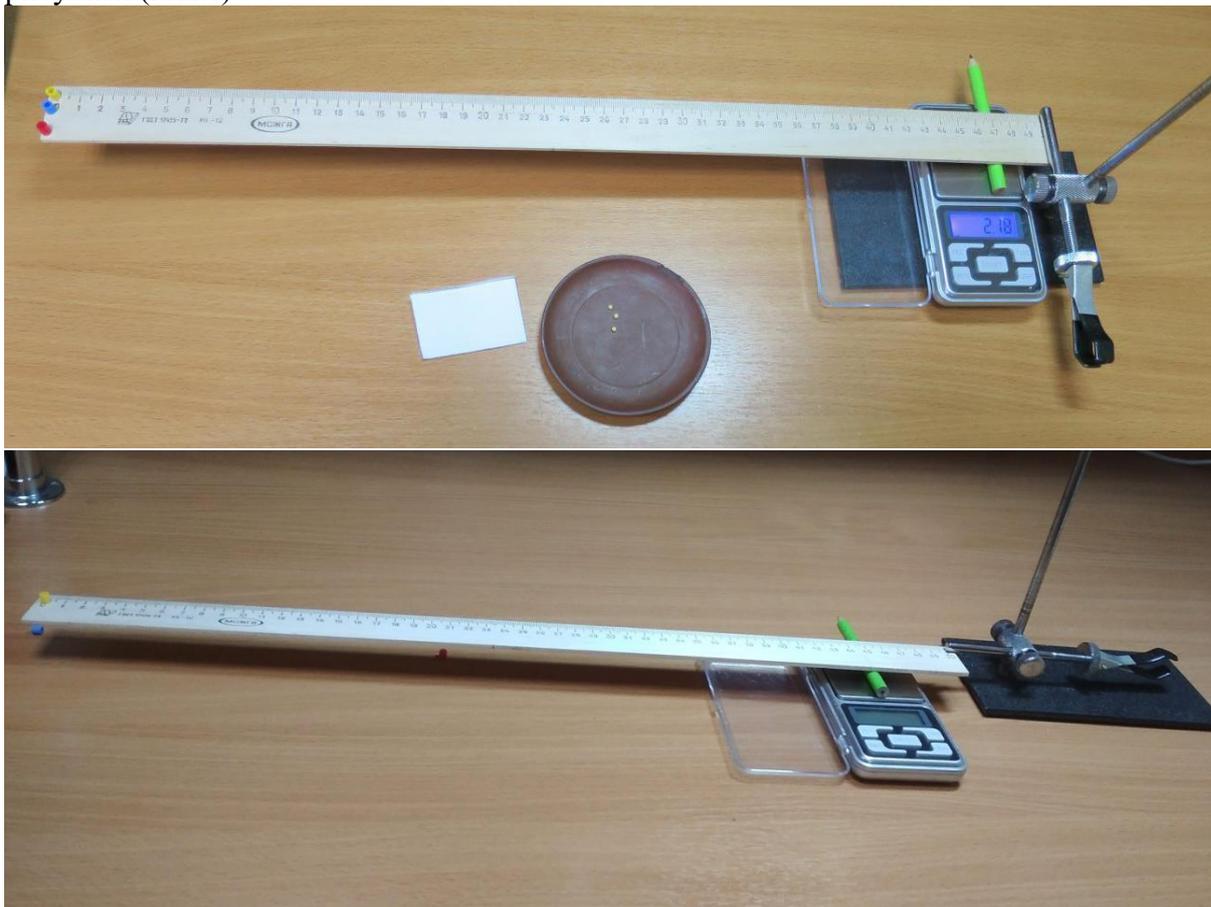


Олимпиада им. Дж. Кл. Максвелла. Региональный этап.  
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

**Задание 8.1. Усилитель.** С помощью выданного вам оборудования определите с точностью 0,001 г среднюю массу одного зёрнышка: а) проса; б) гречки; в) риса. Вычислите массу чернил в линии (длиной 1м), нарисованной гелевой ручкой.

**Оборудование:** весы электронные; деревянная линейка (длиной 50 см); короткий круглый карандаш длиной 4-5 см; штатив с муфтой и лапкой; по 3 зёрнышка проса, гречки и риса; гелевая ручка; три листа бумаги А4.

**Возможное решение.** Используя рычаг из линейки в качестве усилителя для электронных весов и штатив в качестве упора для рычага, собираем установку, представленную на двух рисунках (ниже).



Перед взвешиванием лёгкого тела производим «тарировку» весов. Тем самым мы избавляемся от необходимости учитывать момент силы тяжести, действующей на сам рычаг. Исследуемое тело помещаем на дальнем конце линейки. С помощью правила моментов, записанного относительно короткого конца рычага, упирающегося в лапку штатива, определяем усиление добавочного воздействия на весы в  $k$  раз. Так же можно найти усиление рычага экспериментально: предварительно взвесив лист бумаги А4 (его масса 5 г), и взяв часть (например, 1/16) взвесить этот кусочек на собранной установке. Для справки в таблице приведены результаты измерений для имеющихся в распоряжении автора зёрен:

	$m_1$ , Г	$m_2$ , Г	$m_3$ , Г	$\langle m \rangle$ , Г	$m_{\text{зерна}}$ , МГ
гречка	0,22	0,21	0,23	0,22	22
рис	...	...	...	...	...
просо	0,08	0,09	0,08	0,08	8

Олимпиада им. Дж. Кл. Максвелла. Региональный этап.  
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Данная таблица **не является** «универсальным правильным ответом», так как масса зёрен значительно отличается от партии к партии, от сорта к сорту и т.д. Для определения линейной плотности следа гелевой ручки измеряем массу  $m_0$  заполненного стержня ручки. На листе бумаги А4 ( $l = 27$  см), проводим  $N$  линий до тех пор, пока уровень чернил в ручке не изменится на 1,5 – 2 см. Повторно измеряя массу стержня, получаем значение  $m_1$ . Суммарная длина всех линий  $L = Nl$ . Тогда,  $\lambda = (m_0 - m_1)/L$ . У автора получился результат  $\lambda = 0,12$  мг/м, что также **является** «универсальным ответом».



**Критерии оценивания (10 баллов)**

1	Описана методика «увеличения» показаний весов при взвешивании лёгких объектов: а) Изложена идея рычага (2 балла) б) Вычислен коэффициент усиления системы «рычаг – весы» (2 балла)	4 балла
2	Проведено взвешивание 3-х зёрен проса (1 балл). Определена средняя масса 1 зёрнышка (0,5 балла).	1,5 балла
3	Проведено взвешивание 3-х зёрен риса (1 балл). Определена средняя масса 1 зерна риса(0,5 балла).	1,5 балла
4	Проведено взвешивание 3-х зёрен гречневой крупы (1 балл). Определена средняя масса 1 зёрнышка (0,5 балла).	1,5 балла
5	Предложена методика взвешивания чернил гелевой ручки (1 балл). Определена масса чернил на 1 м нарисованной линии (0,5 балла).	1,5 балла

В случае прямых измерений масс зёрен, или если коэффициент усиления рычага  $k < 5$ , баллы за **результаты измерений масс (по 0,5 балла)** не ставятся.

Измерения масс стержня при изменении уровня чернил менее чем на 1 см не оцениваются полным баллом за п.5.

**Задание 8.2. Лёд в стакане.** Количество теплоты, передаваемое в единицу времени от нагретого тела к холодному, прямо пропорционально разности температур между этими телами (Закон Ньютона-Рихмана):  $Q = \alpha(t_2 - t_1)\tau$ , где  $\alpha$  – коэффициент теплопередачи,  $\tau$  – время теплопередачи,  $t_1$  – температура холодного тела,  $t_2$  – нагретого тела.

Определите коэффициенты теплопередачи  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  от воздуха в комнате к 50 г воды, имеющей температуру  $0^\circ\text{C}$ , в тонкостенном пластиковом стакане ( $\alpha_1$ ) и в стакане из пенопласта ( $\alpha_2$ ).

**Оборудование:** термометр, пластиковый стакан и стакан из пенопласта, крышка с отверстием под термометр, секундомер, одноразовые тарелка и ложечка, весы, салфетки, вода, лёд (по требованию); миллиметровая бумага (для построения графиков).

**Задание.** Возьмите тонкостенный пластиковый стакан, налив в него воды (приблизительно 40 г) и охладите её до температуры не более  $(2 \div 3)^\circ\text{C}$ . Опустите в охлаждённую воду кусочек льда. Каждые две минуты быстро взвешивайте кусочек льда, положив предварительно на весы толстый слой салфетки. Перед каждым взвешиванием обнуляйте показания весов. Зафиксируйте массу воды, остающейся на салфетке после каждого взвешивания.

Повторите эксперимент со вторым стаканом.

Постройте графики зависимости массы воды, переходящей из твердого состояния в жидкое внутри стакана, от времени для каждого из стаканов.

На основе полученных графиков определите коэффициенты теплопередачи  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ .

Проведите ещё раз эксперимент с пенопластовым стаканом первый раз взвесив лёд через 2-3 минуты после его погружения в стакан и второй раз ещё через 15 минут.

Вычислите коэффициент теплопередачи  $\alpha_{22}$  в данном случае.

Если расхождение между  $\alpha_2$  и  $\alpha_{22}$  превышает 20%, объясните причину этого расхождения.

**Примечание.** Выданный вам лёд может иметь отрицательную температуру, что скажется на характере начального участка полученной зависимости.

Удельная теплота плавления льда  $\lambda = 330\,000$  Дж/кг.



Олимпиада им. Дж. Кл. Максвелла. Региональный этап.  
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

**Возможное решение.** В исследуемый (пластиковый) стакан наливаем приблизительно 40 г воды, опускаем в неё кусочек льда и следим за понижением температуры. Если к моменту окончания таяния первого кусочка льда вода ещё не достигнет 2 – 3 градусов С, опускаем в воду другой кубик льда и убеждаемся, что температура смеси достигла 2 – 3 градусов С. Измеряем массу воды в стакане. Если она превышает 50 г, излишек отливаем в другой стакан и удаляем остатки льда (если таковые имеются).

Взвешиваем новый кусочек льда, опускаем его в воду и включаем секундомер. Каждые две минуты ложечкой извлекаем лёд из воды, взвешиваем его на весах и возвращаем в стакан. Перед каждым взвешиванием тарируем весы (устанавливаем ноль). На время измерения массы льда останавливаем секундомер. После каждого взвешивания записываем массу воды, оставшейся на салфетке.

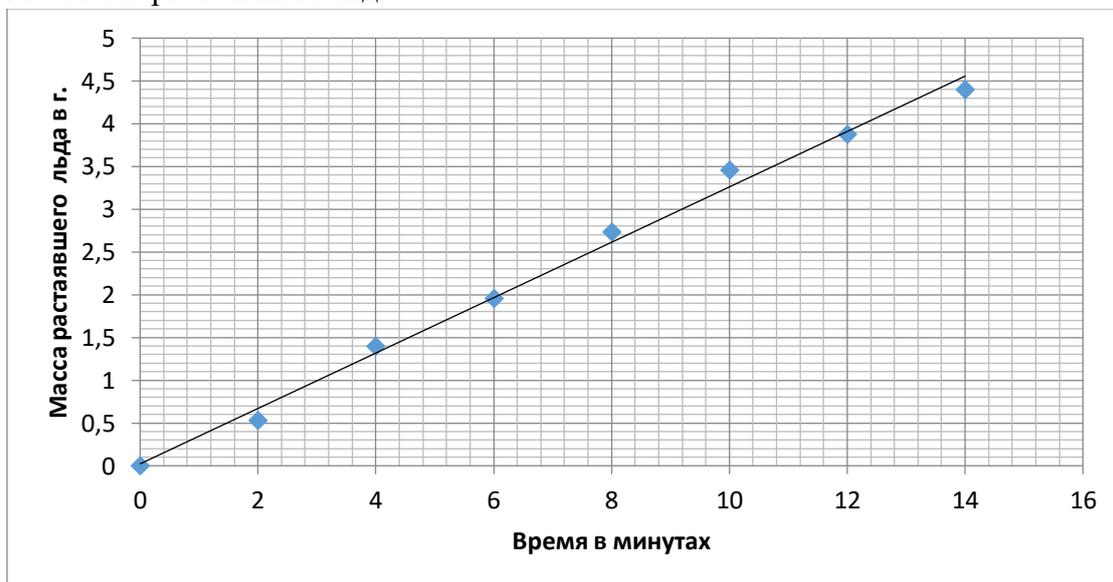
Результаты измерений заносим в таблицу 1.

№	$m$ , г	$\Delta m_1$ , г	$\Delta m_2$ , г	$\tau$ , мин	$M$ , г
1	7,87	0,19		0	
2	7,15	0,29	0,53	2	0,53
3	6,00	0,11	0,86	4	1,39
4	5,33	0,17	0,56	6	1,95
5	4,38	0,08	0,78	8	2,73
6	3,58	0,07	0,72	10	3,45
7	3,09	0,10	0,42	12	3,87
8	2,47	0,11	0,52	14	4,39

Здесь  $m$  – масса льда,  $\Delta m_1$  – масса воды, оставшейся на весах при взвешивании,  $\Delta m_2$  – масса воды, растаявшей в стакане за 2 минуты ( $\Delta m_2 = 0,53 \text{ г} = (7,87 - 0,19 - 7,15) \text{ г}$ )

и так далее,  $\tau$  – время таяния льда,

$M$  – масса растаявшего льда.



Угловой коэффициент графика  $\left(\frac{\Delta M}{\Delta \tau}\right)_1 \approx 0,32 \left(\frac{\text{г}}{\text{мин}}\right)$ . Коэффициент теплопередачи

$\alpha_1 = 0,080 \text{ Вт/}^\circ\text{С}$  вычислим из уравнения теплового баланса:  $M\lambda = \alpha(t_2 - 0)\tau$ .

Олимпиада им. Дж. Кл. Максвелла. Региональный этап.  
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Аналогичные измерения проводим для пенопластового стакана:  $\left(\frac{\Delta M}{\Delta t}\right)_1 \approx 0,15\left(\frac{\text{г}}{\text{мин}}\right)$ ,

$$\alpha_2 = 0,037 \text{ Вт/}^\circ\text{С}.$$

Коэффициенты  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  вычислены для комнатной температуры  $t_2 = 22^\circ\text{С}$ .

Различие результатов, полученных графическим методом при измерениях массы льда с периодичностью 2 минуты, и по двум измерения через 15 минут, может быть в случае, если при вычислении массы растаявшего льда не учитывается масса воды, остающейся на весах за время измерений.

**Критерии оценивания (10баллов)**

1	Результаты измерений зависимости массы воды, переходящей из твердого состояния в жидкое внутри тонкостенного стакана, от времени. Если не учтена масса воды, остающаяся на салфетке. 1 балл	2 балла
2	Результаты измерений зависимости массы воды, переходящей из твердого состояния в жидкое внутри пенопластового стакана, от времени. Если не учтена масса воды, остающаяся на салфетке. 1 балл	2 балла
3	Результаты измерений зависимости массы воды, переходящей из твердого состояния в жидкое внутри пенопластового стакана, от времени по двум крайним точкам	1 балл
4	Построены графики измеренных зависимостей	2 балла
5	Записано уравнение теплового баланса	0,5 балла
6	Вычислен коэффициент $\alpha_1$ с точностью не хуже 20% с точностью не хуже 30% 0,5 балла	1 балл
7	Вычислен коэффициент $\alpha_2$ с точностью не хуже 20% с точностью не хуже 30% 0,5 балла	1 балл
8	Вычислен коэффициент $\alpha_{22}$ и указана причина его отличия от $\alpha_2$ (в случае наличия такового) Если расхождение между $\alpha_2$ и $\alpha_{22}$ превышает 20%, а причина его не указана, баллы не ставить.	0,5 балла