

1. Линейные измерения

Этой теме посвящено несколько занятий. Каждое занятие начинаем с подробного отчёта, что каждый учащийся сделал дома. Какой объект он измерял, каким инструментом. Сделал ли всё так, как предлагает задачник, или что-то изменил. Что получилось в результате.

Выясняется, что очень немногие выполнили буквально указания из задачника. Большинство выбрало более сложные объекты для измерения. Мы этим сразу воспользовались, чтобы в процессе обсуждения ввести начатки классификации измерений - прямые и косвенные измерения. Если ученик измерял длину настенного ковра с помощью метровой линейки, то ему пришлось измерить несколько отрезков ковра, а потом длины этих отрезков сложить. Это косвенное измерение. Более сложное косвенное измерение – были измерены три ребра пластикового футляра для аудиокассеты. Каждое ребро получено прямым измерением, а если вычислить объем футляра, то будет выполнено косвенное измерение.

Данную классификацию дети понимают и усваивают сразу, но, конечно, не понимают – зачем она. Пока не задерживаемся на этом. Стремимся не растерять тепло накопленного и обсужденного измерительного опыта, чтобы наброситься на детей с жутко сложной идеей ошибок измерений.

Идея 1 преподносится в агрессивной манере. Вы все получили результаты. Все молодцы, всем спасибо. Но вот что огорчительно – такие результаты (изображаемые одним числом с размерностью) могут удовлетворить нас только в быту. Измерили длину карандаша, длину и ширину ковра – и ладно, теперь о карандаше и о ковре известно чуть больше, чем при простом взгляде на них. Добыли новую информацию о них. И пока ещё не обратили внимания на то, что наряду с информацией к нам пришла дезинформация. Каждый измерительный инструмент имеет неточности в изготовлении и в градуировке, он насколько-то врёт. Каждый, кто пользуется измерительным инструментом, допускает свои неточности в процессе измерения. И та, и другая неточности в сумме дают ошибку измерения. Возникает неопределённость.

Если мы работаем на заказчика, выполняем для него измерение, то будет просто не порядочно за его деньги снабжать заказчика дезинформацией – выдать ему точное число с размерностью, но не предупредить о неопределённости, содержащейся в результатах измерения. Поэтому принято изображать результат измерения как минимум двумя числами. Эти два числа изображают интервал возможных значений измеренной величины. Мы должны честно сказать заказчику: мы так и не узнали, какой размер X имеет этот предмет, но мы совершенно уверены, что он не короче x_1 и не длиннее x_2 . Записывается это так

$$X = x_1 \div x_2. \quad (1-1)$$

А чаще так

$$X = x \pm \Delta x, \quad (1-2)$$

где

x - отсчёт по прибору в случае прямого измерения, либо результат вычисления для косвенного измерения;

$$\Delta x = (x_2 - x_1)/2.$$

Обе записи изображают интервал $x_1 \div x_2$, в котором содержится истинная, но неизвестная нам длина измеренного предмета. Величина Δx называется погрешностью измерения.

Эту идею не иллюстрируем искусственными простыми примерами, а пользуемся принесёнными из дома результатами измерений. Сразу же знакомим учащихся с другой важнейшей идеей.

Идея 2 состоит в том, что погрешность измерения Δx никогда не может быть указана уж очень точно. И никто не может с умным видом указать нам точное значение погрешности. Всегда приходится самому быть умным человеком и сообразать, какова же погрешность в данном конкретном измерении. На принесённом из дома материале учимся определять погрешности инструментов и самих измерений. Учимся записывать результаты в виде (1-2) с указанием размерности.

Даём **домашнее задание**: повторить проделанные измерения, но сообразить, какова погрешность измерения и представить результаты так, как это принято в науке и технике, в форме (1-2).

Задание совершенно понятно детям. И понятно, что в нём есть нечёткость – не сказано, как оценивать погрешность измерения - каждый дома влезть в шкуру того самого умного человека, который на свой страх и риск решает этот вопрос.

Следует отметить, что в первый момент дети воспринимают идею 1 настороженно. Но по ходу дела, когда мы бросаем новый взгляд на принесённые ими результаты, идея для них проясняется. Более трудная идея 2 не вызывает особых затруднений, поскольку она иллюстрируется совместным обсуждением свойств уже знакомого ребёнку инструмента и процесса измерения.

На закуску частично открываем детям секрет, для чего же всё это нужно. Сообщаем следующую идею.

Идея 3. Обычно результат отдельного измерения сам по себе никому не нужен. Чаще всего делают несколько измерений похожих объектов и сравнивают их друг с другом. Из-за ошибок измерений одинаковые объекты могут показаться различающимися, а разные по длине объекты – одинаковыми. В такой ситуации вырывают результаты измерений, представленные в форме (1-1). Если интервалы для двух результатов перекрываются, то невозможно утверждать, что длины различаются, хотя отсчёты по приборам немного различаются. Если же интервалы не перекрываются, то можно с уверенностью сказать – это разные длины, несмотря на наличие неопределённости в измерениях.

Для иллюстрации этой идеи предлагаем тут же в классе измерить рост нескольких учеников и сравнить их по росту. Дети охотно участвуют в этом измерительном эксперименте. Мы обсуждаем возможность продолжения эксперимента с целью выяснения особенностей роста детей с течением времени. Посмотрим, получится ли у нас такое реальное исследование.

На следующем занятии по данной теме проверяем домашнее задание и убеждаемся, что все учащиеся достаточно разумно подошли к оценке погрешности своих измерительных инструментов. Некоторые даже заметили, что погрешность измерения обусловлена также и возможной неопределённостью в действиях оператора, работающего с инструментом.

Теперь ещё раз пробегаем по результатам проделанной дома и в классе работы и отмечаем, что измерения бывают прямыми и косвенными. Эту классификацию учащиеся усваивают очень легко. Немного больше времени и сил надо потратить на осознание наблюдения, как соотносятся погрешности прямых и косвенных измерений. Подробно рассматриваем два случая из уже проделанных отдельными учащимися работ.

Случай 1. Линейкой можно измерить длину короткого предмета. Это прямое измерение, и его погрешность равна погрешности линейки. Той же линейкой измеряем такой длинный предмет, что линейку придётся приложить несколько раз. Во столько же раз увеличится погрешность.

Случай 2. Линейкой можно измерить диаметр сравнительно тонкого провода, если провод намотать на стержень. Если намотка составляет n витков, то ошибка измерения длины всей намотки равна погрешности линейки. Но погрешность диаметра провода будет в n раз меньше.

Делаем вывод, что хитро организованное косвенное измерение может помочь увеличить точность результата.

Даём **домашнее задание**: повторить проделанные измерения, но усложнить их так, чтобы результаты получались из косвенных измерений. То есть для тел сложной формы определить такие геометрические характеристики, как периметр, площадь, объём. Попытаться оценить погрешности косвенных измерений.

Внимание! В этом домашнем задании кроется некорректность: мы ещё не дали всех типовых приёмов оценки погрешностей косвенных измерений. Посмотрим, заподозрят ли дети что-нибудь им неизвестное.

Для закрепления идеи использования косвенных измерений предлагаем прямо в классе проделать две практические работы.

Работа 1. Определить толщину обмазки на стандартном электроде для электросварки. Это делается с помощью штангенциркуля. Обращаем внимание на наличие необмазанной части электрода, откуда можно узнать диаметр металлического стержня. Просим проверить, по всей ли длине обмазки её диаметр одинаков. Это нужно, чтобы решить, нужно ли учитывать случайные погрешности, связанные с неправильностями формы. Оказалось, что в классе уже есть учащиеся, умеющие пользоваться штангенциркулем с точностью нониуса $\Delta = 0,1$ мм.

Проделав работу, получили результат – штангенциркуль по всей длине обмазки даёт один и тот же отсчёт $d_{об}$. Диаметр металлического стержня $d_{ст}$. Вычисляем толщину

обмазки $h = 0,5(d_{об} - d_{ст})$ и находим $\Delta h = 0,5(\Delta d_{об} + \Delta d_{ст}) = 0,1$ мм.

Работа 2. Определить толщину изоляции медного монтажного провода. Это тот самый провод, диаметр которого был ранее измерен косвенно через длину намотки на стержень и количество витков. Теперь предлагаем выполнить прямое измерение штангенциркулем.

Изоляция сделана из сравнительно мягкого полимерного материала. Поэтому при различных усилиях на штангенциркуле неопытный измеритель получает варьирующие значения диаметра. Здесь мы впервые сталкиваемся со случайными погрешностями.

Подаём на всеобщее обозрение несколько отличающихся значений диаметра изоляции и устойчивое значение диаметра оголённой части провода. Предлагаем поразмышлять над оценкой погрешности диаметра изоляции. На удивление, поступают вполне разумные, но кустарные предложения, как учесть вариации этой случайной величины. Обсуждаем эти предложения, не очень жестко их критикуем. Объявляем, что многолетний опыт работы со случайными физическими величинами привёл к математически проверенным и обоснованным рецептам, по которым можно оценить погрешность измерения случайной физической величины. Приводим стандартный рецепт вычисления стандартного отклонения средней величины (стандартное отклонение самой случайной величины нам в этом курсе, пожалуй, не понадобится, так как мы хотим сравнивать друг с другом средние значения различных случайных величин). Объясняем, что этим рецептом пользуются все грамотные добрые люди. Но этот рецепт сложен в вычислительном плане. Поэтому приводим рецепт похуже, но вполне работоспособный

$$\Delta x_{\text{ср}} = \Sigma |x_i - x_{\text{ср}}| / n \sqrt{(n - 1)}. \quad (1-3)$$

Подробно объясняем, как работает этот рецепт. Звучит это примерно так.

Если мы измеряем одну и ту же физическую величину X , а результаты измерения от случая к случаю меняются, то наиболее близким к неизвестной нам величине X является среднее значение $x_{\text{ср}}$. Образует интервал $x_{\text{ср}} \pm \Delta x_{\text{ср}}$ с учётом (1-3). Тогда можно с надёжностью 50% утверждать, что X находится внутри этого интервала. Если нас не удовлетворит такая маленькая надёжность, то надо увеличить ширину интервала. Известно, что утроенный интервал $x_{\text{ср}} \pm 3\Delta x_{\text{ср}}$ покрывает X с надёжностью 100%. То есть, можно давать голову на отсечение, что мы накрыли неизвестную величину X , несмотря на случайные помехи.

Реплика из класса – А почему Вы можете быть в этом так уверены? Непонятно, очень ли глубокое это замечание, или выскочило просто так. На всякий случай говорим, что сейчас мы не можем обосновать ни один из рецептов и ни одно из свойств этих рецептов. Поверим в огромный опыт естествознания, что это так. А пока просто научимся пользоваться рецептом (1-3) и отмеченным статистическим свойством этого рецепта.

Возвращаемся к работе 2. Проводим вычисление случайной погрешности. Видим, что она несколько превышает собственную погрешность штангенциркуля. Следовательно, приписываем диаметру изоляции случайную погрешность, а для диаметра металлической сердцевины провода учтем собственную погрешность штангенциркуля. В остальном всё делается, как в работе 1.

Работа 3. Предлагается для закрепления материала о случайных погрешностях поработать со случайной величиной, которая варьирует по своей природе.

Берём 10 зернышек хвалёного стандартизованного риса от дядюшки Бена. Дети знают рекламные ролики продуктов от дядюшки Бена. Видели, как вальняжный дядя Бен обещал уютным негритянкам накормить их рисом так, что зернышко от зернышка не отличишь.

Рассматриваем зёрнышки и видим, что они по форме очень похожи, но по длине всё же разные.

Предлагаем измерить штангенциркулем все три диаметра каждого зернышка – длину, ширину и толщину. Проводим обработку результатов с помощью (1-3). Делаем вывод, что средняя длина рисинки определяется с заметно большей погрешностью, чем врет сам штангенциркуль. Ширина рисинок одинакова в пределах точности штангенциркуля. Толщина варьрует, но ее погрешность близка к погрешности штангенциркуля.

Пробуем объяснить полученные результаты природой самого объекта. Вспоминаем из ботаники и из жизненного опыта, что зёрнышки в колосе не бывают одинаковыми по размерам. Предлагаем для разглядывания несколько колосков из гербария. Таким образом, если свалить в один мешок зерна из многих колосьев, а потом достать оттуда горстку, то размеры зёрен покажутся случайными.

Что делает хитрый дядюшка Бен, чтобы его продукция чем-то отличалась, о чём можно было бы громко кричать в рекламе? Он механически сортирует зёрна риса и продаёт отсортированный материал. Объясняем устройство сит и начинаем понимать, что наиболее строгая сортировки идёт по ширине зёрнышка, а длина может быть какая угодно. Наш эксперимент вполне подтвердил эти предположения. Получается, что с помощью одной только техники линейных измерений мы смогли заняться промышленным шпионажем. Мы узнали кое-что такое о продукции, о технологии её подготовки, о чём в рекламе для домохозяек не сообщается.

Выводы для коллег и для начальства. Несколько занятий по теме **Линейные измерения** показали, что умные дети, только лишь начавшие знакомиться с физическими измерениями в 7 классе, вполне способны воспринимать все идеи, которыми руководствуются профессиональные физики, действуя в этой области. Неясно, насколько быстро эти идеи будут усвоены и превратятся в производственные навыки, но впереди ещё много занятий, на которых мы будем постоянно пользоваться осмотренными здесь приёмами получения результатов. Поэтому многократное повторение данных операций на профессиональном уровне должно или может привести к привычке делать так, как показал на занятиях мастер производственного обучения. В ПТУ это происходит. Почему это не должно произойти в школе? Мы ведь изучаем данную тему не просто так, а для того, чтобы пользоваться ею в производственной деятельности. Смысл же нашей деятельности будет стандартным – изучать физические модели и применимые к ним законы не только теоретически, но и наполнять их конкретным содержанием с помощью каждодневного эксперимента. Вот тут нам на каждом шагу понадобятся навыки физических измерений с оценкой погрешностей результатов. ***Так что, физику можно изучать всерьёз, не выходя за рамки школьной программы.***