

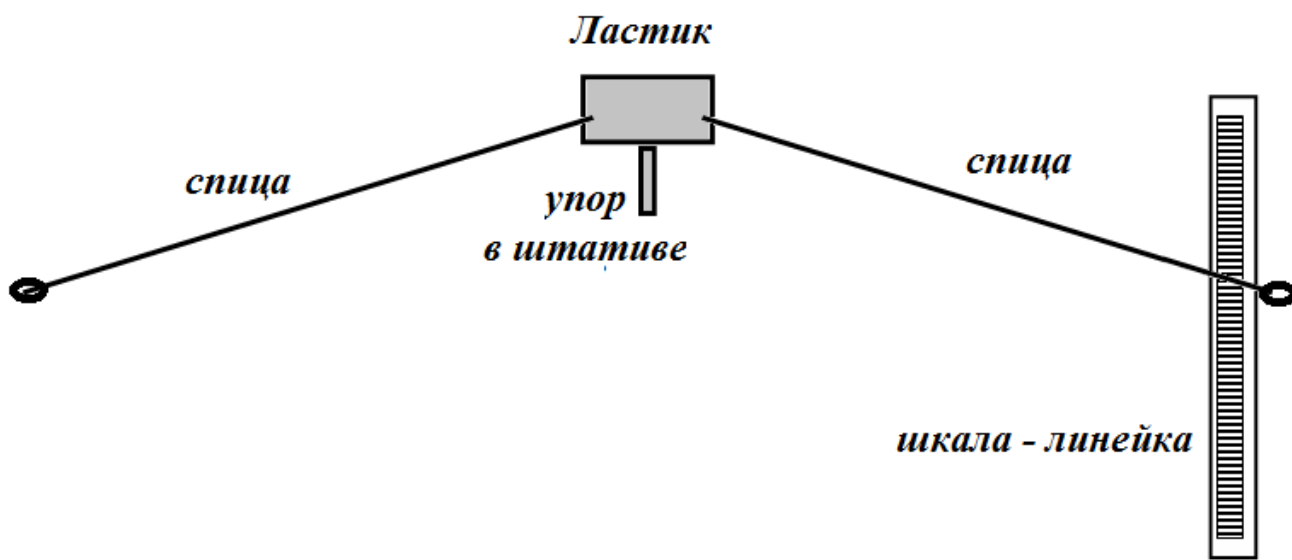
Условие

11 класс. Взвесим все!

Теория весов не так проста и очевидна, как кажется на первый взгляд! Конечно, основой является правило рычага, сформулированное еще Архимедом, но и конце 19 века Д.И. Менделеев строил теорию рычажных весов. Вам также предстоит разработать свою собственную теорию, проверить ее на практике и провести ряд различных измерений.

Приборы и оборудование: штатив, ластик, две спицы длиной 30 см, подставка (кусочек фанеры или пластика), 2 линейки 40 см, кусок пластилина, 10 канцелярских скрепок, стакан с водой, гвоздь 100 мм, нитки, кусок алюминиевой проволоки 15 см, два кольцевых магнита, штангенциркуль (один на всех).

Основа вашей работы – самодельные весы, которые вам предстоит разработать самостоятельно.

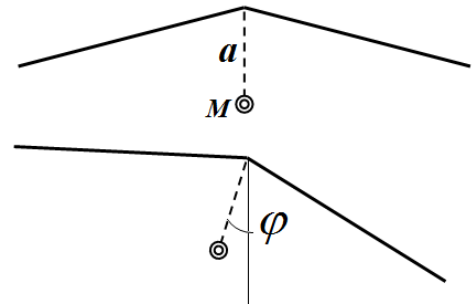


Воткните две спицы симметрично в ластик, так чтобы они держались прочно в нем – это коромысло ваших весов. В лапке штатива зажмите вертикально упор – небольшую пластинку. Поставьте на него ластик со спицами – убедитесь, что весы устойчиво (с колебаниями) удерживаются на упоре. На концы спиц вы можете подвешивать нужные вам предметы. Измерительную линейку следует располагать на столе с помощью пластилина (можно и под небольшим углом к вертикали). Прикрепляя к спице кусочек пластилина Вы можете добиваться нужного вам положения равновесия.

Часть Теоретическая (тоже оценивается!)

Даже если вы ее не выполните – продолжайте работу – используйте собственные градуировочные графики.

Коромысло весов в теории можно заменить на материальную точку некоторой массы M , находящейся на расстоянии a от точки подвеса, их произведение $\mu = Ma$ мы назовем основным параметром весов, он заранее не известен, но определяет моменты сил, возникающие при отклонении весов от положения равновесия на некоторый угол φ - который является основной измеряемой величиной.



1.1 Пусть на конец одной из спиц действует некоторая вертикально направленная сила F (например, сила тяжести). Найдите связь между этой силой и углом отклонения коромысла. Используйте основной параметр весов μ , а также геометрические параметры, определяющие положения равновесия коромысла без силы F .

1.2 Предложите наиболее простой способ экспериментального измерения угла отклонения φ .

В дальнейшей работе можете использовать несколько вариантов установок, не забывайте каждый раз их описывать. В остальном вам предоставляется полная свобода выбора!

Экспериментальная часть.

Часть 1. Градуировка и чувствительность.

Измерения провести для двух весов: 1) угол между спицами близок к прямому, 2) угол между спицами близок к развернутому. Обязательно укажите все параметры обоих весов!

1. На конец одной из спиц постепенно подвешивайте грузы (скрепки). Измерьте зависимость угла отклонения коромысла от числа подвешенных скрепок. 2. Постройте графики полученных зависимостей. Проведите сравнение с результатами ваших «теоретических измышлений». 3. Определите чувствительность (отношение изменения угла отклонения к числу подвешенных скрепок) обоих весов. 4. Укажите пределы измерения масс для обоих весов (в числе скрепок). Сделайте выводы о достоинствах и недостатках каждого весов.

Часть 2. Закон Архимеда.

К концам спиц на нитках привяжите два одинаковых гвоздя. Соберите такую конструкцию весов, чтобы при измерениях один из гвоздей частично погружался в воду в стаканчике. На одну из спиц (выбирайте самостоятельно) постепенно подвешивайте скрепки, так чтобы при этом гвоздь погружался в воду.

1. Исследуйте зависимость силы Архимеда, действующей на гвоздь от глубины его погружения. Постройте график полученной зависимости (при необходимости можете проводить любые дополнительные измерения). 2. Определите массу скрепки. Плотность воды считайте известной.

Часть 3. Поверхностное натяжение.

Алюминиевая проволочка Вам выдана, чтобы изгибать ее по своему усмотрению (но не ломать!). Если проволочка касается поверхности жидкости, то на нее действует сила поверхностного натяжения.

1. Докажите экспериментально, что сила поверхностного натяжения пропорциональна длине линии разрыва.
2. Определите коэффициент поверхностного натяжения воды.

Часть 4. Магнитная.

Все измерения проведите для одного и двух магнитов, сложенных вместе. Гвоздь должен располагаться по оси магнитов, острием к магнитам

1. Измерьте зависимость силы притяжения гвоздя к магниту от расстояния между магнитом и острием гвоздя.
2. Постройте графики полученных зависимостей.
3. Сформулируйте гипотезу о виде зависимости (может степенная?), предложите формулу для описания экспериментальных данных, проверьте ее с помощью полученных результатов измерений, определите параметры этой формулы.

Решение

Задача 11.1

Часть Теоретическая.

На рисунке изображены силы, действующие на весы с подвешенным грузом. Силу тяжести самих весов можно приложить к их центру тяжести. Условия равновесия весов имеют вид

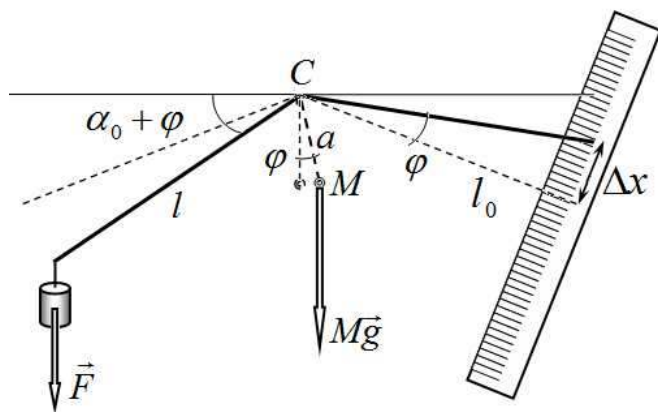
$$Fl \cos(\alpha_0 + \varphi) = Ma \sin \varphi = \mu \sin \varphi \quad (1)$$

Используя формулу для косинуса суммы,

$$Fl(\cos \alpha_0 \cos \varphi - \sin \alpha_0 \sin \varphi) = \mu \sin \varphi$$

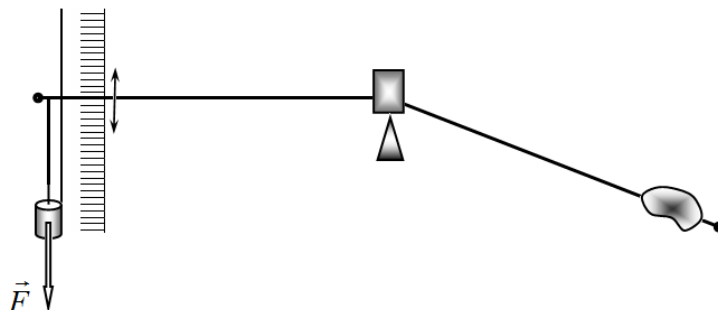
$$Fl(\cos \alpha_0 \cdot \operatorname{ctg} \varphi - \sin \alpha_0) = \mu$$

эту формулу можно преобразовать к виду



$$ctg\varphi = \frac{Fl \cos \alpha_0 - \mu}{Fl \cos \alpha_0} = tg\alpha_0 + \frac{\mu}{Fl \cos \alpha_0} \quad (2)$$

Эта формула допускает простую экспериментальную проверку. Необходимо измерить зависимость угла отклонения весов от числа подвешенных скрепок N . Тогда зависимость угла отклонения от N^{-1} должна быть линейна. Причем коэффициент наклона ее должен возрастать при уменьшении угла между спицами (т.к. при увеличении этого угла опускается центр масс спиц).



Самый простой вид формула (2) приобретает при $\alpha_0 = 0$, т.е. когда спица, на которую действует измеряемая сила, в положении равновесия расположена горизонтально. В этом случае связь между силой и углом отклонения имеет вид:

$$tg\varphi = \frac{l}{\mu} F \quad (3)$$

Наиболее простой способ измерения угла отклонения – по смещению спицы, измеренному по линейке, которая расположена перпендикулярно спице в положении равновесия. Тогда

$$tg\varphi = \frac{\Delta x}{l_0}. \quad (4)$$

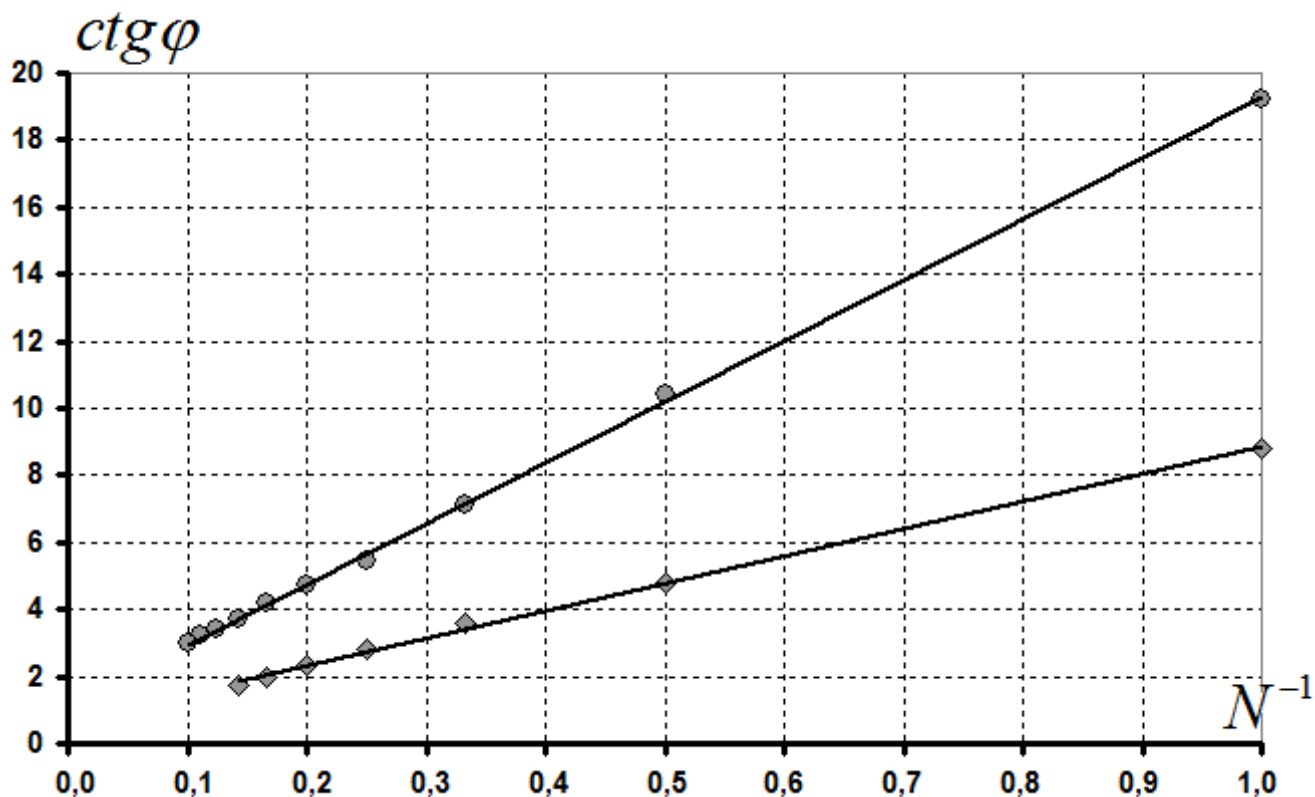
Часть 1. Градуировка и чувствительность.

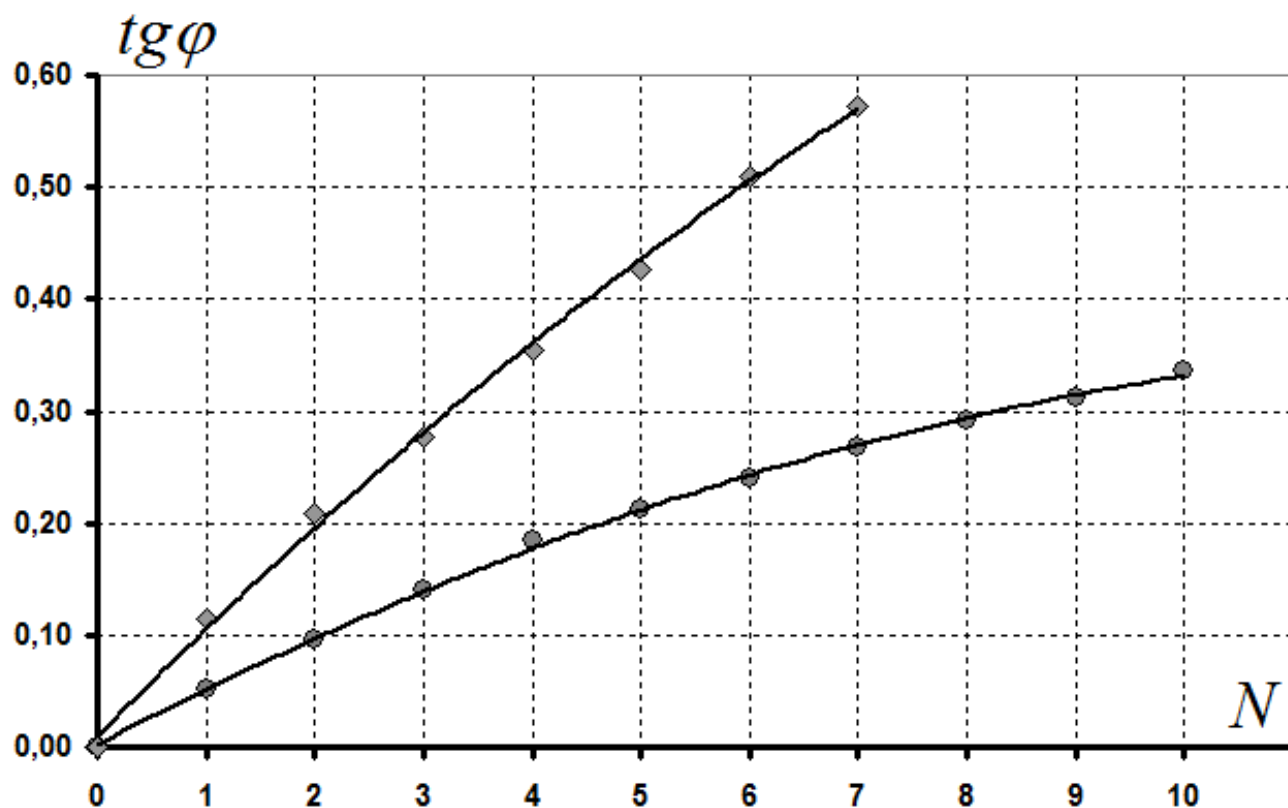
В таблице приведены результаты измерений отклонения от числа подвешенных скрепок для двух примерно симметричных весов – с углом близким к прямому и углом близки к развернутому. Там же приведены расчетные данные, необходимые для проверки соотношения (2).

N	N^{-1}	«прямой» угол			«развернутый» угол		
		Δx , см	$\operatorname{tg} \varphi$	$\operatorname{ctg} \varphi$	Δx , см	$\operatorname{tg} \varphi$	$\operatorname{ctg} \varphi$
0		0,0	0,000		0,0	0,000	
1	1,000	1,3	0,052	19,231	2,5	0,114	8,800
2	0,500	2,4	0,096	10,417	4,6	0,209	4,783
3	0,333	3,5	0,140	7,143	6,1	0,277	3,607
4	0,250	4,6	0,184	5,435	7,8	0,355	2,821
5	0,200	5,3	0,212	4,717	9,4	0,427	2,340
6	0,167	6,0	0,240	4,167	11,2	0,509	1,964
7	0,143	6,7	0,268	3,731	12,6	0,573	1,746
8	0,125	7,3	0,292	3,425			
9	0,111	7,8	0,312	3,205			
10	0,100	8,4	0,336	2,976			

На рисунках показаны полученные зависимости. Графики однозначно свидетельствуют о выполнимости соотношения (2): - обратная зависимость линейна; - коэффициенты наклона для разных углов между спицами соответствуют приведенным соотношениям.

$\operatorname{ctg} \varphi$





Естественно, чувствительность весов возрастает при увеличении угла между спицами, но при этом уменьшается диапазон измерения.

Часть 2. Закон Архимеда.

Для проверки закона Архимеда и измерения массы скрепки удобнее использовать оптимальную схему с горизонтальным плечом. К одному из плеч подвешивается гвоздь, ко второму такой кусок пластины, чтобы уравновесить гвоздь и расположить первое плечо горизонтально.

Далее необходимо провести две серии измерений зависимости угла отклонения от числа подвешенных скрепок: первая без воды, вторая с погружением в воду. Обе зависимости оказываются линейными (коэффициенты наклона которых зависят угла между спицами, точек подвеса и т.д.)

По изменению коэффициента наклона можно определить массу одной скрепки, которая оказывается равной примерно 0,3 г.

Части 3 и 4 Выполняются аналогично. Результаты сильно зависят от конструкции, кроме того, возможны различные варианты установок – в любом случае оценивание таких работ требует внимательного рассмотрения!