

## Изучение зависимости скорости скатывающегося шарика от высоты горки

► Обязательная простая и наглядная работа для девятиклассников. ◀

### ОБОРУДОВАНИЕ

Стальной шарик диаметром 10—12 мм, жёлоб, два штатива с лапками, две струбины, линейка, большой угольник, копировальная бумага, белая бумага, скотч, коробочка для «отлова» шарика, стирающийся маркер для доски, карандаш.

### ЦЕЛИ РАБОТЫ

— Познакомиться с методикой нахождения скорости летящего горизонтально шарика.

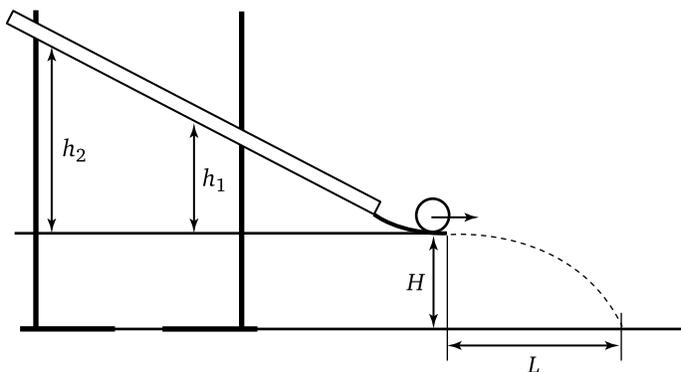
— Найти начальную скорость полёта для нескольких разных стартовых высот.

— Установить зависимость скорости слетающего с жёлоба шарика от стартовой высоты.

— Проверить, выполняется ли закон сохранения энергии.

### УСТАНОВКА

Шарик скатывается по жёлобу от заданной точки (аккуратно отметьте её маркером), слетает с конца жёлоба в горизонтальном на-



правлении и падает на стол<sup>1</sup>. Чтобы точно узнать место падения, к столу приклеивают скотчем лист белой бумаги, поверх которого лежит лист копировальной бумаги. «Копирку» приклеивать не надо! На месте падения шарика остаётся жирная чёрная точка.

### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Шарик брошен горизонтально с высоты  $H$ . Время падения легко найти. По горизонтали за это время он пролетит расстояние  $L$ , двигаясь равномерно.

*Выведите формулу, позволяющую найти скорость, с которой шарик слетает с жёлоба в горизонтальном направлении, исходя из известных  $L$  и  $H$ . (Рисунок необходим!)*

### ПОДГОТОВКА

— Соберите установку.

Рекомендуется сделать высоту  $H$  примерно 15—20 сантиметров, наклон жёлоба — около 30 градусов.

— Проверьте горизонтальность конца жёлоба (можно воспользоваться для этого линейкой, измерив расстояние до стола от разных точек конца жёлоба). Проверьте, чтобы жёлоб не был перекошен вбок, чтобы шарик летел прямо. Если надо, слегка измените угол наклона установки или подогните жёлоб (лучше попросить учителя помочь).

— Чтобы шарик не укатился в неизвестном направлении, поставьте на соответствующем месте стола коробочку для улавливания отскочившего от копировальной бумаги шарика.

— Запуск шарика лучше производить не руками, а удерживать его линейкой и быстро убирать её, не толкнув шарик.

— На стол положите черновой лист, не приклеивая его.

— Настройте установку. Выполните несколько пробных пусков шарика с минимальной и максимальной высоты, поймите, куда будет падать шарик в ходе опытов. Правильно, когда шарик, отпущенный с минимальной высоты, падает около одного края листа формата А4, а с максимальной — ближе к другому краю листа. Если шарики всё же приземляются рядом, рекомендуется увеличить высоту или наклон установки.

---

<sup>1</sup>Если вы не уверены, что поверхность стола горизонтальна, можно воспользоваться уровнем и при необходимости подложить под ножки предметы соответствующей толщины.

— Убедитесь, что жёлоб и точки падения шарика лежат в одной плоскости (если нет, то конец жёлоба неверно изогнут, надо поправить его).

— В ходе опытов очень важно не сдвигать установку. Зафиксируйте штативы струбцинами. Если их нет, можно приклеить штативы скотчем.

— Приклейте скотчем (двумя маленькими кусочками по углам) на правильное место лист белой бумаги. На один и тот же лист должны попадать шарики, запущенные как с минимальной, так и с максимальной высоты.



Этот лист является важнейшей частью отчёта о работе.

После выполнения опытов, прежде чем отклеить лист или сдвинуть установку, обязательно пригласите учителя, чтобы он проверил, правильно ли выполнены опыты и измерения!

— Положите на лист «копирку» (но не приклеивайте её!). Чтобы шарик при повторном отскоке от стола не оставлял лишних следов, кладите «копирку» только на «правильное» место.

— Аккуратно при помощи угольника опустите перпендикуляр на стол от конца жёлоба, *отметьте эту точку карандашом на столе.*

### ВЫПОЛНЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Отметьте на жёлобе маркером четыре точки на разных высотах. (Все высоты, конечно, считаем от нижней точки шарика 😊.)

2. Запустите шарик несколько раз (хотя бы 10 раз, а лучше — больше) с одной высоты, получите точки с местами падения шарика.

3. Зачеркните «промахи», если они есть. Не стирайте их.

4. Измерение дальности полёта  $L$ .

*Проведите на листе линию, вдоль которой летал шарик.*

*Возьмите прозрачную линейку и проведите «на глаз» линию (перпендикулярную траектории полёта) так, чтобы с каждой стороны от неё было примерно одинаковое число точек падения шарика. («Промахи» не считаем.) Измерьте расстояние от точки под местом отрыва шарика от жёлоба до этой линии и напишите это среднее значение прямо на листе около линии<sup>1</sup>. Там же запишите высоту  $h$ .*

<sup>1</sup> Более точно, но намного труднее было бы измерить расстояния линейкой до каждой точки падения и затем рассчитать на калькуляторе среднее значение. Но мы не будем тратить время и сделаем так, как описано выше.

Учителю рекомендуется проверить правильность измерения этого расстояния, высоты и правильность отметки точки на столе по опущенному от конца желоба перпендикуляру.



- Поленились взять угольник, пользовались вместо него линейкой и небрежно опустили перпендикуляр, а от этого вся работа плохо получится. Нельзя ошибиться более чем на миллиметр!
- Расстояние округлили до сантиметров. Наша точность гораздо выше!
- Расстояние записали в сантиметрах или в метрах. Это очень неудобно, пользуйтесь миллиметрами. Конечно, при расчёте скорости всё надо будет перевести в систему «СИ». Но не здесь!
- Забыли, что  $h$  — это НЕ расстояние до стола (см. рисунок).
- Нечаянно сдвинули установку, не закончив всех опытов и не продемонстрировав учителю их результаты на приклеенном листе.
- Отклеили лист и не дали возможность учителю проверить вашу работу.

► По согласованию с учителем «непродвинутые» школьники могут пропустить пункты, отмеченные звёздочкой. ◀

**5\***. При определении  $L$  имел место случайный разброс результатов. Подумайте, когда вы провели «наилучшим образом» эту линию (п. 4), на сколько миллиметров вы могли ошибиться? А если провести ещё десяток-другой опытов, могла бы из-за учёта новых результатов эта линия сдвинуться на миллиметр? На два? На пять?

Внимательно посмотрите на лист с точками от падения шарика и напишите, пользуясь здравым смыслом, какой можно считать погрешность случайного разброса при определении среднего значения<sup>1</sup>  $L$ .

**6\***. Оцените и запишите погрешности определения значений  $h$ ,  $H$ ,  $L$ . (Погрешность  $L$  — с учётом случайного разброса (п. 5), с учётом неточности опущенного перпендикуляра и собственно измерения расстояния линейкой.)

**7.** Запишите формулу для расчёта скорости и рассчитайте скорость, с которой слетал шарик с конца желоба. (Пользуйтесь средним значением  $L$ .)

<sup>1</sup>Мы умеем и более точно рассчитывать случайную погрешность при расчёте среднего значения (см. пособие «Учёт случайных погрешностей»). Если хотите, можете, измерив прямо на листе отклонения от среднего значения, рассчитать погрешность. Но в данной работе делать это необязательно.

**8\***. Рассчитайте погрешность определения скорости, которая получается из-за неточности определения расстояний в используемой установке.

Заметим, что мы учли не все источники погрешностей, например, не строго горизонтальный конец жёлоба, с которого слетает шарик, тоже даёт систематическую погрешность, которую мы не можем учесть.

**9.** Повторите опыт для всех четырёх (минимум трёх) стартовых высот. Измерьте и запишите на листе соответствующие  $L$ ,  $H$  и  $h$ .

Выполните п. 3—8 для этих высот и заполните таблицу (столбцы:  $h$ ,  $\Delta h$ ,  $L$ ,  $\Delta L$ ,  $v$ ,  $\Delta v$ ,  $v^2$ ).

**10.** После выполнения опытов, прежде чем отклеить лист или сдвинуть установку, обязательно пригласите учителя, чтобы он проверил, правильно ли выполнены опыты и измерения!

**11.** Постройте график зависимости квадрата скорости шарика от высоты<sup>1</sup>. Не забудьте, что точка (0; 0) тоже должна быть на графике.

Продвинутые исследователи могут нанести на график «кресты ошибок».

Про построение «крестов ошибок» см. в пособии «Оценка точности результата с помощью графика».

Линейна ли эта зависимость? Запишите вывод.

**12\* . Про закон сохранения энергии.** Шарик, спустившись с высоты  $h$  до края жёлоба, уменьшил свою потенциальную энергию на  $mgh$ . Она перешла в кинетическую энергию поступательного движения  $\frac{mv^2}{2}$  + энергию вращательного движения шарика + работу сил трения (тепло).

Энергия **вращательного** движения при качении шарика без проскальзывания со скоростью  $v$  равна  $\frac{mv^2}{5}$ . (Владеющие темой «Вращательное движение твёрдого тела» могут самостоятельно вывести эту формулу, а тем, кто ещё не знает этого раздела физики, остаётся принять её на веру.)

Итак, согласно теории

$$mgh = \left( \frac{mv^2}{2} + \frac{mv^2}{5} \right) = 0,7mv^2,$$

---

<sup>1</sup> Зачем? Если мы увидим, что эта зависимость линейна, то подтвердим, что потенциальная энергия шарика перешла в кинетическую, которая пропорциональна  $v^2$ .

если не учитывать работу сил трения.

Оцените, сколько процентов  $\eta$  потенциальной энергии перешло в кинетическую энергию шарика (остальное потерялось на трение).

Это нетрудно: по формуле имеем

$$mgh\eta = 0,7mv^2, \quad gh\eta = 0,7v^2, \quad \eta = \frac{0,7v^2}{gh},$$

а отношение  $\frac{v^2}{h}$  найдём из графика п. 11 и подставим в эту формулу.

**13.** Запишите результаты работы и выводы.

Приложите к отчёту о работе лист с отпечатками от шарика и отмеченными на нём данными.