

Лед и воздух

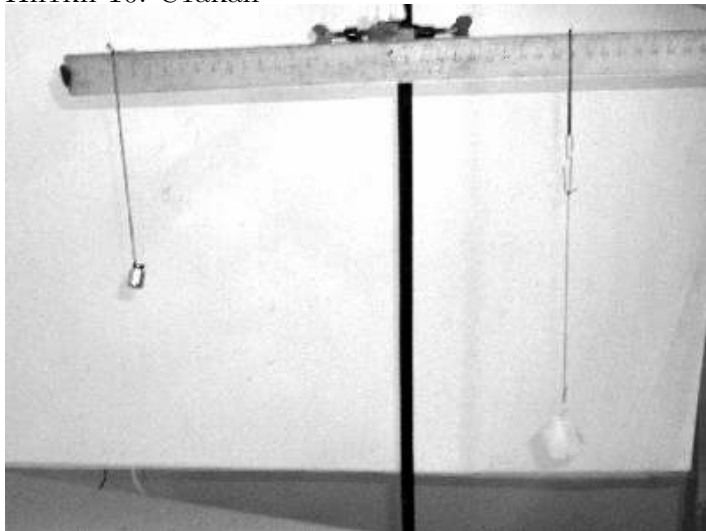
Условие

Задание 1. «Лед и воздух»

Внимание: время проведения измерений – около одного часа! Планируйте свою работу! Прочитайте все условие задания и продумайте методику проведения измерений – на повторные измерения может не хватить времени!

Приборы и оборудование:

1. Штатив с лапкой. 2. Линейка 40 см с отверстием. 3. Иголлка или гвоздик. 4. 2 кусочка льда. 5. Часы с секундной стрелкой. 6. Весы с разновесами. 7. Грузик. 8. Кусочек пластилина. 9. Нитки. 10. Стакан



Соберите экспериментальную установку, показанную на фотографии. Линейку с отверстием следует использовать как коромысло рычажных весов.

Если ваша линейка без отверстия – то сделайте его самостоятельно, на равных расстояниях от концов линейки, ближе к оцифрованному краю линейки. (Подумайте на досуге, почему именно так!)



В качестве оси используйте иголлку или гвоздик, который закрепите горизонтально в лапке штатива. Используя кусочек пластилина, уравновесьте весы. К одному из концов линейки привяжите кусочек льда. С другого края с помощью петли, которая может передвигаться по линейке, прикрепите грузик.

1. Измерьте массу предоставленного Вам грузика.

Подвешенный кусочек льда будет медленно таять, при этом с него время от времени срываются капли. Капли должны попадать в стакан, а не на вашу тетрадь!

2. Наблюдая за плавлением льда, зафиксируйте (запишите!) моменты времени отрыва каждой капли. Постройте график этой зависимости, качественно объясните ее.

3. Исследуйте зависимость массы льда от времени. (Измерять массу льда после отрыва каждой капли очень трудно – и не обязательно!).

4. Постройте график зависимости массы льда от числа упавших капель. Определите среднюю массу капли.

На основании ваших экспериментальных данных установите, можно ли считать размер капель постоянным, или он зависит от размера кусочка тающего льда.

5. Постройте зависимость времени образования капли τ от массы кусочка льда m . Предположим, что эта зависимость на отдельных временных участках имеет вид

$$\tau = C m^\gamma,$$

где C , γ – постоянные величины. Предложите теоретическую модель, в рамках которой определите показатель степени γ . Проверьте соответствие вашей модели полученным экспериментальным данным.

Решение

Задание 1. «Лед и воздух»

Желательно при замораживании кубиков льда в каждый из них вложить кусочек нитки, за которую потом очень удобно привязывать образовавшийся кусочек льда. Масса груза должна быть примерно равна массе кусочка льда – так маленький кусочек льда весит примерно 5-6 грамм. Также хорошо бы заранее просверлить небольшие отверстия в линейках – где и как описано в условии.

Нами использовалась гирька из набора массой 5,0 г. Определение массы подвешенного груза с помощью уравновешенных весов не представляет труда: отношение масс обратно пропорционально отношению плеч. Измерять массу кусочка льда после падения каждой капли затруднительно, поэтому измерения (то есть уравновешивание линейки посредством перемещения точки подвеса груза) проводилось примерно после падения трех капель. В таблице приведены результаты измерений и расчетов.

Таблица результатов измерений и расчетов.

Номер капли n	минуты	секунды	Время отрыва капли	Время образования капли τ_k	Плечо груза	Масса кусочка льда после падения капли	Рассчитанная масса m_{n-1}
0			0		367	4,61	
1	1	14	74	74	363	4,50	4,62
2	2	26	146	72	358	4,36	4,525
3	3	41	221	75			4,43
4	4	56	296	75	350	4,14	4,335
5	6	12	372	76			4,24
6	7	33	453	81			4,145
7	8	54	534	81			4,05
8	10	24	624	90	342	3,92	3,955
9	11	53	713	89			3,86
10	13	29	809	96	336	3,75	3,765
11	15	3	903	94			3,67
12	16	45	1005	102	329	3,56	3,575
13	18	28	1108	103			3,48
14	20	18	1218	110	322	3,37	3,385
15	22	7	1327	109			3,29
16	24	0	1440	113	315	3,17	3,195
17	25	57	1557	117			3,1
18	27	55	1675	118	306	2,92	3,005
19	29	52	1792	117			2,91
20	31	55	1915	123	299	2,73	2,815
21	33	46	2026	111			2,72
22	35	48	2148	122	291	2,51	2,625
23	37	53	2273	125			2,53
24	40	0	2400	127	283	2,29	2,435
25	42	11	2531	131			2,34
26	44	31	2671	140	275	2,06	2,245

Используя данные этой таблицы можно выполнить все требуемые задания.

На рис. 1 показана зависимость времен отрыва от номера капли. Здесь проводить сглаживающую линию не следует – дробного числа капель не бывает!

Полученная зависимость не линейна – время образования капель возрастает, так как уменьшается приток теплоты из воздуха при уменьшении размера кусочка льда.

Зависимость же массы льдинки от числа упавших капель практически линейна Рис.2, что говорит о том, что все капли приблизительно одинаковы. Массу отдельной капли можно определить как коэффициент наклона этого графика. По данным, приведенным в таблице, масса одной капли равна $m_0 \approx 0,10$ г.

говорит о том, что все капли приблизительно одинаковы. Массу отдельной капли можно определить как коэффициент наклона этого графика. По данным, приведенным в таблице, масса одной капли равна $m_0 \approx 0,10$ г.

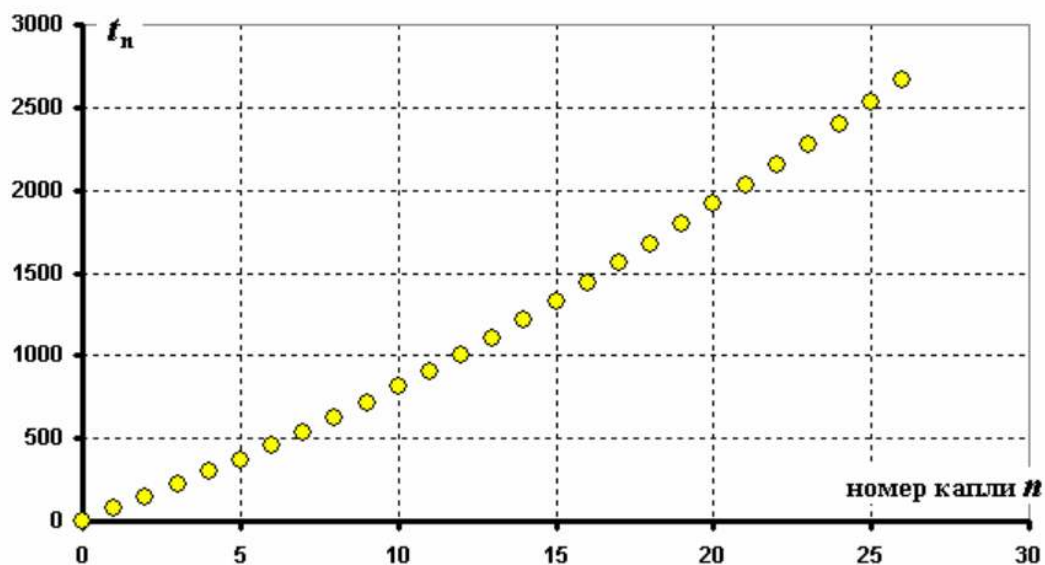


Рис. 1 Времена отрыва капель

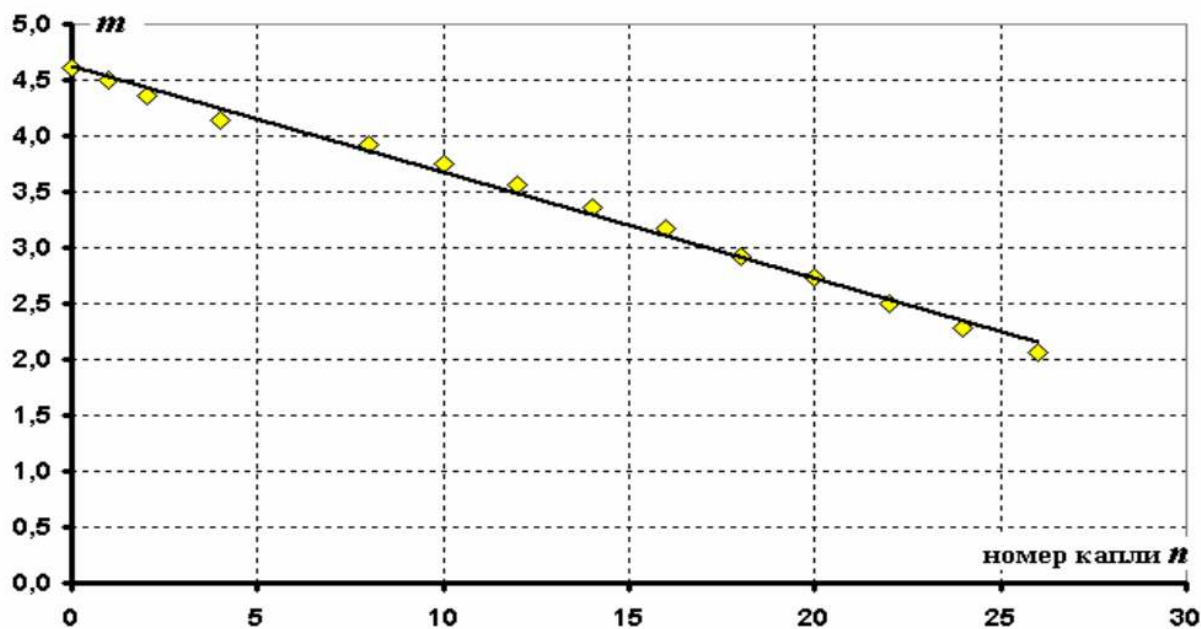


Рис. 2 Зависимость массы льдинки от числа упавших капель

Можно выдвинуть гипотезу, что поток теплоты от воздуха к капле пропорционален площади поверхности капли, которая приблизительно пропорциональна $q \approx Am^{2/3}$. Так на образование

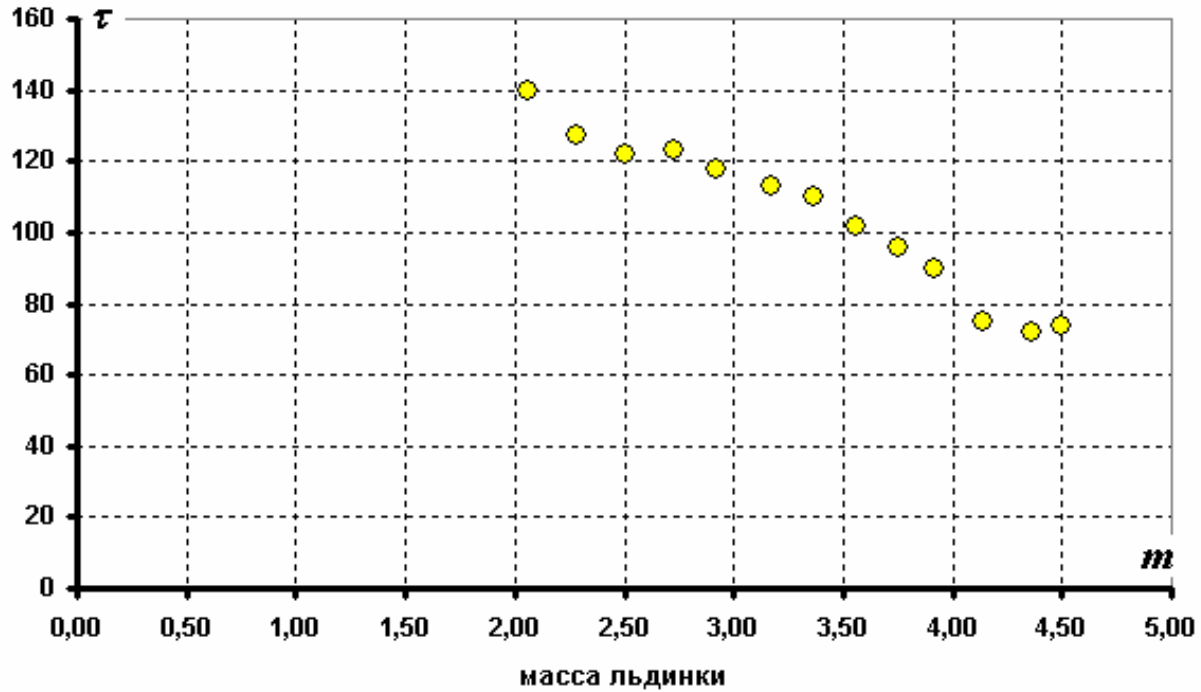
одной капли (постоянной массы) требуется одно и тоже количество теплоты, то $Am^{2/3}\tau \approx const$, то есть

$$\tau = Cm^{-2/3}. \quad (1)$$

На рис. 4 представлен график зависимости времени образования капли от массы льдинки.

Рис. 4 Время образования капли от массы льдинки

Рис. 4 Время образования капли от массы льдинки



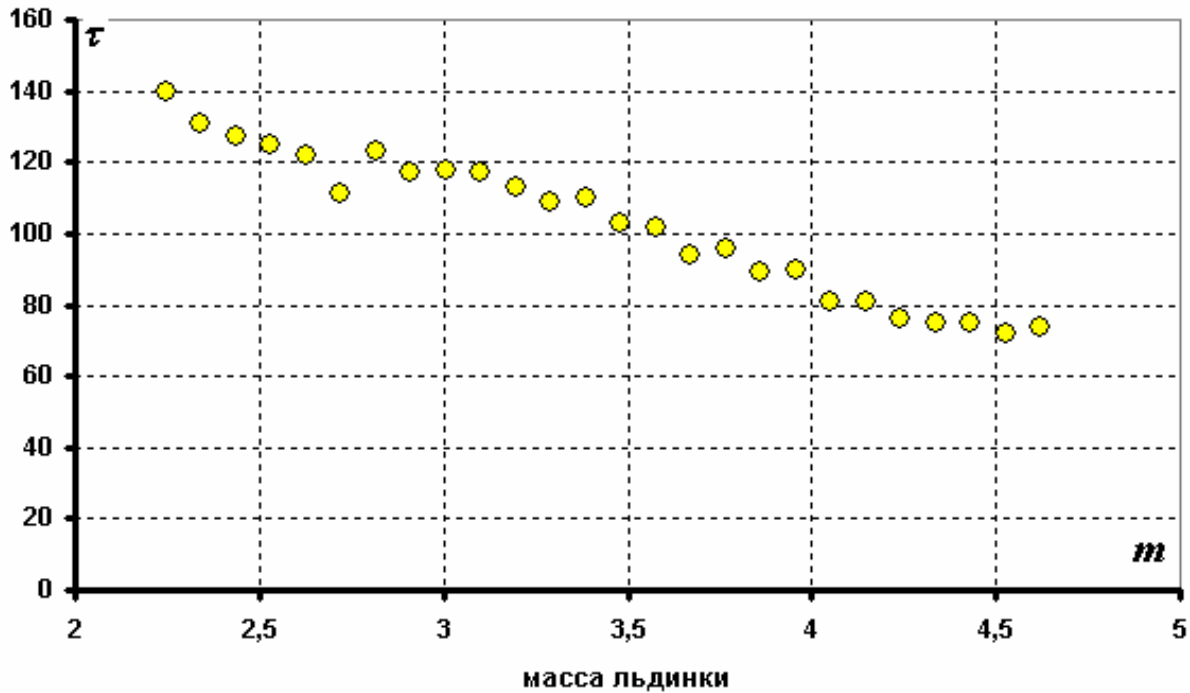
Из-за значительного разброса проанализировать эту зависимость невозможно. Поэтому можно (и нужно) увеличить точность и число точек, если вместо измеренных масс, взять их значения, рассчитанные по полученной зависимости 2. Использование метода наименьших квадратов для этой зависимости приводит к линейной функции зависимости массы льдинки от числа упавших с нее капель

$$m_n = 4,62 - 0,095n \quad (2)$$

Теперь можно построить зависимость времени образования капли номер n от массы капли (рассчитанной) после падения предыдущей капли. Результаты расчета такой зависимости приведены в последней колонке таблицы. Построенный по этим данным график зависимости $\tau_n(m_{n-1})$ показан на рис. 5.

Рис. 5 Время образования капли от рассчитанной массы льдинки

Рис. 5 Время образования капли от рассчитанной массы льдинки



Этот график более информативен, и его можно использовать для анализа применимости формулы (1). Для этого зависимость следует привести к линейному виду. Оптимальной, конечно является использование логарифмического масштаба, но можно использовать и другие методы линеаризации. После логарифмирования формулы (1) получим

$$\ln \tau = \ln C - \frac{3}{2} \ln m$$

На рис. 6 построена зависимость $\ln \tau$ от $\ln m$. Хорошо заметно, что на начальном этапе экспериментальные точки достаточно близки к прямой, коэффициент наклона которой приблизительно равен -1,5, что говорит о том, что предложенная модель достаточно корректно описывает экспериментальные данные на начальных этапах плавления. Возможно, что отклонения от нее на больших временах связаны с существенным изменением формы капли.

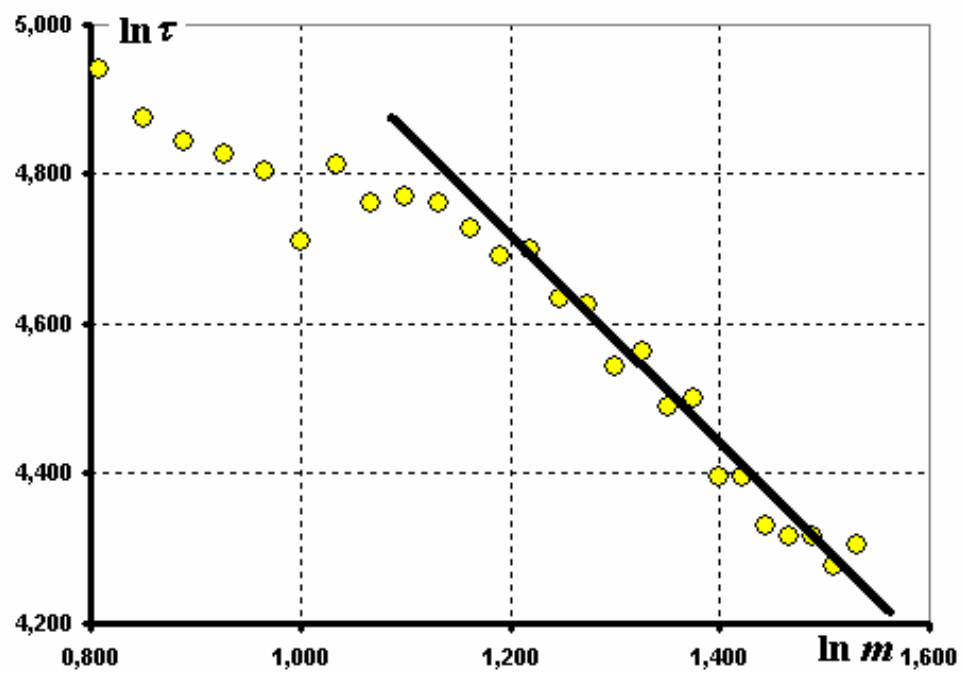


Рис. 6 Время образования капли, логарифмический масштаб

Рис. 6 Время образования капли, логарифмический масштаб