**Оборудование:** подвес (гвоздь на стене), нить, цилиндрический груз с крючком, секундомер (на мобильном телефоне).

**Задача:** определить объем груза.

**Анализ оборудования:** при таком скудном оборудовании идея эксперимента не может быть сложной. Подвес и нить необходимы, видимо, для того, чтобы сделать из груза маятник. Секундомером можно измерить период малых колебаний такого маятника. Считая маятник математическим (пренебрегаем размерами груза), можно вычислить длину нити. В этом случае нитью можно пользоваться как линейкой! Такой анализ подводит к идее эксперимента.

**Теоретическое обоснование методики:** как написано в анализе, пренебрегаем размерами маятника по сравнению с длиной нити. Если период колебаний , то тогда из формулы для периода малых колебаний математического маятника длина нити

где – ускорение свободного падения. Измерим теперь при помощи нити радиус и высоту цилиндра. Обмотаем нить кольцом вокруг боковой поверхности цилиндра. Если при этом количество витков (оно вовсе не обязательно целое), то радиус цилиндра

Обмотаем теперь нить в виде прямоугольной рамки так, что она проходит через параллельные диаметры оснований (при взгляде сбоку с достаточно большого расстояния нить видна по контуру цилиндра). Если теперь количество витков , то высота цилиндра

Отсюда получаем выражение для объема цилиндра:

При этом объемом крючка пренебрегаем.

**Постановка эксперимента:** Для начала подвешиваем груз на длинной нити некоторой длины. Отклоняем груз на малый угол и измеряем период его колебаний при помощи секундомера. Далее наматываем нить вокруг груза двумя способами, как описано в обосновании. Пусть количества витков в этих случаях и соответственно. Тогда объем рассчитываем по формуле в рамке.

Для повышения точности период измеряли несколько раз. Измеряли время , в течение которого происходило колебаний, тогда период .

**Результаты эксперимента:** При измерении периода колебаний были получены следующие данные:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № измерения | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Кол-во колебаний |  |  |  |  |  |  |  |
| Время , |  |  |  |  |  |  |  |
| Период , |  |  |  |  |  |  |  |

На основании этих данных период . Погрешность периода (здесь и далее символ перед обозначением величины означает использования вместо самой величины ее погрешность, а индекс – номер эксперимента).

Погрешность считаем равной (наверняка можно различить четверть периода). Погрешность состоит из погрешности секундомера и задержки реакции экспериментатора (последняя преобладает: точность использованного секундомера , а время реакции человека около ), будем считать . Для конечной величины значение равно среднему выборки, а погрешность рассчитываем по формуле

где – количество измерений. Тогда .

При измерении размеров груза были получены следующие данные:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № измерения | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Кол-во витков |  |  |  |  |  |  |  |
| Кол-во витков |  |  |  |  |  |  |  |
| Объем , |  |  |  |  |  |  |  |

Объем рассчитываем по формуле в рамке, а погрешность объема – по формуле

где[[1]](#endnote-1)

Погрешности и считаем равными . Погрешность . Погрешность конечного результата рассчитываем по формуле

где . По результатам эксперимента .

**Выводы:** Экспериментально был определен объем груза . Проанализируем влияние погрешностей на конечный результат. Ошибки в величинах , и несущественны, трение воздуха или нити мало влияет на движение достаточно плотного массивного груза. Более существенна ошибка в длине нити: при подвешивании груза весом длина нити увеличивается приблизительно на - процентов. Также существенна ошибка в количестве витков: невозможно намотать витки строго по заданному контуру. При достаточно маленьком грузе и достаточно толстой нити она может достигнуть . Методическая ошибка в периоде (приближенная формула ) для малых колебаний несущественна – всего лишь около процентов[[2]](#endnote-2). Такие ошибки одного порядка с погрешностью пренебрежения объемом крючка. В общем и целом, может быть достигнута достаточная точность для такого рода эксперимента.

Для установления истины было проведено несколько дополнительных замеров при помощи более точного оборудования. Длина нерастянутой нити при измерении рулеткой , в то время как длина растянутой нити по результатам эксперимента . В длине ошибка около , что дает ошибку в радиусе около .

При прямом измерении линейкой диаметр и высота , в то время как по результатам эксперимента и (измерение нестандартным методом оказалось точнее, если не учесть растяжение нити!).

При измерении мензуркой получен результат , при этом при измерении линейкой , а по результатам эксперимента .

1. *В общем виде для погрешности величины эта формула выглядит так:* [↑](#endnote-ref-1)
2. *См. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Pendulum\_period.svg – график зависимости относительной ошибки от угла отклонения.* [↑](#endnote-ref-2)