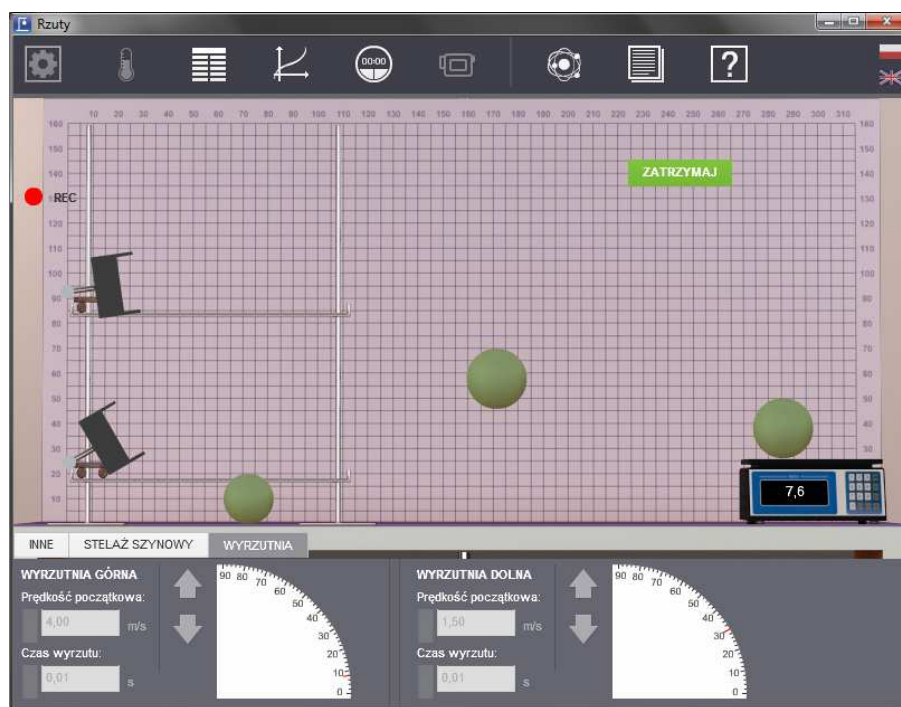




## Podręcznik – zeszyt ćwiczeń dla uczniów

# Rzuty



---

# 1 Rzuty

---

Niniejsze e-doświadczenie poświęcone zostało zagadnieniom związanym z rzutami. Za jego pomocą będziemy mogli badać rzuty pionowe, poziome, a także ukośne. Będziemy także mieli okazję badać rzuty, podczas których od rzuconego ciała odłącza się jego część oraz obserwować, jak odbicie rzuconej piłki od powierzchni wpływa na jej ruch obrotowy. Interesującym elementem jest możliwość obserwacji rzutów w wietrznych warunkach oraz w nieinercjalnych układach odniesienia.

Rzutem nazywamy ruch w jednorodnym<sup>a</sup> polu grawitacyjnym z pewną prędkością początkową, skierowaną wzdłuż, w poprzek lub pod skosem względem linii pola.

<sup>a</sup>Tzn. o stałej wartości, kierunku i zwrocie w dowolnym punkcie.

- Spadek swobodny** Ze względu na kierunek oraz wartość prędkości początkowej ciała, wyróżnia się zwykle cztery typy rzutów. Pierwszy z nich to każdemu dobrze znany *spadek swobodny*, czyli po prostu upuszczenie ciała, bez nadawania mu prędkości początkowej.
- Rzut pionowy** W drugim z nich, tzw. *pionowym*, ciało jest wyrzucane pionowo względem powierzchni Ziemi. W przypadku tych rzutów często milcząco zakłada się, że prędkość początkowa ciała skierowana jest ku górze. Znacznie rzadziej mówi się o rzutach w dół.
- Rzut poziomy** Podczas rzutu *poziomego*, czyli trzeciego typu rzutu, ciału nadawana jest prędkość początkowa równoległa do powierzchni Ziemi.
- Rzut ukośny** Ostatnim typem rzutu, który jest jednocześnie najogólniejszy (jako że z jego opisu można uzyskać opisy rzutów poprzednich), jest rzut *ukośny*. Mamy do czynienia z takim rzutem, gdy rzucanemu ciału nadajemy prędkość początkową skierowaną ukośnie do powierzchni Ziemi.

Zwróć uwagę, że to, do jakiego typu zaliczymy dany rzut, zależy od układu odniesienia w jakim przyjęliśmy go rozpatrywać. Oznacza to, że ten sam rzut może zostać uznany za rzut innego typu w innym układzie. By uniknąć nieporozumień, najczęściej mówią o klasyfi-

kacji rzutów, zakładamy punkt widzenia nieruchomego obserwatora związanego z powierzchnią Ziemi. W e-doświadczeniu będziesz miał możliwość szczegółowego przeanalizowania także tego aspektu zjawiska.

---

## 2 Spadek swobodny, rzut pionowy oraz poziomy

---

W ćwiczeniach w bieżącym rozdziale zajmiemy się najprostszymi typami rzutów, tzn. spadkiem swobodnym, rzutem pionowym oraz rzutem poziomym. Zauważ, że pewne elementy doświadczenia możesz wykonać we własnym zakresie w warunkach domowych. Zastanów się, które to elementy i spróbuj je wykonać.

### Ćwiczenie 1 Spadek swobodny

---

- Pojedyncza kulka**
- ✓ Wybierz z Narzędzi następujące komponenty: kulkę o dowolnym promieniu, planszę z siatką pomiarową, statyw z elektromagnesem, linijkę oraz matę tłumiącą odbicia.
  - ✓ Zmontuj odpowiednio zestaw i umieść na statywie kulkę. Kulki, które w e-doświadczeniu są z tworzywa sztucznego, mają w środku stalowe elementy, stąd ich użyteczność w zestawie z elektromagnesami. Wciśnij URUCHOM. Kulka zostanie puszczona bez prędkości początkowej.
  - ✓ Używając nagrania z kamery oraz linijki i/lub siatki pomiarowej, sporządź tabelkę z położeniem kulki oraz czasem, w którym dane położenie osiągnęła. Wykreśl zależność położenia od czasu. Jaki kształt ma otrzymana krzywa? Jakiego typu jest ruch kulki?
  - ✓ Użyj nagrania z kamery oraz linijki, aby określić jak zmienia się prędkość podczas spadku swobodnego. W tym celu musisz określić jakiego czasu potrzebuje kulka, aby przebyć odległość między bardzo bliskimi sobie punktami.
- Zastanów się!** Uzyskane w ten sposób prędkości będą przybliżone. Zastanów się dlaczego.
- ✓ Wykreśl zależność prędkości od czasu. Czy uzyskana zależność potwierdza Twoje wnioski co do charakteru ruchu? Określ odpowiednie parametry ruchu.
  - ✓ Powtórz ćwiczenie, zmieniając wysokość początkową kulki. Czy ruch jest zawsze tego samego typu?
- Porównanie kulek**
- ✓ Wybierz z Narzędzi dodatkowy statyw z elektromagnesem oraz drugą kulkę o jednakowym promieniu, lecz z innego materiału.

Zmontuj odpowiednio zestaw, ustalając dla obu kulek identyczną wysokość początkową i upuść kulki włączając przycisk URUCHOM (obie kulki zostaną zwolnione jednocześnie).

✓ Jaki czas upływa pomiędzy spadkiem obu kulek? Jeśli bezpośrednią obserwacją nie jesteś w stanie tego dokładnie określić, posłuż się nagraniem z kamery. Zanotuj swoje spostrzeżenia.

✓ Przeprowadź ćwiczenie, ustalając wysokości początkowe kulek na stelażu, tak aby odległość między podłożem i ich dolnymi wierzchołkami była identyczna dla obu.

✓ Jaki jest w tym przypadku czas upływający pomiędzy lądowaniami kulek?

✓ Powtórz ćwiczenie, zmieniając wysokości początkowe oraz rozmiar obu badanych kulek.

✓ Jakie są Twoje wnioski? Czy jesteś w stanie powiedzieć, od czego zależy czas spadku swobodnego, a od czego nie zależy?

✓ Czy jesteś w stanie wyciągnąć ogólne wnioski dotyczące rzutów, które obserwowałeś?

### Zasada zachowania energii

✓ Używając poprzednich rezultatów, sporządź wykres na którym umieścisz punkty  $E_k(t)$ ,  $E_p(t)$  oraz  $E_c(t) = E_k(t) + E_p(t)$ , tzn. energię kinetyczną i potencjalną w danej chwili czasu oraz ich sumę, czyli całkowitą energię mechaniczną. Jaki wykres ma ta ostatnia? Jak zinterpretujesz uzyskany wykres?

✓ W tym celu możesz także wykorzystać narzędzie „Stoper”. Przed uruchomieniem e-doświadczenia wybierz z górnego paska narzędziowego „Stoper”. Zaznacz „Zapisz automatycznie co” oraz START.

✓ Następnie z górnego paska narzędziowego wybierz „Tabele”, „Dodaj kolumnę” i wybierz tryb „Stoper”. Wybierz wielkość fizyczną, która cię interesuje i nie zapomnij o wpisaniu jednostki fizycznej. Zatwierdź swój wybór przyciskiem OK. Możesz oczywiście wybrać dowolną liczbę kolumn. Możesz także porównywać ze sobą wielkości fizyczne dwóch kulek.

✓ Opcjonalnie możesz także z górnego paska narzędziowego wybrać „Wykres”. Następnie „Dodaj wykres” oraz na osiach rzędnych i ciętych wybierz tryb „Stoper”, następnie „Generuj wykres”.

✓ A teraz przejdźmy do wykonania doświadczenia uruchamiając je przyciskiem URUCHOM. Jeżeli wcześniej stoper został włączony przyciskiem START, zdefiniowane przez ciebie dane zapiszą się w tabeli lub/i wyrysują na wykresie. Po zakończeniu doświadczenia w dalszym ciągu możesz wybierać kolejne wielkości fizyczne w tabeli lub na wykresie.

## Ćwiczenie 2 Rzut pionowy

---

- Rzut w górę**
- ✓ Wybierz z Narzędzi następujące elementy: dowolną kulkę, planszę z siatką pomiarową, linijkę, stelaż do wyrzutni oraz wyrzutnię i matę tłumiącą odbicia.
  - ✓ Ustaw stelaż w środku maty i ustaw na nim wyrzutnię (na dowolnej wysokości). Nastaw kąt nachylenia wyrzutni równy  $90^\circ$  oraz dowolną, wybraną przez siebie, prędkość początkową kulki. URUCHOM doświadczenie.
  - ✓ Na podstawie nagrania z kamery, wykreśl zależność położenia kulki od czasu. Do dokładnych pomiarów położenia użyj linijki.
  - ✓ Jaki kształt ma uzyskana krzywa? Na podstawie wykresu określ, jakim ruchem porusza się wystrzelona w górę kulka.
  - ✓ Ustal, jaki czas upływa od momentu wystrzelenia do momentu osiągnięcia przez kulkę najwyższego punktu ruchu (ten czas zwykle nazywa się czasem wznoszenia). Porównaj ten czas z czasem, jaki upłynie od momentu osiągnięcia maksymalnego punktu do momentu osiągnięcia poziomu wysokości wyrzutni. Wyjaśnij.
  - ✓ Jaka jest prędkość kuli w najwyższym punkcie toru lotu? Jaka jest jej energia kinetyczna oraz potencjalna w tym punkcie?
- Zasada zachowania energii**
- ✓ W obu przypadkach sporządź następujące wykresy:  $E_k(t)$ ,  $E_p(t)$  oraz  $E_c(t) = E_k(t) + E_p(t)$ , tzn. zależność energii kinetycznej, potencjalną i całkowitej od czasu. Dla lepszego zobrazowania, możesz umieścić wszystkie wykresy w jednym układzie współrzędnych.
- Zastanów się!** Na jakiej wysokości energia kinetyczna ciała równa się jego energii potencjalnej?

## Ćwiczenie 3 Rzut poziomy

---

- Ustalona prędkość**
- ✓ Wybierz z Narzędzi następujące elementy: dowolną kulkę, planszę z siatką pomiarową, linijkę, stelaż do wyrzutni oraz wyrzutnię i matę tłumiącą odbicia.
  - ✓ Ustaw stelaż z lewej strony maty i ustaw na nim wyrzutnię na wysokości  $h_1 = 1$  m. Nastaw kąt nachylenia wyrzutni równy  $0^\circ$  (czyli poziomo) oraz ustal prędkość początkową kulki  $v_0 = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .
  - ✓ URUCHOM doświadczenie.
  - ✓ Ustal zasięg rzutu, tzn. odległość, jaką kulka przebyła w poziomie. Do dokładnych pomiarów położenia użyj linijki.
  - ✓ Powtórz ćwiczenie parokrotnie przy tej samej prędkości począt-

kowej. Za każdym razem zmniejsz wysokość na jakiej znajduje się wyrzutnia o  $\Delta h = 10$  cm. Możesz ustalić, że najmniejsza wysokość z jakiej będziesz wystrzeliwał kulkę to  $h_8 = 30$  cm.

✓ Zastanów się, od czego zależy zasięg rzutu.

### Ustalona wysokość

✓ Wybierz z Narzędzi następujące elementy: dowolną kulkę, planszę z siatką pomiarową, linijkę, stelaż do wyrzutni oraz wyrzutnię i matę tłumiącą odbicia.

✓ Ustaw stelaż z lewej strony maty i ustaw na nim wyrzutnię na wysokości  $h = 1$  m. Nastaw kąt nachylenia wyrzutni równy  $0^\circ$  oraz ustal prędkość początkową kulki  $v_1 = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Uruchom ćwiczenie.

✓ Posługując się linijką ustal zasięg rzutu (możesz także odpowiednio pomiary wykonać w oparciu o siatkę z tyłu maty, lecz Twoje odczyty będą mniej dokładne).

✓ Powtórz ćwiczenie, zmniejszając za każdym razem prędkość początkową kulki. Jako krok zmiany możesz przyjąć na przykład  $\Delta v = 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

✓ Zastanów się ponownie, jakie parametry rzutu decydują o jego zasięgu. Czy Twoje wnioski są takie same jak poprzednio?

### Inne planety

✓ Powtórz swoje pomiary na innej planecie oraz w przyspieszającej (w górę lub w dół) windzie.

### Zastanów się!

Czy na podstawie swoich pomiarów i wniosków jesteś w stanie znaleźć wzór określający zasięg rzutu?

✓ Dla kilku wybranych wysokości i prędkości początkowych wyznacz dokładne trajektorie lotu kulki. Jaki kształt mają uzyskane przez Ciebie krzywe? Spróbuj wyznaczyć ich równanie. Czy w każdym z przypadków wykresy są tego samego typu?

### Co szybciej?

✓ Wybierz z Narzędzi następujące komponenty: dwie dowolne kulki, planszę z siatką pomiarową, statyw z elektromagnesem, stelaż do wyrzutni, wyrzutnię oraz matę tłumiącą odbicia.

✓ Zmontuj układ. Wyrzutnię ustaw na rzut poziomy (tzn.  $0^\circ$ ).

✓ Dla obu kulek ustaw taką samą wysokość początkową równą około 1 m. Istotne dla poprawnego wykonania tej części doświadczenia jest, to aby kulki w chwili początkowej były dokładnie na tej samej wysokości, tzn. ich środki muszą znajdować się na tym samym poziomie w momencie uruchomienia doświadczenia.

✓ Ustal prędkość wyrzutu tak, aby wystrzeliwana kulka nie wyleciała poza obszar obserwacji przed kontaktem z podłożem (jeśli nie wykonywałeś wcześniejszych punktów ćwiczenia, może to wymagać kilku prób).

- ✓ Zanim wciśniesz URUCHOM zastanów się, która z kulek szybciej osiągnie matę ułożoną na blacie. Odpowiedź uzasadnij.
- ✓ URUCHOM ćwiczenie. Użyj nagrania z kamery, aby określić, która kulka szybciej spadła. Czy Twoje przypuszczenia się potwierdziły?

## Ćwiczenie 4\* Odbicie od podłoża

---

- ✓ Wybierz z Narzędzi następujące elementy: piłkę, stelaż do wyrzutni oraz wyrzutnię. W tym ćwiczeniu mata tłumiąca odbicia będzie niepotrzebna.
- ✓ Ustaw stelaż z lewej strony maty i ustaw na nim wyrzutnię na dowolnej wysokości  $h_1$ .
- ✓ Nastaw kąt nachylenia wyrzutni równy  $0^\circ$  oraz ustal dowolną prędkość początkową kulki.
- ✓ Przyjmij początkową prędkość kątową równą zero.
- ✓ URUCHOM doświadczenie.
- ✓ Odtwórz nagranie z kamery.
- ✓ Na jaką wysokość  $h_2$  wznosi się piłka po pierwszym odbiciu? Jaka jest wysokość  $h_3$  po kolejnym odbiciu (jeśli takie jest widoczne)? Jaka jest relacja pomiędzy  $\frac{h_2}{h_1}$  i  $\frac{h_3}{h_2}$ ?
- ✓ Opisz ruch kulki po zderzeniu, uwzględniając nie tylko ruch postępowy.
- ✓ Nie zmieniając wysokości początkowej, zmień prędkość początkową piłki. Opisz ruch piłki po zderzeniu. Wyjaśnij swoje obserwacje.
- ✓ Powtórz ćwiczenie, ustalając początkową (niezerową) prędkość kątową kulki. Czy sposób, w jaki kulka się teraz odbija oraz jej ruch zależą od tego, w którą stronę się pierwotnie kręciła?
- ✓ Spróbuj określić pewne warunki graniczne dla rozważanego zagadnienia.



---

## 3 Rzut ukośny

---

W niniejszym rozdziale skupimy się na badaniu rzutu ukośnego. Nauczysz się między innymi określać zasięg rzutu oraz czas lotu piłki w powietrzu.

### Ćwiczenie 5 Jaki kształt ma tor ruchu?

---

- ✓ 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 6 Parametry lotu

---

- ✓ 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  $5^\circ$  (nie zmieniając przy tym prędkości początkowej kulki), aż do osiągnięcia kąta nachylenia  $60^\circ$ .
  - ✓ Wybierz kąt, przy którym zasięg rzutu jest maksymalny. Powtórz pomiary, zwiększając lub zmniejszając wyznaczony kąt o  $1^\circ$ . 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.

**Wiatr** ✓ Ustal niezerową prędkość wiatru wiejącego w prawo. W tym celu musisz ustalić dodatnią wartość w polu „Prędkość wiatru”. Powtórz ćwiczenie w nowych warunkach. Co obserwujesz? W jaki sposób wiatr wpływa na parametry lotu (kształt toru lotu, zasięg, czas lotu, maksymalną wysokość)?

✓ Zmień kierunek wiatru tak, aby wiał w lewą stronę (ujemna prędkość wiatru). Jak zmieniły się teraz parametry?

**Zastanów się!** Czy jesteś w stanie w prosty sposób zmodyfikować wzory określające parametry lotu tak, aby uwzględniały także prędkość wiatru?

## Ćwiczenie 7

### Rzut ukośny czy rzut pionowy?

---

Zastanów się!

- ✓ Wybierz z narzędzi dwie 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.
- ✓ 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  $90^\circ$ . 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.
- ✓ 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 przesuwac, 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?

---

## 4 Rakieta

---

W ćwiczeniu analizujemy ruch rakiety, która w trakcie lotu może się rozdzielić na dwie części: odrzucaną kulę i głowicę. Przekonasz się, jaki wpływ ma to na parametry lotu głowicy rakiety.

### Ćwiczenie 8 Ruch rakiety z rozdzieleniem

---

- ✓ Wybierz z narzędzi stelaż do wyrzutni, wyrzutnię, siatkę pomiarową oraz raketę. Zmontuj odpowiednio wszystkie elementy.
- ✓ Ustaw dowolny kąt nachylenia wyrzutni i dowolną prędkość wyrzelenia rakiety. Ustal także pewien czas od momentu wyrzutu po jakim następuje rozdzielenie głowicy i kuli.
- ✓ Musisz także ustalić, jaką część masy początkowej rakiety stanowi kula. Dostępne są trzy możliwości  $m_k = m_g$ ,  $m_k = \frac{1}{2}m_g$  oraz  $m_k = 2m_g$ , gdzie  $m_k$  i  $m_g$  to odpowiednio masa odrzucanej kuli i głowicy.
- ✓ URUCHOM doświadczenie. Obserwuj uważnie lot rakiety przed i po rozdzieleniu. Które parametry lotu (tzn. zasięg rzutu, czas lotu, maksymalna wysokość) i w jaki sposób zmieniają się dzięki oddzieleniu się części lecącego układu? Wyjaśnij powody. Do dokładnych pomiarów może być konieczne użycie nagranie z kamery oraz uprzednie zainstalowanie siatki pomiarowej.
- ✓ Zbadaj, przy ustalonych innych parametrach, jaki jest najbardziej korzystny stosunek masy kuli do masy głowicy, czyli taki, aby zasięg rzutu był największy.
- ✓ Czy najbardziej korzystny stosunek mas  $\frac{m_k}{m_g}$  zmienia się, gdy zmieniasz inne parametry rzutu (prędkość, kąt początkowy, czas rozdzielenia)? Zaplanuj i przeprowadź odpowiednie pomiary.
- ✓ Zakładając, że nie możesz zmieniać kąta nachylenia wyrzutni, prędkości początkowej kuli oraz masy odrzucanej kuli ustal, jaki jest najbardziej korzystny czas rozdzielenia z punktu widzenia zwiększania zasięgu rzutu. W jakim punkcie znajduje się wtedy rakieta?
- ✓ Powtórz pomiary, zmieniając parametry początkowe. Czy zawsze Twoja odpowiedź jest taka sama?

Zastanów się! Spróbuj ułożyć odpowiednie równania, dotyczące rozdzielenia rakiety na kulę i głowicę.



**Gdańsk 2013**