



Осенний дождь

Типичная осенняя белорусская погода – мелкий моросящий дождь! Такая погода часто наводит уныние, но... может послужить прекрасной темой для физических исследований! Во всех пунктах данной задачи считайте, что ускорение свободного падения равно $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Часть 1. Компьютерный эксперимент.

Капли падают в воздухе, поэтому во время падения на них действует сила сопротивления воздуха. Будем считать, что эта сила пропорциональна квадрату скорости. Через некоторый промежуток движение капли становится равномерным с некоторой установившейся скоростью u .

Направим ось координат Ox вертикально вниз. В момент времени $t = 0$ координата капли $x_0 = 0$, ее скорость $v_0 = 0$.

1.1 Запишите формулу, описывающую зависимость ускорения капли a от ее скорости v . В этой уравнение в качестве параметров должны входить только ускорение свободного падения g и скорость установившегося движения u .

Разгон капли не является равноускоренным! Поэтому строго рассчитать зависимости скорости и координаты капли от времени сложно. Но... можно провести приближенный (с малой погрешностью) компьютерный расчет. Для этого надо разбить время движения на малые промежутки времени Δt , в пределах которых можно пренебречь изменением ускорения. Рассмотрим движение в течение интервала времени от t_k до $t_{k+1} = t_k + \Delta t$. Допустим, нам известно значение скорости v_k и координаты капли x_k в момент времени t_k . Это позволяет рассчитать ускорение в этот момент времени a_k . Считая это ускорение постоянным в течение рассматриваемого промежутка времени, можно рассчитать значение скорости v_{k+1} и координаты капли x_{k+1} .

1.2 Запишите формулы, позволяющие по известным значениям a_k, v_k, x_k и Δt рассчитать значения v_{k+1}, x_{k+1} .

1.3 Проведите расчет падения капли (зависимостей скорости капли $v(t)$ и ее координаты $x(t)$ от времени) при $u = 3,00 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ и $\Delta t = 0,050 \text{с}$ за 1 секунду падения. Результаты расчетов приведите в таблице листа ответов. Постройте графики полученных зависимостей.

1.4 Укажите, начиная с какого момента времени t^* движение капли можно считать равномерным. Считайте, что движение можно считать равномерным, если скорость отличается от установившейся скорости не более, чем на 5%. Укажите координату точки в этот момент времени x^* .

Часть 2. Реальный эксперимент.

В этой части работы Вам необходимо провести измерения с помощью прилагаемых фотографий, расположенных в листах ответов. Непосредственно на всех фотографиях, которые Вы используете, укажите стрелками (нарисуйте) те величины, которые Вы измеряли. Результаты измерений занесите в соответствующие таблицы. Обязательно приведите формулы, по которым проводятся расчеты.

2.1 Падение капель.

Для изучения падения капель была использована капельница, из которой через равные интервалы падают одинаковые капли воды.

На фото 1 приведена фотография падающих капель. Для определения их положений установлена вертикальная линейка. Так как капли движутся, то их изображение оказывается смазанным. Пунктирными линиями отмечены верхние x_k и нижние границы y_k изображения капель. Если при печати фотографий сами капли плохо видны, то пользуйтесь указанными границами. Нумерацию капель удобно начать с нуля. Верхнюю границу «нулевой капли» примите за начало отсчета.

2.1.1 Измерьте координаты верхних и нижних границ капель. Результаты измерений занесите в таблицу.

Обозначим τ - интервал времени между отрывами последовательных капель (считайте его постоянным). Обозначим Δt - время экспозиции фотографии (время, в течение которого проводится фотографирование). Предположим, что движение капель является равноускоренным с ускорением свободного падения $g = 10 \frac{M}{c^2}$. Фотография сделана, когда все капли (в т.ч. и «нулевая») имеют некоторую скорость. Начальную скорость нулевой капли обозначим V_0 (т.е. ее скорость в момент начала съемки).

2.1.2 Получите формулы, описывающие зависимости координат верхней x_k и нижней y_k границ капель от их номера k .

2.1.3 Придумайте такие функции $X_k(x_k, k)$ и $Y_k(y_k, k)$, чтобы их зависимость от номера капли была линейной. Постройте графики этих линеаризованных зависимостей.

2.1.4 По результатам измерений рассчитайте среднее время между отрывами капель τ . Оцените погрешность найденного значения.

2.1.5 Рассчитайте начальную скорость V_0 «нулевой» капли.

2.1.6 Рассчитайте время экспозиции Δt (время в течении которого проводилась съемка данной фотографии).

2.1.7 Используя фото 2, рассчитайте среднее время между отрывами капель, показанных на этом фото.

2.1.8 Используя все имеющиеся данные, рассчитайте время между отрывами капель τ . Оцените погрешность найденного значения.

2.2 Волны на воде.

На фото 3 приведено изображение волн на поверхности воды в неглубокой тарелке, образующихся при падении капель из капельницы. Интервал между падениями капель такой же, как в предыдущей части работы.

2.2.1 Используя фото 3, рассчитайте скорость распространения волн на поверхности воды.

Укажите, какие величины вы измеряли по фотографиям, результаты измерений приведите в таблице, для обработки результатов и расчета скорости рекомендуем представить результаты в графической форме.

2.3 Измерение дождя.

На фото 4 приведена фотография волн на поверхности лужи во время дождя. Считайте, что скорости волн на поверхности луж равны измеренной скорости волн в тарелке.

2.3.1 Используя приведенную фотографию, оцените интенсивность дождя: высоты слоя воды (в мм), который образуется на поверхности земли за 1 час.

Считайте, что диаметр каждой капли равен 1 мм. Фронтальный размер участка лужи на фото считайте равным 1 м.

Не забудьте указать, какие величины Вы измеряли, и привести формулы, по которым проведен расчет.