

**Условие**

Твердый диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ , «сухой лёд») — вещество, которое при атмосферном давлении из твердого состояния переходит в газообразное без пребывания в жидком состоянии. Такой процесс называется сублимацией или возгонкой.

1. Определите плотность  $\rho$  кристаллов «сухого льда».
2. Определите температуру  $t_x$  «сухого льда».
3. Определите удельную теплоту сублимации  $\lambda$  «сухого льда».
4. Определите теплоёмкость  $c_{\text{ак}}$  дюралюминия при температуре «сухого льда».

Оцените погрешности всех четырёх величин.

**Внимание! Вы получите не более 200 г «сухого льда».**

**Оборудование.** «Сухой лёд», электронный термометр (температурный диапазон: от  $-50^\circ\text{C}$  до  $+110^\circ\text{C}$ ), 3 стакана из вспененного полистирола, пластиковый стакан, самодельный стаканчик из теплоизолирующего материала (негерметичный!), пластиковый стакан с водой, латунный цилиндр (золотистый), цилиндр из дюралюминия (серебристый), линейка деревянная, весы электронные, 2 нитки, пластинка из вспененного полистирола, шприц, пластиковая чайная ложка, бумажные салфетки, перманентный маркер.

*Примечание.* Удельная теплоёмкость латуни  $c_{\text{л}} = 380 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ , и в доступном нам диапазоне температур остаётся постоянной. Удельная теплоёмкость воды  $c_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .

Считайте, что теплоёмкость алюминия (дюралюминия) в интервале температур от  $-110^\circ\text{C}$  до  $+30^\circ\text{C}$  линейно зависит от температуры. При комнатной температуре теплоёмкость алюминия  $c_{\text{ак}} = 800 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .

**Возможное решение**

1. Взвесим цилиндр из сухого льда. Измерим длину цилиндра из сухого льда. Методом прокатывания по линейке определим диаметр цилиндра. Так же можно уложить в ряд несколько одинаковых цилиндров (метод рядов). Положим на весы пластинку из пенопласта. Проведём тарировку весов. Повторно взвесим цилиндр из сухого льда. Усредним массу цилиндра. Вычислим плотность сухого льда:  $\rho = 1,6 \pm 0,2 \text{ г}/\text{см}^3$ .

2. Наполним стаканчик из теплоизолирующего материала сухим льдом. Поместим датчик электронного термометра в стаканчик. Прямыми измерениями определить температуру «сухого льда» не удаётся (минимально измеримая температура « $-75^\circ\text{C}$ »). Наливаем в одноразовый пластиковый стакан 30 мл воды (объем определяем на электронных весах). Измеряем температуру воды. Взвесим латунный цилиндр. Поместим его в стаканчик с сухим льдом (переносим цилиндр с помощью нити, привязанной к крючку цилиндра). Процесс охлаждения заканчивается с прекращением шипения содержимого стаканчика. Для надёжности выжидаем ещё минуту и переносим охлаждённый цилиндр в стакан с водой. Выжидаем несколько минут до выравнивания температур воды и цилиндра. Определяем установившуюся температуру. Решая уравнение теплового баланса находим температуру «сухого льда»:

$$t_x = t_{\text{уст}} - \frac{c_{\text{в}} m_{\text{в}}}{c_{\text{л}} m_{\text{л}}} (t_{\text{в}} - t_{\text{уст}}) = -73 \pm 3^\circ\text{C}.$$

3. Для определения теплоты сублимации сухого льда помещаем несколько грамм диоксида углерода в стаканчик с водой. Для обеспечения теплоизоляции одноразовый стакан помещаем в пенопластовый стакан. Сверху систему закрываем пенопластовой крышкой. После окончания процесса сублимации определяем температуру воды. Теплоту сублимации находим, решая уравнение теплового баланса:

$$q_{\text{субл}} = \frac{c_{\text{в}} m_{\text{в}}}{m_{\text{CO}_2}} (t_{\text{в}} - t_{\text{уст}}) = 600 \pm 10 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

4. Для определения теплоемкости алюминия проведем эксперимент, аналогичный пункту 2, но с цилиндром из дюралюминия. Количество теплоты, необходимое для нагревания цилиндра до установившейся температуры  $Q = 1/2 \cdot (c(t_x) + c(t_{\text{уст}})) m_{\text{ал}} (t_{\text{уст}} - t_x)$ .

Подставив  $Q$  в уравнение теплового баланса, получаем

$$c(t_x) = \frac{2c_{\text{в}} m_{\text{в}} (t_0 - t_{\text{уст}})}{m_{\text{ал}} (t_{\text{уст}} - t_x)} - c(t_{\text{уст}}) = 720 \pm 50 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$$

Эксперимент 10-2

«Сухой лёд»

	Пункт	Балл за подпункт	Балл за пункт
	<b>Определение плотности кристаллов</b>		<b>3</b>
1	Метод	1,5	
	Точность не хуже авторского	1,5	
	Прочие методы	0,5	
2	Значение	1	
	1,3 ÷ 1,6г/см <sup>3</sup>	1	
	1,1 ÷ 1,7г/см <sup>3</sup>	0,5	
3	Погрешность ( <i>только если стоят баллы за метод</i> )	0,5	
	<b>Определение температуры сухого льда</b>		<b>4</b>
4	Метод	1,5	
	Точность не хуже авторского	1,5	
	Прочие методы	0,5	
5	Измерения	1	
	2 или более	1	
	Только 1	0,5	
6	Значение	1	
	-71 ÷ -76 °С	1	
	-67 ÷ -78 °С	0,5	
7	Погрешность ( <i>только если стоят баллы за метод</i> )	0,5	
	<b>Определение удельной теплоты сублимации</b>		<b>4</b>
8	Метод ( <i>если учитывался нагрев газа, то не более 1б.</i> )	1,5	
	Точность не хуже авторского	1,5	
	Прочие методы	0,5	
9	Измерения	1	
	2 или более	1	
	Только 1	0,5	
10	Значение	1	
	570 ÷ 630 кДж/кг	1	
	550 ÷ 650 кДж/кг	0,5	
11	Погрешность ( <i>только если стоят баллы за метод</i> )	0,5	
	<b>Определение теплоемкости дюралюминия</b>		<b>4</b>
12	Метод	1,5	
	Точность не хуже авторского	1,5	
	Прочие методы	0,5	
13	Измерения	1	
	2 или более	1	
	Только 1	0,5	
14	Значение	1	
	670 ÷ 770	1	
	620 ÷ 820	0,5	
15	Погрешность ( <i>только если стоят баллы за метод</i> )	0,5	
	<b>Сумма</b>		<b>15</b>