

Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)

Говорун И.В., Яворский В.А.

**Сборник методических материалов по курсу
«Экспериментальная физика» (7 класс)**

Долгопрудный, 2021

Занятия 1-2

Техника безопасности

При выполнении практикума по олимпиадному эксперименту:

- Перед занятиями и после их окончания необходимо вымыть руки.
- Нельзя есть и пить на занятии.
- Нельзя пробовать на вкус и запах химические вещества.
- Нельзя выполнять эксперимент в состоянии недостаточной концентрации на процессе (опьянения, болезни, сильном стрессе и т.д.).
- Без проверки и разрешения преподавателя нельзя включать электрическую схему, содержащую элементы на 220 В.

Требования к порядку выполнения работ и оформления отчетов

Типовой план отчета:

- Условие задачи или цель лабораторной работы
- Какие измерительные приборы и устройства используете, их погрешность
- Схема эксперимента с обозначениями, которые в дальнейшем будете использовать в теории
- Теория (вывод необходимых теоретических зависимостей, по которым дальше строите графики)
- Определяете диапазоны величин и точность измерений, количество измеряемых точек (7–10 для линейной зависимости, 15–20 для нелинейной зависимости).
- Рисуете таблицу, проводите эксперимент
- Обработка данных, линеаризация данных
- График, обработка данных из графика
- Результат, погрешность, округление.

Правила оформления графика:

- Графики оформляются на листе миллиметровой бумаги формата А5 или А4.
- Значения аргумента откладываются на оси абсцисс (вдоль длинной стороны листа), значения зависимой величины – на оси ординат (вдоль короткой стороны листа).
- На график должны быть нанесены все точки из таблицы.
- Если на график переносится несколько зависимостей – они должны быть подписаны, а точки различаться цветом или формой (круг, квадрат, ромб и т.д.).
- Оси должны быть подписаны – величина и её размерность.
- Минимальное и максимальное значение на оси должны быть выбраны так, чтобы график занимал не менее 80% поля рисунка. Наличие нуля необязательно!
- Шаг по шкале должен быть выбран из делителей 10 (1, 2, 5, 10), показатели степеней больше 2 по модулю лучше вынести в подпись осей. Никаких значений проставляемых точек возле точек или на осях – для этого есть таблица!
- Прямая или нелинейная зависимость на графике – это *теоретическая* кривая. Она проводится как можно ближе к экспериментальным точкам (см. метод наименьших квадратов), но не обязана проходить через них. Грубой ошибкой является соединение точек ломаной линией.

Подробные требования к оформлению графиков – в статье Замятнин М.Ю. «Культура построения графиков». – Журнал «Потенциал», №11, 2018 (в электронном виде есть на 4ipho.ru)

Методы подготовки к олимпиадам

Принцип ТРОЯ:

Т – талант, трудолюбие

Р – работа, регулярность

О – опыт, ответственность, оформление

Я – ярость (настрой на победу)

Принципы подготовки:

- Цель подготовки – поиск и ликвидация пробелов в собственных знаниях.
- Решать варианты олимпиадных задач не реже 3 раз в неделю, с последующим разбором решений и анализом ошибок.
- Можно и нужно просить других объяснить непонятные моменты в решении!
- Не надо решать множество легких задач – это утомляет. Ищите задачи на свой уровень.
- При решении тренировочных задач тратьте время на то, что не получается, а не на то, что и так умеете, но что занимает большую часть времени.
- Ответственно относитесь к оформлению математических выкладок. Не делайте математические операции в уме.
- Обязательно перепроверьте работу.

Практикум «Средний рост».

Задание: измерить рост у группы школьников, посчитать средний рост и коэффициент среднеквадратичного отклонения (для 8-10 классов), оценить погрешность результата.

Оборудование: набор линеек разной длины, доска, мел или фломастеры.

Примечания преподавателю:

- Школьники становятся у доски и отмечают на ней свой рост. При этом линейка вертикальна, касается торцом и перпендикулярна плоскости доски.
- Измерение роста каждого школьника надо проводить минимум 3 раза (во избежание промахов).
- При многократном прикладывании линейки приборная погрешность измерения и отсчета суммируется. Во избежание этого рисуется горизонтальная черта так, чтобы все значения лежали на расстоянии меньше длины линейки, и тщательно измеряется её высота.
- Обратите внимание школьников на обувь – это систематическая погрешность, которая возникает при каждом измерении, и может быть учтена вычитанием толщины подошвы.

Практикум «Время реакции человека» (на смартфоне).

Задание: измерить время реакции школьника.

Оборудование: смартфон

Примечания преподавателю:

- Работа выполняется в парах, как игра. Первый игрок через случайный длинный (несколько секунд) промежуток времени нажимает кнопку «Круг», после этого второй игрок должен как можно быстрее нажать на эту же кнопку «Круг», после чего и получает значение времени реакции с точностью до десятых или сотых секунды.
- Ввиду большого разброса значений эксперимент надо выполнить 10-20 раз, и потом усреднить значение. Все промахи отбрасываются.
- Обратите внимание школьников, что все эксперименты, связанные с измерением человеком времени на секундомере, имеют приборную погрешность, равную удвоенному времени реакции человека. Именно поэтому период колебаний усредняется по большому числу колебаний – в этом случае погрешность также делится на число периодов.
- На дом можно дать исследование – как изменится время реакции, если второй рукой делать ритмичный стук, делать упражнения пальцами и т.п.



Практикум «Витаминка»

Задание. Рассчитайте скорость растворения витаминки в воде.

Примечание: руки и приборы грязные, витаминку класть в рот нельзя!

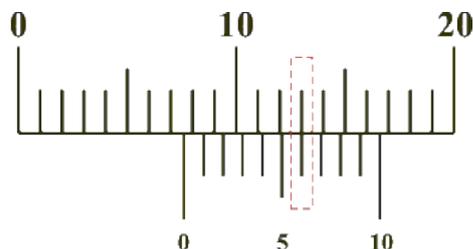
Оборудование: Витаминки, емкость с водой, ложечка, секундомер, штангенциркуль (микрометр), лист миллиметровой бумаги (для построения графика), салфетки (для поддержания порядка).

Алгоритм:

1. Используя ложечку, опустите витаминку в воду ровно на 30 секунд (засекается по секундомеру) и выньте её. Легонько встряхните ложечку с витаминкой у края стаканчика, чтобы убрать лишние капли воды и предотвратить растворение вне стаканчика.
2. Положив витаминку на салфетку, измерьте её текущий диаметр при помощи штангенциркуля (микрометра). Будьте аккуратны – при чрезмерном сжатии витаминка может разрушиться!
3. Подберите время между измерениями так, чтобы для витаминки снять не менее 10 точек.
4. Повторите эксперимент для 3 витаминок. Все данные занесите в таблицу.
5. Используя данные таблицы, постройте график зависимости диаметра витаминки от времени нахождения в воде, нанеся на него все точки. Проведите через точки прямую линию, определите её коэффициент наклона.
6. Используя значение коэффициента наклона прямой, определите скорость растворения витаминки в мм/мин. Наблюдается ли излом на графике? Объясните явление.

Принцип измерения длин штангенциркулем:

1. Отодвиньте вправо подвижную рамку, вставьте объект измерения и сдвиньте влево подвижную рамку (аккуратно, чтобы не повредить объект).



2. По основной шкале отсчитываем целое количество миллиметров (ближайшее штрих слева от нулевого штриха нониуса). В примере ниже – 7 мм.
3. Выбираем на шкале нониуса штрих, лучше всего совпадающий со штрихом на основной шкале (в примере ниже – 6), и умножаем его на цену деления нониуса (0,1 мм) – получаем 0,6 мм.
4. Складываем результаты – 7,6 мм (приборная погрешность $\pm 0,1$ мм).

Примечание преподавателю

- По мотивам задачи 11.1 с регионального этапа 2004 г.

- Драже витамина должно состоять из 2 слоев и быть как можно большего размера для увеличения времени эксперимента.

- В качестве исследовательской задачи можно дать исследовать скорость растворения в воде с разной температурой. В оригинальной задаче вода была 40-45 °С.

Занятия 3-4

Практикум «Зубочистка»

Задание. Проведите на миллиметровой бумаге оси X и Y вдоль линий сетки. Прodelайте следующую серию опытов. Бросьте зубочистку с высоты 15-20 см на лист миллиметровой бумаги, приклеенной скотчем к столу. Следите, чтобы, когда вы отпускаете зубочистку, она находилась в вертикальном положении, а после отскока падала на поверхность листа. Соедините на миллиметровой бумаге концы зубочистки отрезком. Определите координаты x_1 и x_2 концов спички. Запишите в таблицу модуль разницы координат $l = |x_2 - x_1|$. Назовём эту величину модулем проекции спички на заданное направление.

Повторите этот опыт 30 раз. Аналогичным образом измерьте 30 раз модуль проекции на ось Y . Полученные результаты также заносите в таблицу.

Рассчитайте среднее арифметическое $\langle l \rangle = (l_1 + l_2 + \dots + l_{60}) / 60$ всех полученных значений проекции. Измерьте длину зубочистки L и определите отношение $\alpha = L / \langle l \rangle$.

Оборудование. Зубочистка, лист миллиметровой бумаги формата А4, скотч.

Примечание преподавателю

- Задача 7.1 с регионального этапа 2009 г.
- Вместо зубочисток можно использовать спички, очищенные от головок.
- В результате значение α должно быть близко к $\pi/2$.

Практикум «Период колебаний математического маятника»

Задание. Определить период колебания математического маятника и исследовать его зависимость от длины нити.

Теория: математическим маятником называется точечное тяжелое тело, подвешенное на легкой нити к неподвижному подвесу и совершающее малые колебания (отклонение от вертикали не более 10-15°). Для периода математического маятника справедлива формула $T^2 = kL$, где L – расстояние от точки подвеса до центра тела.

Оборудование. Груз, нитки, ножницы, набор линеек, карандаш, мерная лента, секундомер, скотч, лист миллиметровой бумаги (для построения графика).

Алгоритм:

1. Предложите и нарисуйте схему установки для определения периода математического маятника, при которой точка подвеса была бы неподвижной, руки – свободными, а нить не терлась о поверхность. Длина нити должна меняться в диапазоне от 20 до 70-80 см (высота стола).
2. Для некоторой длины нити L измерьте время 10 колебаний (например, по одной из крайних точек траектории). Начинать отсчет времени можно с любого колебания. Повторите измерения 3 раза (во избежание промахов), вычислите среднее значение времени 10 колебаний и период T (среднее время 1 колебания).
3. Убедитесь, что период колебаний одинаков для всего диапазона углов, который вы используете, а за время эксперимента амплитуда колебаний существенно не уменьшается.
4. Повторите эксперимент для 6-7 разных длин нити (от 20 до 70-80 см). Все данные занесите в таблицу.
5. Используя данные таблицы, постройте график зависимости квадрата периода T^2 от длины нити L , нанеся на него все точки. Проведите через точки прямую линию, определите её коэффициент наклона k .
6. Используя значение коэффициента наклона прямой k , определите величину ускорения свободного падения: $g = \frac{4\pi^2}{k}$. Сравните со справочным значением: $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Примечание преподавателю.

- Оптимально нитку крепить к концу карандаша, а второй его конец скотчем закрепить на парте (или на стуле, стоящем на парте, для увеличения длины математического маятника). Для изменения длины маятника достаточно накрутить нитку на карандаш и закрепить через узел, чтобы нить не качалась по карандашу.

Занятия 5-6

Практикум «Площадь стола».

Задание: измерить площадь стола (школьной парты). Оцените приборную погрешность измерений длины и ширины стола, погрешность площади стола. Округлите результат.

Оборудование: карандаш, миллиметровая линейка.

Примечание преподавателю:

- Погрешность измерения длины (ширины) стола равна сумме погрешностей измерения и отсчета при каждом измерении, т.е. $1 \text{ мм} \cdot n$, где n – количество прикладываний линейки.

- Относительная погрешность площади прямоугольника $S = ab$ вычисляется как $\varepsilon_S = \sqrt{\varepsilon_a^2 + \varepsilon_b^2}$.

Абсолютная погрешность равна $\sigma_S = S \cdot \varepsilon_S$.

Практикум «Клякса»

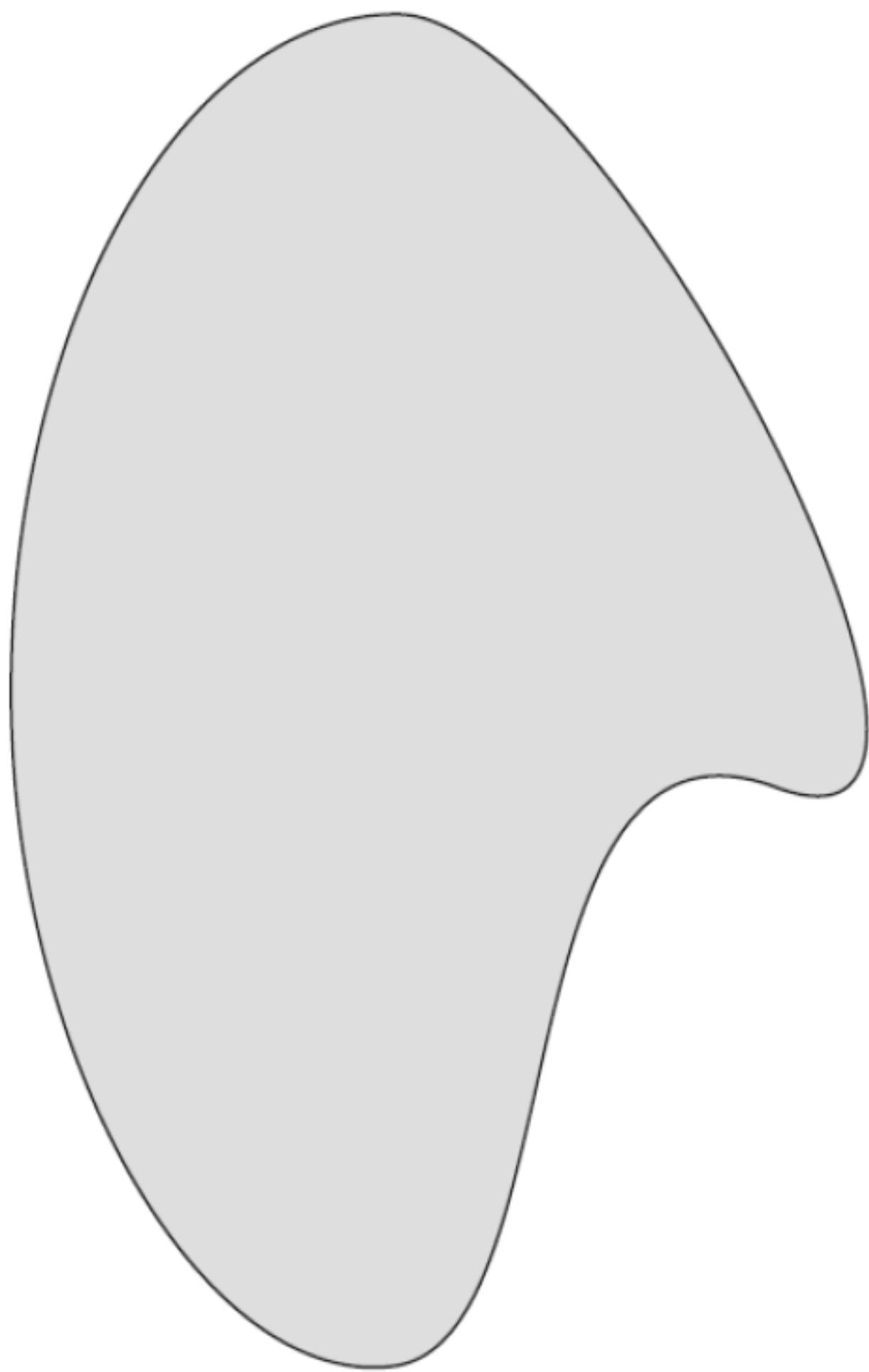
Задание: измерить площадь кляксы.

Оборудование: лист бумаги с изображением кляксы, карандаш, миллиметровая линейка.

Примечание преподавателю:

- По мотивам задачи 7.2 с регионального этапа 2018 г.

- Для нахождения площади покроем весь лист квадратами $1 \text{ см} \cdot 1 \text{ см}$. Площадь криволинейной фигуры приближенно считается как $S \approx n_1 S_0 + n_2 \frac{S_0}{2}$, где S_0 – площадь квадрата (1 см^2), n_1 – количество полных квадратов внутри фигуры, n_2 – количество квадратов на границе фигуры.



Практикум «Шпилька и гайки»

Задание: Шпилькой в технике называют стержень, по всей длине которого нарезана резьба (рис. 1). Предложите и опишите, как измерить без использования линейки:

1. шаг h резьбы шпильки (шагом резьбы называется расстояние между ее соседними витками);
2. среднюю толщину H одной гайки (рис. 2);
3. площадь S поперечного сечения шестигранного прутка, из которого изготавливаются гайки (рис.3);
4. внешний диаметр D резьбы шпильки;
5. массу m гайки, считая, что диаметр отверстия в ней $d = 0,9D$.

Проведите измерения и определите параметры h , H , S , D , m . Полученные результаты занесите в таблицу (указав единицы измерения).

Оборудование: шпилька длиной $L = 300$ мм, гайки (М6, 40 шт.), две скрепки, три нитки, лист бумаги.

Примечания.

1. Плотность стали $\rho = 7\,800$ кг/м³.
2. Площадь круга диаметром D равна $S = \pi D^2/4$, длина окружности $L = \pi D$, где число $\pi = 3,14$.
3. В работе можно использовать любое количество гаек, ниток и скрепок в зависимости от выбранного метода решения каждого пункта задания.

Примечание преподавателю.

- Задача с регионального этапа Максвелла, 7.1., 2017 г.
- Шпилька имеет шаг резьбы $h = 1$ мм, так что её можно использовать как линейку.
- Многие школьники для измерения толщины гайки начинают накручивать их на шпильку и на этом теряют очень много времени. Для применения метода рядов достаточно сложить гайки в горизонтальную стопку длиной чуть меньше длины шпильки (или любой отметки на шпильке).
- При подсчете площади поперечного сечения гайки методом рядов для минимизации погрешности надо стараться сложить гайки в форме квадрата (6 на 6 или близко к этому).



Рис. 1



Рис. 2

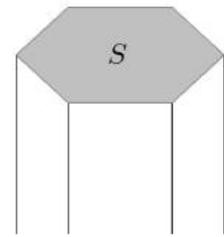


Рис. 3



Занятия 7-8

Практикум «Пядь»

Задание. Используя предоставленную нить длиной в 1 пядь, определите в этих единицах диаметр цилиндрического участка зубочистки.

Примечание: использовать линейки или другие предметы известных размеров для измерения длин нельзя!

Оборудование. Нить длиной в 1 пядь, зубочистка, лист бумаги формата А4, карандаш (для нанесения меток), лист миллиметровой бумаги (для построения графика).

Алгоритм:

1. Нарисуйте на листе А4 линию, параллельную длинной стороне листа. Используя нить данной длины L , отметьте её длину на этой линии. Последовательно складывая нить пополам, отметьте длины с шагом $L/8$ (всего 9 отметок от 0 до L).
2. Сделайте карандашом на зубочистке пометку, по которой будете считать обороты. Прокачивая без проскальзывания зубочистку по листу, посчитайте *целое* число оборотов при достижении отметок $L/8$, $2*L/8$, $3*L/8$ и т.д. Проведите опыт не менее 3 раз, полученные результаты занесите в таблицу.
3. Используя данные таблицы, постройте график количества полных оборотов от пройденного зубочисткой расстояния, нанеся на него все полученные точки. Проведите через точки прямую линию, определите её коэффициент наклона.
4. Используя значение коэффициента наклона прямой и связь между длиной окружности и её диаметром, определите диаметр зубочистки. Округлите полученный результат до нужной точности.
5. Попробуйте определить диаметр зубочистки в пядях, наматывая нитку на цилиндрический участок зубочистки. В чем недостаток данного метода?

Примечание преподавателю

- Пядь – это расстояние между большим и указательным пальцами в растопыренной ладони. Поскольку она для каждого человека разная, ориентируйтесь на длину 18-20 см, чтобы нить помещалась по длине на лист бумаги А4.

Практикум «Скоба».

Задание: как можно точнее определите объем скобы для степлера, а также плотность материала, с которого изготовлена скоба.

Оборудование: скобы для степлера, миллиметровая линейка, пинцет, электронные весы.

Примечание преподавателю

- для определения каждого из размеров необходимо использовать метод рядов.

- при разгибании скоб школьники могут поранить пальцы – просите пользоваться пинцетом или плоскогубцами.

Занятия 9-10

Практикум «Толщина бумаги»

Задание: найдите отношение толщин выданных вам листов бумаги.

Оборудование: два листа бумаги А4 разной толщины, линейка, ножницы.

Примечание преподавателю:

- Задача 8.1 на региональном этапе 2004 г.
- Как вариант, можно дать не листы формата А4 (обычный и картон), а листочки из тетради с плотной обложкой.
- Обратите внимание школьников, что при толщине офисной бумаги 0,1 мм для стопки с высотой 1 см потребуется 100 квадратиков! Площадь листа формата А4 равна $1/16 \text{ м}^2 = 625 \text{ см}^2$, так что сделать 500-600 квадратов вполне реально.
- При анализе возможных решений обратите внимание школьников на решение в виде уравнивания различного количества квадратов так, чтобы высота стопок была одинаковая. Это дает возможность построить график соотношения различного числа квадратов в стопках одинаковой высоты (дополнительно нужна миллиметровая бумага).

Практикум «Шприц – измеритель»

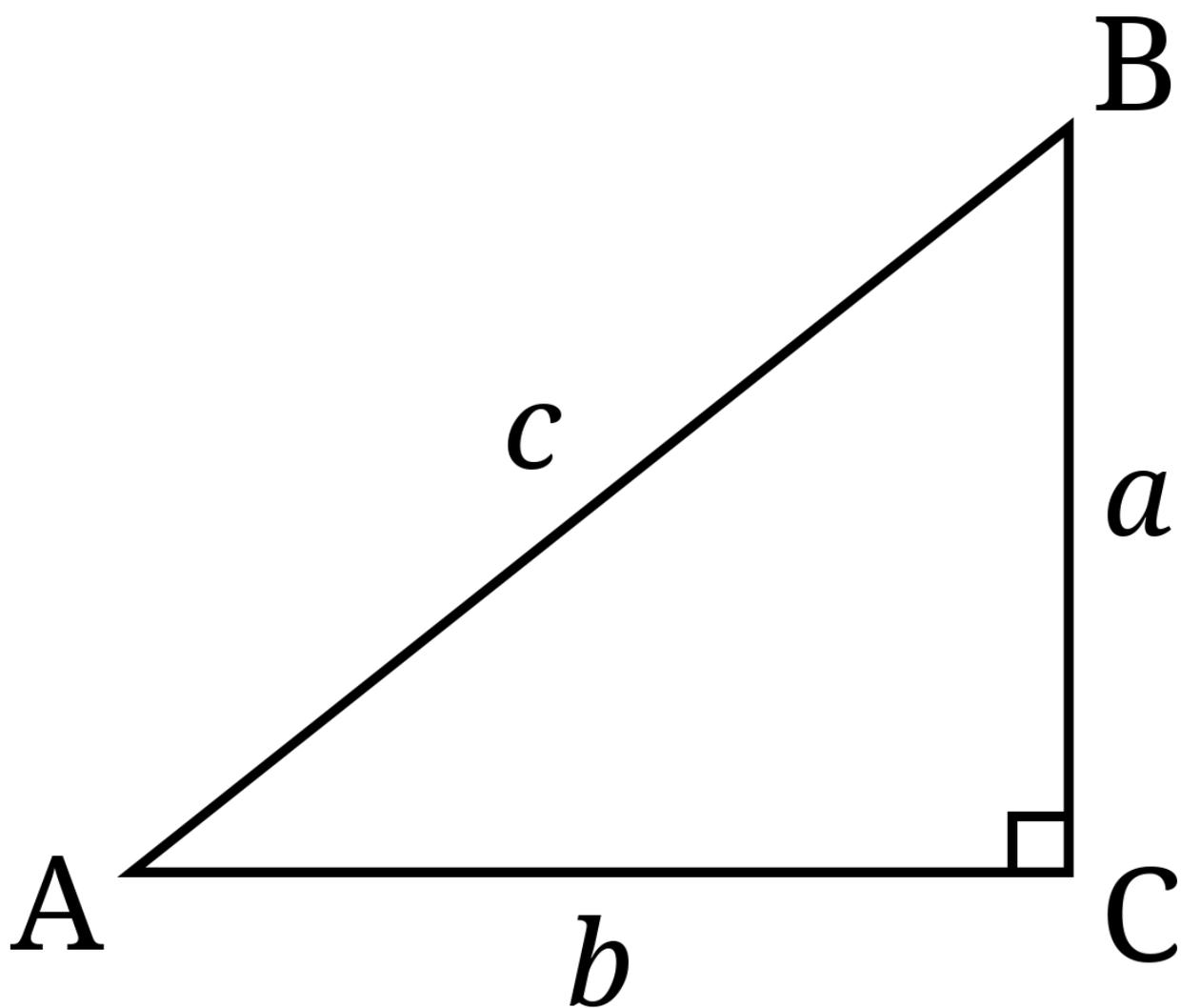
Задание: без использования посторонних измерительных приборов (линеек, тетради в клеточку и т.п.) определите площадь прямоугольного треугольника, изображенного на белом листе бумаги. Подробно опишите методику измерений, последовательность действий. Приведите расчетные формулы и результаты измерений. Измерения повторите, по крайней мере, ещё один раз.

Оборудование. Шприц на 20 мл, лист бумаги с изображением прямоугольного треугольника.

Примечания:

- известно, что внутренний диаметр шприца 2,0 см. Площадь круга, имеющего диаметр D , равна $S = 0,785D^2$.

- Внимание!!! Разбирать шприц нельзя. Строго запрещено использовать свои линейки, угольники и т.п.



Занятия 11-12

Псевдоэксперимент – теоретические задачи, направленные на умение обрабатывать экспериментальные данные, полученные другими людьми.

На занятии использованы задачи апрельской смены Сириуса 2020 года.

Задача «Монетный двор»

Гипотетические монеты Банка России номиналами 1, 2, 5, 7, 9 и 13 рублей изготавливаются из одинакового сплава. Масса, диаметр и толщина монет приведены в таблице.

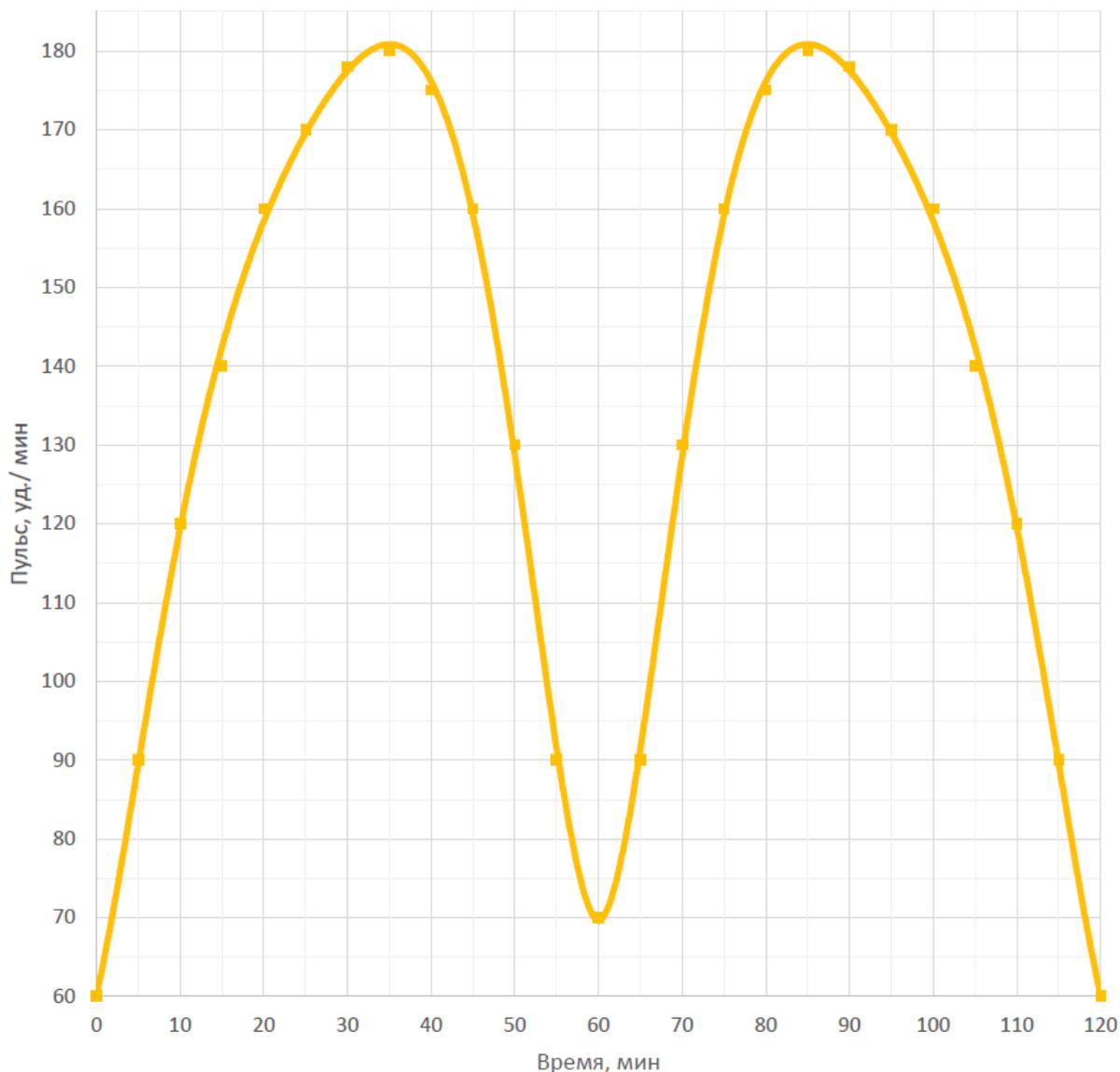
Номинал	Диаметр, мм	Толщина, мм	Масса, г
1 рубль	20,5	1,5	3,0
2 рубля	23,0	1,8	5,1
5 рублей	25,0	1,8	5,9
7 рублей*	13,7	1,3	1,3
9 рублей*	20,0	2,3	4,7
13 рублей*	26,0	1,3	4,8

Постройте график зависимости, доказывающий, что все монеты сделаны из одного материала, и с его помощью определите плотность сплава. Площадь круга радиуса R равна $S=\pi R^2$.

Задача «Маша и Макдак»

После занятия фитнесом, сидя в Макдональдсе, Маша изучала график показаний пульсометра за два часа тренировки (см. рис). Известно, что быстрота «сжигания» калорий пропорциональна числу ударов сердца в единицу времени и для 100 ударов в минуту составляет 500 килокалорий в час. Определите, сколько гамбургеров должна съесть Маша, чтобы восстановить прежнюю «форму» если в одном гамбургере содержится 350 ккал.

Показания пульсометра



Задача «Апрельская капель»

К вертикально расположенной тонкой трубке, заполненной водой, присоединена игла. Зависимости количества выпавших капель от времени и высоты столба жидкости в трубке от времени показаны на графиках 1,2.

1. Постройте график зависимости количества упавших капель от высоты столба жидкости $N(H)$. Основываясь на полученных результатах, сделайте вывод, меняется ли размер капель, падающих с иглы, в зависимости от высоты столба жидкости в трубке.
2. Вычислите площадь поперечного сечения трубки и объём капли.
3. Оцените, спустя какое время от начала эксперимента вытекла бы вся вода, если бы частота падения капель с начала опыта не менялась.
4. С какой максимальной и минимальной скоростью опускался уровень воды в трубке за все время эксперимента?



График №1

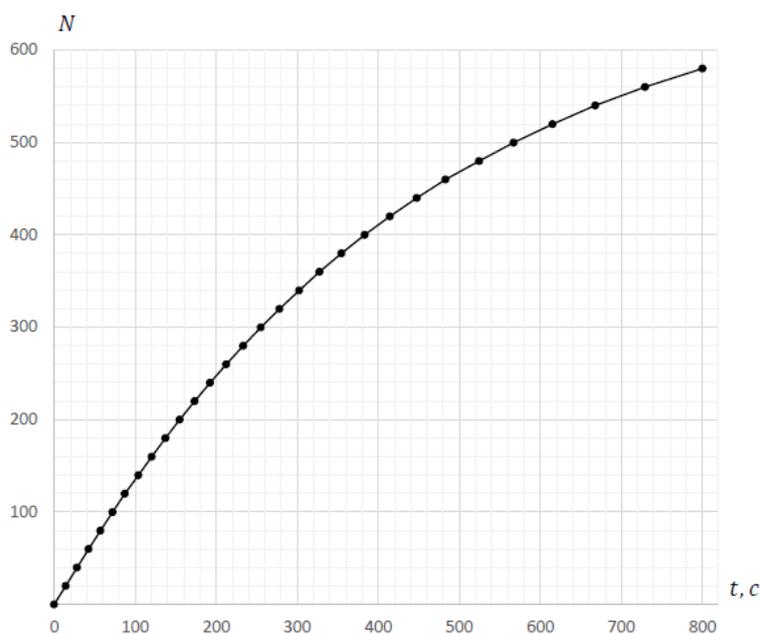


График №2

Занятия 13-14

Практикум «Золушка»

Задание:

1. Представьте себе мешок с пшеном (50 кг), стоящий на полу. При помощи выданного вам оборудования, найдите, чему равна плотность крупы на дне мешка.
2. Измерьте плотность зерен пшена.
3. Измерьте плотность драже.

Оборудование: пшено (в стаканчике), драже (10 шт), шприц (20 мл), весы.

Примечание. При определении плотности зерен рассматривайте крупу как плотную упаковку одинаковых шариков. Объем шара $V_{ш} = 4/3\pi r^3$, где r – радиус шара.

Примечание преподавателю

- Задача 10.1 на региональном этапе 2018 г.
- Для нахождения плотности зерен можно предполагать кубическую упаковку шаров, в этом случае доля объема, занимаемого зернами, равна примерно 0,52.
- Пункт о плотности драже можно давать на дом.
- Как альтернатива, можно измерять плотность зерен, набирая вместе с крупой воду.

Практикум «Плотность монеты»

Задание: определите плотность материала, из которого изготовлены монеты.

Оборудование: набор монет, весы, линейка, штангенциркуль.

Практикум «Плотность гайки»

Задание: определите плотность материала, из которого изготовлены гайки.

Оборудование: набор гаек, весы, линейка, мензурка, вода, ложечка.

Примечание: гайки в мензурку надо кидать максимально осторожно, чтобы не разбить стекло!

Примечание преподавателю

- Задачи направлены на изучение двух разных методов измерения объемов тел – через вычисление линейных объемов методом рядов для тел правильной формы и через измерение объема вытесненной жидкости.
- Обратите внимание школьников на округление конечного результата.
- Продвинутых школьников можно попросить оценить приборную погрешность измерений.

Занятия 15-16

Практикум «Дробь в пластилине»

Задание: определите количество и суммарный объем металлических объектов (пулек), спрятанных в куске пластилина.

Оборудование: кусок пластилина с вставленными объектами (сверху приклеена бумажка с номером), кусок чистого пластилина, линейка, электронные весы, объекты (пульки шарообразной формы), лист миллиметровой бумаги (для построения графика).

Примечание

- Кусок пластилина с вставленными объектами разбирать или деформировать запрещено!
- Чтобы не пачкать парты и весы пластилином, все действия производятся на листочках бумаги (черновиках). Для выставления 0 на весах используйте кнопку TARE.
- Для достижения наибольшей точности измерений необходимо построить график в линеаризованных координатах.

Примечание для преподавателя

- В пластилин закатываются от 5 до 10 шариков дроби (400 руб. за банку). Шарик стальной, но покрыты снаружи тонким слоем меди, что сбивает школьников с толку.
- Иногда школьники пользуются большой плотностью металла и предлагают тривиальное решение – берут примерный объем пластилина с дробью в виде чистого пластилина, и начинают добавлять по одной дробины, пока вес примерно не сравняется.
- Правильное решение – вывод средней плотности пластилина с дробью при добавлении известного объема чистого пластилина. Альтернатива – добавление известного количества дробинок (1, 2, 3, 4, ...). Цель – построение графика и нахождение из него искомых величин.



Практикум «Стержень в шприце»

Задание: Внутри одного из выданных вам шприцев находится металлический стержень длиной $L = 45$ мм. Определите внутренний диаметр D шприца, диаметр d стержня и плотность ρ материала, из которого изготовлен стержень.

Внимание! Разбирать шприцы запрещается.

Оборудование:

1. Шприц 20 мл (2 шт. одинаковых).
2. Металлический стержень (в одном из шприцев).
3. Весы электронные.
4. Пластиковый стакан, заполненный водой примерно наполовину.
5. Бумажные салфетки для поддержания чистоты на рабочем месте.

Примечание преподавателю

- задача 7.1 регионального этапа 2019 года
- диаметр шприца – 12 мм, плотность стержня – $2,8 \text{ г/см}^3$.

Занятия 17-18

Практикум «Гелевая ручка»

Задание: Линию какой максимальной длины можно нарисовать с помощью гелевой ручки? Нажим на ручку при проведении линии должен быть «стандартным», как при обычном письме. Нарисуйте схему проведения эксперимента или опишите порядок ваших действий. Постройте график зависимости высоты чернил в стержне от количества проведенных линий.

Оборудование: 2 листа бумаги формата А4, 2 линейки с делениями длиной 30 см, гелевая ручка с новым стержнем, листы миллиметровой бумаги, скотч и ножницы (по требованию).

Примечание преподавателю

- По мотивам задачи 7.1 с регионального этапа 2012 г.
- Ручки лучше покупать с максимально толстой линией и достаточно прозрачным стержнем, чтобы можно было легко измерять положение чернил.
- Дети должны оценить количество линий, после которых достаточно точно определяется изменение высоты столбика чернил.

Практикум «Внутренний мир иглы»

Задание: Измерить внутренний диаметр иглы к шприцу.

Оборудование: шприц с иглой, секундомер, пластиковая миллиметровая линейка, листы миллиметровой бумаги, лист бумаги А4, ножницы, салфетки (для поддержания порядка), ёмкость с водой, поднос.

Указание:

- Обращаться со шприцом и иглой очень осторожно!
- Воду из подноса оптимально собирать шприцом без иглы и выливать в ёмкость.
- Высоту подъема струи над шприцом можно оценить как $H = \frac{v^2}{2g}$ (от кончика иглы).

Примечание преподавателю

- По мотивам задачи 9.1 заключительного этапа 2007 г.
- Оптимально брать шприц на 20 мл и иглой с внутренним диаметром 0,8 мм. Более тонкие иглы дают высокую струю с сильным разбрызгиванием.
- На упаковке шприца указан диаметр иглы, поэтому шприцы надо вынуть из упаковок до начала занятия.
- Работа делается в парах. При самостоятельном выполнении в оборудование необходимо добавить штатив для закрепления линейки.
- Для построения графика надо снять не менее 5 разных точек зависимости времени опустошения шприца в зависимости от уровня фонтанчика, по 3-5 попыток на каждой высоте, с последующим усреднением.

Занятия 19-20

Практикум «Большие и маленькие веса»

Задание: измерить при помощи динамометра вес очень легкого (порядка приборной погрешности динамометра) и очень тяжелого (больше максимального значения шкалы) тел.

- 1) Нарисуйте схему проведения каждого из экспериментов, с обозначениями величин.
- 2) Выведите необходимые формулы для определения веса тела.
- 3) Проведите не менее 7 измерений при разных показаниях динамометра, результаты занесите в таблицу.
- 4) Определите среднее значение веса тела, вычислить приборную и случайную погрешности:

- Приборная погрешность прямых измерений: цена деления шкалы (погрешность измерения + погрешность отсчета).
- Приборная погрешность косвенных измерений для зависимостей $y = a \cdot b$ или

$$y = a / b : \sigma_{\text{приб}} = y \sqrt{\left(\frac{\sigma_a}{a_{\text{сп}}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_b}{b_{\text{сп}}}\right)^2}.$$

- Случайная погрешность: $\sigma_{\text{случ}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (P_i - \langle P \rangle)^2}$.
- Суммарная погрешность: $\sigma_{\text{сумм}} = \sqrt{\sigma_{\text{приб}}^2 + \sigma_{\text{случ}}^2}$

- 5) Определите, в каких координатах график будет линейным. Для каждого из экспериментов постройте такой график, определите коэффициент наклона прямой, рассчитайте из него вес тела.
- 6) Запишите результат в виде $P \pm \sigma_p$, с округлением.

Оборудование: динамометр на 5 Н, литровая бутылка с водой (подвес на нитке), набор легких грузиков (по 10-50 г), нитки, набор миллиметровых линеек, липкая лента или зажим для крепления.

Примечание преподавателю

- Для измерения веса легкого тела оно размещается на нитке между 2 спинками стульев (с одной стороны нить крепится неподвижно, с другого может скользить и крепится к динамометру. Между стульями одна длинная линейка на 50 см крепится горизонтально (как уровень отсчета), а второй линейкой измеряем величину провисания нити с грузом.

- Для измерения веса тяжелого груза (бутылки с водой) подвешиваем её на нитке к краю стола (на липкой ленте или зажиме). Рядом с горлышком делаем петлю, за которую цепляем динамометр. Длинную линейку прикрепляем вертикально, а короткой смотри зависимость величины угла отклонения от вертикали при разных показаниях динамометра.

Практикум «Физические свойства шприца»

Определите массы корпуса шприца m_1 и его поршня m_2 , а также расстояние l_1 от основания иглы до центра масс шприца и расстояние l_2 от основания поршня до его центра масс (в делениях шприца).

Оборудование. Шприц, вода, круглый карандаш.

Примечание. Плотность воды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Примечание преподавателю

Основной идеей данной задачи является использование карандаша для сооружения опоры, уравнивая на которой шприц или его части, можно находить положение их центра масс. Для измерения длин используется шкала на шприце.

1. Разберём шприц и уравниванием найдём положения l_1 и l_2 центров масс корпуса и поршня шприца.

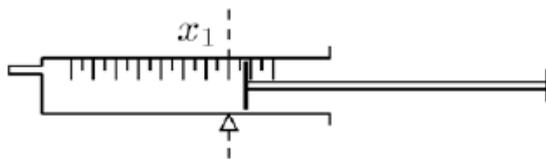


Рис. 3

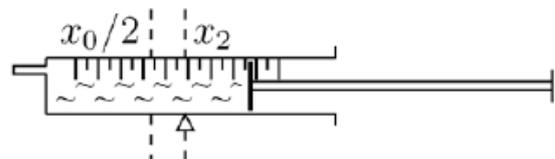


Рис. 4

2. Выдвинем поршень шприца на некоторое расстояние x_0 (в делениях шкалы). Уравнивая шприц на карандаше, найдём положение его центра масс x_1 (рис. 3). Далее, наберём в шприц объём воды x_0 (по шкале) и найдём новое положение центра масс системы x_2 (рис. 4). В данном измерении положение центра масс шприца с поршнем также равно x_1 . Центр масс воды отстоит от основания иглы на $x_0/2$. Её массу можем узнать по известным плотности и объёму: $m = \rho \cdot x_0$. Тогда выражение для центра масс системы:

$$(m + m_1 + m_2) \cdot x_2 = m \cdot x_0 / 2 + (m_1 + m_2) \cdot x_1.$$

Отсюда найдём сумму масс корпуса и поршня шприца:

$$M = m_1 + m_2 = \frac{x_2 - x_0 / 2}{x_1 - x_2} \rho x_0.$$

3. Аналогичным способом по двум измерениям положения центра масс системы корпус-поршень (например, при полностью выдвинутом и полностью вставленном поршне) определим отношение массы поршня к массе корпуса шприца: $\alpha = m_2/m_1$. Таким образом, получаем систему:

$$\begin{cases} M = m_1 + m_2 \\ m_2 = \alpha \cdot m_1 \end{cases} \quad \text{откуда} \quad \begin{cases} m_1 = M / (1 + \alpha) \\ m_2 = \alpha M / (1 + \alpha). \end{cases}$$

Занятия 21-22

Командная игра «Бумажная башня»,

Задание: собрать на столе из 3 листов бумаги формата А4 вертикальную башню максимальной высоты.

Оборудование: листы бумаги формата А4 (плотностью 80 г/м², можно черновики), ножницы, миллиметровая рулетка на 2 м и более.

Примечания:

- Башню нельзя поддерживать телом или иными предметами.
- Листы нельзя склеивать клеем, водой или еще чем-либо.
- Башня должна простоять не менее 1 минуты.

Примечания преподавателю

- На каждую команду из 5-6 человек надо выдать 25-30 листов бумаги и 3 ножниц.
- Если на краях листов делать небольшие разрезы 1-2 мм, то листы бумаги не будут скользить относительно друг друга.
- Тривиальное решение – поставить листы бумаги друг на друга (высота около 89 см).
- Идея для победы – третий лист разрезается на 3 части в соотношении «золотого сечения», и последовательно собирается по высоте.

Командная игра «Катапульта»

Задание: из цельного листа бумаги А4 сделать устройство (условно – катапульту), которое с поверхности стола при помощи сил упругости может забросить на максимальную высоту маленький бумажный шарик. Разрезать или рвать лист, склеивать поверхности листа запрещено! Устройство перед броском шарика должно быть неподвижно и прижато к столу.

Оборудование: листы бумаги А4 (плотностью 80 г/м², можно черновики), миллиметровая рулетка на 2 м и более.

Примечания преподавателю

- Требование использования сил упругости и неподвижности существенно. Так, отпадают варианты: бумажной трубки, где бумажный шарик разгоняется воздухом из рта; удара листом как теннисной ракеткой; использование листа как батута и т.д.
- При обсуждении результатов стоит обратить внимание школьников, что увеличению числа слоев бумаги, увеличению длины плеча катапульти, наличию поперечных ребер высота броска может существенно увеличиваться (до 5-6 м).
- Победа обычно присуждается команде, которая первой ударит бумажным шариком в потолок аудитории.

Занятия 23-24

Практикум «Шпилька»

Задание: Шпилькой в технике называют стержень, по всей длине которого нарезана резьба (рис. 1). Предложите и опишите, как измерить без использования линейки:

1. шаг h резьбы шпильки (шагом резьбы называется расстояние между ее соседними витками);
2. среднюю толщину H одной гайки (рис. 2);
3. площадь S поперечного сечения шестигранного прутка, из которого изготавливаются гайки (рис.3);
4. отношение массы шпильки к массе одной гайки: $\alpha = m_{ш}/m_г$, используя шпильку в качестве рычага;
5. среднюю массу $m_{г1}$ одной гайки и массу шпильки $m_{ш1}$ по отдельности, исходя из их геометрических размеров.

Проведите измерения и определите параметры h , H , S , $m_{г1}$, $m_{ш1}$ и отношение масс шпильки и гайки $\beta = m_{ш1}/m_{г1}$ на основании результатов, полученных в пункте 5. Полученные результаты занесите в таблицу (указав единицы измерения).

Оборудование: шпилька длиной $L = 300$ мм, гайки (40 шт.), две скрепки, три нитки, лист бумаги.

Примечания.

1. Плотность стали $\rho = 7\,800$ кг/м³.
2. Площадь круга диаметром D равна $S = \pi D^2/4$, длина окружности $L = \pi D$, где число $\pi = 3,14$.
3. В работе можно использовать любое количество гаек, ниток и скрепок в зависимости от выбранного метода решения каждого пункта задания.
4. Внешний диаметр резьбы М6 на стержне равен $D = 6$ мм, а внутренний диаметр резьбы в гайке $d = 5$ мм.

Примечание преподавателю

- Задача с регионального этапа Максвелла, 8.1., 2017 г.
- В отличие от задачи занятия 5-6, теперь делается акцент на п. 4-5, где школьники при помощи рычага должны оценить массу шпильки. При необходимости можно измерить массу и толщину гайки при помощи весов и штангенциркуля соответственно, и сказать результат школьникам.
- Рычаг лучше всего устанавливать на краю стола.



Рис. 1



Рис. 2

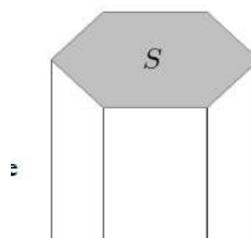


Рис. 3

Практикум «Тяните резину!»

Задание:

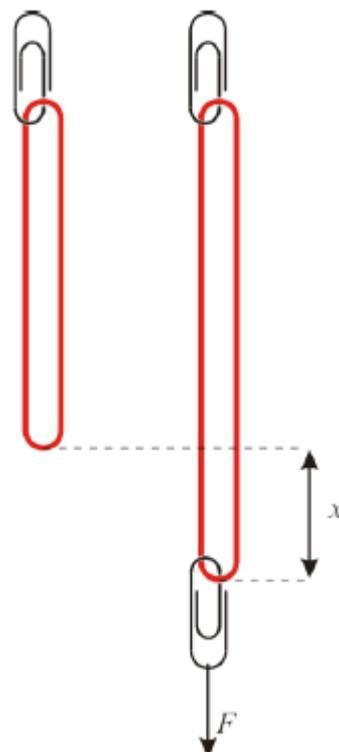
1. Экспериментально исследуйте зависимость удлинения x резинового кольца (банковской резинки) от величины растягивающей силы F (рис.1).
2. Постройте график полученной зависимости $x(F)$.
3. По графику определите диапазон значений силы F , в котором исследуемая зависимость линейна.
4. В указанном диапазоне найдите значение коэффициента жёсткости k_1 резинового кольца ($k_1 = \Delta F / \Delta x$).
5. Измерьте значение коэффициента жёсткости k_n для n банковских резинок, скрепленных параллельно, $n = 2, 3, 4, 5$. Постройте график зависимости k_n от n .

Оборудование: банковская резинка (5 шт), шестигранный карандаш, скотч, ножницы, нитка, скрепки – 3 шт., пустая пластиковая бутылка массой m_0 (измеряется на весах), шприц со шкалой, линейка, стакан с водой, миллиметровая бумага для построения графиков.

Примечание. Если вы испортили резинку, вы можете попросить её заменить, но имейте ввиду, что резинки не идентичны.

Примечание преподавателю

- Задача создана по мотивам задач 7.1, 8.1 заключительного этапа 2016 г.



Занятия 25-26

Практикум «Растяжение полиэтилена»

Задание

1. Исследуйте зависимость деформации растяжения полиэтиленовых полосок от нагрузки при её увеличении и затем при её уменьшении (режим «нагрузка-разгрузка»). Объясните полученные зависимости.
 2. Определите, какая энергия, и какая доля упругой деформации перешла во внутреннюю энергию.
- Оборудование.* Штатив с лапкой, набор грузов 6 x 100 г, две полиэтиленовых полоски, линейка, нитки.

Примечание преподавателю

- В полиэтилене с краев желательно заранее проделать шилом дырки, через которые можно продеть нитки.
- Полиэтилен должен быть достаточно плотным. Длина полоски – 10-15 см, ширина – 0,5-1,0 см.
- Можно дать исследовательскую задачу на исследование величины растяжения полоски полиэтилена в зависимости от её длины и ширины.

Командная игра «Маятник на 5 секунд»

Задание: Из представленного оборудования изготовьте маятник, период колебаний которого будет равен 5 секунд.

Оборудование: штативы с лапками, катушка ниток, три линейки, клипсы, грузики.

Примечание: маятник может быть любым, в частности, можно использовать физические или крутильные колебания. Запрещается пользоваться какими-либо часами или секундомером.

Примечание преподавателю

- Школьники участвуют в командах по 5-6 человек. Оборудование выдается на команду.
- Время в секундах лучше всего измерять по математическому маятнику длиной 1 м, полупериод которого равен ровно 1 с.
- Для математического маятника с периодом 5 секунд длина составит более 6 метров, что невозможно реализовать в аудитории.
- Возможные решения: колыбель Ньютона (несколько математических маятников на 2 нитях с суммой периодов колебаний в 5 с), физический маятник из металлического прута от штатива, маятник Обербека.

Занятия 27-28

Практикум «Тройной рычаг»

Задание. Одновременным взвешиванием определите массу двух кусочков пластилина.

Оборудование. Кусок пластилина с известной массой (его можно, например, взвесить на весах), 2 разных куска пластилина неизвестной массы, 3 линейки на 40-50 см, 3 канцелярских зажима, нитки и ножницы (по требованию).

Примечание:

- Для построения графика надо минимум 5 разных положений куска пластилина с известным весом. Во избежание промахов при каждом положении эксперимент надо повторить минимум 3 раза, меняя «по кругу» кусочки пластилина на линейках. Далее полученные значения масс заносятся в таблицу и усредняются.

- Чтобы не пачкать парты и весы пластилином, все действия производятся на листочках бумаги (черновиках).

- Значения тригонометрических функций: $\cos 30^\circ = \sqrt{3} / 2 \approx 0,87$, $\sin 30^\circ = 0,5$.

Примечание преподавателю

- Очевидный вариант решения – 3 линейки под углом 120° , скрепленные зажимами. Другой вариант – линейки как стороны треугольника, через вершины которого пропущены связанные нитки с прикрепленными кусочками пластилина – ищем точку равновесия (для удобства тоже крепим небольшой кусочек пластилина).

- Наиболее удобно стул поставить на парту и подвешивать установку к нему.

- Дужки канцелярских зажимов надо поднять над плоскостью линеек и крепить нить к ним – тогда установка будет более устойчивой.

Практикум «Скрытая пружина»

Задание: Дан «серый» механический ящик, состоящий из непрозрачной цилиндрической полый трубки и закрепленной внутри нее пружины, свойства которой однородны по всей её длине. К пружине к некоторому её витку можно подвесить грузик.

1. Определите жесткость пружины максимальной исходной длины.
2. Определите число витков пружины
3. Оцените погрешность найденных величин.

Оборудование: «серый» ящик в виде пружины со скрытой частью, миллиметровая линейка, весы, штатив.

Указание: Разбирать «серый» ящик нельзя! Не растягивайте сильно пружину во избежание возникновения её остаточной деформации!

Занятия 29-30

Практикум «Скатывание шарика»

На наклонном жёлобе (алюминиевый уголок), начиная от его нижнего конца, фломастером нанесены отметки N_i через каждые 15 см. На 5 см ниже каждой из этих отметок нанесены другие отметки n_i . Нижний конец желоба должен касаться упора (деревянного бруска).

Запустите без начальной скорости металлический шарик от отметки N_i и включите секундомер в тот момент, когда шарик прокатывается мимо отметки n_i . Остановите секундомер в момент соприкосновения шарика с упором. Повторите эксперимент для каждой из отметок N_i не менее 5 раз. Усредните результат. Заполните таблицу.

L, см						
t ₁ , с						
t ₂ , с						
t ₃ , с						
t ₄ , с						
t ₅ , с						
t _{ср} , с						
v _{ср} , см/с						

Постройте график зависимости $v_{ср.i}$ от $t_{ср.i}$. Определите скорость, которую достигает шарик, преодолев из состояния покоя участок длиной 5 см.

Оборудование: Алюминиевый уголок, шарик, закреплённый одним концом в коробке; деревянный брусок (упор); секундомер; миллиметровая бумага формата (А5) для построения графика.

Примечание преподавателю

- Задача 7.2 с регионального этапа 2019 г.

- Длина уголка не менее 1 м (лучше 1,5-2 м). Шарики лучше всего брать стальные, диаметром 2-3 см.

Практикум «Шарик в жидкости»

Задание. Подвесьте шарик на нити. Исследуйте зависимость силы натяжения нити от глубины погружения шарика в жидкость, налитую в стакан. Подвешенный на нити шарик нужно опускать в сосуд с жидкостью так, чтобы он не касался стенок и нить оставалась вертикальной.

1. Постройте график этой зависимости.
2. Определите плотность жидкости в сосуде.
3. Оцените погрешность полученных результатов.

Указание. Разбирать шарик и погружать деревянную линейку в жидкость нельзя!

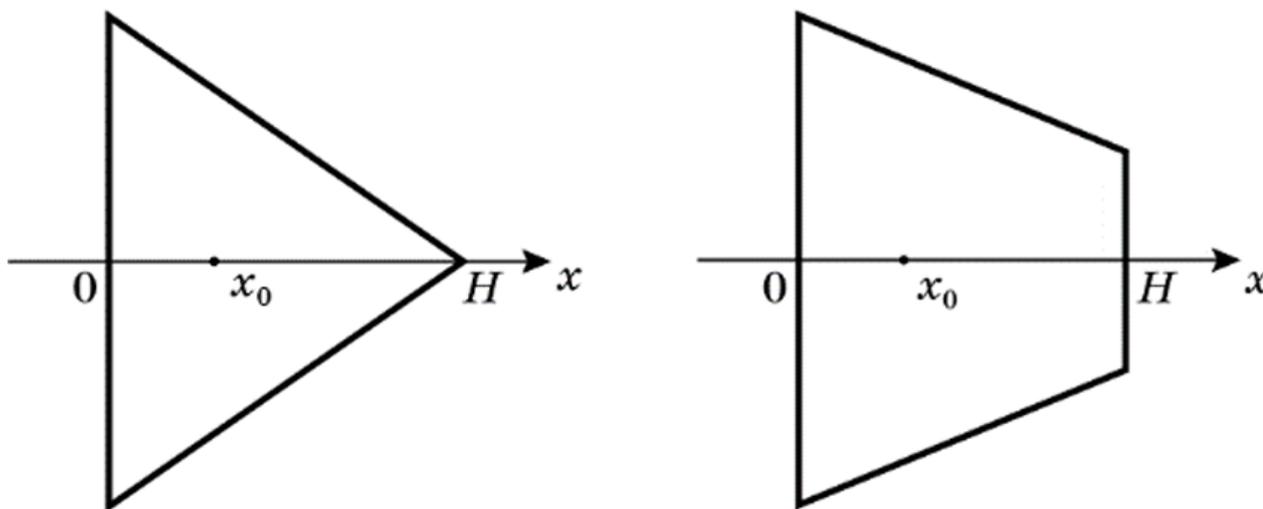
Оборудование. Шарик на нитке, штатив с лапкой, деревянная линейка известной массы, металлическая линейка (30 см), стакан с жидкостью, лист миллиметровой бумаги для построения графика, лист белой бумаги А5, пустой пластиковый стакан, салфетки для поддержания чистоты.

Занятие 31-32

Практикум «Вариации на тему»

Задание: Центр тяжести плоской однородной симметричной фигуры лежит на оси симметрии. Докажите экспериментально, что положение центра тяжести описывается уравнением: $x_0 = kH$. Для этого проведите серию измерений для двух типов геометрических фигур: равнобедренного треугольника и равнобокой трапеции, основания которой относятся как 2 : 1.

- Для фигур с разными значениями H определите положения центра тяжести x_0 .
- Постройте график полученных зависимостей $x_0(H)$ (10-15 точек в возможно большем диапазоне измеряемых величин).
- С помощью графика определите значения k для треугольника и трапеции.



Оборудование: три листа картона, ножницы, карандаш, линейка, три листа миллиметровой бумаги.

Примечание преподавателю

- Задача 8.1 на региональном этапе 2018 г.
- Для экономии времени и оборудования задание удобно давать в парах.
- Для удобства выполнения работы удобно подвешивать лист картона на игле циркуля.
- Как правило, дети не очень понимают, как построить множество трапеций с отношением оснований 2:1 – это стоит объяснить в начале занятия.
- Для треугольника $k = 1/3$, для трапеции $k = 4/9$.

Командная игра «Бесплатная доставка Чупа-Чупса»

Задание: сделайте устройство, с помощью которого небольшой груз (конфета) будет опускаться с заданной высоты на землю максимально возможное время.

Оборудование: 2 конфеты Чупа-Чупс, 3 листа бумаги формата А4, нитка длиной 3 м, скотч, линейка, ножницы.

Примечания:

- При проверке устройство будет поднято на высоту 2 м над полом и отпущено без начальной скорости. Высота отсчитывается по положению груза. Момент падения – это момент первого касания пола любой частью устройства. Необходимо приделать к устройству нитку с петелькой, за которое устройство будут поднимать.
- В конструкции устройства можно использовать только выданные бумагу, скотч, нитки и 1 конфету (в качестве груза).
- Во время эксперимента можно обменивать испорченные листы бумаги на новые, а куски порванной нити – на целую.
- Если ваше устройство при спуске будет двигаться не только вниз, но и вбок, то отметьте это направление стрелкой на поверхности устройства, для облегчения испытаний.
- Если устройство будет слишком высоким, то в связи с ограниченностью высоты потолка оно будет запущено с меньшей высоты.

Примечание преподавателю

- Задача 8.1 с регионального этапа 2005 г.
- Масса груза (конфеты) – не более 12 г.
- В связи со случайностью процессов при спуске необходимо провести несколько измерений времени.
- Типовые решения: самолетик; парашют обычный; вращающийся парашют в виде плоской пластины с ребрами жесткости.