

Включает разделы  
«Заметки учителя»  
и  
«Стандартные  
результаты  
экспериментов»



**Руководство пользователя и  
инструкция по проведению  
эксперимента для модели SF-9072  
производства PASCO scientific**

## **ПРИБОР ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ РАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ PASCO**



© Transparent Devices LLC, 1997, 2010



Значок восклицательного знака в равностороннем треугольнике предупреждает пользователя о наличии важных инструкций по эксплуатации и обслуживанию, поставляемых в комплекте с документацией, прилагающейся к прибору.

# Содержание

<b>Раздел</b>	<b>Страница</b>
Введение.....	1
Оборудование.....	1
Обслуживание.....	1
Подготовительное упражнение. Составление графика в лаборатории.....	2–6
<b>Эксперименты</b>	
Эксперимент. Часть 1. Равномерное движение и линейный график.....	7–14
Эксперимент. Часть 2. Движение при отрицательной скорости и линейный график.....	15–18
<b>Заметки учителя</b>	
Подготовительное упражнение .....	19
Эксперимент. Часть 1. ....	20–21
Эксперимент. Часть 2. ....	22–23

## Введение

Прибор для демонстрации равномерного движения Transparent Devices — это простое устройство, которым могут пользоваться ученики для определения данных зависимости скорости от времени и выполнения упражнений, направленных на усовершенствование навыков построения графиков. Трубки из оргстекла наполнены окрашенными жидкостями на масляной основе; у жидкостей два разных значения вязкости. Пузырек воздуха в каждом столбике жидкости поднимается при постоянной скорости, определяемой вязкостью жидкости. Четвертая трубка содержит бесцветное масло и два шарика — стальной и пластиковый.

## Оборудование

### ВКЛЮЧЕНО

- ПРИБОР ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ РАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ SE-9072 (4 ШТ.)

### ТРЕБУЕМОЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Мерная рейка или линейка
- Часы с секундной стрелкой или секундомер

## Обслуживание

- Очистите оборудование с помощью мягкого неабразивного средства для мытья посуды.
- Храните оборудование в заводской упаковке и не подвергайте его воздействию солнечных лучей. Трубку с шариками необходимо хранить камерой вверх.



- **Не храните оборудование в помещениях с химическими реагентами.**
- **Удаление воздушных пузырьков из трубки с шариком:** трубка, содержащая стальной и тефлоновый шарик, имеет небольшую воздушную камеру, благодаря которой масло может расширяться в прилегающую главную камеру. Ограничитель с небольшим отверстием разделяет две камеры. При правильном хранении дневные перепады температуры постепенно вытолкнут весь лишний воздух из главной камеры в воздушную камеру. Ученики должны по возможности держать оборудование стороной с камерой вверх во избежание попадания воздуха в главную камеру, поскольку попадание большого количества воздуха влияет на точность эксперимента. Небольшое количество воздуха оказывает незначительное влияние на результат. В случае появления крупных пузырьков воздуха просто возьмите трубку в руку, расположив ее воздушной камерой вверх, и **ОСТОРОЖНО** постучите трубкой об пол. Немного более быстрый способ удалить воздушные пузырьки — подержать трубку под проточной горячей водой в течение 10 секунд, а затем переместить трубку под холодную проточную воду. При выполнении этой операции воздушная камера должна быть направлена вверх.
- При нарушении целостности трубки вытрите масло бумажным полотенцем и выбросите его в мусор (если правила учебного заведения не требуют иного).
- При проглатывании масла не вызывайте рвоту (при отсутствии иных инструкций от медицинского работника).
- Для дополнительной информации обратитесь к прилагаемым паспортам безопасности вещества.
- Жидкости могут образовывать пятна на некоторых материалах. Пятна, как правило, удаляются при помощи простых процедур, таких как использование пятновыводителя для стирки.
- Лиловая и синяя трубки содержат минеральное масло высокой степени очистки № 21. Красная и бесцветная трубки содержат минеральное масло высокой степени очистки № 10. Краткий список последствий воздействия минерального масла содержится в паспорте безопасности вещества.

# Подготовительное упражнение.

## Составление графика в лаборатории

### Цель проведения эксперимента

Цель — развитие у учеников навыков составления графиков, которые понадобятся для проведения опытов с приборами для демонстрации равномерного движения.

### Основные сведения

С помощью графиков можно эффективно представить числовую информацию в лабораторных отчетах, но это не единственный способ применения графиков. С их помощью также можно определять математическое соотношение между двумя переменными. В следующем упражнении по составлению графика работа будет вестись с двумя типами переменных: *независимыми* и *зависимыми*. Независимая переменная относится к той части эксперимента, которую мы изменяем экспериментальным контролируемым образом. Зависимая переменная относится к той части эксперимента, в которой изменения происходят в результате изменения независимой переменной.

Данное упражнение поможет вам развивать навыки составления графиков. Эти навыки понадобятся вам при проведении экспериментов с прибором для демонстрации равномерного движения. Вы составите график согласно предварительно собранным экспериментальным данным.

В предыдущем эксперименте измеренный объем жидкой ртути (независимая переменная) был добавлен в стеклянную мензурку, после чего была определена масса мензурки и ртути (зависимая переменная) с помощью платформенных весов.

### Порядок действий

1. Обычно в эксперименте есть несколько переменных, которые могут повлиять на зависимую переменную. Если мы обеспечим изменение только одной из этих переменных, при этом сохранив в ходе эксперимента остальные переменные постоянными, то это значительно облегчит интерпретацию результатов. Кроме объема жидкости, сама жидкость также представляет собой пример переменной, которая может повлиять на определение массы. Следовательно, тип используемой жидкости также не должен изменяться в ходе эксперимента. По вашему мнению, какие другие переменные необходимо сделать постоянными в данном эксперименте?

---

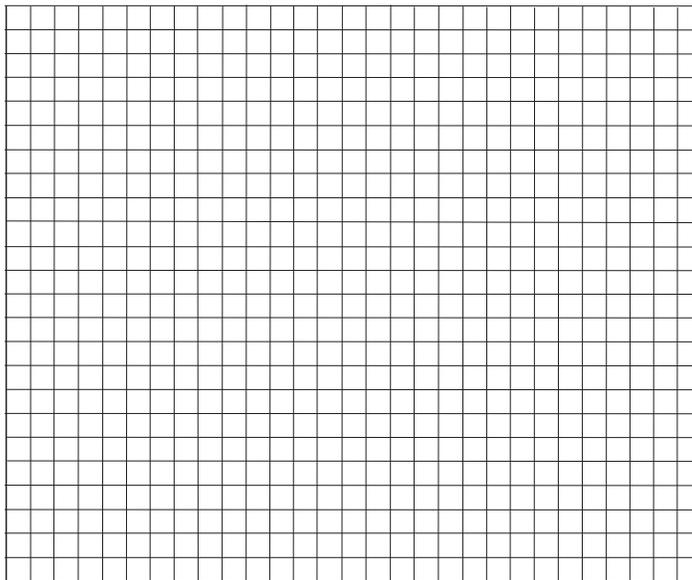
---

2. Для получения первой экспериментальной точки в рамках эксперимента, мензурка была заполнена до отметки 250 мл жидкой ртутью. При этом показание чашечных весов составило 3600 г. Затем мензурку опустошили и вновь наполнили до отметки 50 мл. После этого показание массы составило 1000 г. Примите к сведению, что эти два набора данных представляют собой крайние возможные значения. По вашему мнению, почему были выбраны такие значения?

---

---

3. Полезным будет построить эскиз графика данных, собираемых в процессе эксперимента, и исследовать получающуюся кривую.  
Составьте график на сетке снизу, используя упомянутые выше данные. Для этого воспользуйтесь приведенным ниже способом.
- a) Обозначьте горизонтальную ось, указав название переменной (иногда называемой «регулируемая переменная»). После названия запишите единицы измерения в скобках. Аналогичным образом обозначьте вертикальную ось, которая используется для зависимой переменной.
  - b) Пронумеруйте оси. Начните нумерацию от нуля в нижнем левом углу.
    - При нумерации осей нумеруйте линии, а не пространства между ними. Используйте стандартную систему нумерации шкалы (шкала по пять, десять, пятьдесят единиц и др.). Применяйте систему пропусков обозначений и нумеруйте, например, каждую вторую, пятую, десятую линию. Этот принцип облегчит построение и использование графика данных при применении метрической системы, и сложностей, возникающих, например, при нумерации каждой третьей или четвертой линии, не возникнет. Выбор системы нумерации будет зависеть от максимальных значений, наносимых на график.
  - c) Отметьте экспериментальные точки на графике. Наносите точки небольшого размера точно. Так как малые точки заметить сложно, обведите их небольшим кругом, треугольником или подобной фигурой, чтобы сделать их более видимыми. Такие фигуры служат «защитой» точки.



- Если у вас возникли сомнения по правильности выполнения указанной выше работы, то обратитесь за помощью перед тем, как приступить к выполнению эксперимента.
- Составление графика в ходе эксперимента может помочь вам понять, что необходимо будет делать дальше. Две нанесенных точки — это только начало закономерности построения кривой. Получение и проставление на графике дополнительных экспериментальных точек позволяет лучше проследить закономерность построения кривой.

4. На том же графике отметьте следующие дополнительные точки:  
150 мл — 2500 г            и            100 мл — 1600 г
5. Исходя из вашего графика, какой объем необходимо использовать на следующем шаге?  
  
\_\_\_\_\_
6. Теперь отметьте эту пару данных: 200 мл — 1300 г
  - Нанесение данных на график поможет обнаружить ошибки. При составлении графика в процессе эксперимента, ошибки можно откорректировать. Позднее восстановить эксперимент и исправить ошибку будет сложнее или вовсе не представится возможным.
7. Какие экспериментальные точки на вашем графике содержат ошибку? \_\_\_\_\_
  - Не следует сразу отбрасывать данные, которые выглядят ошибочными. Множество новых и важных научных открытий на первый взгляд выглядели ошибочными. Тем не менее в этом случае была сделана простая ошибка: цифры «1» и «3» в значении последнего замера массы были поменяны местами. Правильный вид пары данных: 200 мл — 3100 г.
8. Исправьте замеченную ошибку.
9. Теперь закономерность построения кривой должна стать понятной. Для того, чтобы сделать закономерность построения кривой более понятной, проведите линию наибольшего соответствия (линия, которая наиболее близко проходит с графиком, построенным по экспериментальным точкам). Поскольку кривая на графике выглядит прямой, для того чтобы начертить линию, целесообразно будет воспользоваться поверочной линейкой (для этой цели лучше всего использовать прозрачную пластмассовую поверочную линейку). Продлите линию до вертикальной оси.
  - Вы можете обнаружить, что точки не совсем находятся на линии. Это связано с тем, что у всех наших данных есть погрешность. Погрешность вызвана неидеальностью измерительных инструментов, невозможностью точного считывания показаний данных инструментов, а также, возможно, изменением прочих переменных, несмотря на наши попытки сохранить их постоянными. Наиболее вероятным будет то, что некоторые точки будут стоять слишком высоко над линией, а другие — слишком низко под линией. Даже несмотря на то, что положение экспериментальных точек на графике несколько некорректно из-за погрешности, мы можем увидеть закономерность, представляющую собой истинное соотношение между массой и объемом. Мы предполагаем, что данный график прямолинеен и что непопадание точек на линию возникает в результате ошибок.
  - Используя компьютерные программы, включая встроенные программы на некоторых калькуляторах и *Data Studio*<sup>®</sup>, также можно получить линию *наибольшего соответствия*. Этот процесс называется *подгонкой кривой*. Если мы заранее примем, что форме кривой графика будет соответствовать прямая линия, то такой процесс будет называться *линейной регрессией*.

► В алгебре график такого типа описывается уравнением  $y = mx + b$ , где:

$y$  — значение по вертикальной оси;

$x$  — значение по горизонтальной оси;

$m$  — угловой коэффициент;

$b$  — это точка пересечения с осью  $y$  (также называется точкой пересечения с осью ординат).

Заменяя каждое абстрактное обозначение фактическими значениями, полученными в ходе эксперимента, математическое уравнение можно преобразовать в физическое.

10. В пустом месте ниже запишите уравнение, получаемое при замене  $y$  и  $x$  фактическими физическими значениями *массы* и *объема* в уравнении прямой линии  $y = mx + b$ :

11. В пустом месте ниже подставьте значение пересечения с осью  $y$  (360 г) вместо  $b$  в уравнении (примите к сведению, что размерные единицы  $[z]$  — это часть значения):

12. Вряд ли на вашем графике точка пересечения с осью  $y$  будет точно равняться 360 г. Каково значение точки пересечения с осью  $y$  согласно вашему графику?

13. Рассчитайте угловой коэффициент  $m$  следующим образом:

угловой коэффициент  $m$  находим по формуле *угловой коэффициент = приращение функции / приращение аргумента*. Первый шаг в нахождении углового коэффициента — отметить две точки непосредственно на линии наибольшего соответствия. Обозначьте эти точки таким образом, чтобы их нельзя было спутать с экспериментальными точками. Чем дальше друг от друга они будут размещены, тем более точный результат будет получен. Выбор точек, находящихся на одной из линий координатной сетки, также повысит точность.

a) Выберите две точки на линии наибольшего соответствия и определите их координаты из графика.

Первая точка: координата  $y_1$  \_\_\_\_\_ координата  $x_1$  \_\_\_\_\_

Вторая точка: координата  $y_2$  \_\_\_\_\_ координата  $x_2$  \_\_\_\_\_

Проверьте, не забыли ли вы записать единицы измерения и само значение?

b) Рассчитайте приращение функции и приращение аргумента на основании данных координат.

приращение функции  $(y_2 - y_1) =$  \_\_\_\_\_ приращение аргумента  $(x_2 - x_1) =$  \_\_\_\_\_

Проверьте, не забыли ли вы записать единицы измерения и само значение?

c) Теперь рассчитайте угловой коэффициент (не забудьте об единицах измерения):

угловой коэф. = приращение функции / приращение аргумента =  $(y_2 - y_1)/(x_2 - x_1) = \underline{\hspace{2cm}}$

► Вы должны получить в ответе примерно 13,4 г/мл. Не стоит ожидать, что у вас получится точно такое же значение.

d) Теперь подставьте это значение вместо углового коэффициента  $m$  в формуле:

► Данное уравнение позволяет нам рассчитать показание массы, которое будет получено при использовании какого-либо другого объема ртути. Найдя объем при помощи алгебраических формул, мы также можем получить уравнение, из которого сможем узнать, какой объем ртути необходимо использовать для получения определенного показания массы.

14. Решите это уравнение для объема. Обратитесь за помощью, если необходимо.

► Исходное уравнение будет более полезным, если его можно будет применять для других веществ, кроме ртути, а также для других резервуаров, помимо используемого в эксперименте. Часто с помощью логических умозаключений можно применить уравнение для других целей.

15. Посмотрите на график и попытайтесь выразить словами, что означает точка пересечения с осью  $y$  (не в плане математики, а скорее по отношению к аспектам эксперимента, представляемым данным значением). Подсказка: каков объем для точки пересечения с осью  $y$ ?

---

16. Не напоминает ли вам что-либо значение углового коэффициента? Как насчет единиц измерения? Подсказка: используйте справочный материал для того, чтобы определить физические свойства ртути. Не забудьте, что полученное в ходе экспериментов числовое значение будет неточным.

---

17. Показания массы на чашечных весах лучше назвать массой брутто, которая представляет собой совокупную массу резервуара и содержимого. На основании предыдущих предположений можно переписать уравнение, придав ему более удобный общий вид:

**Масса брутто = Плотность содержимого \* Объем содержимого + Масса контейнера**

## Эксперимент. Часть 1. Равномерное движение и линейный график

### Цель проведения эксперимента

Цель данного эксперимента состоит в изучении перемещения пузырька воздуха в трубке, заполненной маслом, и составлении количественного описания этого движения.

### Теоретическая информация

В определенных заданных условиях движение поднимающегося пузырька воспроизводится с высокой точностью. На самом элементарном уровне описание движения включает в себя описание положения в зависимости от времени. В данном эксперименте переменные, которые могут оказать скрытое влияние на перемещение пузырька, такие как угол трубки и температура, сохраняют на постоянном уровне. Данные о положении записывают для ряда значений времени.

Чтобы придать значимость данным о положении, необходимо определить систему координат. Для удобства начальное положение движущегося предмета часто выбирается равным нулю. Поскольку начальное положение пузырька скрыто в данном эксперименте, это начальное положение определить невозможно. Вместо этого в качестве нулевого положения будет установлен конец трубки по той причине, что это удобная точка начала измерений. С учетом того, что положение пузырька в процессе его перемещения всегда выше дна трубки, наиболее удобным будет определить положение выше конечной точки трубки, как положительное.

При составлении графика зависимости положения от времени по экспериментальным точкам для одной из трубок можно увидеть четкую закономерность измеряемых значений. Нанесение измеряемых значений для других трубок на один и тот же график дает аналогичную форму кривых, но с заметными отличиями, которые можно отнести к различиям в перемещении. Форма выстраиваемых кривых знакома ученикам, изучающим алгебру, и они с легкостью могут написать уравнение для каждой из них.

### Порядок действий

***Соблюдайте правила безопасности вашей лаборатории. Всегда надевайте защитные очки.***

1. Возьмите ЛИЛОВУЮ трубку, у которой один конец завернут в бумагу. Бумага предотвратит возможность получения данных во временных интервалах, которые слишком коротки для обеспечения точности измерений. Не снимайте бумагу.

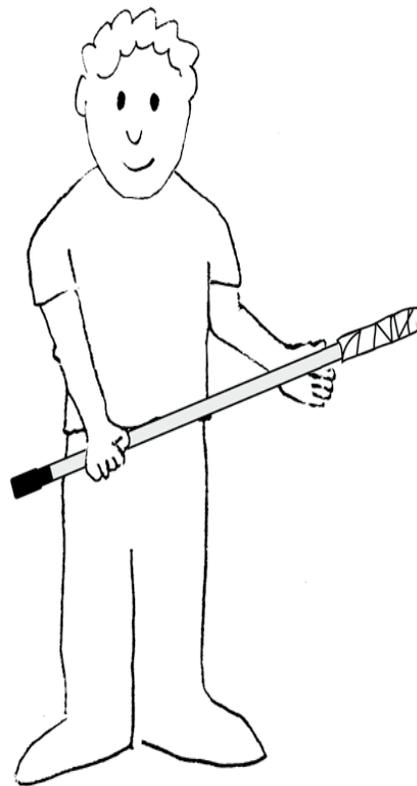


Рисунок 1

2. Совместно с партнером попрактикуйтесь в замере времени движения пузырька, как указано ниже.

- a. Удерживайте трубку практически в горизонтальном положении. Завернутый конец должен быть расположен слегка выше. Подождите, пока пузырек не пройдет максимальное расстояние под бумагой (см. рис. 1).
- b. Ваш напарник должен при этом замерять время по часам (или с помощью секундомера).

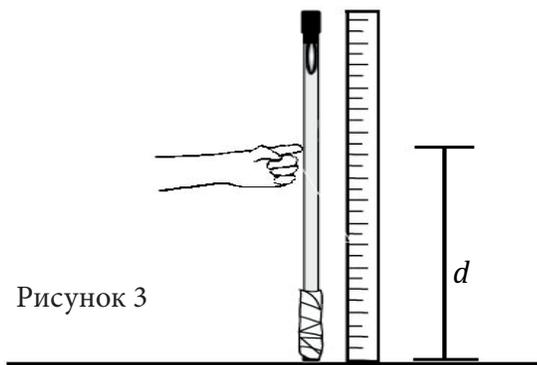
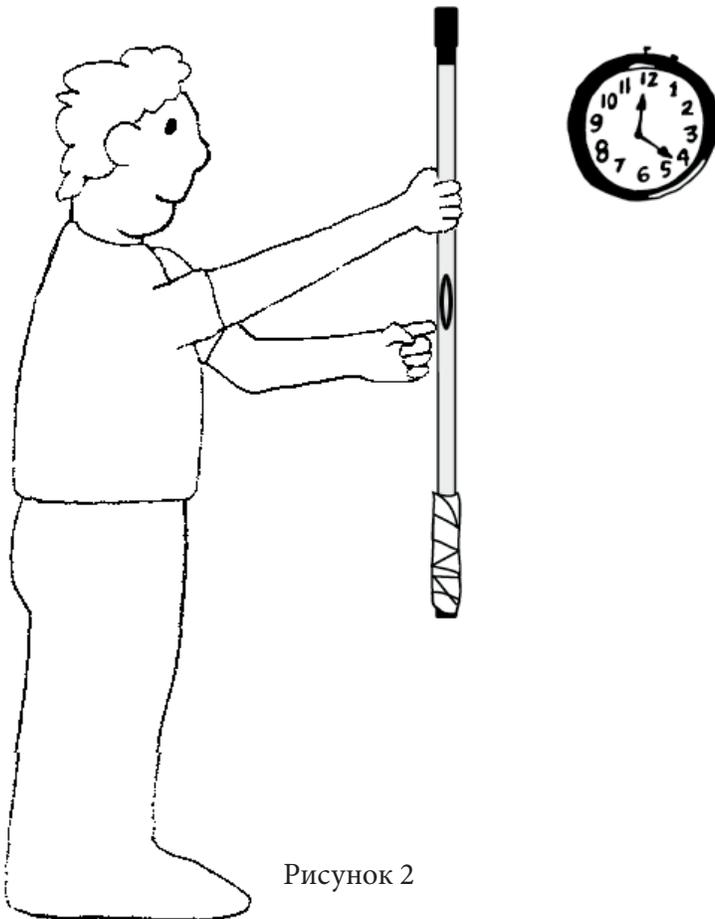
Выберите такой временной интервал, чтобы пузырек стал виден, но при этом достаточно короткий, чтобы пузырек не успел достигнуть конца трубки. В удобный момент времени ваш напарник должен сказать «Старт!».

c. Быстро поверните трубку в вертикальное положение. Завернутый конец должен быть направлен вниз (см. рис. 2).

d. Когда станет виден пузырек, поставьте указательный палец руки у нижней части поднимающегося пузырька и двигайте палец вместе с пузырьком. Когда ваш напарник скажет «Стоп!», остановите палец и удерживайте его на месте, чтобы отметить положение нижней части пузырька (см. рис. 2).

e. Измерьте расстояние от нижней части трубки до точки, отмеченной пальцем (см. рис. 3).

f. Зафиксируйте время перемещения и положение пузырька и отметьте точку на графике.



3. Выполните вышеописанные шаги для двух других временных интервалов. Выберите один временной интервал. Он должен быть достаточно коротким для того, чтобы нижняя часть пузырька появилась из-под бумаги. Выберите другой временной интервал. Он должен быть достаточно большим для того, чтобы пузырек достиг верхней части трубки. Запишите полученные значения в таблицу данных на стр. 13.
4. Подготовьте график на стр. 14 и отметьте две экспериментальные точки.
5. Выберите другие отрезки времени между этими двумя крайними значениями. Запишите полученные значения в таблицу данных. Отмечайте точки по мере выполнения эксперимента и анализируйте формирующуюся кривую. Выберите дополнительные отрезки времени, чтобы попытаться определить значения на основании отсутствующих частей кривой. Внимательно следите за тем, чтобы не сделать очевидные ошибки в процессе нанесения точек. При этом не спешите отбрасывать какие-либо данные.
6. Начертите линию наибольшего соответствия, которая будет максимально приближена кривой, составленной по отмеченным на графике экспериментальным точкам. Прямая линия, начерченная линейкой, должна достаточно точно соответствовать кривой, составленной по экспериментальным точкам. В противном случае обратитесь к преподавателю за помощью. Пометьте новую линию, написав «лиловая трубка» над линией на графике.

При наличии дополнительного времени однократное или многократное повторение эксперимента с нанесением усредненного положения позволит получить более точный результат для определенного временного отрезка.

7. При необходимости продлите линию до пересечения с вертикальной осью. Каково значение точки пересечения с осью  $y$ ? Не забудьте указать вместе с измеренными значениями единицы измерения.
  - Лиловая трубка — точка пересечения с осью  $y$ : \_\_\_\_\_
  - Красная трубка — точка пересечения с осью  $y$ : \_\_\_\_\_
  - Синяя трубка — точка пересечения с осью  $y$ : \_\_\_\_\_
8. Что означает точка пересечения с осью  $y$ ? Опишите не математическое значение, а значение в отношении подробностей конкретно этого эксперимента.

---

---

9. Теперь возьмите **КРАСНУЮ** трубку и повторите шаги 1–8. Попытайтесь получить приблизительно тот же объем экспериментальных данных для этой трубки. Используйте тот же график, который вы использовали для лиловой трубки, для составления кривой для этих данных (новые экспериментальные точки можно обозначать другим символом). Напишите «красная трубка» над линией наибольшего соответствия для этих данных.

10. Сравните линии наибольшего соответствия для двух трубок на предмет сходства и отличия. Попробуйте объяснить причину сходств и отличий.

---

---

---

11. Теперь возьмите **СИНЮЮ** трубку и повторите шаги 1–8. Вновь попробуйте получить приблизительно тот же объем экспериментальных данных для этой трубки. Используйте тот же график, который вы использовали для лиловой трубки, для составления кривой для этих данных (новые экспериментальные точки можно обозначать другим символом). Напишите «синяя трубка» над линией наибольшего соответствия для этих данных.

12. Сравните эту линию с двумя предыдущими. Попробуйте объяснить причины сходств и различий между линиями.

---

---

---

13. На этом шаге преподаватель может попросить вас прерваться и начать обсуждение. Если он не прервет вас, то перейдите к шагу 14 на следующей странице.

14. Разверните бумагу на всех трех трубках для проверки вашего объяснения из 12 шага.
15. Верно ли, что ваша линия наибольшего соответствия для синей трубки действительно пересекает ось  $y$  в точке, которая расположена выше точек пересечения с осью  $y$  для двух других трубок? \_\_\_\_\_
16. Измерьте расстояние от нижней части синей трубки (нулевой отметки) до верхней части ограничителя в трубке. Расстояние: \_\_\_\_\_ (не забудьте указать единицы измерения)
17. Это расстояние должно почти соответствовать отрезку, отсекаемому на оси  $y$  линии наилучшего соответствия для синей трубки.  
Так ли это получилось у вас? \_\_\_\_\_
18. Почему ответ положительный или почему ответ отрицательный?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

***Оставшаяся часть эксперимента может проводиться за пределами лаборатории.***

19. Для каждой из трех трубок, с которыми проводились эксперименты, рассчитайте угловой коэффициент линии наибольшего соответствия. Также заполните пропуски результатами, полученными вами на промежуточных шагах. Не забудьте указать единицы измерения.

**ЛИЛОВАЯ трубка**

Первая точка:      координата  $y$  \_\_\_\_\_      координата  $x$  \_\_\_\_\_

Вторая точка:      координата  $y$  \_\_\_\_\_      координата  $x$  \_\_\_\_\_

приращение функции = \_\_\_\_\_      приращение аргумента = \_\_\_\_\_

угловой коэффициент = \_\_\_\_\_

**КРАСНАЯ трубка**

Первая точка:      координата  $y$  \_\_\_\_\_      координата  $x$  \_\_\_\_\_

Вторая точка:      координата  $y$  \_\_\_\_\_      координата  $x$  \_\_\_\_\_

приращение функции = \_\_\_\_\_      приращение аргумента = \_\_\_\_\_

угловой коэффициент = \_\_\_\_\_

**СИНЯЯ трубка**

Первая точка:      координата  $y$  \_\_\_\_\_      координата  $x$  \_\_\_\_\_

Вторая точка:      координата  $y$  \_\_\_\_\_      координата  $x$  \_\_\_\_\_

приращение функции = \_\_\_\_\_      приращение аргумента = \_\_\_\_\_

угловой коэффициент = \_\_\_\_\_

20. В соответствии с данным экспериментом, какие аргументы вы можете привести в отношении того, что скорость пузырька соответствует угловому коэффициенту для графика зависимости положения от времени?

---

---

В алгебре график, соответствующий графику в данном эксперименте, описывается уравнением:

$$y = mx + b,$$

где  $y$  — значение по вертикальной оси;

$x$  — значение по горизонтальной оси;

$m$  — угловой коэффициент;

$b$  — это точка пересечения с осью  $y$  (также называется точкой пересечения с осью ординат).

21. Запишите уравнения для каждой из трех трубок, с которыми вы проводили эксперименты, заменив в основном уравнении соответствующие значения для углового коэффициента и пересечения с осью  $y$ , а также наименования переменных, представляемых осями  $x$  и  $y$ .

Уравнение для лиловой трубки: \_\_\_\_\_

Уравнение для красной трубки: \_\_\_\_\_

Уравнение для синей трубки: \_\_\_\_\_

22. Заменяя каждое абстрактное обозначение фактическими значениями, полученными в ходе эксперимента, математическое уравнение можно преобразовать в основное уравнение движения. Запишите основное уравнение движения, используя слова «положение», «время», «скорость» и «начальное положение».

---

---

## Таблицы данных

Лиловая трубка

Время (с)	Положение (см)

Красная трубка

Время (с)	Положение (см)

Синяя трубка

Время (с)	Положение (см)

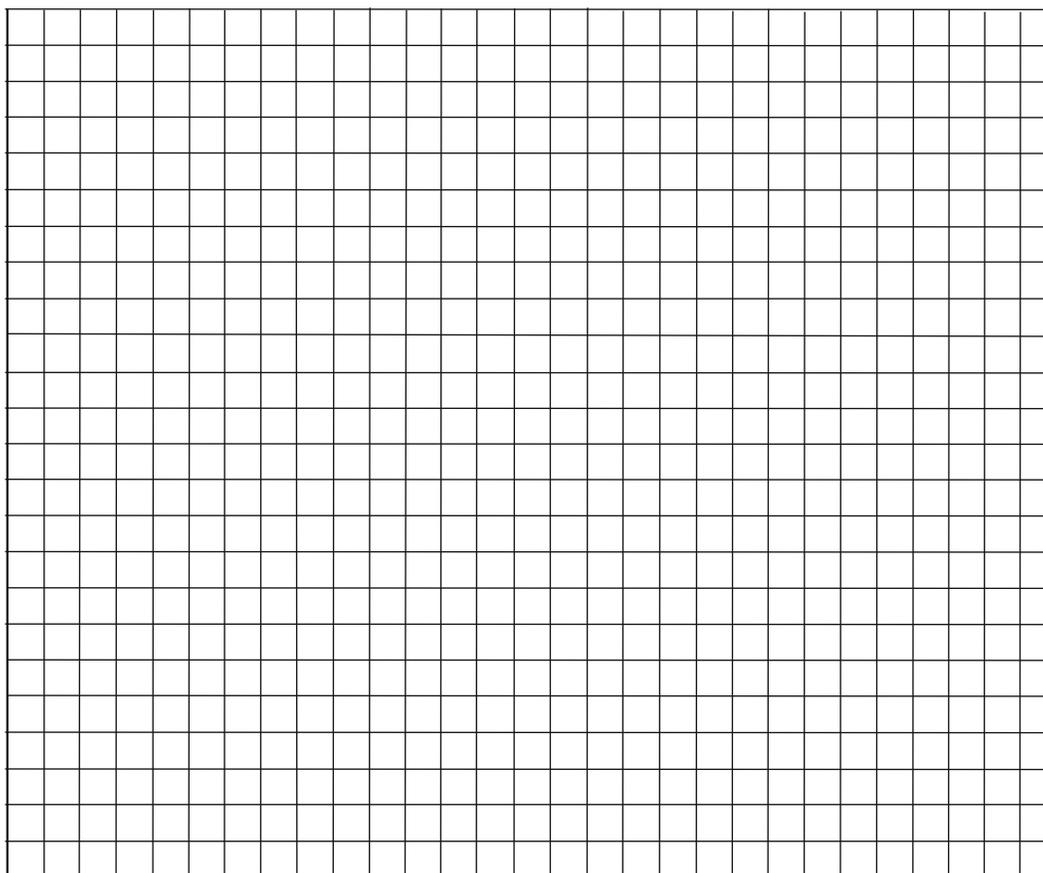
Стальной шарик (часть 2)

Время (с)	Положение (см)

**Тефлоновый шарик (часть 2)**

Время (с)	Положение (см)

**График**



## Эксперимент. Часть 2. Равномерное движение с отрицательной скоростью

### Цель проведения эксперимента

Цель данной части эксперимента заключается в изучении движения двух небольших шариков в процессе их снижения в трубке, наполненной маслом, составлении графика согласно этому движению, а также сравнении графика для данного движения с изученным графиком для поднимающихся пузырьков.

### Порядок действий

1. Возьмите **бесцветную прозрачную** трубку с двумя маленькими шариками (стальным и тефлоновым). Примите к сведению, что на одном конце присутствует малая камера, наполненная воздухом, в которой содержится небольшое количество масла. Это конец, ИЗ КОТОРОГО будут выпадать шарики. Наличие небольшого пузырька воздуха в основной части трубки с шариками — это нормальное явление. Если пузырек превышает размер одного из самих шариков, то обратитесь к преподавателю.
2. Совместно с партнером попрактикуйтесь в замере времени движения стального шарика во время его падения, как указано ниже.
  - a. Удерживайте трубку практически в горизонтальном положении. Конец с небольшой камерой должен быть расположен слегка НИЖЕ остальной части трубки. Затем дайте шарикам дойти до ограничителя камеры и перейти в состояние покоя (см. рис. 4).
  - b. Измерьте расстояние от противоположного конца трубки (нулевой отметки) до начального положения стального шарика. Данная точка будет обозначать положение шарика в нулевой момент времени. Зафиксируйте эту экспериментальную точку в таблице на стр. 13 и отметьте соответствующую точку на графике на стр. 14.
  - c. Ваш напарник должен при этом замерять время по часам (или с помощью секундомера). Выберите временной интервал. Он должен быть достаточно длинным, чтобы стальной шарик начал движение, но при этом достаточно коротким, чтобы шарик не успел достигнуть дна. В удобный момент времени ваш напарник должен сказать «Старт!».
  - d. Быстро поверните трубку в вертикальное положение для того, чтобы стальной шарик начал падать.
  - e. Когда шарик начнет снижаться, поставьте указательный палец руки у нижней части шарика и двигайте палец вместе с шариком. Когда ваш напарник скажет «Стоп!», остановите палец и удерживайте его на месте, чтобы отметить положение шарика по отношению к нулевой отметке (нижней части трубки).

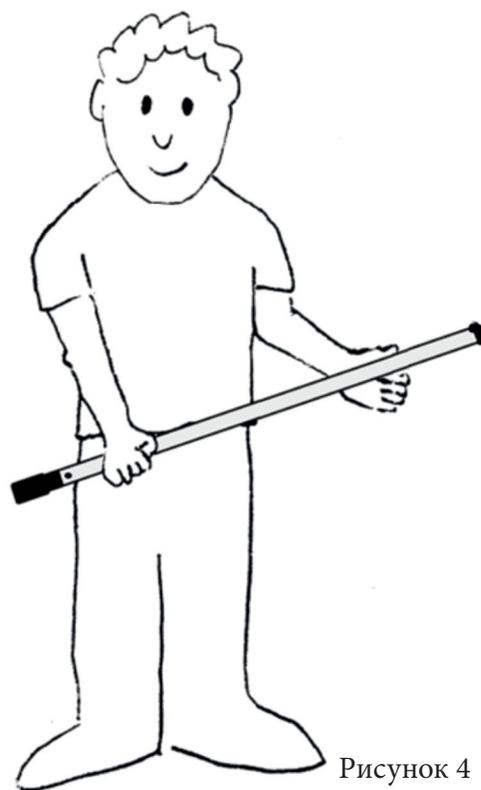


Рисунок 4

- f. Измерьте расстояние от нижней части трубки до точки, где стоит палец.
  - g. Зафиксируйте положение и время перемещения шарика в таблице на стр. 13 и отметьте точку на графике на стр. 14.
3. Выполните вышеописанные шаги для нескольких других временных интервалов. Выберите как минимум один временной интервал. Он должен быть достаточно длинным для того, чтобы шарик оказался практически у дна. Выберите один короткий временной интервал (около 4 секунд). При более коротких временных интервалах будет сложно получить точные результаты. Выберите другие отрезки времени между этими крайними значениями. Запишите полученные значения в таблицу данных. Отмечайте точки по мере выполнения эксперимента и анализируйте формирующуюся кривую. Выберите дополнительные отрезки времени, чтобы попытаться определить значения на основании отсутствующих частей кривой. Внимательно следите за тем, чтобы не сделать очевидные ошибки в процессе нанесения точек. При этом не спешите отбрасывать какие-либо данные.
4. Начертите линию наибольшего соответствия, которая будет максимально приближена к кривой, составленной по отмеченным на графике экспериментальным точкам. Прямая линия, начерченная линейкой, должна достаточно точно соответствовать кривой, составленной по экспериментальным точкам. В противном случае обратитесь к преподавателю за помощью. Пометьте новую линию, написав «трубка со стальным шариком» над линией на графике.

При наличии дополнительного времени однократное или многократное повторение эксперимента с нанесением усредненного положения позволит получить более точный результат для определенного временного отрезка.

5. Примите к сведению, что пересечение с осью  $y$  в данном случае будет начальным положением стального шарика.
6. Теперь повторите шаги 1–5, используя **ту же** трубку, но в этот раз фиксируйте данные для тефлонового шарика в процессе падения. Примите к сведению, что падение начинается примерно в той же точке, что и для стального шарика. С учетом того, что тефлоновый шарик падает достаточно медленно, вы можете выбрать только те промежутки времени, которые будут достаточно короткими, чтобы разместить их на графике. Занесите полученные данные в таблицу на стр. 14. Отметьте данные на графике на стр. 14. Начертите линию наибольшего соответствия, которая будет максимально приближена к кривой, составленной по отмеченным на графике экспериментальным точкам. Пометьте новую линию, написав «трубка с тефлоновым шариком» над линией на графике.
7. Сравните линии наибольшего соответствия для данных, полученных при использовании шариков из стали и тефлона на предмет сходств и отличий. Попытайтесь объяснить причину сходств и отличий. Для каждой из трех трубок, с которыми проводились эксперименты, рассчитайте угловой коэффициент линии наибольшего соответствия. Также заполните пропуски результатами, полученными вами на промежуточных шагах. Не забудьте указать единицы измерения.

---

---

---

*Оставшаяся часть эксперимента может проводиться за пределами лаборатории.*

8. Теперь рассчитайте угловой коэффициент линий наибольшего соответствия для шариков каждого типа. Также заполните пропуски результатами, полученными вами на промежуточных шагах. Не забудьте указать единицы измерения.

**Стальной шарик**

Первая точка: координата  $y$  \_\_\_\_\_ координата  $x$  \_\_\_\_\_

Вторая точка: координата  $y$  \_\_\_\_\_ координата  $x$  \_\_\_\_\_

приращение функции = \_\_\_\_\_ приращение аргумента = \_\_\_\_\_

угловой коэффициент = \_\_\_\_\_

**Тефлоновый шарик**

Первая точка: координата  $y$  \_\_\_\_\_ координата  $x$  \_\_\_\_\_

Вторая точка: координата  $y$  \_\_\_\_\_ координата  $x$  \_\_\_\_\_

приращение функции = \_\_\_\_\_ приращение аргумента = \_\_\_\_\_

угловой коэффициент = \_\_\_\_\_

9. Если вы правильно рассчитали угловой коэффициент этих двух линий, то его значения должны быть отрицательными. Что это говорит о движении шариков?

---



---

Повторим, что в алгебре график, соответствующий графику в данном эксперименте, описывается уравнением:

$$y = mx + b,$$

где  $y$  — значение по вертикальной оси;

$x$  — значение по горизонтальной оси;

$m$  — угловой коэффициент;

$b$  — это точка пересечения с осью  $y$  (также называется точкой пересечения с осью ординат).

10. Запишите уравнения для каждого из двух шариков, с которыми вы проводили эксперименты, заменив в основном уравнении соответствующие значения для углового коэффициента и пересечения с осью  $y$ , а также наименования переменных, представляемых осями  $x$  и  $y$ .

Уравнение для стального шарика: \_\_\_\_\_

Уравнение для тефлонового шарика: \_\_\_\_\_

11. Если вы поместите лиловую трубку с пузырьком напротив прозрачной трубки со стальным шариком и перевернете трубки таким образом, чтобы пузырек в лиловой трубке устремился вверх, а стальной шарик в тот же момент начал падать вниз, когда и где на своем пути они пройдут рядом друг с другом?

Подсказка: вы можете ответить на этот вопрос, посмотрев на построенный вами график \*.

Где: \_\_\_\_\_ (не забудьте для значений указать единицы измерения)

Когда: \_\_\_\_\_ (не забудьте для значений указать единицы измерения)

\* Если вы хорошо знаете алгебру, то вы также сможете ответить на этот вопрос путем решения алгебраического уравнения для нахождения общего значения для двух уравнений, составленных для этих трубок.

12. Как вы определили значения, которые вы привели в ответе на вопрос, заданный на шаге 11?

---

---

13. Проверьте ваши ответы экспериментальным образом. Насколько ваши значения, полученные экспериментальным образом, близки к полученным из графика значениям?

---

---

## Заметки учителя

### Подготовительное упражнение

#### Ответы на вопросы

1. Другие возможные переменные, которые должны сохраняться постоянными, обусловлены используемым резервуаром (возможно отличие массы), используемыми чашечными весами (возможна некорректная или грубая калибровка), двумя различными способами измерения жидкости (например, мензуркой или мерным цилиндром) и температурой окружающей среды.
2. Отмечая на графике крайние значения в начале процесса составления графика, можно быть уверенным в том, что все данные поместятся в графике и угловой коэффициент истинной линии, которая представляет собой соотношение между переменными (предполагая, что это линейное соотношение), будет спрогнозирован более точно.

5. Ответы будут разными.

7. Точка: 200 мл, 1300 г

10. масса =  $m \cdot \text{объем} + b$

11. масса =  $m \cdot \text{объем} + 360 \text{ г}$

12. Ответы могут отличаться в пределах 360 г.

13. а)  $y_1 = 1640 \text{ г}$        $x_1 = 100 \text{ мл}$   
 $y_2 = 3675 \text{ г}$        $x_2 = 250 \text{ мл}$   
 (ответы могут немного отличаться).

б)  $y_2 - y_1 = 2035 \text{ г}$      $x_2 - x_1 = 150 \text{ мл}$   
 (ответы могут немного отличаться).

с) 13,6 г/мл  
 (ответы могут немного отличаться).

д) масса (г) = 13,6 г/мл • объем (мл) + 360 г

14.      объем (мл) = (масса [г] - 3,60 г) / 13,6 г/мл

15. Пересечение с осью y соответствует массе мензурки.

16. Угловой коэффициент представляет собой плотность жидкой ртути. Принятое значение плотности ртути соответствует 13,5 г/мл (при комнатной температуре) или 13,6 г/мл при 0 °С.

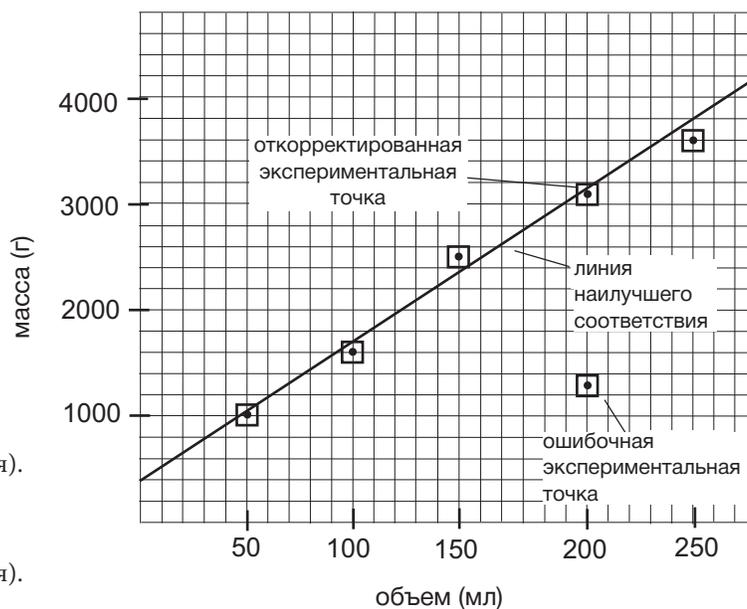
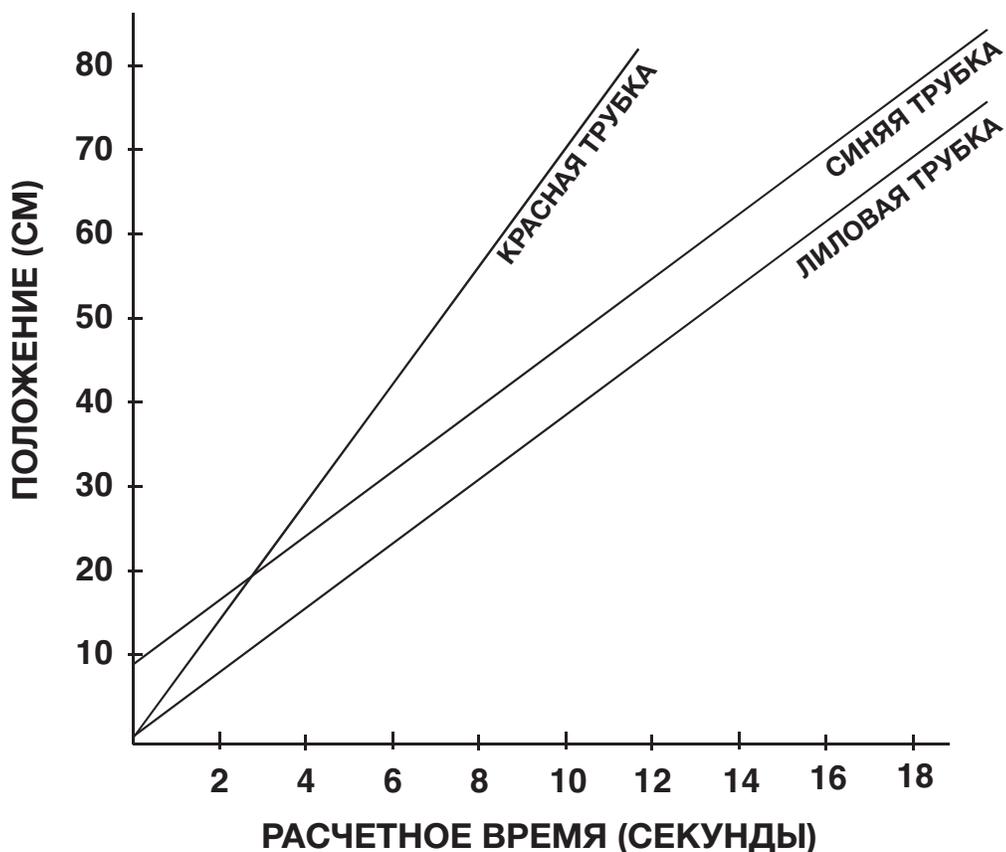


График с нанесенными данными

## Эксперимент. Часть 1

Для сохранения в ходе эксперимента аспекта «исследовательской работы» вам понадобится закрыть концы трубок бумагой перед началом эксперимента. Для этого можно использовать лист бумаги, закрепленный резинками или изоленту. Скотч (или целлофан) очень сложно удалить с трубок.

Пример составленного графика



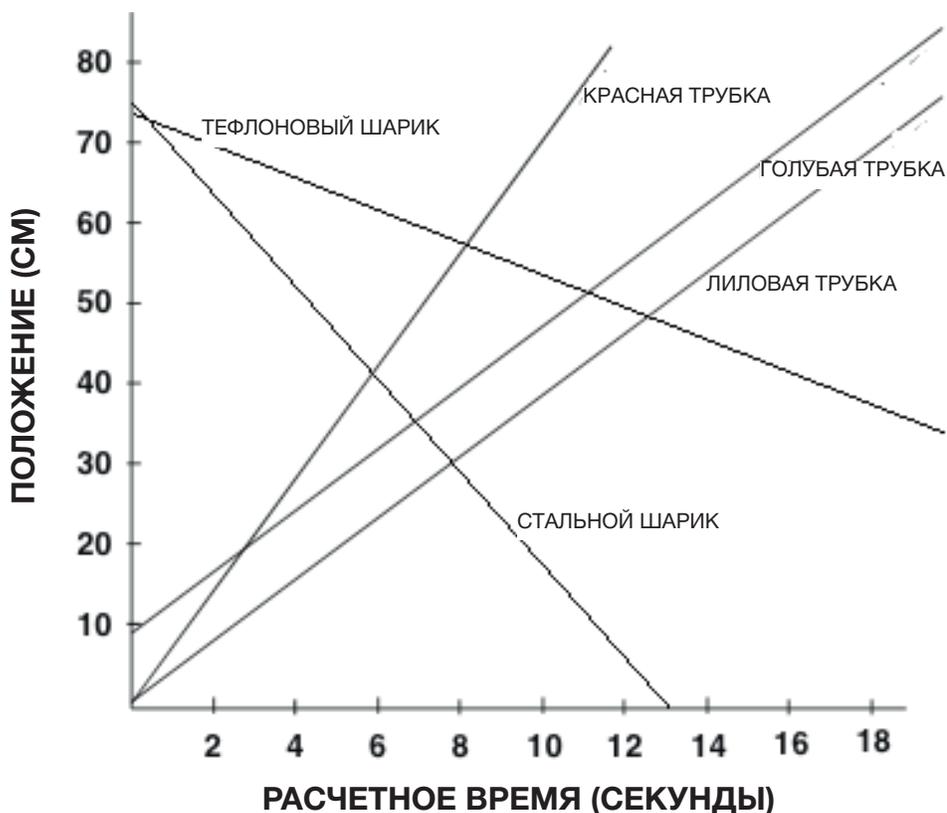
7. Лиловая трубка: 1 см  
Красная трубка: 1 см  
Синяя трубка: 9 см
8. Точка пересечения с осью  $y$  — это положение пузырька в момент времени, равном 0. Проще говоря — это начальное положение пузырька.
10. Линия наибольшего соответствия для пузырька в красной трубке должна быть более крутой, чем для пузырька в лиловой трубке, в связи с большей вязкостью масла, окрашенного лиловым красителем.
12. Линия наибольшего соответствия для пузырька в синей трубке должна иметь такой же угловой коэффициент, как и для пузырька в лиловой трубке.

- 13.** Сейчас настало время обратить внимание на графики учеников и проверить, насколько правильно они выполнили экстраполяцию точки пересечения с осью  $y$  для пузырька в синей трубке. Многие ученики будут «подгонять» данные к начальной точке, особенно по причине того, что для них наблюдение скрыто под бумагой. Это дает преподавателю прекрасную возможность обсудить ценность экстраполяции представленных на графике данных (и опасность необоснованных предположений).
- 15.** Ответы будут разными.
- 16.** 9 см
- 17.** Ответы будут разными.
- 18.** Ответы будут разными.
- 19.** Угловые коэффициенты будут изменяться в зависимости от комнатной температуры.  
Возможные типовые значения:  
угловой коэффициент для лиловой трубки — 3,8 см/с;  
угловой коэффициент для красной трубки — 5,4 см/с;  
угловой коэффициент для синей трубки — 3,8 см/с.
- 20. а)** Большой угловой коэффициент соответствует большей скорости.
- б)** Единицы измерения углового коэффициента соответствуют единицам измерения скорости.
- с)** *Приращение функции* — это изменение положения в течение временного интервала, а *приращение аргумента* — это время, за которое произошло изменение положения.  
*Приращение функции, деленное на приращение аргумента, соответствует средней скорости.*
- 21.** Положение лиловой трубки = 3,8 см/с • время + 1 см  
Положение красной трубки = 5,4 см/с • время + 1 см  
Положение синей трубки = 3,8 см/с • время + 6 см
- 22.** положение = скорость • время + начальное положение

## Эксперимент. Часть 2

Не покрывайте бумагой какие-либо части бесцветной прозрачной трубки (со стальным или тефлоновым шариком).

Пример графика



- Обе линии наибольшего соответствия должны иметь отрицательный угловой коэффициент, при этом линия для стального шарика должна быть более крутой. В обоих случаях начальные точки должны находиться в пределах сантиметра друг от друга.
- Угловые коэффициенты (скорости) будут изменяться в зависимости от комнатной температуры. Возможные типовые значения:
  - стальной шарик —  $-5,54$  см/с;
  - тефлоновый шарик —  $-1,38$  см/с.
- Отрицательный угловой коэффициент свидетельствует о том, что шарики движутся вниз, поскольку в выбранной системе координат направление вверх — положительное.
- Положение стального шарика =  $-5,54$  см/с + 74 см
  - Положение тефлонового шарика =  $-1,38$  см/с + 74 см

**11.** И вновь, ответы будут изменяться в зависимости от комнатной температуры. Возможны типовые значения, указанные ниже.

Где: 31 см

Когда: 8 сек

**12.** Ответы будут разными.

**13.** Ответы будут разными.

