

## Вкладка **Вступ**

Дослідіть фактори, що впливають на траєкторію снаряда, такі як кут, висота, початкова швидкість та опір повітря.

## Вкладка **Вектори**

Перегляньте сили, що діють на снаряд на діаграмах та з'ясуйте, як впливає опір повітря на швидкість та прискорення.

## Вкладка *Опір*

Визначте чинники, що впливають на силу опору, і спостерігайте за співвідношенням сили тяги та швидкості.

**ПОРІВНЯЙТЕ** до 5 траекторій

**СТИРАЙТЕ** шляхи

**ДОСЛІДУЙТЕ** співвідношення між коефіцієнтом опору та формою

**РЕГУЛЮЙТЕ** висоту над рівнем моря

## Вкладка *Лабораторія*

Дослідіть ефекти коригування параметрів снаряда та вивчіть вплив сили тяжіння.

**ПЕРЕТЯГНІТЬ** ціль до місця падіння снаряда

**НАЛАШТУЙТЕ** кут гармати з кроком  $1^\circ$

**ПЕРЕГЛЯНЬТЕ** початкові умови

**ВСТАНОВІТЬ** масу та діаметр

**ДОСЛІДУЙТЕ** гравітацію

**РОБІТЬ** паузи та крокуйте в різних режимах

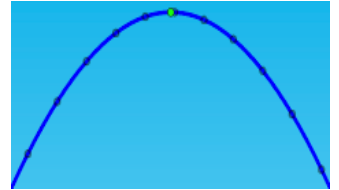
## Спрощення в моделюванні

- Гармата має перехрестя для позначення початкового місця вильоту снаряда.
- Зміни опору повітря, висоти і сили тяжіння застосовуються негайно і вплинуть на всі снаряди в середині польоту.
- Вектори малюються від центру зображення, що може дещо відхилитися від центру маси. Для кращої наочності вектори не масштабуються із рівнем збільшення.
- Сила тяги моделюється за допомогою квадратичного рівняння ( $F_{\text{drag}} \propto v^2$ ), що діє у ліміті Рейнольда, що відповідає макроскопічним об'єктам, як бейсбольний м'яч. Лінійне перетягування (Закон Стока) дійсне лише в дуже

- малому інтервалі Рейнольда (наприклад, крапельки повітря розміром мікрони).
- Коефіцієнт опору залежить від числа Рейнольдса, яке ми вважали постійним.
  - Коефіцієнт опору залежить також від геометрії об'єкта, тому базові снаряди (наприклад, бейсбол, автомобіль) не мають регульованого коефіцієнта опору.
  - Площа поперечного перерізу снарядів наближається до кола, а його площа визначається діаметром.
  - Предмети, які залишаються дотичними до траєкторії під час руху (наприклад, футбольний м'яч, снаряд), мають відповідну аеродинаміку або розподіл ваги, що призводить до такої поведінки.

### Комплексне управління

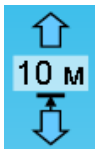
- До трьох снарядів можна встановити чергу, якщо їх вистріляють під час паузи.
- Інструмент відслідковування може вимірювати час, дальність і висоту снаряда в будь-якій точці на шляху. Чорні точки малюються з інтервалом  $0,1\text{с}$ , а зелена крапка є вершиною.
- Для опції **Вибір** снаряд на вкладці **Лабораторія** дозволяє користувачам вводити точні значення для маси, діаметра, сили тяжіння, висоти та опору. Прийнятний діапазон для цих значень відобразиться при натисканні на жовту піктограму з олівцем.



1 до 5000 кг	Вибір
7 8 9	Маса 100 кг
4 5 6	Діаметр 1 м
1 2 3	Гравітація 9.81 м/с <sup>2</sup>
. 0 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Опір повітря
<input type="button" value="Ввести"/>	Висота над рівнем моря 0 м
	Коефіцієнт опору 0.47

### Інформація щодо використання учнями

- Учні зазвичай знаходять усі доступні варіанти в симуляції, наприклад, регулюючи кут гармати, переміщуючи ціль, змінюючи параметри снаряда та включаючи вектори.
- Гармата стоїть на п'єдесталі з регульованою висотою. Щоб зняти це обмеження, гармата на вкладці **Вступ** починається з 10 м, а на мітці висоти є стрілки, які вкажуть регулювання висоти гармати.



### Пропозиції щодо використання

#### Приклади завдань учням для дослідження

- Виберіть змінну та створіть експеримент, щоб визначити, як вона впливає на шлях снаряда.
- Прогнозуйте, як зміна початкових умов вплине на шлях снаряда, і поясніть свої міркування.
- Визначте, які фактори впливають на дальність снаряду при включенні опору повітря, але не впливають, коли опір повітря вимкнено.
- Опишіть, як поведінка векторів швидкості та прискорення з плином часу та як на них впливає опір повітря.
- Поясніть, чому чорні точки на шляху снаряда розташовані ближчі одна до одної вгорі, і розташовані далі, коли знаходяться поблизу землі.
- Створіть ситуацію, коли снаряд досягає кінцевої швидкості.

Дивіться всі опубліковані заходи для руху снарядів [тут](#).

Для отримання додаткових порад щодо використання симуляцій PhET зі своїми учнями, див. [Поради щодо використання PhET](#).