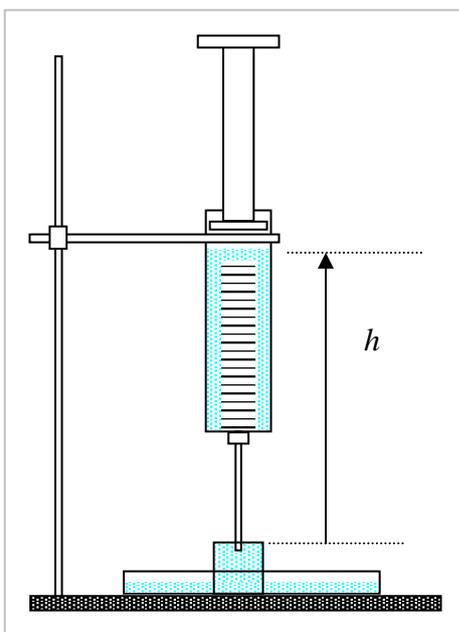


Задача №1 Вытекание воды из шприца (Исследование вытекания воды из шприца)



Задание: В данной задаче исследуется процесс вытекания воды из вертикального шприца с иглой. Вариант экспериментальной установки представлен на рисунке. При вытекании поршень шприца вынут (удалён), игла на 1-2 мм погружена в маленький стаканчик, полностью заполненный водой.

Можно показать, что процесс неполного вытекания приближённо (но с хорошей точностью) соответствует равнопеременному движению. То есть, зависимость полной высоты «столба» жидкости h (см. рисунок) от времени можно описать формулой

$$h = H - v_0 \cdot t + a \frac{t^2}{2}$$

Здесь H – начальная высота столба, остальные обозначения понятны. В задаче следует подтвердить указанный закон падения уровня и определить параметры уравнения: начальную скорость падения уровня v_0 , ускорение замедления падения уровня a .

Оборудование: шприц с иглой (20 см^3), линейка (15 – 20 см), секундомер с промежуточным финишем (есть в телефоне), штатив, стакан с дистиллированной водой, (ванночка, малый стакан – для организации «правильного» вытекания)

Подсказка (для организации правильного вытекания): маленький стаканчик наливается «до верху» водой (обычной) и конец иглы должен быть опущен в воду этого стакана на 1-2 мм.

Пустой шприц закрепляется в штативе. Для этого используется «лапка». Шприц должен свободно выниматься. Настраивается правильное положение иглы в нижнем стакане. Далее.

Поршень вынимается из цилиндра шприца (игла вставлена). Дистиллированная вода наливается в цилиндр шприца с «избытком» (выше 20 см^3) Шприц устанавливается на «место» (в штатив, начинается вытекание воды).

Секундомер включается в момент, когда уровень воды в шприце достигнет метки выбранной за «начало» (20 см^3). Далее – «по разумению».

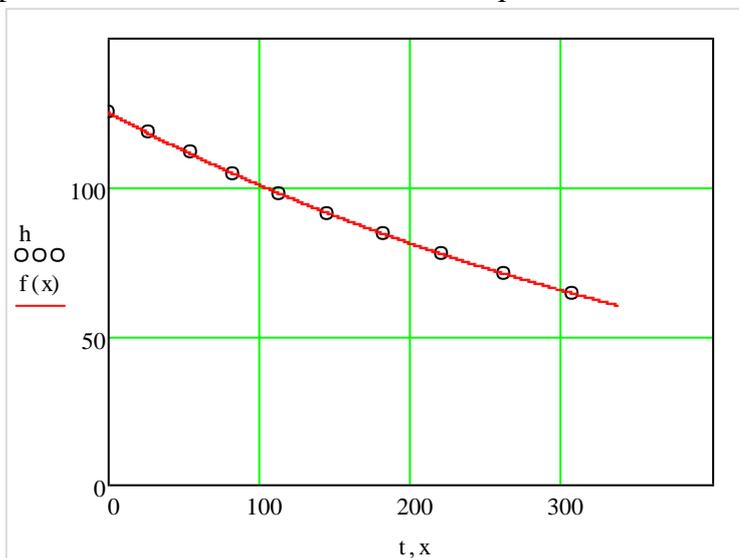
Решение

Пример результата.

Высота столба в мм. объём воды в шприце в см³.

| $t :=$ | $\begin{pmatrix} 0 \\ 26.84 \\ 54.18 \\ 82.53 \\ 113.36 \\ 145.11 \\ 181.54 \\ 220.33 \\ 261.67 \\ 306.39 \end{pmatrix}$ | $V :=$ | $\begin{pmatrix} 20 \\ 18 \\ 16 \\ 14 \\ 12 \\ 10 \\ 8 \\ 6 \\ 4 \\ 2 \end{pmatrix}$ | $h =$ | <table border="1"><thead><tr><th></th><th>1</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>125</td></tr><tr><td>2</td><td>118.25</td></tr><tr><td>3</td><td>111.5</td></tr><tr><td>4</td><td>104.75</td></tr><tr><td>5</td><td>98</td></tr><tr><td>6</td><td>91.25</td></tr><tr><td>7</td><td>84.5</td></tr><tr><td>8</td><td>77.75</td></tr><tr><td>9</td><td>71</td></tr><tr><td>10</td><td>64.25</td></tr></tbody></table> | | 1 | 1 | 125 | 2 | 118.25 | 3 | 111.5 | 4 | 104.75 | 5 | 98 | 6 | 91.25 | 7 | 84.5 | 8 | 77.75 | 9 | 71 | 10 | 64.25 |
|--------|--|--------|--|-------|--|--|---|---|-----|---|--------|---|-------|---|--------|---|----|---|-------|---|------|---|-------|---|----|----|-------|
| | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 125 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 118.25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 111.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 104.75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 98 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 91.25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 84.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 77.75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 71 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 64.25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

График зависимости высоты столба от времени



Видно, что скорость вытекания замедляется.

Вычисление скорости по интервалам, определение среднего времени

$$v_j := -\frac{h_{j+1} - h_j}{t_{j+1} - t_j} \quad T_j := \frac{t_{j+1} + t_j}{2}$$

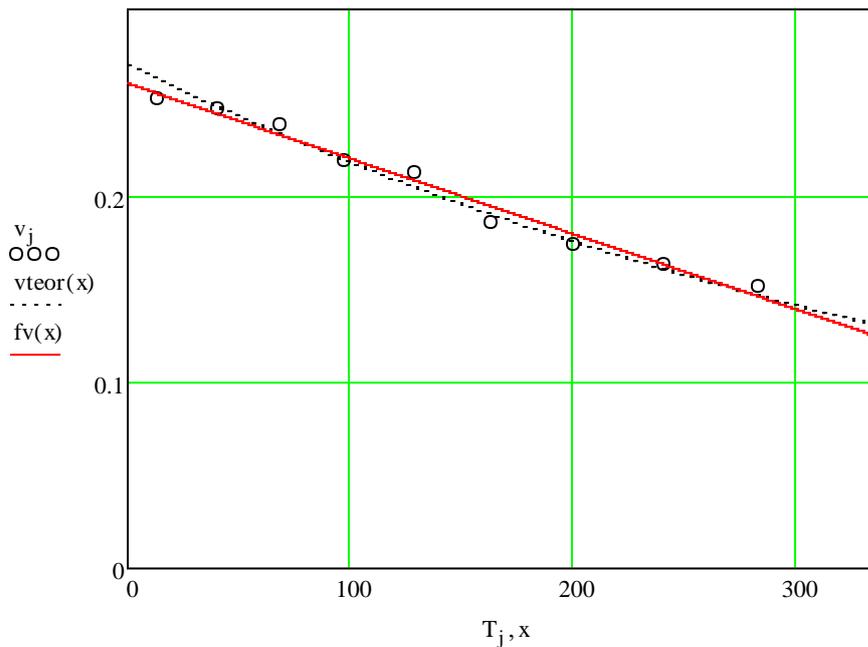
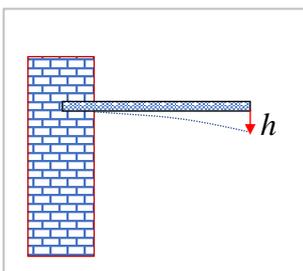


График скорости падения уровня как функция времени (мм/с). Аппроксимация графика прямой линией. Наклон графика определяет ускорение. Ускорение получилось порядка

$$a \approx 4 \cdot 10^{-4} \frac{\text{мм}}{\text{с}^2} = 4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{см}}{\text{с}^2} = 4 \cdot 10^{-7} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

| № | Критерии | Баллы |
|---|--|-----------|
| 1 | Измерена высоты столба жидкости по меткам и измерено соответствующее им время (не менее 20 точек на каждый из параметров) | 2 |
| 2 | Вычислены начальная скорость, скорости по интервалам и определены средние времена интервалов | 2 |
| 3 | Построен график скорости падения уровня воды в шприце как функция времени (мм/с) и график уровня воды в шприце как функция времени | 2 |
| 4 | Указаны единицы измерения осей на графике | 0,5 |
| 5 | Указаны диапазоны и шкалы единиц измерений на графиках | 0,5 |
| 6 | Аппроксимация графика прямой линией, получена линейная зависимость скорости как функции от времени | 1 |
| 7 | Дан численный ответ ускорения замедления падения уровня воды на шприце: | |
| | В пределах от $4 \cdot 10^{-7} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ до $5,5 \cdot 10^{-7} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ | 2 |
| | В пределах от $1 \cdot 10^{-7} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ до $10^{-6} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ | 1 |
| | Сумма | 10 |

Задача №2 Прогиб линейки (Исследование прогиба металлической линейки-«консоли» под собственным весом)



Простейшая консоль — это однородная балка заделанная (закреплённая) в вертикальной стене. Под собственным весом балка прогибается, величина h называется стрелкой прогиба. Величина прогиба зависит от длины балки, площади сечения и материала, из которого она изготовлена. Известно, что зависимость стрелки прогиба h от длины балки L определяется формулой

$$h = C \cdot L^n$$

Где C некоторая константа, которая зависит от упругих свойств материала и сечения балки.

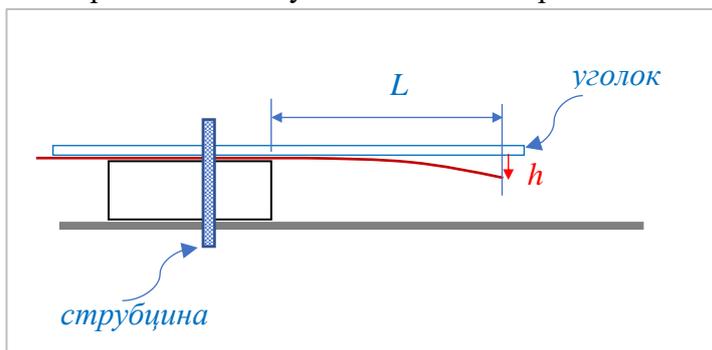
Задание: в данной экспериментальной задаче следует определить показатель степени n , который является целым числом.

Оборудование:

- «мягкая» металлическая линейка (40-50 см, модель консоли)
- Измерительная линейка 10-15 см
- Отрезок очень ровного алюминиевого уголка (3×3, длина 40- 50 см) или деревянная рейка такой же длины.
- Струбцина

Решение

Экспериментальная установка очень простая



1. Проверяют линейку (она не должна быть сильно изогнутой, допустим изгиб в 1-2 мм)
2. Собирают экспериментальную установку. Линейку зажимают между уголком и бруском. Струбциной крепят (прижимают этот «сэндвич» к столу).
3. Линейкой измеряют стрелку прогиба.
4. Меняют длину рабочей части линейки и повторяют измерение стрелки прогиба. Нужно получить не меньше 10 экспериментальных точек.
5. В соответствии с формулой $h = C \cdot L^n$ выполняют логарифмическое преобразование полученных экспериментальных величин: $h \rightarrow \ln(h); L \rightarrow \ln(L)$
6. Строят график зависимости $\ln(h) = \ln(C) + n \cdot \ln(L)$.
7. По углу наклона графика определяют величину n . Эта величина должна быть близка к 4.

Замечание.

Для получения правильной величины показателя степени в теоретической формуле следует очень аккуратно учитывать первоначальный изгиб линейки, который всегда существует. Для этого перед закреплением струбциной к столу «сэндвич» кладут на бок и измеряют стрелку искривления. Если линейка полностью прижата к уголку, то её следует перевернуть, чтобы стрелка искривления была положительной. После закрепления к столу и измерения гравитационной стрелки прогиба из неё вычитают стрелку искривления. Теперь величина стрелки прогиба получена правильно.

| № | Критерии | Баллы |
|---|------------------|-------|
| 1 | Таблица | 1 |
| 2 | 10 точек и более | 3 |
| | 8-9 точек | 2 |

| | | |
|---|--|-----------|
| | 6-7 точек | 1 |
| | менее 6 | 0 |
| 3 | График: | |
| | Оси подписаны | 1 |
| | Оси оцифрованы | 1 |
| | Выбран хороший масштаб | 1 |
| 4 | Найден угловой коэффициент прямой из графика | 1 |
| 5 | Получен n=4 | 2 |
| | Сумма | 10 |

Задача №3 Константа испарения (Определение константы испарения воды)

Задание:

При помощи предоставленного оборудования и материалов определить удельную константу испарения воды $\mu = \frac{\Delta m}{\Delta t} \cdot \frac{1}{\Delta s}$.

Результат желательно представить в удобных для «обывателя» единицах измерения $\frac{\text{г}}{\text{мин} \cdot \text{м}^2}$.

Сколько грамм испаряется с квадратного метра свободной поверхности воды за одну минуту?

Оборудование и материалы:

- Неглубокий сосуд, в которой может быть создано «свободная» поверхность воды порядка 100 см².
- Электронные весы с точностью измерения 0,01 г.
- Секундомер
- Линейка
- Миллиметровая бумага для построения графиков

Существенное замечание по времени измерений.

При испарении масса воды в сосуде будет уменьшаться. Но, это уменьшение будет очень медленным. Поэтому рекомендуется проводить измерение массы примерно через каждые 5 минут в течении часа. В итоге вы получите 12 экспериментальных «точек».

Решение

Порядок выполнения задания.

1. Налить воду в кювету
2. Измерить диаметр «зеркала» воды
3. Включить весы, от тарировать их на «0». Взвесить систему кювета+вода. Записать результат. Включить секундомер.
4. Далее повторять измерения массы через каждые 15 минут в течении часа. Секундомер (часы) не выключать.
5. Построить график зависимости массы от времени. При аккуратном выполнении измерений (и неизменной температуре и влажности в помещении) график должен получиться в виде прямой «падающей» линии.
6. Аппроксимировать экспериментальный график прямой линией. Коэффициент наклона графика определяет величину $\frac{\Delta m}{\Delta t}$ - скорость уменьшения массы (скорость испарения).

7. Вычислить площадь испарения. Делением скорости испарения на площадь получаем удельную величину испарения. Приводим полученную величину к удобным единицам измерения $\frac{\Gamma}{\text{мин}\cdot\text{м}^2}$. Результат должен быть близким к $\mu \approx 1 \frac{\Gamma}{\text{мин}\cdot\text{м}^2}$.

Пример экспериментальных данных.

Эксперимент по испарению воды

Электронные весы с точностью 0,01 грамма. Автоматически выключаются через 30 секунд. Чашка с водой снимается, весы вновь включаются (тарируются они автоматически), новое взвешивание.

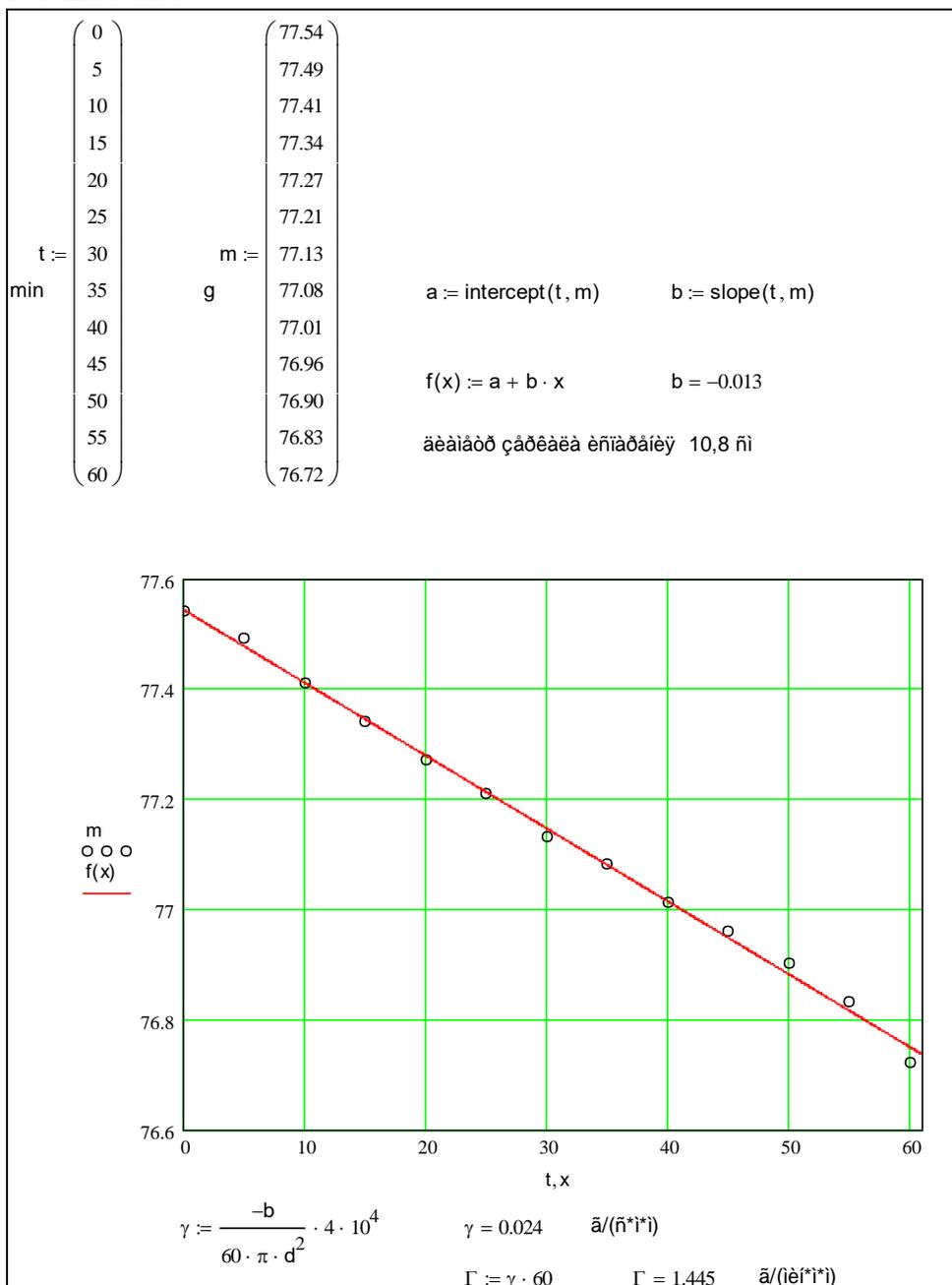


График испарения при постоянной температуре 25 °С.

| | | | |
|------|-------|------|----|
| t := | m := | T := | oC |
| 0 | 83.64 | 43 | |
| 1 | 83.47 | 41 | |
| 2 | 83.31 | 39.5 | |
| 3 | 83.19 | 38 | |
| 4 | 83.08 | 37 | |
| 5 | 82.97 | 36 | |
| 6 | 82.90 | 34.5 | |
| 7 | 82.81 | 34 | |
| 8 | 82.76 | 33 | |
| 9 | 82.68 | 32 | |
| 10 | 82.63 | 31.5 | |
| 15 | 82.36 | 29.5 | |
| 20 | 82.18 | 28 | |
| 25 | 82.03 | 27 | |
| 30 | 81.90 | 26 | |
| 35 | 81.74 | 26 | |
| 40 | 81.66 | 25.5 | |
| 45 | 81.56 | 25 | |
| 50 | 81.49 | 25 | |
| 55 | 81.40 | 25 | |
| 60 | 81.33 | 24.5 | |

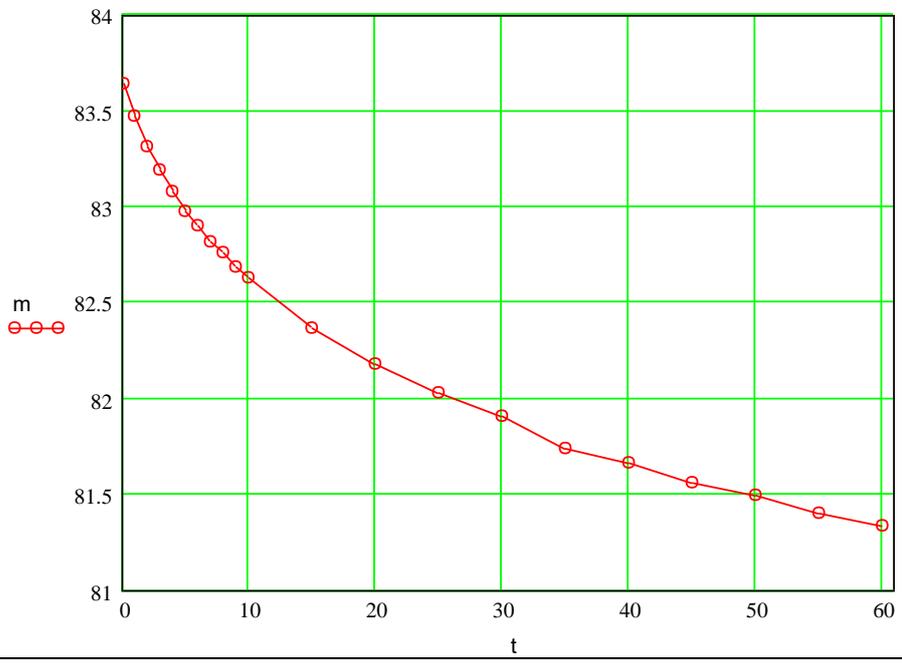


График испарения при остывании.

| № | Критерии | Баллы |
|---|---|-------|
| 1 | Измерены данные для массы и времени (не менее 10 точек на каждый из параметров) | 1 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 2 | Построен график на основе измеренных данных для массы сосуда с водой и времени | 2 |
| 3 | Указаны единицы измерения осей (масса посуды с водой в граммах и время в минутах) | 1 |
| 4 | Указаны диапазоны и шкалы единиц измерений для массы посуды с водой и времени | 1 |
| 5 | Получена линейная зависимость кривой | 1 |
| 6 | Измерена площадь испарения воды | 1 |
| 7 | Дан численный ответ для удельной константы испарения воды μ : | |
| | В пределах от 2 до $3,5 \frac{\text{г}}{\text{мин} \cdot \text{м}^2}$ | 2 |
| | В пределах от 1 до $4 \frac{\text{г}}{\text{мин} \cdot \text{м}^2}$ | 1 |
| 8 | Произведен перевод к рекомендуемым единицам измерения для удельной константы испарения воды μ в $\frac{\text{г}}{\text{мин} \cdot \text{м}^2}$ | 1 |
| | Сумма | 10 |

Задача №4 Плотность (Определение неизвестной плотности)

Оборудование:

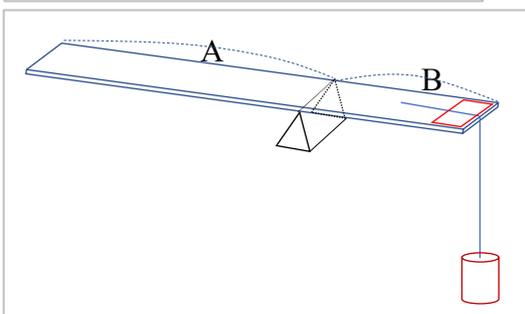
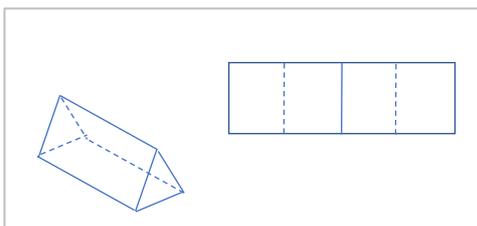
- небольшое тело, плотность материала которого следует определить
- деревянная линейка (30-50 см)
- нить (50 – 100 см)
- стакан с водой
- опора под рычаг
- ножницы
- бумажный скотч

Задание: определить плотность небольшого тела.

Возможное решение

При помощи предложенного оборудования плотность можно определить известным методом гидростатического взвешивания.

1. Изготавливаем «треугольный» упор и закрепляем его на краю стола.



(A, B)

2. Линейку (неизвестной массы) используем в качестве рычага. При помощи небольшого кусочка скотча прикрепляем нить на конец линейки
3. Ко второму концу нити привязываем исследуемое тело.
4. Систему уравниваем.
5. По шкале линейки измеряем плечи рычага

6. Уравновешиваем систему вторично, но, теперь тело должно быть погружено в стакан с водой. При этом тело не касается стенок и дна стакана и погружено полностью в воду.
7. Измеряем новые значения плеч рычага (a, b).
8. Записываем условия равновесия в первом и во втором случаях

$$\left(\frac{A+B}{2} - B\right) Mg = B \cdot \rho Vg$$

$$\left(\frac{a+b}{2} - b\right) Mg = b \cdot (\rho - \rho_0)Vg$$

Здесь M – масса линейки (рычага), ρ_0 – плотность воды, ρ – неизвестная плотность тела, V – объём тела. Из системы двух уравнений получаем

$$\rho = \rho_0 \frac{1 - \frac{B}{A}}{1 - \frac{B}{b} \frac{a}{A}}$$

Пример экспериментальных данных для деревянной линейки 30 см и электрического пластмассового ролика

| A, см | B, см | a, см | b, см | ρ , г/см ³ |
|------------|-----------|------------|------------|----------------------------|
| 21,5 ± 0,1 | 9,6 ± 0,1 | 17,7 ± 0,1 | 13,5 ± 0,1 | 1,34 ± 0,06 |

| № | Критерии | Баллы |
|---|--|-----------|
| 1 | Схема с обозначением действующих сил и плеч этих сил, когда тело в воздухе | 1 |
| 2 | Схема с обозначением действующих сил и плеч этих сил, когда тело в воде | 1 |
| 3 | Правило моментов, когда тело в воздухе | 2 |
| 4 | Правило моментов, когда тело в воде | 2 |
| 5 | Решена система уравнений | 2 |
| 6 | Плотность в пределах (2,0-2,8) г/см ³ | 2 |
| | Плотность в пределах (1,6-3,2) г/см ³ | 1 |
| | Иначе | 0 |
| | Сумма | 10 |