PhET Tips for Teachers

# Projectile Motion

## Intro Screen

Investigate the the factors that affect a projectile's trajectory, such as angle, height, initial speed, and air resistance.

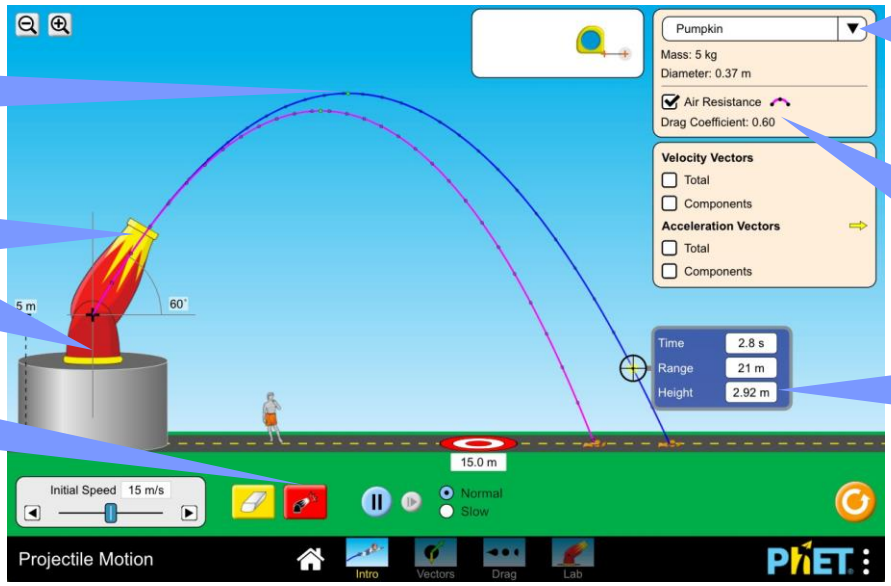
***Введение***

*Исследуйте факторы, влияющие на траекторию полета снаряда, такие как угол, высота, начальная скорость и сопротивление воздуха.*

Высшая точка траектории

**Угол выстрела и высота пушки**

Выстрел снаряда




Выбор типа снаряда

Сопротивле-ние воздуха

Время полёта, дальность, высота полёта

## Vectors Screen

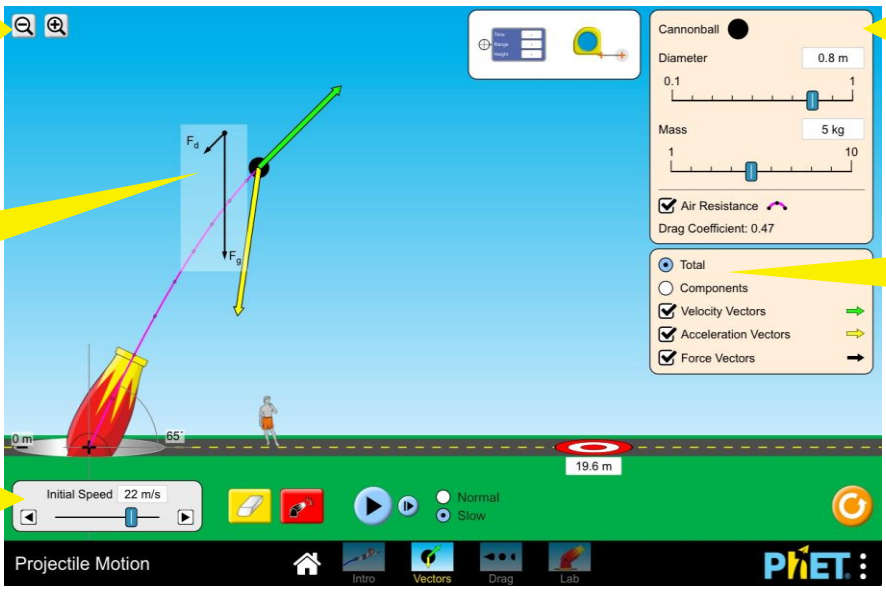
View the drag and gravitational forces in a free-body diagram, and explore how the velocity and acceleration are affected by air resistance.

***Векторы.*** *Посмотрите на сопротивление воздуха и гравитационные силы на диаграмме движения тела и исследуйте, как скорость и ускорение зависят от сопротивления воздуха.*

Масштаб

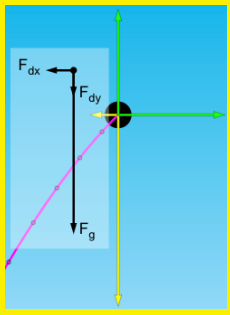
Траектория движения тела в реальном времени

Начальная скорость




Исследуй влияние массы, диаметра и сопротивления

Векторы или составляющие

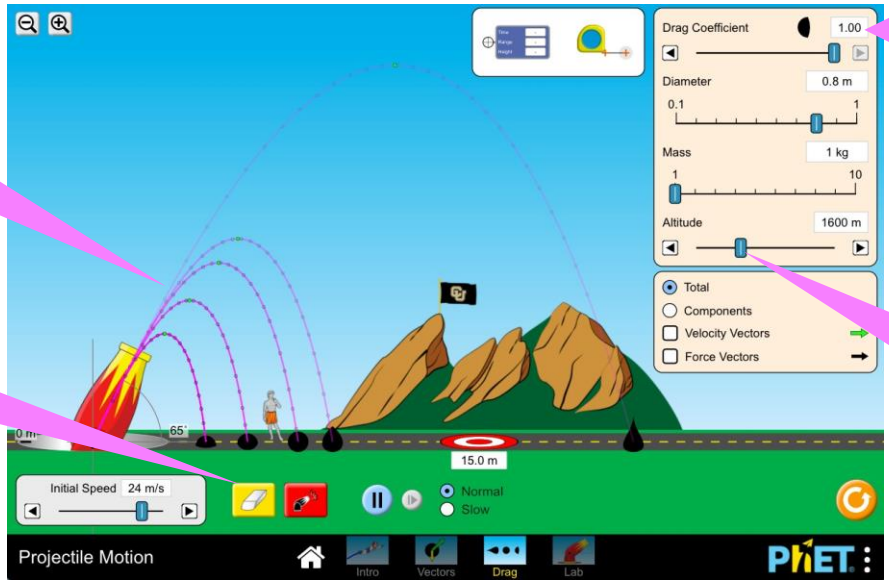


## Drag Screen

Determine the factors that affect the drag force, and observe the relationship between the drag force and thevelocity.

***Полёт***

*Определите факторы, влияющие на силу сопротивления, и проследите взаимосвязь между силой сопротивления и скоростью.*




Сравните 5 траекторий

Стереть пути

Исследуйте лобовое сопротивление и форму тела

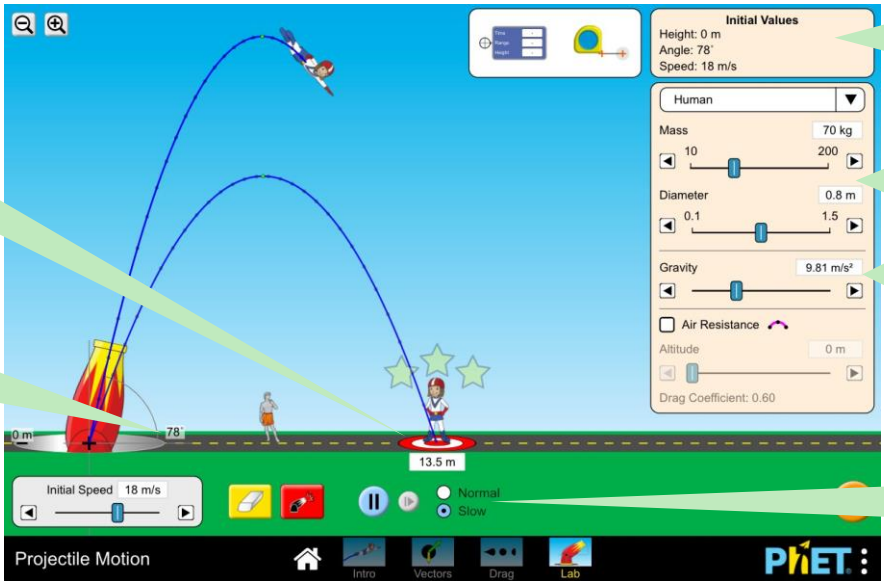
Высота

## Lab Screen

Explore the effects of adjusting the projectile's parameters, and investigate the influence of gravity.

***Лаборатория***

*Исследуйте эффекты корректировки параметров снаряда и исследуйте влияние гравитации.*




Перетащите мишень в нужное метро

Задать угол ствола пушки

Начальные условия

Масса тела и диаметр

Задание гравитации

Пауза и пошаговое движение

## Model Simplifications

- The cannon has crosshairs to mark the initial location of the projectile.
- Changes in air resistance, altitude, and gravity apply immediately and will affect all projectiles mid-flight.
- Vectors are drawn from the center of the image, which may deviate slightly from the center of mass. For better visibility, the vectors do not scale with the zoom level.

- The drag force is modeled used quadratic drag ($F_{drag} \propto v^2$) which is valid in the high Reynold's number limit appropriate for macroscopic objects like baseballs. Linear drag (Stoke's Law) is only valid in the very low Reynold's number limit (like micron-sized droplets in air).
- The drag coefficient depends on the Reynolds number, which we have assumed to be a constant.
- The drag coefficient also depends on the geometry of the object, so benchmark projectiles (e.g. baseball, car) do not have an adjustable drag coefficient.
- The cross-sectional area of the projectiles is approximated to be a circle, and its area is determined by thediameter.
- Items that stay tangent to the trajectory while in motion (e.g. football, tank shell) are assumed to have the appropriate aerodynamics or weight distribution that leads to this behavior.

***Допущения, принятые в модели***

** Пушка имеет перекрестие, чтобы отметить начальное местоположение снаряда.*

** Изменения сопротивления воздуха, высоты и силы тяжести применяются немедленно и влияют на все снаряды в середине полета.*

** Векторы рисуются из центра изображения, который может немного откличаться от центра масс. Для лучшей видимости векторы не масштабируются вместе с уровнем масштабирования.*

** Сила сопротивления моделируется квадратичным сопротивлением ($F_{drag} \propto v^2$), которое справедливо в пределе высоких значений числа Рейнольдса, подходящем для макроскопических тел, таких как теннисные мячи. Линейное сопротивление (закон Стока) справедливо только при очень низком значении числа Рейнольдса (как капельки микронного размера в воздухе).*

** Коэффициент лобового сопротивления зависит от числа Рейнольдса, которое мы приняли за постоянную величину.*

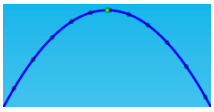
** Коэффициент лобового сопротивления также зависит от геометрии объекта, поэтому эталонные снаряды не имеют регулируемого коэффициента лобового сопротивления.*

** Площадь поперечного сечения снарядов приближается к кругу, и она определяется диаметром.*

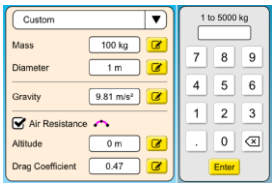
** Предполагается, что предметы, которые остаются касательными к траектории во время движения (например, футбольный мяч, танковый снаряд), имеют соответствующую аэродинамику или распределение веса, что приводит к именно такому поведению, как задано в симуляторе.*

## Complex Controls

- Up to three projectiles can be queued up if fired while paused.
- The tracer tool can measure the time, range, and height of the projectile at any dot along the path. The black dots are drawn in 0.1s intervals, and the green dot represents the apex.



- The "Custom" projectile on Lab screen allows users to enter precise values for the mass, diameter, gravity, altitude, and drag coefficient. The acceptable range for these values will be displayed at the top of the keypad.




***Сложности управления***

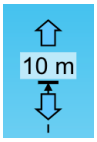
*• До трех снарядов могут быть поставлены в очередь, если они выпущены во время паузы.*

** Трассирующий инструмент может измерять время, дальность и высоту полета снаряда в любой точке траектории. Черные точки рисуются с интервалом 0,1 С, а зеленая точка представляет вершину.*

** " Пользовательский " снаряд в «Лаборатории» позволяет пользователям вводить точные значения массы, диаметра, силы тяжести, высоты и коэффициента лобового сопротивления. Допустимый диапазон для этих значений будет отображаться в верхней части клавиатуры.*

## Insights into Student Use

- Students usually find all the available options in the sim without prompting, like adjusting cannon angle, moving the target, changing the projectile parameters, and turning on vectors.
- The cannon sits on a pedestal with an adjustable height. To cue this behavior, the cannon on the Intro screen starts at 10 m, and has arrows on the height label that will disappear once the cannon's height is adjusted.




***Трудности использования учениками***

** Ученики обычно находят все доступные варианты управления в симуляторе без подсказки, например, регулировку угла пушки, перемещение цели, изменение параметров снаряда и включение векторов.*

** Пушка установлена на пьедестале с регулируемой высотой. Чтобы указать на это поведение, высота установки пушки во «Введении» начинается с 10 м и имеет стрелки на отметке высоты, которые исчезнут, как только высота пушки будет отрегулирована.*

## Suggestions for Use

### Sample Challenge Prompts

- Choose a variable, and design an experiment to determine how it affects the projectile's path.
- Predict how changing the initial conditions will affect the path of the projectile, and explain your reasoning.
- Determine which factors affect the range of the projectile when air resistance is turned on, but have no effect when air resistance is turned off.
- Describe how the behavior of the velocity and acceleration vectors over time, and how they are affected by air resistance.
- Explain why the black dots on the projectile's path are closer together near the top, but further apart when close to the ground.
- Create a situation in which the projectile reaches terminal velocity.

See all published activities for Projectile Motion here.
For more tips on using PhET sims with your students, see Tips for Using PhET.

***Рекомендации по применению***

*Примерные задания*

** Выберите переменную и разработайте эксперимент, чтобы определить, как она влияет на траекторию полета снаряда.*

** Спрогнозируйте, как изменение начальных условий повлияет на траекторию полета снаряда, и объясните свои рассуждения.*

** Определите, какие факторы влияют на дальность полета снаряда при включенном сопротивлении воздуха, но не влияют при выключенном сопротивлении воздуха.*

** Опишите, как изменяется поведение векторов скорости и ускорения во времени, и как на них влияет сопротивление воздуха.*

** Объясните, почему черные точки на пути снаряда ближе друг к другу вблизи вершины, но дальше друг от друга, когда он находится близко к Земле.*

** Создать ситуацию, при которой снаряд попадает в мишень.*