



Урок 46. Тормозной путь и кинетическая энергия

Листы ученика. Ответы и примечания учителю — в отдельной части.

Естественно-научный практикум · 8-9 классы

Урок 46 из 64 · 45 минут · Модуль «Эксперименты по физике: восстановление скорости»

Уровень: базовый исследовательский. 8 класс - работа с формулами и опорами; 9 класс - самостоятельная проверка модели и ограничений.

Вся программа курса

После торможения остался измеренный путь. Можно ли восстановить начальную скорость, если сам момент старта не попал в запись?

Проверяемый результат:

Восстановить начальную скорость по тормозному пути и независимо проверить её через ускорение; отделить тормозной путь от пути реакции.

01. Проблемная ситуация

0-5 минут · Вопрос и проверяемое предположение

Учебная модель: карточка массой 0,20 кг скользит по горизонтальному столу. Коэффициент трения скольжения заранее определён: $\mu=0,25$. После прекращения толчка она проходит 0,80 м и останавливается. Два ученика предлагают начальные скорости 1 м/с и 2 м/с.

За 1 минуту выпишите данные; за 2 минуты предложите способ проверки версий; за 2 минуты назовите условие, при котором один путь соответствует одной скорости. Толчок в рассматриваемый участок не входит.

02. Объяснение и разобранный пример

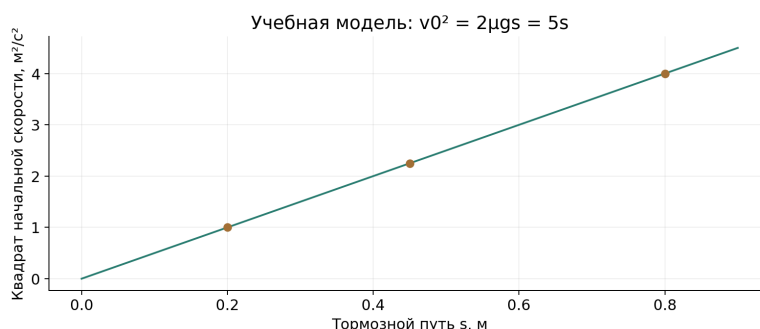
5-14 минут · Понятия, расчёт и ограничения

Теорема о кинетической энергии: работа всех сил на участке равна изменению $mv^2/2$. Здесь сила тяжести и реакция опоры перпендикулярны горизонтальному перемещению, а постоянная сила трения направлена против него. Поэтому $-\mu mg s = 0 - mv^2/2$. Получаем $v_0 = \sqrt{2\mu g s}$. Под корнем m^2/c^2 , результат имеет единицу м/с. Сокращение массы относится к этой модели с $F_{тр} = \mu mg$, а не к любому сопротивлению.

Разобранный пример: $F_{тр} = 0,25 \cdot 0,20 \cdot 10 = 0,50$ Н. Модуль работы $0,50 \cdot 0,80 = 0,40$ Дж. Начальная энергия 0,40 Дж даёт $v_0 = \sqrt{(2 \cdot 0,40 / 0,20)} = 2,0$ м/с. Проверка другим способом: замедление $\mu g = 2,5$ м/с²; из $0 = v_0^2 - 2 \cdot 2,5 \cdot 0,80$ снова $v_0^2 = 4$.

При фиксированном μ тормозной путь пропорционален квадрату скорости. Удвоение скорости увеличит его в четыре раза. Полный остановочный путь движущегося транспорта дополнительно включает движение до начала торможения. По этой школьной модели нельзя рассчитывать безопасную дистанцию реального автомобиля.

На объяснение: 3 минуты на силы и знак работы, 3 на пример, 2 на независимую проверку, 1 на единицы и границы применимости.



Модель торможения: работа трения уменьшает кинетическую энергию. График $v_0^2 = 2\mu g s$ относится к трём учебным сериям, $\mu=0,25$, $g=10$ м/с².



03. Практика 1: данные и доказательство

14-25 минут · Первая серия

Три подготовленные учебные серии. В каждой масса 0,20 кг, $\mu=0,25$, поверхность горизонтальна, после толчка тяги нет. Путь относится только к торможению.

Серия	Путь, м	Что найти
А	0,20	Работу трения, E_k , v_0
Б	0,45	Те же величины
В	0,80	Те же величины

2 минуты - нарисуйте силы; 4 - заполните три строки расчётов; 3 - проверьте отношение путей и квадратов скоростей; 2 - составьте вывод. 8 класс использует готовую формулу; 9 класс дополнительно оценивает скорость при ошибке пути +10%. Продукт: таблица «Атр, E_k , v_0 » с единицами. Критерии: работа отрицательна, энергия положительна, проверка выполнена.

04. Практика 2: перенос на новые условия

25-33 минуты · Самостоятельный перенос

Перенос: скорость модели до торможения 3,0 м/с, задержка до начала торможения 0,40 с. Затем постоянное $\mu=0,30$, $g=10$ м/с². На участке задержки скорость не меняется.

1 минута - разделите движение на два участка; 3 - найдите путь каждого и сумму; 2 - пересчитайте при скорости 6,0 м/с; 2 - объясните разные множители роста. 8 класс получает $st=v_0^2/(2\mu g)$; 9 класс сравнивает доли двух участков. Продукт: две двухцветные схемы пути и четыре расчёта.

05. Обсуждение: аргумент и альтернатива

33-40 минут · Аргумент и обоснованный вывод

2 минуты: сравните тезисы «по длинному следу точно известна скорость» и «нужны свойства поверхности и условия». 3 минуты: приведите числовой контрпример при разных μ для одного пути; предложите независимое измерение. 2 минуты: запишите, какие сведения нужно добавить к протоколу.

06. Индивидуальная проверка

40-45 минут · Собственное решение

За 3 минуты найдите начальную скорость при $\mu=0,20$ и $s=1,60$ м. Масса 0,50 кг. Укажите работу трения и одно ограничение модели. За 1 минуту сверьте ключ; за 1 исправьте ошибку.



Ответы, критерии и примечания учителю

Учителю: подготовка и план на 45 минут

Нужны калькулятор, линейка, бумага и таблицы урока. Предпосылки: работа силы, кинетическая энергия, квадратный корень. Во всех расчётах $g=10 \text{ м/с}^2$. Это анализ учебных данных, а не запуск тел и не исследование автомобиля. 8 класс получает $v_0=\sqrt{2\mu g s}$; 9 класс выводит формулу из работы результирующей силы и оценивает чувствительность результата к погрешности.

Минуты	Работа	Проверяемый продукт
0-5	Проблемная ситуация	Вопрос и проверяемое предположение
5-14	Понятия и разобранный пример	Пояснение величин и метода
14-25	Практика 1	Расчёт, схема или протокол по данным
25-33	Практика 2	Решение на новых условиях
33-40	Обсуждение	Аргумент, альтернатива и вывод
40-45	Индивидуальная проверка	Самостоятельный ответ и исправление

Все тексты, рисунки и данные включены. Без регистрации: распечатайте ученическую часть PDF или используйте доску. Ответы показывайте после самостоятельной попытки. Минуты включают чтение, записи и переходы. В конце соберите индивидуальную работу. 0-1 балл: разобрать пример повторно; 2-3: уточнить пропущенное звено; 4: объяснить ограничение модели. Это критерии обратной связи, не обязательная школьная отметка.

Разбор практики 1 и критерии

$F_{тр}=0,50 \text{ Н}$. Работа: $-0,10$; $-0,225$; $-0,40 \text{ Дж}$. Начальная энергия: $0,10$; $0,225$; $0,40 \text{ Дж}$. Скорости: $1,0$; $1,5$; $2,0 \text{ м/с}$. Отношение путей $1:2,25:4$ совпадает с отношением квадратов скоростей. При завышении пути на 10% скорость завышается в $\sqrt{1,10}\approx 1,0488$ раза, то есть примерно на 4,9%, если μ точно известен.

Ответ и объяснение практики 2

При 3 м/с путь задержки $1,20 \text{ м}$, тормозной $9/6=1,50 \text{ м}$, сумма $2,70 \text{ м}$. При 6 м/с : $2,40 \text{ м}$; $36/6=6,00 \text{ м}$; сумма $8,40 \text{ м}$. Первый участок вырос в 2 раза, второй в 4. В первом случае доля задержки $1,2/2,7\approx 44\%$, во втором $2,4/8,4\approx 29\%$. Это условные числа модели, не нормативы движения.

Опора для обсуждения

Для пути 1 м $\mu=0,20$ даёт 2 м/с , а $\mu=0,45$ даёт 3 м/с . Поэтому без μ задача неоднозначна. Нужны режим скольжения, горизонтальность, границы участка и оценка иных потерь. Видеокадры или датчик скорости дают независимую проверку; совпадение двух методов поддерживает модель, но не делает её универсальной.

Ключ и критерии индивидуальной работы

$F_{тр}=1 \text{ Н}$, $A_{тр}=-1,60 \text{ Дж}$, $E_{к0}=1,60 \text{ Дж}$, $v_0=\sqrt{6,4}\approx 2,53 \text{ м/с}$. По 1 баллу: баланс энергии со знаком, работа с единицей, скорость, условие горизонтального скольжения без существенных иных потерь.



07. Соответствие исходной программе

Пункт программы → действие ученика → проверяемый результат

Пункт программы	Действие ученика	Проверяемый результат
Энергия тела. Теорема о кинетической энергии	Восстанавливает скорость по работе	Проверенный баланс энергии
Работа №12: скорость по тормозному пути	Сравнивает серии и ограничения	Отличает путь задержки от торможения

Опора - раздел «Эксперименты по физике» опубликованной программы на 64 часа. Это самостоятельный урок на 45 минут. Учебные данные, подробный сценарий и распределение времени - методическая разработка. Анализ подготовленных серий и бумажных моделей не выдаётся за проведение опыта на занятии.

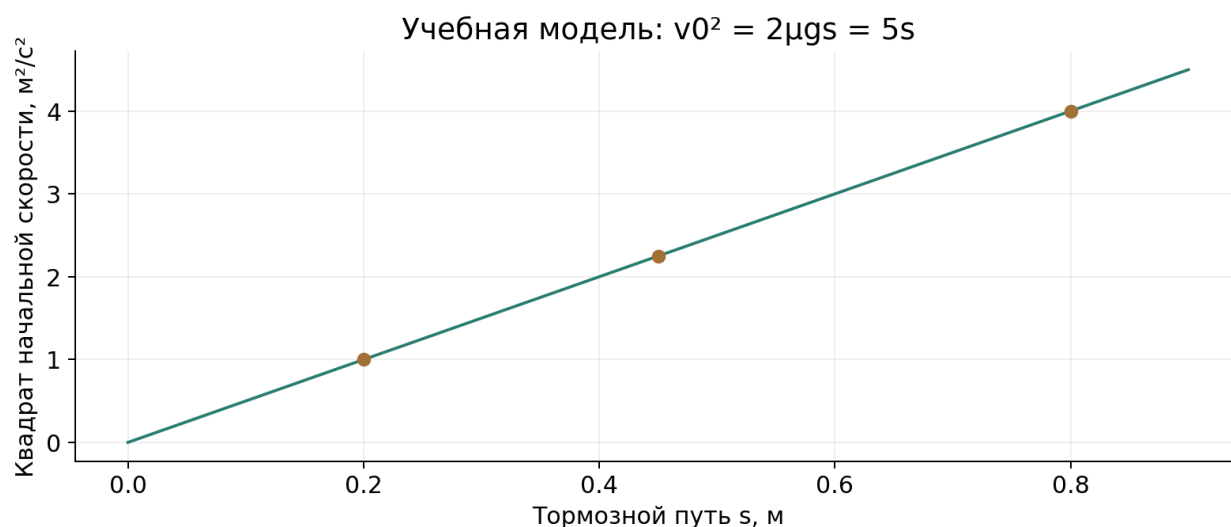
[Исходная программа](#)

Источники и права на изображения

[OpenStax: теорема о работе и энергии](#)

Источники проверены 15.10.2026. Все числовые наборы - учебные модели, не результаты проведённых авторами опытов. Оригинальные схемы и графики подготовлены порталом «Школы России» для этого урока. Они не являются фотографиями. Ответы и примечания учителю в PDF выделены отдельно.

Иллюстрация: увеличенная копия для печати



Модель торможения: работа трения уменьшает кинетическую энергию. График $v_0^2 = 2\mu g s$ относится к трём учебным сериям, $\mu = 0,25$, $g = 10 \text{ м/с}^2$.