

**Внимание!** Перед выполнением задачи, укажите в работе номер, нанесенный на обратную сторону ваших весов!

**Внимание!** Предел измерения массы с помощью весов: 300 г. При превышении этого предела весы могут выйти из строя! Давить на платформу весов руками запрещается!

**В задаче не требуется оценка погрешностей.**

### *Теоретическое введение*

Приблизительная схема механической части карманных весов изображена на рисунке 1. При давлении на платформу весов происходит деформация алюминиевой детали (далее балка). На деталь наклеен тензодатчик, представляющий из себя длинную дорожку из фольги в виде «зигзага». При деформации балки фольга меняет свою длину, что приводит к изменению ее электрического сопротивления. Этот сигнал переводится в показания весов их электронной частью.

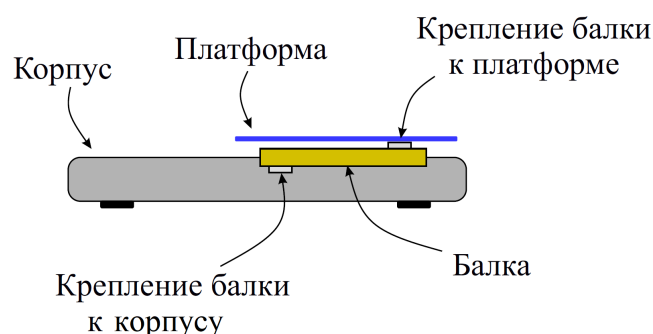


Рис. 1. Схема механической части карманных весов

Весы позволяют измерять массу дополнительного груза, положенного на платформу. При нажатии кнопки «TARE» показания весов обнуляются, и в дальнейшем весы будут показывать массу дополнительного груза положенного на платформу. То есть при измерении дополнительной массы весами деформация балки будет отсчитываться от положения балки, при котором была нажата кнопка «TARE». Так, например, при обычном использовании весов, нулевое показание весов соответствует не нагруженной платформе весов, однако, при этом балка деформирована под собственным весом.

### *Задание*

1. Прикрепите весы к линейке с помощью кусочка пластилина. Положите линейку на стол и обнулите показания весов. Если приподнять один конец линейки, то линейка и весы окажутся в наклонном положении, а показания весов изменятся (Рис. 2). Измерьте зависимость показаний весов от угла между линейкой и поверхностью стола  $\alpha$  в диапазоне  $0 - 180^\circ$ . Постройте график этой зависимости.

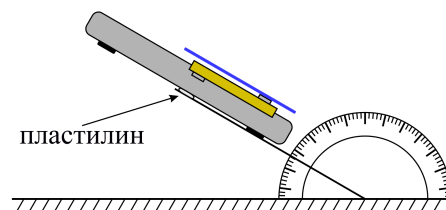


Рис. 2. Изменение угла установки весов.

2. Предложите координаты, в которых измеренная зависимость будет линейной. Постройте график зависимости в этих координатах, найдите величины коэффициентов линейной функции, описывающей экспериментальные точки. Дайте краткое физическое объяснение выбранной линеаризации и найденным коэффициентам. Введите обозначения: полной массы весов  $M_v$ , массы платформы  $m_n$  и массы балки  $m_b$ .

3. Найдите массу весов. Точно опишите сделанные для этого действия и дайте им объяснение.

**Оборудование.** Весы, два кусочка канцелярского пластилина, транспортир, линейка 15 см.

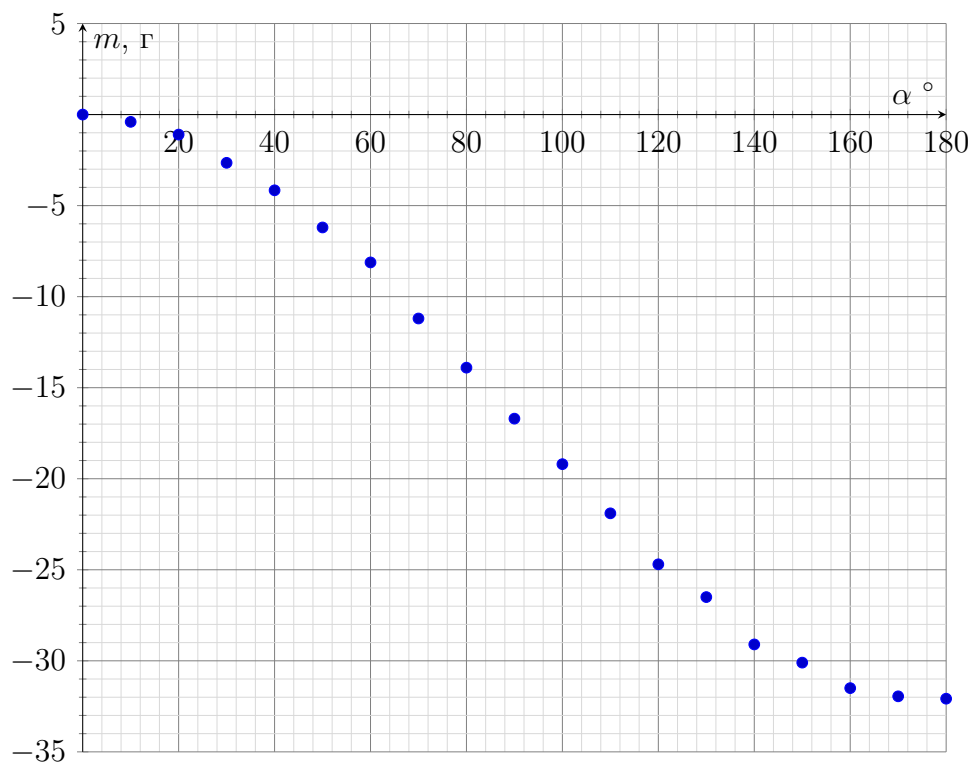
**Решение**

Для измерения угла установки весов  $\alpha$  при помощи пластилина прикрепим транспортир к краю стола, чтобы поверхность стола совпала с отметками  $0^\circ$  и  $180^\circ$ .

Измерим величину показания весов в зависимости от угла их установки. Занесем данные в таблицу и построим график исследованной зависимости.

$\alpha, ^\circ$	$m, \text{ г}$	$\cos \alpha$
0	0.00	1.00
10	-0.40	0.98
20	-1.10	0.94
30	-2.65	0.87
40	-4.16	0.77
50	-6.20	0.64
60	-8.12	0.50
70	-11.20	0.34
80	-13.90	0.17
90	-16.70	0.00

$\alpha, ^\circ$	$m, \text{ г}$	$\cos \alpha$
100	-19.20	-0.17
110	-21.90	-0.34
120	-24.70	-0.50
130	-26.50	-0.64
140	-29.10	-0.77
150	-30.10	-0.87
160	-31.50	-0.94
170	-31.95	-0.98
180	-32.08	-1.00

График зависимости  $m$  от  $\alpha$ 

При горизонтальном положении ( $\alpha = 0^\circ$ ) балка деформирована под действием собственной силы тяжести и силы тяжести платформы. В этом положении на весах была

нажата кнопка "TARE". Показания весов линейно связаны с деформацией балки, отсчитанной от горизонтального положения (положения нажатия кнопки "TARE"). Можно предположить, что на деформацию балки влияет проекция силы тяжести балки и силы тяжести платформы на направление перпендикулярное балке. Тогда выражение для показаний весов можно записать как:

$$m = m^* \cos \alpha - m^*, \quad (1)$$

где  $m^*$  — постоянная величина, характеризующая деформацию балки под действием веса платформы и веса самой балки. Стоит отметить, что величина  $m^*$  несколько меньше суммарной массы балки и массы платформы. Связано это с тем, что балка деформируется под собственным весом меньше, чем если бы на ее конец, положили бы груз, равный массе балки. Тогда, для величины  $m^*$  можно дать теоретическое выражение:

$$m^* = m_{\text{п}} + km_{\text{б}}, \quad (2)$$

где  $k < 1$  - коэффициент равный отношению деформации балки под собственным весом к деформации балки под действием груза той же массы, положенного на конец балки. Естественно, что величина  $m^*$  не зависит от массы остальной части весов.

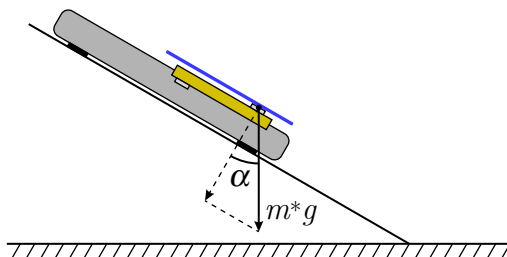
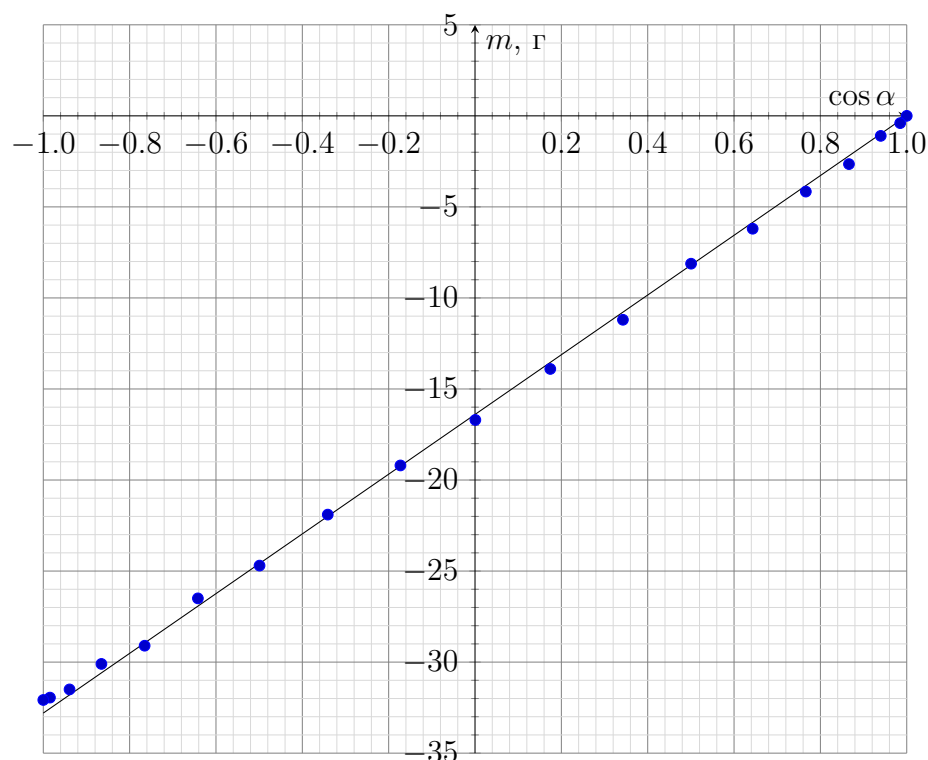


Рис. 3. Проекция силы тяжести платформы на направление перпендикулярное балке.

Для проверки предположения влияния лишь проекции сил тяжести на деформацию построим график зависимости показаний весов от косинуса угла их установки.

График зависимости  $m$  от  $\cos \alpha$ 

Видно, что полученный график хорошо описывается предположенной ранее линейной функцией с угловым коэффициентом  $m^* = 16.4$  г (и таким же смещением), что подтверждает теоретическую зависимость.

Для измерения массы весов нажмем на весах кнопку "TARE" в перевернутом положении. Весы при этом должны быть в строго горизонтальном положении, и не должны касаться стола измерительной платформой. После тарирования весы будут показывать значения, основываясь на дополнительной деформации балки, отсчитанной от описанного положения. Если после этого весы положить платформой на стол, то балка при этом будет дополнительно деформироваться под действием силы реакции опоры, действующей со стороны поверхности стола на платформу весов (см. рис. 4). Сила реакции опоры численно равна массе весов. Таким образом, весы измерив дополнительную деформацию балки, покажут полную массу самих весов. Измерения, проведенные таким образом дают значение массы весов:

$$M_{\text{в}} = 97.27 \text{ г.} \quad (3)$$

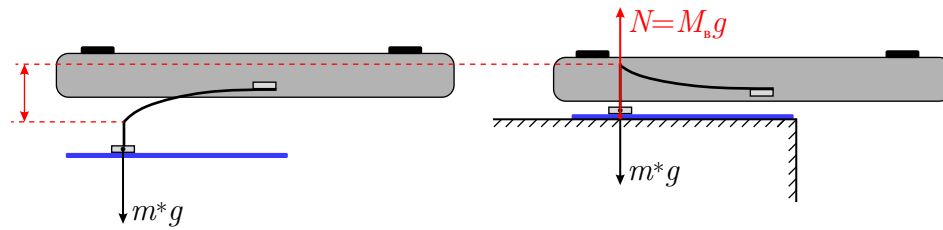


Рис. 4. Измерение массы весов.