



## 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  $g = 10 \frac{м}{с}$ .

### 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  $\Delta t$ , 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  $\Delta t$  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  $u = 3,00 \frac{м}{с}$  и  $\Delta t = 0,050 с$  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  $\tau$  - интервал времени между отрывами последовательных капель (считайте его постоянным). Обозначим  $\Delta t$  - 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  $\tau$ . Оцените погрешность найденного значения.

2.1.5 Рассчитайте начальную скорость  $V_0$  «нулевой» капли.

2.1.6 Рассчитайте время экспозиции  $\Delta t$  (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  $\tau$ . 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.

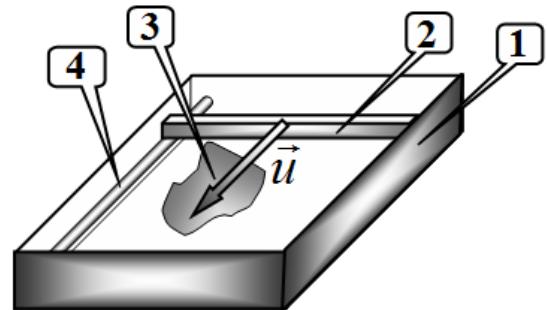
Фронтальный размер участка лужи на фото считайте равным 1 м.

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

## Сканирование движущихся объектов.

### Часть 1. Сканер – стробоскоп.

Принцип работы сканера известен (см. рис): в прямоугольном корпусе 1 по направляющим 4 с постоянной скоростью движется считывающая каретка 2, которая освещает узкой полоской света находящуюся сверху рабочую прозрачную поверхность, на которой находится сканируемый объект 3. Получаемое при этом изображение заносится в память компьютера.



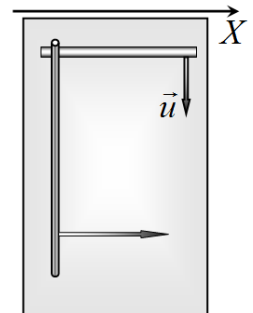
Скорость движения каретки постоянна и равна  $u = 30 \text{ мм/с}$ . На рисунках стрелкой указано направление движение каретки сканера.

А если сканируемый объект движется? В этом случае части (узкие освещаемые полоски) будут зафиксированы в тот момент, когда под ними проходит считывающая каретка, соответственно изображение объекта будет искажено. Однако эти искаженные изображения можно использовать для изучения законов движения тел, перемещающихся вблизи рабочей поверхности сканера.

#### 1.1 Скатывание стержня

Сканер слегка наклонили и положили на его рабочую поверхность круглый стержень. Стержень скатывается в направлении, перпендикулярном направлению движения каретки.

На рис. 1 приведена фотография скатывающегося стержня.  
*Цена деления сетки – 5,0 мм.*

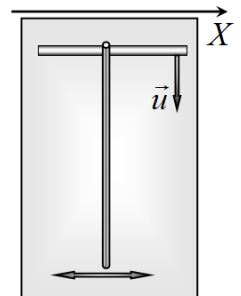


- 1.1.1 Укажите на этом рисунке направление движения стержня.  
1.1.2 Покажите, что движение стержня можно считать равноускоренным.  
1.1.3 Найдите ускорение стержня. Оцените погрешность найденного значения.

#### 1.2 Поступательное колебание стержня.

Тяжелый металлический стержень, подвешенный на длинных нитях, колеблется поступательно (то есть без вращения) вблизи рабочей поверхности сканера (см. рис). Направление колебаний стержня перпендикулярно направлению движения каретки. Положение стержня определяется координатой  $x$ , ось которой показана на рисунке.

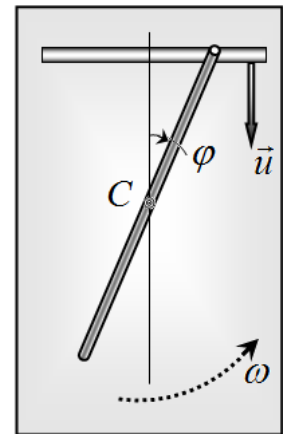
На рис. 2 показана получившаяся фотография колеблющегося стержня. На этом же рисунке – полоска миллиметровой бумаги.



- 1.2.1 Определите период колебаний стержня с максимально возможной точностью. Оцените погрешность найденного значения.

### 1.3. Вращение стержня

Стержень вращается вокруг неподвижной вертикальной оси  $C$  над рабочей поверхностью сканера. Фотография движения приведены на рис. 3. *Цена деления сетки – 5,0 мм.*



- 1.3.1 Определите графически положение оси вращения стержня  $C$ . Укажите, в какую сторону вращается стержень.
- 1.3.2 Определите среднюю угловую скорость вращения стержня  $\omega$  с максимально возможной точностью. Оцените погрешность найденного значения.

## Часть 2. Телевизор-стробоскоп.

Большие возможности для изучения периодических процессов представляет экран телевизора, который может выступать как пространственный стробоскоп.

Дело в том, что каждая точка экрана телевизора высвечивается в определенный момент времени, а именно тогда, когда на нее попадает электронный луч кинескопа. Изображение формируется как затемнение, т.е. перекрытие излучения от точки луча электронно-лучевой трубки предметом (или его частью). Поэтому мы видим движущийся на фоне экрана предмет не мгновенно и целиком: его различные части высвечиваются в разные моменты времени, поэтому видимое изображение может сильно отличаться от реальной формы движущегося предмета!

Изображение на экране телевизора формируется с помощью кадровой и строковой развертки.

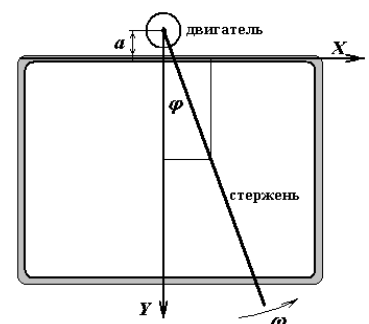
Время развертки одного кадра:  $T_0 = 0,02c$  (25 кадров в секунду).

Можно считать, что один кадр состоит из 312 горизонтальных строк, вдоль которых равномерно движется луч, временем перехода луча к началу следующей строки можно пренебречь.

Считайте, что на всех фотографиях экран телевизора изображен полностью.

### 2.1 Равномерное вращение стержня, ось вращения сверху от экрана.

Для проведения этого эксперимента мы прикрепили длинный прямой стержень к валу электродвигателя, который расположили над экраном телевизора. При достаточно быстром вращении стержня на фоне экрана телевизора наблюдалось несколько изображений положений стержня, причем каждое из них оказалось изогнутым (Рис.5).



- 2.1.1 Используя фотографию вращающегося стержня, определите с максимально возможной точностью угловую скорость вращения стержня. Оцените погрешность найденного значения.

**2.2 Колебания вертикально расположенной струны.**

Струна натянута вертикально и совершает поперечные колебания в горизонтальном направлении на фоне экрана телевизора. Колебания струны описываются функцией:

$$X(t, y) = A \sin\left(\pi \frac{y}{L}\right) \cos(\omega t),$$

где  $L$  - высота экрана телевизора.

На фото 5 приведено полученное изображение этой струны.

2.2.1 Используя приведенную фотографию, рассчитайте частоту колебаний струны. Оцените погрешность найденного значения.