

Майер Валерий Вильгельмович
*Доктор педагогических наук, профессор,
заведующий кафедрой физики и дидактики физики,
декан физического факультета Глазовского
государственного педагогического института.*



Вараксина Екатерина Ивановна
*Ассистент кафедры физики и дидактики физики
Глазовского государственного педагогического института.*



Палец в расплавленном свинце

На качественном уровне рассмотрено различие между пузырьковым кипением жидкости и плёночным. Обсуждается известный физический трюк — погружение влажной руки в расплавленный свинец. Описан безопасный вариант аналогичного эксперимента для демонстрации. Вместо свинца использован оловянно-свинцовый припой, нагревателем является стандартная электроплитка с закрытой спиралью, сосудом для расплавленного припоя служит неглубокая жестяная баночка. Влажный палец погружается в расплавленный припой до дна сосуда.

Предисловие. Специально для детей

Настоящий физик-экспериментатор должен быть отчаянно смел и одновременно весьма осмотрителен. С этими, бесспорно, полезными качествами, к сожалению, не рождаются. Их воспитывают неустанным трудом над собственной личностью, каждодневно убивая в себе как разнузданную бесшабашность, так и позорную трусость. На простом примере покажем, как это можно сделать, изучая физическое явление.



Пузырьковое и плёночное кипение

Кипение жидкости относится к обычным явлениям — каждый из вас прекрасно знает, как закипает и затем бурляще кипит вода в чайнике. Это пример *пузырькового кипения* — парообразования внутри жидкости, при котором на стенках сосуда и имеющихся в жидкости включениях образуются, быстро растут, отрываются и всплывают пузырьки пара. Пузырьковое кипение имеет место при сравнительно небольших тепловых потоках.

Если массивный сосуд нагреть до температуры, значительно превышающей температуру кипения жидкости, и затем влить в него небольшую порцию этой жидкости, то моментально произойдёт вскипание по всей поверхности соприкосновения жидкости с сосудом. Между жидкостью и сосудом образуется слой пара в виде тонкой плёнки. Такое поведение жидкости получило название *плёночного кипения*. С этим видом кипения вы тоже встречались: оно имеет место, например, когда смоченным пальцем касаются поверхности нагретого утюга. Ещё эффектнее плёночное кипение проявляется, если на раскалённую сковородку капнуть водой: капли начнут бегать по сковородке.

Одним из первых исследователей плёночного кипения (впрочем, не подозревавшим, что именно это явление он исследует) был Лейденфрост (1756 г.), который помещал капли воды в раскалённую железную ложку и определял, сколько времени они будут находиться в ней, почти не испаряясь. Позже плёночное кипение исследовали многие учёные. Для обозначения капель на раскалённой поверхности одно время использовался даже специальный термин «сферoidalное состояние жидкости» [1, с. 515–516]. В наши дни ис-

следователи, продолжающие интенсивно разрабатывать теорию этого явления, предпочитают говорить о плёночном кипении жидкости, или явлении Лейденфроста.

Американский популяризатор науки Дж. Уокер на основании своих экспериментов построил график зависимости времени жизни капли от температуры раскалённой поверхности, на которой она находится (рис. 1). Оказалось, что при температуре металла (230 ± 30)°C капля воды может оставаться на нём, медленно испаряясь, около минуты. Если температура меньше указанного выше оптимального значения, то капля воды растекается по поверхности и вскипает обычным образом.

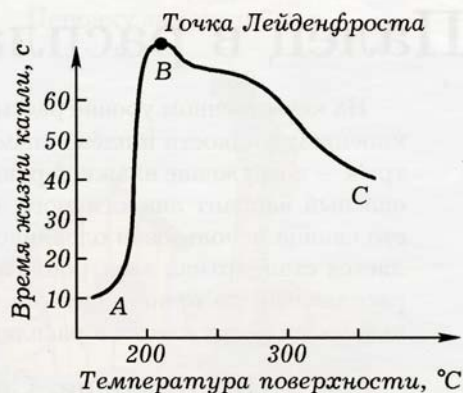


Рис. 1

Явление Лейденфроста объясняется тем, что в момент первоначального касания капель раскалённой поверхности часть воды бурно вскипает и быстро испаряется. При этом образуется тонкая паровая подушка, поддерживающая каплю над поверхностью и препятствующая дальнейшему интенсивному испарению воды. Дж. Уокер свидетельствует, что слой пара между каплей и металлом имеет толщину око-

ло 0,2 мм в центре капли и 0,1 мм возле её края (рис. 2). Обо всём этом подробно рассказано в статьях [2] и [3], опубликованных журналом «Квант».

Плавающая капля



Рис. 2

В них же обсуждается связанный с плёночным кипением жидкости старинный фокус по погружению влажной руки в расплавленный свинец. С рукой при этом ничего страшного не происходит потому, что за счёт явления Лейденфроста между расплавленным металлом и кожей воды образуется слой пара, некоторое время предохраняющий кожу от ожога.

Эффектная демонстрация сущности плёночного кипения жидкости по-

гружением в расплавленный свинец влажной руки привлекла внимание и учителей физики. В результате был повторен описанный Дж. Уокером опыт по погружению смоченной водой руки в сосуд с расплавленным свинцом [4]. Понятно, что в таком варианте этот опыт в качестве учебного совершенно неприемлем.



Подготовка экспериментальной установки

Опыт по погружению руки в расплавленный свинец очень эффектен, но и чрезвычайно опасен. Кроме того, он не столь уж и доступен: надо достать довольно большое количество свинца, прочную металлическую банку, газовую горелку или паяльную лампу для расплавления и нагревания расплавленного свинца, измеритель температуры для определения оптимальных и безопасных условий эксперимента и другое оборудование, которое обычно не перечисляют, полагая, что оно всегда есть под рукой.

Задача заключается в том, чтобы придумать такой вариант опыта, который можно использовать для обучения в школе. Вот мы с вами и попробуем повысить *учебность* опыта по погру-

жению руки в расплавленный металл, сохранив при этом его необычность и эффектность. Понятно, что подобные опыты лучше всего ставить в школьном физическом кабинете при участии учителя физики или другого ответственного человека.

В первую очередь откажемся от свинца и заменим его оловянно-свинцовым припоем. Припой марки ПОС-30, например, имеет температуру плавления 230°C , что почти на 100°C меньше, чем температура плавления чистого свинца. Кроме того, этот сплав гораздо доступнее, так как свободно продаётся в хозяйственных магазинах.

Далее заменим не удовлетворяющие требованиям техники безопасности горелки и паяльные лампы с от-

крытым пламенем электроплиткой с закрытой спиралью, рекомендованной для использования в школьном кабинете физики.

Наконец, не будем плавить металл в большой банке, а вместо неё возьмём

подходящую жестяную крышку — сосуд диаметром 50 мм и глубиной 5 мм. Это позволит использовать небольшое количество припоя и резко сократит время, необходимое для его плавления.

Эксперимент и всё, что с ним связано

Вначале подготовьте опыт. Для этого заранее включите электроплитку. Определить, что её нагрев достаточен, можно обычным методом «пальца и слюны»: смоченным в воде пальцем на

мгновение прикоснитесь к поверхности электроплитки. Если раздастся характерное шипение, то нужная температура достигнута.



Рис. 3

На поверхность электроплитки, взяв рукой, быстро поставьте металлическую баночку. В неё поместите заранее нарезанные кусочки припоя. Подождите, пока припой полностью расплавится и получившаяся жидкость нагреется до такой степени, что на блестящей, как зеркало, поверхности станет появляться характерная плёнка

окиси красновато-фиолетового оттенка (рис. 3). Именно при такой температуре и нужно проводить все опыты. Окисную плёнку, если она мешает, деревянной лопаточкой всегда можно переместить к краю баночки и затем удалить из неё. Если поверхность припоя покрыта толстой плёнкой окиси, то металл в баночке перегрет. В та-

ком случае плитку нужно отключить, подождать, пока припой остынет, и деревянной лопаточкой удалить окисную плёнку, чтобы поверхность расплавленного припоя вновь стала блестящей.

Теперь начнём тренировку, имеющую своей целью понять подстерегающие нас опасности и преодолеть психологический барьер.

Вообще говоря, включённая в электроосветительную сеть электроплитка опасна. Поэтому, *расплавив в баночке припой, нужно выключить электроплитку и только тогда проводить опыты*. Электроплитка с закрытой спиралью довольно инерционна и остывает настолько медленно, что времени для опытов вам вполне хватит. Однако нужно следить, чтобы припой в баночке имел достаточно высокую температуру, а именно такую, при которой на его поверхности образуется тонкая плёнка окиси. Если температура припоя стала слишком низкой (а это хорошо видно непосредственно глазом), надо включить электроплитку, разогреть припой и затем вновь выключить её.

Непосредственно перед проведением опытов наденьте защитные очки. Погрузите палец в стакан с водой и с вытянутой руки капните водой в расплавленный припой с высоты нескольких сантиметров. Вы увидите, что капля делает в припое углубление, моментально испаряется и припой выбрасывает раскалённый шарик. После его остывания нетрудно убедиться, что этот шарик состоит из вспененного припоя. Если увеличить высоту, с которой в расплавленный припой капает вода, то брызги горячего припоя летят выше.

Этот опыт показывает, что избыток воды на пальцах опасен. Нужно, чтобы палец оказался смоченным водой, но на его конце не получалась бы водяная капля.

Опустите палец в стакан с водой, избыток воды стряхните и пальцем быстро коснитесь поверхности электроплитки так, как вы это делаете, проверяя, нагрелся ли утюг. Фактически вы повторили то, что делали раньше, когда нагревали электроплитку.

Затем вновь смочите палец и прикоснитесь им к краю металлической баночки, в которой расплавлен припой.

Наконец, не забыв снова смочить палец и стряхнуть избыток воды, быстро коснитесь самой поверхности расплавленного припоя — о чудо, вы не чувствуете ничего!

Не забывая о технике безопасности, повторите этот опыт несколько раз, убеждаясь, что вы действительно можете погрузить смоченный водой палец в расплавленный металл до самого дна баночки (рис. 4).



Рис. 4

Всё. Теперь вы готовы рассказать о плёночном кипении и показать эффектный опыт, демонстрирующий это прекрасное явление, например, на школьной научной конференции. Ваши слушатели будут в восторге, но вряд ли захотят повторить опыт дома, а если всё же решатся, то будут твёрдо знать, как избежать возможных неприятных и даже опасных последствий.

К слову, им можно сообщить, что эффектом плёночного кипения жидкости объясняются и другие чудеса того же рода, как опускание рук в расплавленный металл. К ним относятся лизание языком раскалённой докрасна кочерги, хождение по горящим углям, держание во рту жидкого азота и аналогичные им физические фокусы [5, с. 134, 158–159], повторять которые после освоенного вами опыта уже нет никакой необходимости. Если же вам захочется поразить аудиторию не только экспериментом, но и теорией, советуем познакомиться с книгой В. А. Сара-

нина [6, с. 53–71], в которой вы найдёте немало поучительного о пузырьковом и плёночном кипении.



Послесловие. Специально для родителей

Не надо осуждать автора за эту статью: рекомендованный в ней эксперимент совершенно безопасен. Лучше сказать, он опасен в той же степени, в какой опасен любой физический опыт. Действительно, стреляя из баллистического пистолета, можно поранить глаз; нагревая воду в пробирке с пробкой, можно травмировать нос; переноса поработавшую электрофорную машину можно получить удар электриче-

ским током; глядя в отверстие, из которого выходит лазерный луч, можно ослепнуть; работая с ртутной лампой, можно получить ожог и т. д. Наши дети должны быть настолько умны и осторожны, чтобы ничего подобного с ними не происходило. Для этого их нужно учить правильно готовить и ставить физические опыты. Давайте заниматься этим вместе!

Литература

1. Хвольсон О. Д. Курс физики. Т. 3. Учение о теплоте. — Берлин: Госиздат, 1923. — 752 с.
2. Уокер Дж. Как кипит вода? // Квант. — 1991. — № 5. — С. 34–36.
3. Уокер Дж. Как кипит вода? (Эффект Лейденфроста) // Квант. — 1991. — № 6. — С. 33–35.
4. Кириллов С. Н. Экспериментальный театр. Плёночное кипение. 8 класс // Физика. Еженедельное приложение к газете «Первое сентября». — 2002. — № 18. — С. 7–10.
5. Перельман Я. И. Знаете ли вы физику? — М.: Наука, 1992. — 272 с.
6. Саранин В. А. Равновесие жидкостей и его устойчивость. Простая теория и доступные опыты. — М.: Институт компьютерных исследований, 2002. — 144 с.