

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ФИЗИЧЕСКИХ ОЛИМПИАД

Статья посвящена организации и методике проведения экспериментальных задач во время проведения физической олимпиады. В работе рассматриваются типы задач, имеющие определенный уровень сложности. Приводятся основные правила оформления экспериментальных задач, а также соответствующая методика проведения физического эксперимента.

Измерения, которые будет проводить экспериментатор, можно разделить на две группы: предварительные и контрольные. Предварительные измерения нужны для того, чтобы выяснить, имеются ли непредсказуемые и неустраняемые отклонения измеряемой величины от одного-единственного значения, и оценить величины этих случайных отклонений. Кроме того, предварительные измерения позволяют оценить среднее значение измеряемой величины и «прикинуть» количество необходимых измерений для получения максимально возможной точности с данными приборами. Предварительные измерения и их анализ дают информацию для уточнения плана действий и правильного распределения времени (ограниченного обычно 2 часами) на одну экспериментальную работу. Если по составленному экспериментатором плану предполагается провести много измерений, то следует заготовить таблицу для внесения в неё экспериментальных значений. Столбцы таблицы предусмотрены для значений измеряемых величин и для погрешностей этих же величин.

Отчёт должен начинаться заголовком и развёрнутой формулировкой поставленной задачи. Затем следует список предоставленного экспериментального оборудования. Обычно запрещается использовать какие-либо предметы и приборы, не указанные в списке. Однако сам экспериментатор, стол, стул, расположенные рядом стены находятся в аудитории, а тетрадь с листами в клеточку внутри, авторучка, карандаш или линейка (уголок) приносятся экспериментатором с собой и по умолчанию тоже входят в состав оборудования, разрешённого к использованию.

Далее следует краткое теоретическое рассмотрение физического явления, в котором играют роль физические величины, подлежащие измерениям. На основе теоретического рассмотрения предлагается метод измерений или описывается последовательность операций, которые нужно выполнить, чтобы найти ответ на поставленный вопрос. В частности, могут быть приведены формулы для вычисления величин, которые нельзя получить прямыми измерениями. Следует также подробно описать используемые приёмы, предназначенные для уменьшения возможных ошибок и увеличения точности измерений. В частности, если проводится много измерений для нахождения среднего значения, очень полезно указать, каким способом оценено число измерений, которые необходимо провести для получения заданной точности.

Возможно, что для нахождения ответа на поставленный вопрос требуется использовать графическое представление каких-либо зависимостей. В этом случае следует рационально использовать выданную миллиметровую бумагу. На координатных осях обязательно следует указать размерности физических величин, нанести метки, соответствующие делениям шкалы. Масштабы по осям нужно выбрать так, чтобы график занимал по возможности большую площадь на листе бумаги. Экспериментальные результаты, нанесённые в виде меток на миллиметровую бумагу, должны снабжаться указателями погрешностей (кресты ошибок).

Если величины, откладываемые по осям, связаны степенной зависимостью, то по осям графика желательно откладывать значения физических величин в такой форме

(с такими показателями степеней), чтобы получившийся график был прямой линией. На графике можно помещать комментарии, которые поясняют смысл нарисованного.

В конце отчёта обычно приводятся «выводы». Если требовалось найти значение какой-либо величины, следует указать её измеренное (вычисленное) значение и указать погрешности. Если просили установить какую-то зависимость одной величины от другой, следует привести график и (если это возможно) формулу, которая связывает указанные величины.

Если нужно было установить содержимое «чёрного ящика», следует привести разгаданную схему и параметры деталей, находившихся внутри «чёрного ящика», которые предлагалось найти. Можно дополнительно указать, что при измерениях применялось только разрешённое к использованию оборудование.

Скатывающиеся шарики

Стальной шарик отпускают без начальной скорости на поверхности стального наклонного жёлоба, и он скатывается по жёлобу с некоторой высоты. Задание: определите зависимость приобретаемой центром шарика скорости от высоты, с которой он скатывается. Считать $g = 9,81 \text{ м/с}^2$. Оборудование: стальные шарики 10–2 мм (3 шт), штатив с креплениями, прямой жёлоб 1 м, насадка на жёлоб, искривляющая траекторию движения шарика, картонная коробка (ловушка для шариков), листы белой бумаги (3 шт), лист копировальной бумаги, линейка с миллиметровыми делениями 40 см.

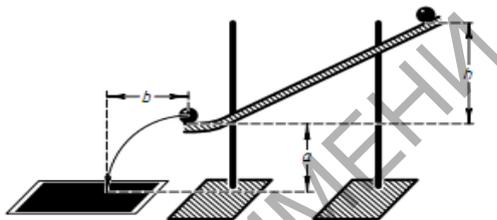


Рисунок 1 – Скатывающиеся шарики

Решение. Жёлоб крепится на штативе в наклонном положении. К жёлобу присоединяется «кривой» участок. Наклон жёлоба выбирается таким, чтобы касательная, проведённая к жёлобу в конце изогнутого участка, принимала горизонтальное положение. Этот конец изогнутого участка жёлоба располагается на некоторой высоте над столом (рисунок 1). Шарики отпускаются в разных местах наклонного участка жёлоба без начальной скорости. Оторвавшись от жёлоба, шарик пролетает перед ударом о стол некоторое расстояние по горизонтали. Места падения шариков фиксируются на листах белой бумаги с помощью расположенного сверху листа копировальной бумаги. Для каждой высоты проводится несколько «пусков» шарика. Результаты (длины полётов по горизонтали) усредняются. Скорость, приобретённая центром шарика при скатывании с высоты h , меньше величины $\sqrt{2gh}$. Это связано с тем, что шарик движется не поступательно, а катится, то есть у него кинетическая энергия связана и с поступательным, и с вращательным движением.

Взвешивание – 1

Задание: измерьте массу выданного вам предмета.

Оборудование: динамометр 0–4 Н, прочная тонкая капроновая нить длиной 1 м, миллиметровая бумага, штатив с кронштейнами. Масса предмета больше 1 кг. Можно, например, выдать пластиковую бутылку с насыпанным в неё песком.

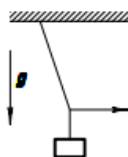


Рисунок 2 – Груз на нити (взвешивание – 1)

Решение. Следует прикрепить предмет примерно к середине нити. Один конец нити закрепить на штативе, а за свободный конец нити, сделав на нём предварительно петельку, тянуть с помощью динамометра горизонтально. При этом предмет не касается стола, а висит рядом с ним. Участок нити, соединяющей динамометр и предмет, должен располагаться параллельно столу, то есть горизонтально (рисунок 2). С помощью миллиметровой бумаги можно измерить тангенс угла α , который составляет наклонный участок нити с вертикалью. Если динамометр показывает значение силы F , то масса предмета равна: $M = (F/g) \operatorname{tg} \alpha$

Взвешивание – 2

Задание: измерьте массу выданного вам предмета.

Оборудование: динамометр 0–4 Н, лёгкая тонкая капроновая нить длиной 2 м, миллиметровая бумага, два штатива с кронштейнами.

Масса предмета меньше 5 г. Можно, например, выдать металлическую скрепку или колпачок от шариковой ручки.

Решение. Один конец нити нужно закрепить на одном штативе, а за свободный конец нити, сделав на нём предварительно петельку, тянуть с помощью динамометра горизонтально. Динамометр закрепляется на втором штативе. Следует расположить нить по возможности ближе к поверхности стола, чтобы с помощью миллиметровой бумаги можно было проверить её «горизонтальность» и измерять расстояние от нити до поверхности стола. Затем предмет помещается на середину нити. При этом предмет не касается стола, а висит над ним. Нить провисла. С помощью миллиметровой бумаги можно измерить тангенс угла α , который теперь составляют участки нити с горизонталью (рисунок 3). Если динамометр показывает значение силы F , то масса предмета равна: $M = 2(F/g) \operatorname{tg} \alpha$.

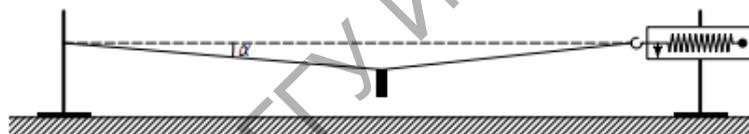


Рисунок 3 – Груз на нити (взвешивание – 2)

Взвешивание – 3

Задание: найдите отношение масс монеты и тетрадного (двойного) листка бумаги.

Оборудование: монета 1 коп или 2 коп, имеющая массу в граммах, примерно соответствующую своему номиналу в копейках 1. Двойной лист из школьной тетради («в клеточку»), карандаш или авторучка с цилиндрическим корпусом.

Решение. Лист бумаги при проведении эксперимента будет одновременно служить и рычагом и измерительной линейкой. Из двойного листа складывают, обеспечивая ему жёсткость, конструкцию, имеющую в поперечном сечении форму «швеллера». Желательно, чтобы этот швеллер имел по возможности большую длину, то есть самый «выгодный» способ сложения — это такой, при котором длина конструкции будет равна длине диагонали двойного листа. Швеллер уравнивают на круглом корпусе карандаша, лежащего на столе. Для нахождения положения равновесия швеллера в горизонтальном положении карандаш можно плавно «перекатывать» пальцем. Место контакта бумажного швеллера и карандаша отмечается. Первая отметка позволяет определить горизонтальную координату центра масс листа бумаги, сложенного швеллером. Затем на одном из концов швеллера закрепляется монета, и снова ищется положение карандаша, при котором швеллер вместе с монетой будет находиться в горизонтальном положении в равновесии. И в этом случае отмечается место контакта карандаша и бумаги.

Для получения второго результата можно перенести монету на другой конец швеллера и проделать такую же операцию по уравниванию бумаги в горизонтальном положении. После получения отметок, соответствующих координатам расположения на оси швеллера центра масс (листа бумаги вместе с монетой), лист бумаги можно развернуть и «по клеточкам» (с использованием теоремы Пифагора) измерить расстояния от мест контакта до места расположения центра монеты. Плечи рычагов на бумаге измеряются с хорошей точностью. При длине плеч около 100–50 мм ошибка в 1 мм при определении положений центра масс даёт точность не хуже 2 % (рисунок 3).

Диаметр иглы

Найдите внутренние диаметры отверстий игл от шприца и установите зависимость расхода воды (мл/с) через каждую иголку от разницы давлений на входе в отверстие и выходе из отверстия. Оборудование: штатив с креплениями, шприц 50 мл с двумя иглами с разными диаметрами и с разными длинами, два отрезка по 1,5 м каждый пластиковой трубки с диаметром внутреннего отверстия 2–3 мм, тройник, зажимы для трубок, сосуды для воды, нить 1 м, гирька 10 г, миллиметровая бумага.

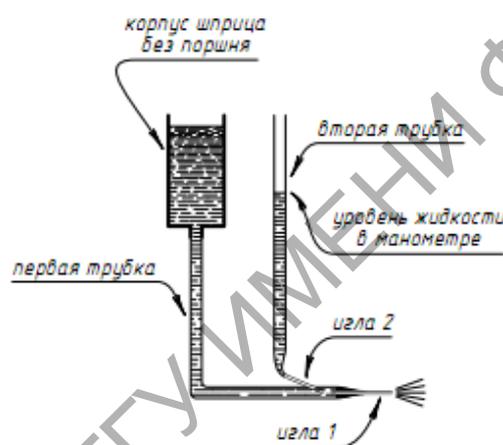


Рисунок 4

Решение: из нити и грузика изготавливается «секундный» маятник – он будет использоваться для измерения времени. Собирается установка, в которой одна трубка используется для переливания воды, а вторая трубка используется в качестве манометра. Иголки по очереди присоединяются к одному из выходов тройника, а к двум другим выходам присоединяются трубки. К верхнему отверстию одной из трубок присоединяется штуцер шприца. Вторая трубка располагается так, чтобы её открытый конец был на уровне или немного выше шприца (рисунок 4).

Шприц закрепляется на штативе на заданной высоте и заполняется водой. Затем открывается зажим, и вода перетекает из шприца в нижний сосуд. По разности высоты воды в трубке (манометре) и высоты места подключения этой трубки к тройнику вычисляется давление на входном отверстии иглы. По времени перетекания через иглу определённого объёма воды можно вычислить диаметр внутреннего отверстия иглы.

Чтобы уменьшить погрешность измерения, нужно после заполнения шприца водой установить его в наклонное положение и по мере вытекания воды наклонять шприц так, чтобы уровень воды в нём находился на одной и той же высоте h_1 и одновременно место подключения к шприцу трубки тоже находилось на одной и той же (другой) высоте h_2