ISSN 2074-5303

научно-практический журнал

ФИЗИКА для школьников

3 2011

- Работа над ошибками при подготовке к ЕГЭ
- Применение видеоанализа для исследований
- Из истории связи

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ДЕМОНСТРАЦИИ ЯВЛЕНИЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И ПЛАВЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВА

Вс. Король,
учащийся школы 179, г. Москва
А. Феклина,
учащаяся школы 179, г. Москва
Научные руководители:
А. Е. Тарчевский,
учитель физики школы 179,
С. Д. Варламов,
к. ф.-м. н., учитель физики школы 179, г. Москва.

Цель работы

Разработка установки, которая обеспечит выполнение качественных демонстрационных экспериментов и лабораторных работ, показывающих постоянство температуры во время кристаллизации и плавления вещества, а также позволит измерять количественные характеристики (температуру и удельную теплоту плавления).

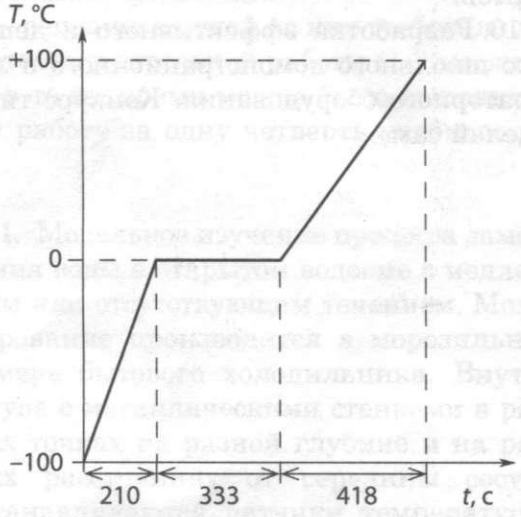

Рис. 1. График нагревания воды из школьного учебника физики

Теоретические основы работы

Из школьного курса физики всем известно, что фазовый переход из жидкого состояния в твердое и наоборот сопровождается фазой плавления или кристаллизации вещества, при котором температура смеси остается неизменной (т. е., теоретически, на графике должна получиться «полочка»).

Проделывая этот опыт по стандартным методическим указаниям для школы, мы обнаружили, что ярко выраженная «полочка» не получается.

Мы предположили, что этого можно избежать, улучшив установку.

Актуальность и постановка задачи

В школу № 179 поступило стандартное школьное экспериментальное оборудование, предназначенное для проведения демонстрационных экспериментов и фронтальных лабораторных работ, в состав которого входит неизвестное «кристаллическое вещество зеленого цвета», заключенное в стеклянную пробирку. В описании работы указано, что для наблюдения явления плавления и кристаллизации внутрь пробирки с веще-

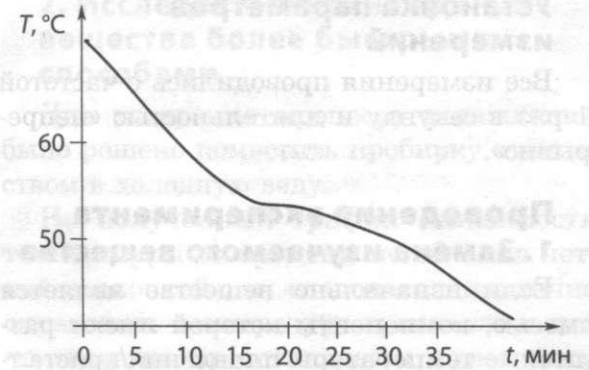

Рис. 2. График охлаждения «зеленого» вещества из стандартного набора

ством нужно поместить термометр, затем нагревать или охлаждать ее в емкости с горячей водой.

Наши исследования показали, что при использовании этого оборудования результат получается нестабильным, а зависимость температуры от времени не соответствует ожидаемой (на графике плохо выражена характерная «полочка» постоянной температуры во время плавления). Температура плавления и кристаллизации определяется неточно. Кроме того, эксперимент идет слишком долго (35 мин), что неудобно для демонстрации во время урока.

В результате нами было выделено несколько направлений исследований:

- Замена неизвестного «зеленого вещества» на вещество известного состава.
- Исследование методов охлаждения вещества более быстрыми способами.
- Обеспечение высокой теплопередачи в объеме вещества, чтобы его различные участки находились в тепловом равновесии.
- Обеспечение возможности удобного регулирования количества теплоты, поступающей к нагреваемому веществу.

Оборудование:

Стандартное школьное экспериментальное оборудование

стеариновая кислота, штативы, пробирки, электронный термометр, медная проволока, пенопласт, генератор постоянного тока, сплав Вуда, вода, морозильник, весы.

Из комплекта цифровой лаборатории

Nova-5000, датчик температуры – улучшенный термопастой, датчик тока.

Схемы установок

Установка для охлаждения и нагревания стеариновой кислоты

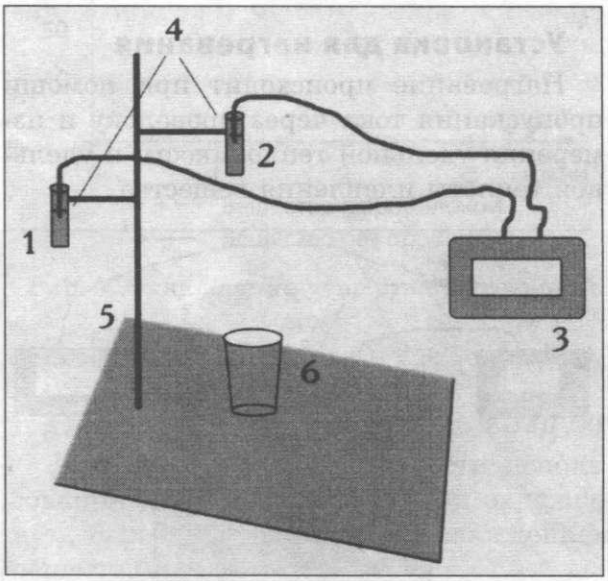

Рис. 3. 1 – пробирка с веществом с проволокой, 2 – пробирка с веществом без проволоки, 3 – Nova-5000, 4 – датчики температуры, 5 – штатив, 6 – нагреватель (термос с горячей водой)

Установка для охлаждения и нагревания «сплава Вуда»

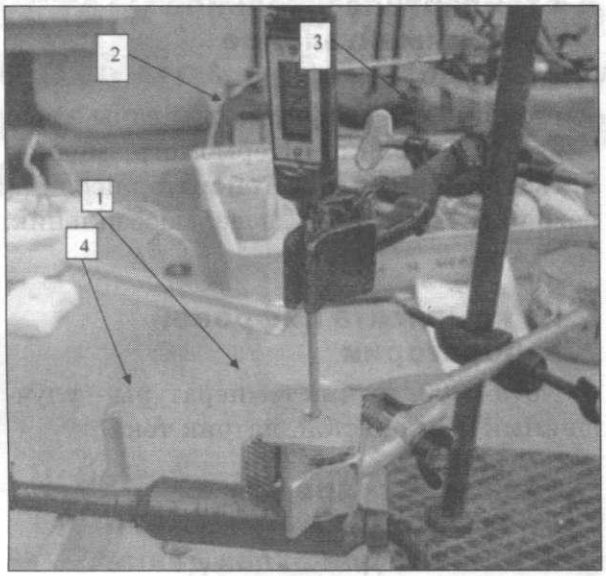

Рис. 4. 1 – «Сплав Вуда» в алюминиевом сосуде, 2 – термометр, 3 – штатив, 4 – нагреватель

Установка для нагревания

Нагревание происходит при помощи пропускания тока через проволоку и измерения удельной теплоемкости и удельной теплоты плавления вещества

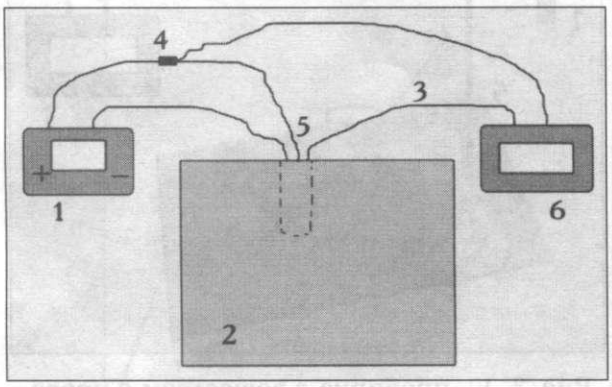

Рис. 5. 1 – источник постоянного тока, с фиксированным напряжением, 2 – теплоизолированная емкость с веществом, 3 – датчик температуры, 4 – датчик тока, 5 – проволока, через которую идет нагрев, 6 – Nova-5000

Установка параметров измерений

Все измерения проводились с частотой 1 раз в секунду и длительностью «непрерывно».

Проведение эксперимента

1. Замена изучаемого вещества

Если изначально вещество является смесью, компоненты которой имеют различные температуры плавления/кристаллизации, то «полочку» получить невозможно. С «чистым» веществом эта проблема не возникает (рис. 6).

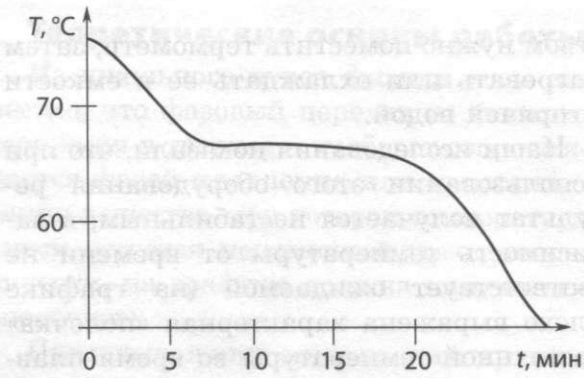

Рис. 6. Охлаждение стеариновой кислоты в горячей воде

При выборе вещества мы ориентировались на его безопасность, доступность и температуру кристаллизации (менее 100°C, что позволяет нагревать вещество водой, но больше 25-30°C, что позволяет его остужать в естественных условиях). Всем этим параметрам соответствует стеариновая кислота (безопасное, доступное, химически чистое вещество, с температурой кристаллизации 65-70°C), которая и была выбрана в качестве исследуемого вещества.

График вещества со стеариновой кислотой получается нагляднее, чем при эксперименте с «зеленым веществом».

2. Исследование охлаждений вещества более быстрыми способами

Для ускорения процесса охлаждения было решено поместить пробирку с веществом в холодную воду.

Но полученный график зависимости температуры от времени не обладал четкой «полочкой», и, следовательно, точно определить температуру кристаллизации по нему не представляется возможным (рис. 7). Отсутствие четкой «полочки» было вызвано тем, что в веществе была низкая теплопередача, из-за чего вещество кристаллизовалось неравномерно.

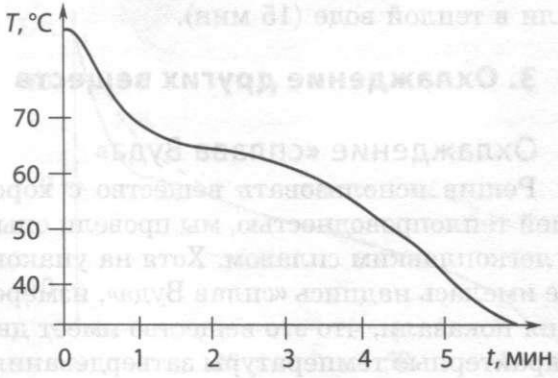

Рис. 7. Ускоренное охлаждение стеариновой кислоты в холодной воде

Обеспечение равномерного установления температуры в веществе

Для равномерной кристаллизации можно использовать два способа:

- увеличить теплопередачу внутри вещества,
- уменьшить интенсивность нагревания/охлаждения.

При уменьшении интенсивности нагревания увеличивается время эксперимента. Поэтому было решено использовать другой метод – увеличение теплопередачи внутри вещества. Для этого внутрь вещества был помещен клубок тонкой медной проволоки диаметром 0,1–0,3мм. Далее все опыты производились в двух вариантах – с медной проволокой внутри и без нее.

«Быстрое» охлаждение вещества в холодной воде

Этот опыт проходит гораздо быстрее, чем опыт с охлаждением в теплой воде (3 минуты в холодной, 30 минут в теплой). На графике (рис. 8) охлаждения вещества с медной проволокой внутри вещества «полочка» хорошо видна, а на графике без проволоки «полочка» выражена очень плохо.

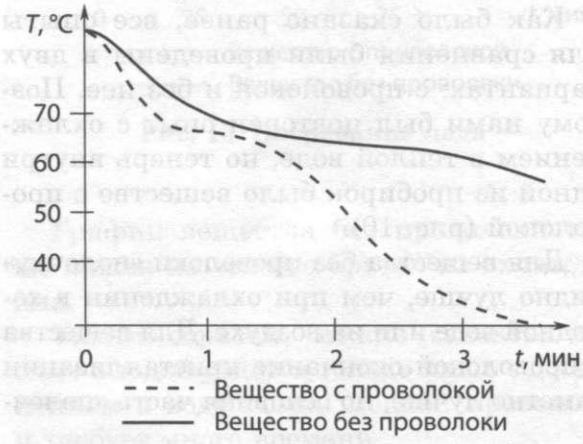

Рис. 8. Охлаждение вещества в холодной воде

Охлаждение вещества на воздухе

Для проверки необходимости использования медной проволоки при охлаждении, был проведен опыт с охлаждением вещества на воздухе.

На графике охлаждения вещества с проволокой «полочка» по-прежнему видна лучше, чем на графике – без проволоки. Но теперь на графике охлаждения вещества без проволоки можно заметить «полочку» (рис. 9).

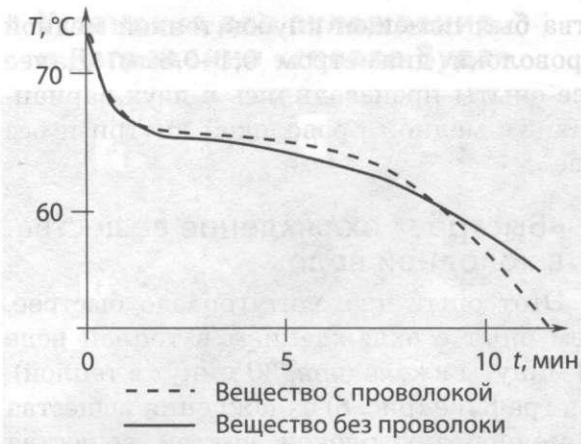

Рис. 9. Охлаждение вещества на воздухе

Охлаждение вещества в теплой воде

Как было сказано ранее, все опыты для сравнения были проведены в двух вариантах: с проволокой и без нее. Поэтому нами был повторен опыт с охлаждением в теплой воде, но теперь внутри одной из пробирок было вещество с проволокой (рис. 10).

Для вещества без проволоки «полочку» видно лучше, чем при охлаждении в холодной воде или на воздухе. Для вещества с проволокой окончание кристаллизации заметно лучше, но основная часть «полочки» для обоих веществ видна одинаково хорошо.

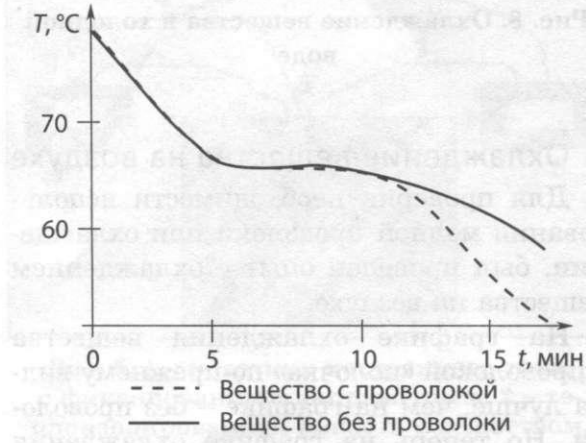

Рис. 10. Охлаждение вещества в теплой воде

Выводы по различным способам охлаждения

- При выполнении работы желательно поместить внутрь вещества в пробирке клубок проволоки для увеличения теплопередачи.
- Если в вещество поместить медную проволоку, то допустима быстрая демонстрация опыта с охлаждением в холодной воде.
- Допустима демонстрация без применения проволоки, но тогда опыт надо проводить медленнее – на воздухе (10 мин) или в теплой воде (15 мин).

3. Охлаждение других веществ

Охлаждение «сплава Вуда»

Решив использовать вещество с хорошей теплопроводностью, мы провели опыт с легкоплавким сплавом. Хотя на упаковке имелась надпись «сплав Вуда», измерения показали, что это вещество имеет две характерные температуры затвердевания, которые не совпадают со справочным значением соответствующей температуры для «сплава Вуда» (рис. 11).

На графике две полочки и температуры обеих выше температуры кри-

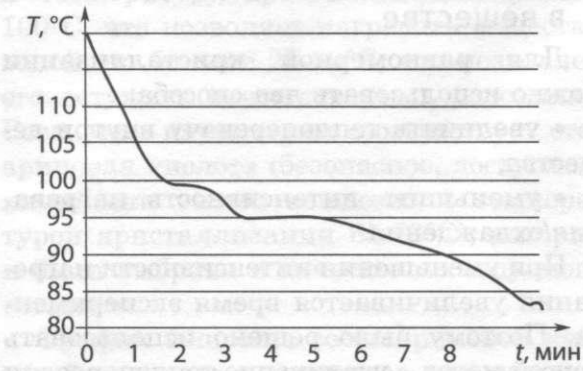

Рис. 11. Охлаждение «сплава Вуда»

сталлизации/плавления сплава Вуда –68,5°С.

Из этого мы сделали вывод, что приобретенный сплав, даже лучше, чем «сплав Вуда», подходит для показа явления кристаллизации.

Охлаждение воды

Решив, что стеариновой кислоты может не оказаться в школе, мы провели эксперимент с одним из самых доступных веществ – водой. Сам эксперимент осложняется тем, что для кристаллизации воды требуется среда с температурой ниже нуля (рис. 12).

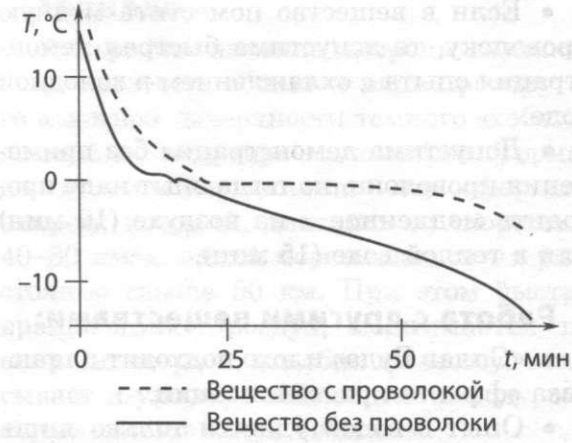

Рис. 12. Охлаждение воды

Также на графике видно, что время эксперимента велико (4000 секунд – это более 1 часа).

Оба этих недостатка компенсируются качеством графика охлаждения воды с проволокой внутри. Он наиболее близок к «графику из учебника». На графике вещества без проволоки полочка отсутствует.

Нагревание льда

Продолжая опыт со льдом, мы оставили пробирки на воздухе, пока не растаял лед.

Опыт снова длился очень долго – 7000 секунд, более 1,5 часов.

Как видно на графике для пробирки с проволокой «полочка» выражена еще лучше, чем в опыте с охлаждением воды (рис. 13).

Рис. 13. Нагревание льда

График вещества без проволоки так же похож на «своего брата» из охлаждения.

Таким образом, можно сказать, что опыт с водой удается только лишь с добавлением в воду комка медной проволоки и требует много времени.

4. Обеспечение возможности удобного регулирования количества теплоты, поступающего к нагреваемому веществу

Пропускание электрического тока через проволоку, обеспечивающую высокую теплопередачу в веществе, позволяет:

- нагрева ть тело равномерно,
- найти удельную теплоту плавления вещества,
- регулировать скорость эксперимента.

5. Нахождение удельной теплоемкости и теплоты плавления вещества

Обозначения: λ – удельная теплота плавления, c – удельная теплоемкость вещества, T – температура вещества, t – время, Q – количество теплоты, $f(T)$ – производная от температуры по времени.

Вывод формулы для нахождение удельной теплоты плавления:

$$\lambda = \frac{Q}{m}, \quad Q = IU\Delta t, \quad \lambda = \frac{IU\Delta t}{m}.$$

Вывод формулы для нахождения удельной теплоемкости:

$$c = \frac{Q}{m\Delta T}, \quad c = \frac{IU\Delta t}{m\Delta T},$$

$$c = \frac{IU}{m}\cdot\frac{\Delta t}{\Delta T}, \quad c = \frac{IU}{m}\cdot f'(T).$$

График зависимости легко строиться в программе MultiLab (функция взятия производной от температуры по времени умножается на константу ($const = \frac{IU}{m}$)).

Результаты работы

- Разработано и испытано несколько вариантов конструкции установки для демонстрации явлений плавления и кристаллизации.
- Исследован процесс плавления и кристаллизации нескольких веществ (стеариновая кислота, лед, сплав Вуда).
- Достигнут стабильный результат, разработаны рекомендации для успешной демонстрации явления и выполнения соответствующей лабораторной работы.
- Испытан вариант установки, в которой нагревание вещества осуществляется при помощи пропускания электрического тока по проволоке, используемой для увеличения теплопроводности.
- Установка позволяет определить удельную теплоемкость и удельную теплоту плавления исследуемого вещества.
- Работа внедрена в школе № 179 и используется на практикуме по физике.

Отчет по работе

Работа со стеариновой кислотой:

- При выполнении работы желательно поместить внутрь вещества в пробирке клубок проволоки для увеличения теплопередачи.
- Если в вещество поместить медную проволоку, то допустима быстрая демонстрация опыта с охлаждением в холодной воде.
- Допустима демонстрация без применения проволоки, но тогда опыт надо проводить медленнее – на воздухе (10 мин) или в теплой воде (15 мин).

Работа с другими веществами:

- «Сплав Вуда» плохо подходит для показа эффекта кристаллизации.
- Опыт с водой удается только лишь с добавлением в воду мотка медной проволоки.
- Опыт с водой длится слишком долго.

Литература

1. Справочник «Физические величины»/ Под редакцией И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991.

2. *Ландсберг Г. С.* Элементарный учебник физики: Том 1. Механика. Теплота. Молекулярная физика. – М.: Наука. Физматлит, 1995.

3. *Сивухин Д. В.* Общий курс физики. Термодинамика и молекулярная физика. – М.: Наука, 1990.