuszczenia się potwierdziły? Uzasadnij.
- ✓ Opisz ruch kulki ustalając: zasięg rzutu, czas lotu oraz maksymalną wysokość jaką osiąga (patrz: Ćwiczenie 6).
- ✓ Ustaw zerową prędkość górnego wózka. Wyrzutnię na nim wychyl o kąt $\alpha \approx 53^\circ$ i ustal prędkość początkową kulki $v_g = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Obniż wyrzutnię, aby kulka nie opuszczała w trakcie lotu pola widzenia. Nie zmieniaj warunków początkowych dla dolnego wózka.
- ✓ URUCHOM doświadczenie i obserwuj lot obu kulek.
- ✓ Co jesteś w stanie powiedzieć o obu torach? Dlaczego tak się dzieje? Jeśli masz wątpliwości co do swoich wniosków, użyj zwolnionego nagrania z kamery (zwróć przy tym uwagę, że panel sterowania kamerą możesz dowolnie przesuwać, aby nie przeszkadzał w obserwacjach).
- ✓ Spróbuj uzyskać podobne rezultaty do powyższych, uwzględniając tym razem ruch górnego wózka. Możesz zatem manewrować aż sześcioma niezależnymi parametrami: prędkościami obu wózków, kątami nachylenia wyrzutni, oraz prędkościami początkowymi obu kulek.
- ✓ Przeprowadź obserwacje w warunkach wiejącego wiatru (zarówno z lewej jak i z prawej strony). Czy Twoje spostrzeżenia i wnioski będą inne? Wyjaśnij.
- ✓ Jaki wpływ na tor lotu kulki ma niezerowy czas wystrzelenia jej z poruszającego się wózka?

2 Zderzenia niesprężyste

Ćwiczenie 4

Ile trwa zderzenie stalowych kul?

Cel ćwiczenia: Uczeń zrozumie, że czas zderzenia – choć bardzo krótki – jest wielkością skończoną. Istotną cechą tego ćwiczenia jest fakt, że wielokrotne pomiary czasu zderzenia w tych samych warunkach dają różne (naturalnie zbliżone) rezultaty. Pomiary obarczone są więc niepewnością statystyczną. Należy zasugerować uczniowi, aby jako czas zderzenia przyjmował czas średni, uzyskany z wielu pomiarów.

Zastanów się! Zanim przystąpisz do przeprowadzania doświadczenia zastanów się, jakiego rzędu są czasy zderzenia metalowych kul.

Uwaga! Stoper, na którym odczytasz czas zderzenia, jest integralną częścią układu doświadczalnego.

- ✓ Wybierz z Narzędzi statyw z elektromagnesami, linki oraz stalowe kule.
- ✓ Zmontuj zestaw. Ustal stałą dla całego ćwiczenia odległość d między kulami, np. $d = 0,5$ m.
- ✓ Uruchom ćwiczenie i odczytaj czas zderzenia kul (kule będą się zderzać wielokrotnie, miernik zarejestruje czas tylko pierwszego ze zderzeń).
- ✓ Czy właśnie takiego czasu zderzenia się spodziewałeś?
- ✓ Powtórz pomiar wielokrotnie. Czy za każdym razem otrzymujesz taki sam wynik? Wyjaśnij.

Prędkości kul przed zderzeniem

Aby ustalić jaka jest prędkość kul v tuż przed zderzeniem, musisz znać kąt wychylenia linki w stanie początkowym. W tym celu skorzystaj z wynikającego z zasady zachowania energii wzoru

$$v = \sqrt{2gl(1 - \cos \alpha)}, \quad (2.1)$$

gdzie $l = 0,7$ m to długość linki, g – przyspieszenie ziemskie (wartość odczytaj z tablic fizycznych), natomiast α to kąt, jaki linka tworzy w stanie początkowym z pionem. Sinus tego kąta możesz obliczyć z równania

$$\sin \alpha = \frac{d}{2l}, \quad (2.2)$$

gdzie d to początkowa odległość między kulami. Wartość kąta α możesz odczytać z tablic wartości funkcji trygonometrycznych lub wyznaczyć za pomocą kalkulatora naukowego. Prędkość kul przed zderzeniem w e-doświadczeniu możesz zatem regulować. Zmieniając odległość między kulami zmienia się kąt wychylenia linek i wysokość, na jakiej znajdują się kulki. Wzór (2.1) możesz wyprowadzić wiedząc, że w momencie wychylenia kulki o kąt α , posiada ona tylko energię potencjalną równą $mg(1 - \cos \alpha)l$, natomiast przed samym zderzeniem, tylko energię kinetyczną równą $\frac{mv^2}{2}$. Zwróć także uwagę na to, że na prędkość kulki przed zderzeniem nie ma wpływu jej masa.

- ✓ Przygotuj tabelkę, w której będziesz zapisywać prędkość kul przed zderzeniem v oraz czas zderzenia τ .
- ✓ Zmontuj odpowiedni zestaw do pomiaru czasu zderzenia kul stalowych.
- ✓ Ustal odległość między kulami na $d_1 = 0,3$ m i oblicz, jaką prędkość v_1

mają kule przed zderzeniem. Uruchom doświadczenie i odczytaj czas zderzenia τ_1 . **Należy zasugerować wielokrotne pomiary i zapisanie czasu średniego.**

✓ Ustal odległość między kulami na $d_2 = 0,4$ m i znajdź prędkość v_2 . Uruchom doświadczenie i znajdź czas zderzenia τ_2 .

✓ Kontynuuj pomiary, aż osiągniesz $d = 1$ m.

✓ W jaki sposób czas zderzenia dwóch kul zależy od ich prędkości przed zderzeniem?

✓ Sporządź wykresy zależności czasu zderzenia od prędkości $\tau(v)$.