

Научно-практическая конференция
«Первые шаги в науку»

Учебно-исследовательская работа
«Эффект Лейденфроста»

Предметная область - физика

Выполнили:
Сайков Роман,
учащийся 9 класса

государственного учреждения образования
«Средняя школа № 38 г. Гомеля»
Республика Беларусь

Научный руководитель:
Шейбут Сергей Валентинович,
учитель физики

Гомель, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Пленочное и пузырьковое кипение.....	4
2 Эффект Лейденфроста на нагретой пластине.....	5
2.1 Исследование основных закономерностей пленочного кипения.....	5
2.2 Исследование поведения капель на нагретой пластине.....	7
3 Эффект Лейденфроста на поверхности шара.....	9
Заключение.....	11
Список литературы.....	13
Приложение 1.....	14
Приложение 2.....	15
Приложение 3.....	16
Приложение 4.....	17
Приложение 5.....	18

Введение

Часто приходилось слышать и видеть самому об трюках, связанных с пленочным кипением жидкости (явление Лейденфроста). К числу таких опытов относятся защита кожи от высоких температур прослойкой пара, правда, на очень короткое время, что позволяет опустить на мгновение палец в расплавленный свинец, ходить босиком по углям. Благодаря образованию защитной газовой подушки можно на короткое время опустить руку в жидкий азот (температура кипения азота минус 196°C), перекачивать капли жидкого азота на ладони или даже взять небольшое количество жидкого азота в рот.

Меня заинтересовали механизмы работы данных «научных фокусов», поэтому свое исследование мы посвятили именно эффекту поверхностного кипения жидкости.

Проблема исследования плёночного кипения жидкости имеет как практический, так и научный интерес. Быстрое охлаждение нагретых до высокой температуры металлических изделий – это основной способ получения требуемой внутренней структуры изделия в процессе закалки. В атомной энергетике актуальны вопросы парового взрыва и охлаждения активной зоны реактора в процессе поставарийного повторного залива.

С научной точки зрения является весьма важным понимание механизмов процессов, которые происходят вблизи поверхности нагрева, чтобы уметь контролировать описанные выше процессы и избежать катастрофических последствий при паровом взрыве.

Цель работы заключалась в том, чтобы исследовать явление поверхностного кипения, которое возникает при контакте жидкости с сильно нагретой поверхностью.

Задачи, которые мы перед собой поставили, следующие:

- 1) Изучить проявления эффекта для различных жидкостей экспериментальным способом.
- 2) Исследовать эффект пленочного кипения для процесса закалки.
- 3) Объяснить трюки, связанные с пленочным кипением.

1 Пленочное и пузырьковое кипение

Кипение жидкости, которое мы встречаем в повседневной жизни довольно часто – это пример пузырькового кипения. Пузырьковое кипение – парообразование внутри жидкости, при котором на стенках сосуда и в 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 произойдет вскипание по всей поверхности соприкосновения жидкости с сосудом. Между жидкостью и сосудом образуется слой пара в виде тонкой пленки. Такое поведение жидкости получило название пленочного кипения.

С пленочным кипением можно встретиться в быту довольно часто: например, когда смоченным пальцем касаются поверхности нагретого утюга или, если на раскаленную сковородку капнуть водой, то капли начнут бегать по сковородке.

Одним из первых исследователей пленочного кипения был Лейденфрост, который помещал капли воды в раскаленную ложку и определял сколько времени они будут находиться в ней, почти не испаряясь. Для обозначения капель на раскаленной поверхности одно время даже использовался специальный термин «сфероидальное состояние жидкости». В наше время исследователи, продолжающие интенсивно разрабатывать теорию этого явления, предпочитают говорить о пленочном кипении жидкости, или явлении Лейденфроста.

Явление Лейденфроста объясняется тем, что в момент первоначального касания капель раскаленной поверхности часть воды бурно вскипает и быстро испаряется. При этом образуется тонкая паровая подушка, поддерживающая каплю над поверхностью и препятствующая дальнейшему интенсивному испарению воды.

2 Эффект Лейденфроста на нагретой пластине

2.1 Исследование основных закономерностей пленочного кипения

Для опыта мы использовали электроплитку с закрытой спиралью, пластины из нержавеющей стали, шприц, электронный термометр (термопара на мультиметре) и секундомер (см. рис. 1.1, Приложение 1).

Цель: добиться «сфероидального состояния жидкости» и оценить основные закономерности пленочного кипения.

Задача: определить температурную точку начала эффекта пленочного кипения для различных жидкостей (дистиллированной воды, водопроводной воды, спиртового раствора, масла подсолнечного, уксуса)

Гипотеза: температура начала эффекта будет зависеть от температуры кипения жидкостей.

Ход работы:

Пластину из нержавеющей стали расположили горизонтально над электроплиткой. Термопарой измерялась температура пластины. При помощи шприца на пластину выдавливались капли равной величины и измерялось время полного испарения капли.

Результаты:

1) Жидкость: вода дистиллированная.

Температура начала эффекта: 140°C.

Температура наибольшего времени жизни капли: 225°C.

Наибольшее время жизни капли (капля диаметром ~0.5 см): 57 сек.

2) Жидкость: вода водопроводная.

Температура начала эффекта: 150°C.

Температура наибольшего времени жизни капли: 232°C.

3) Жидкость: спиртовой раствор.

Температура начала эффекта: 110°С

Температура наибольшего времени жизни капли: 180°С

4) Жидкость: уксус

Температура начала эффекта: 150°С

Температура наибольшего времени жизни капли: 250°С

5) Жидкость: масло подсолнечное

Эффект пленочного кипения не обнаружен.

Капля масла начинает загораться раньше, чем достигает эффекта пленочного кипения. Капли масла до определенного момента быстро испарялись, предварительно растекаясь по поверхности пластины, а при температуре ~300°С падающие капли масла воспламенялись, касаясь раскаленной пластины.

Выводы:

1) действительно температурные точки начала пленочного кипения отличались для различных жидкостей: чем выше температура кипения жидкости, тем при более высокой температуре начинает проявляться эффект Лейденфроста;

2) время жизни капли сначала увеличивается при росте температуры выше точки проявления эффекта, но при сильном перегреве пластины время жизни капли начинает снова убывать. Таким образом, для каждой жидкости существует определенная температура (точка Лейденфроста), выше и ниже которой время жизни капли будет уменьшаться;

3) по полученным данным построили график зависимости времени жизни капли воды от температуры пластины (см. Приложение 1), из которого видна общая закономерность эффекта пленочного кипения – наличие явно выраженного температурного пика (температура наибольшего времени жизни капли – точка Лейденфроста).

2.2 Исследование поведения капель на раскаленной поверхности

Задача: проанализировать поведение капель в режиме пленочного кипения и выявить основные закономерности данного процесса.

В ходе наблюдения за поведением капель на разогретой поверхности были обнаружены весьма интересные эффекты.

Наблюдения:

1. При падении капли воды на раскаленную пластину возникает характерный звук «битого стекла». Данный звук схож со звуком удара вилкой по стеклянному бокалу.

2. При небольших размерах капли принимают шарообразную форму под действием поверхностного натяжения, но, если увеличивать размер капель, они приобретают форму каравая с впадиной в центре на нижней стороне, граничащей с пластиной (рис. 1).

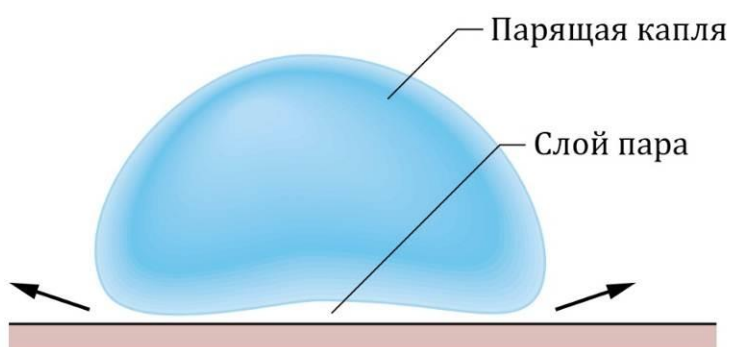


Рисунок 1. Капля в поперечном сечении при эффекте Лейденфроста

3. Капли передвигаются по поверхности пластины на паровой подушке под действием реактивной силы.

4. При столкновениях друг с другом капли могут сливаться в одну каплю, а могут и упруго отталкиваться.

5. Капли начинают совершать не только поступательные движения, но и вращательные. При вращении происходят сложные колебания, которые заключаются в попеременном растягивании и сжатии во взаимно перпендикулярных направлениях. То есть капля вытягивается вдоль и сокращается поперек, а затем вытягивается поперек и сокращается вдоль. Такие колебания происходят быстро и для глаза видны как изменение сферической формы капли на ромбическую, а в совокупности с вращением капля принимает форму восьмиконечной звезды.

6. Размеры капли ограничены. При достижении большой массы, зазор между пластиной и каплей уменьшается. Пар не успевает в полном объеме выходить из-под капли и скапливается по ее центру. В итоге в центре капли растет паровой пузырь (рис. 5.1; Приложение 5), который впоследствии лопается и разрывает каплю на части.

7. Форма капель может быть различной. Мы наблюдали следующие формы: ромбическая, шарообразная, овальная, трехконечная звезда, пятиконечная звезда (рис.5.2; Приложение 5), шар с многими иглами, бублик, кость.

Выводы:

1) явление парения капель на разогретой поверхности достаточно сложное, и содержит в себе много интересных эффектов (акустических, механических, молекулярных) достойных отдельных исследований;

2) в качестве практического применения, можно использовать эффект паровой левитации при невысоких температурах, используя в качестве источника паровой подушки легкокипящие жидкости (например, сжиженный углекислый газ при комнатной температуре будет очень активно испаряться, создавая паровую подушку, используя только лишь тепло окружающей среды).

3 Эффект Лейденфроста на поверхности шара

Цель: установить закономерности пленочного кипения, при условии нахождения нагревателя внутри жидкости.

Ход опыта:

1. Стальной шар, который соединен с деревянной подставкой стальным стержнем, нагревался пламенем газовой горелки.
2. После выключения горелки, шар погружался в стакан с водой.
3. Велись наблюдения времени остывания шара и различных эффектов пленочного кипения воды вокруг шара.

Наблюдения:

1. Шары диаметром 1,5см и 3см нагревали до температуры 300°C. При опускании в воду комнатной температуры, шары резко остужались со свистом и шипением. Эффекта прослойки пара не наблюдалось.
2. Шар нагретый до температуры ~730°C погружался в стакан с холодной водой. Шар очень быстро остывал, передавая свое тепло воде. Однако в первые секунды погружения шара наблюдался эффект паровой подушки вокруг шара. В этой фазе вода вокруг шара была спокойной и никаких звуковых эффектов не наблюдалось (рис.3.1; Приложение 3). После окончания фазы паровой подушки вода вокруг шара начинала бурно кипеть (рис. 3.2; Приложение 3), что сопровождалось характерными звуками бурления.
3. Чтобы увеличить время фазы паровой подушки мы нагрели воду в стакане до температуры 90°C. Мы решили, что большая часть тепла уходит на нагревании воды вокруг шара до кипения и за это время температура шара успевает значительно снизиться.

Шар нагрели до темпер $\sim 730^{\circ}\text{C}$ и погрузили в горячую воду (90°C). Паровая подушка возникла вокруг шара мгновенно и шар, находясь под водой, продолжал светиться красным светом долгое время (рис. 4.2; Приложение 4). Наличие светового излучения свидетельствовало о том, что температура шара была не менее 700°C все это время под водой.

Остывание шара происходило очень медленно. Эффект паровой подушки длился больше минуты, после чего вода резко вскипела, окончательно охладив шар до 100°C .

Выводы:

1) паровая прослойка, возникающая вокруг нагревателя, сильно ухудшает теплообмен нагревателя с жидкостью, что может привести к перегреву самого нагревателя и выходу его из строя;

2) явление пленочного кипения нужно учитывать при закалке железных изделий, т.к. от быстроты охлаждения в итоге будет зависеть качество и состав стали;

3) гладкие шары в нашем опыте держали паровую подушку дольше чем шершавые, поэтому для уменьшения эффекта паровой изоляции нагревателя возможно следует делать с искусственными неровностями;

4) шар большего размера, нагретый до одинаковой температуры с малым шаром, держал режим пленочного кипения дольше.

Заключение

В ходе работы мы исследовали явление пленочного кипения, которое возникает при контакте жидкости с сильно нагретой поверхностью, и выявили ряд закономерностей. Нам эта работа помогла разобраться со многими «чудесами», показываемых на публике.

Иногда средства массовой информации с большой шумихой и различной мистической чушью сообщают об исполнителе, шагающем по горячим углям или опускающим голую руку в расплавленный свинец. Заявляется, что защита от сильного ожога дается властью духа над материей. На самом деле ступни и руку защищает физика, и эффект поверхностного кипения играет здесь главенствующую роль. Намоченные предварительно или вспотевшая во время опыта кожа испаряет со своей поверхности достаточно жидкости, чтобы на несколько мгновений защитить кожу пленкой из пара.

Данный эффект даже может являться судьей. Так, например, чтобы определить, кто из двух людей говорит правду, вождь африканской деревни приказал каждому лизнуть горячий нож. Считается, что язык правдивого человека будет смочен слюной. Тогда часть слюны подвергнется пленочному кипению, и язык не будет обожжен. С другой стороны, у лжеца пересохнет во рту, и защиты пленочным кипением не будет.

Также нам стал понятен опыт с очень холодными жидкостями. Как, например, видеоролик в котором исполнитель лил в рот жидкий азот "не обжигаясь", несмотря на его крайне низкую температуру. Температура жидкого азота около -200°C (точнее, -196°C). Жидкость немедленно подвергалась пленочному кипению по нижней поверхности и не касалась непосредственно языка.

Данный эффект находит свое применение и в быту: проверка утюга и паяльника на нагрев мокрым пальцем, проверка степени нагретости сковороды каплей воды, тушение мокрыми пальцами фитиля свечи.

Но несмотря на пользу эффекта, которую мы будем смело использовать в своей жизни есть и обратная сторона. Эффект Лейденфроста может оказывать отрицательное действие в промышленности:

- 1) Уменьшение КПД нагревательной установки, вследствие недостаточной передачи тепла от перегретых нагревателей к жидкости.
- 2) Перегревание емкостей, в которых находится жидкость, может привести к их расплавлению с катастрофическими последствиями (взрыв паровых котлов).

Влияние эффекта для многих промышленных процессов заставляет относиться к его изучению со всей серьезностью. Полученные опытные результаты исследования ученых теплообмена при охлаждении металлических шаров могут быть использованы при разработке технологии закалки и выборе ее оптимальных режимов, а также избежать таких катастроф как паровой взрыв, спровоцированный эффектом Лейденфроста, применяя знаний о эффекте при проектировании систем охлаждения напряженных в тепловом отношении элементов оборудования.

Мы продолжим работу над темой пленочного кипения и в дальнейшем постараемся дать количественные описания, которые помогут использовать эффект пленочного кипения с пользой в промышленности или науке.

Список литературы

- 1) Чудеса пленочного кипения_Образовательный портал «Наука детям» [Электронный ресурс]. – статья в интернете. – http://virtuallab.by/publ/video_opyty/video_opyty/chudesa_plenochnogo_kipenija/1-1-0-210
- 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. Пленочное 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.–272с.
- 6) Саранин В.А. Равновесие жидкостей и его устойчивость. Простая теория и доступные опыты.–М.:Институт компьютерных исследований, 2002.–144с.
- 7) Эффект Лейденфроста_Материал из Википедии – свободной энциклопедии [Электронный ресурс]. – статья в интернете.– https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82_%D0%9B%D0%B5%D0%B9%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%84%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0

Приложение 1

График зависимости времени испарения капли от температуры поверхности пластины, на которую она помещена.

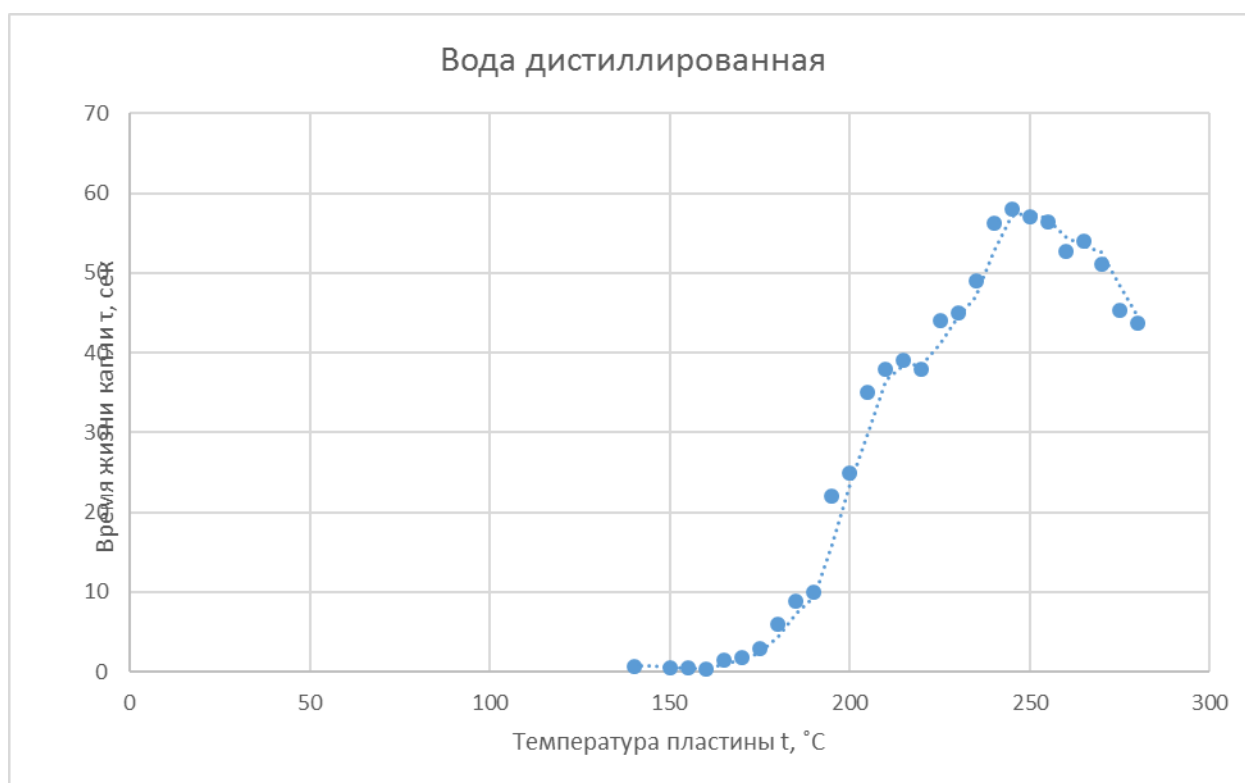


График 1. Кривая времени жизни капли воды на горячей поверхности



Рисунок 1.1 Исследование пленочного кипения капель на пластине

Приложение 2

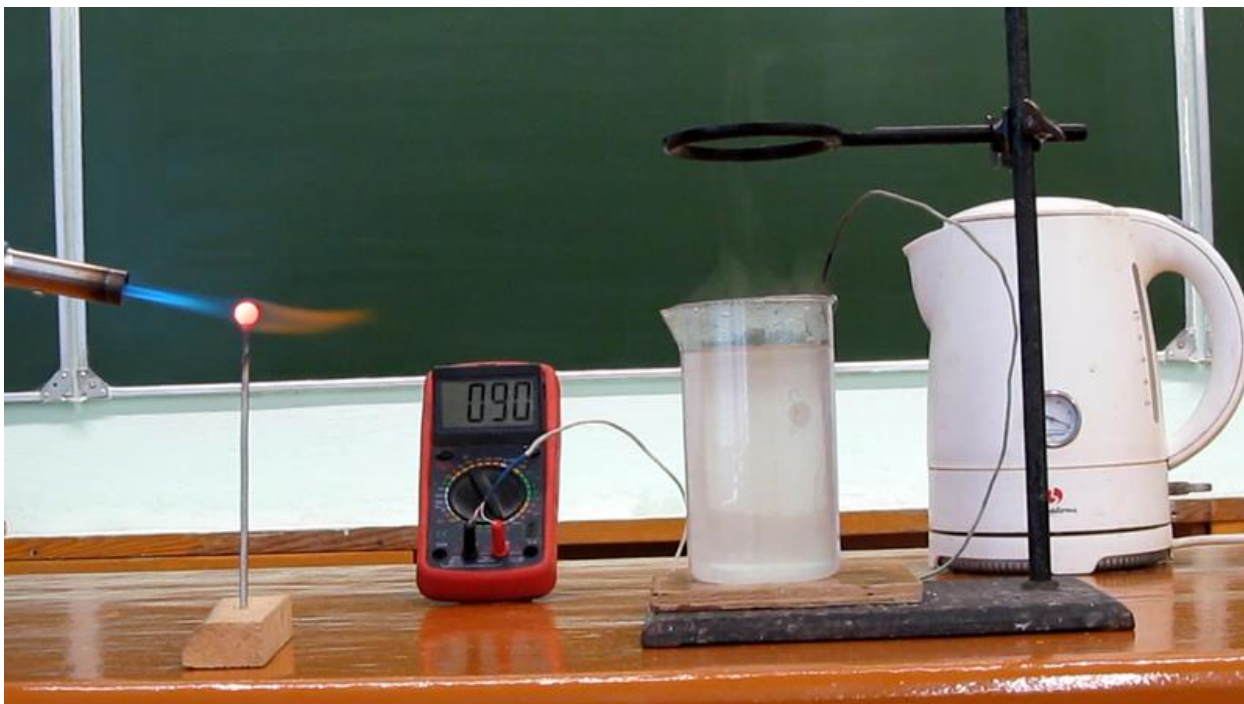


Рисунок 2.1. Нагретый шар на подставке, термометр, стакан с водой, штатив

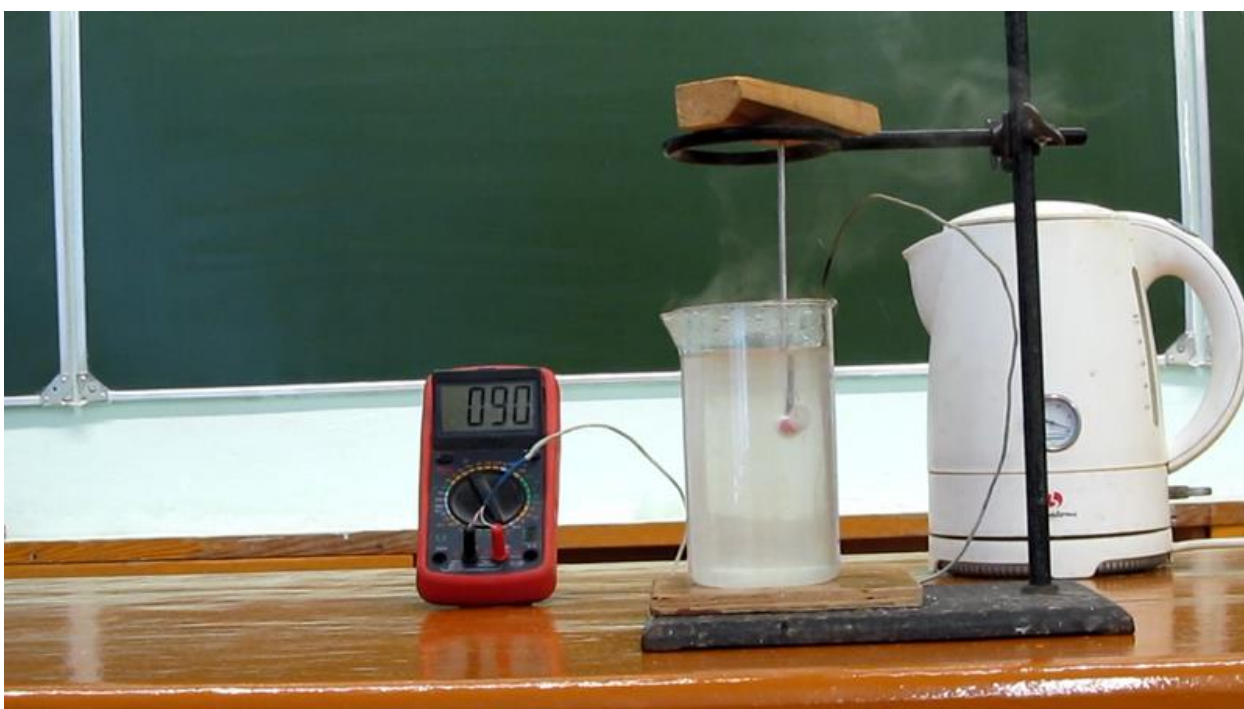


Рисунок 2.2. Общий вид установки для исследования пленочного кипения на поверхности шара

Приложение 3



Рисунок 3.1 Устойчивая паровая пленка вокруг шара



Рисунок 3.2 Неустойчивая паровая пленка вокруг шара. Переход к пузырьковому кипению

Приложение 4

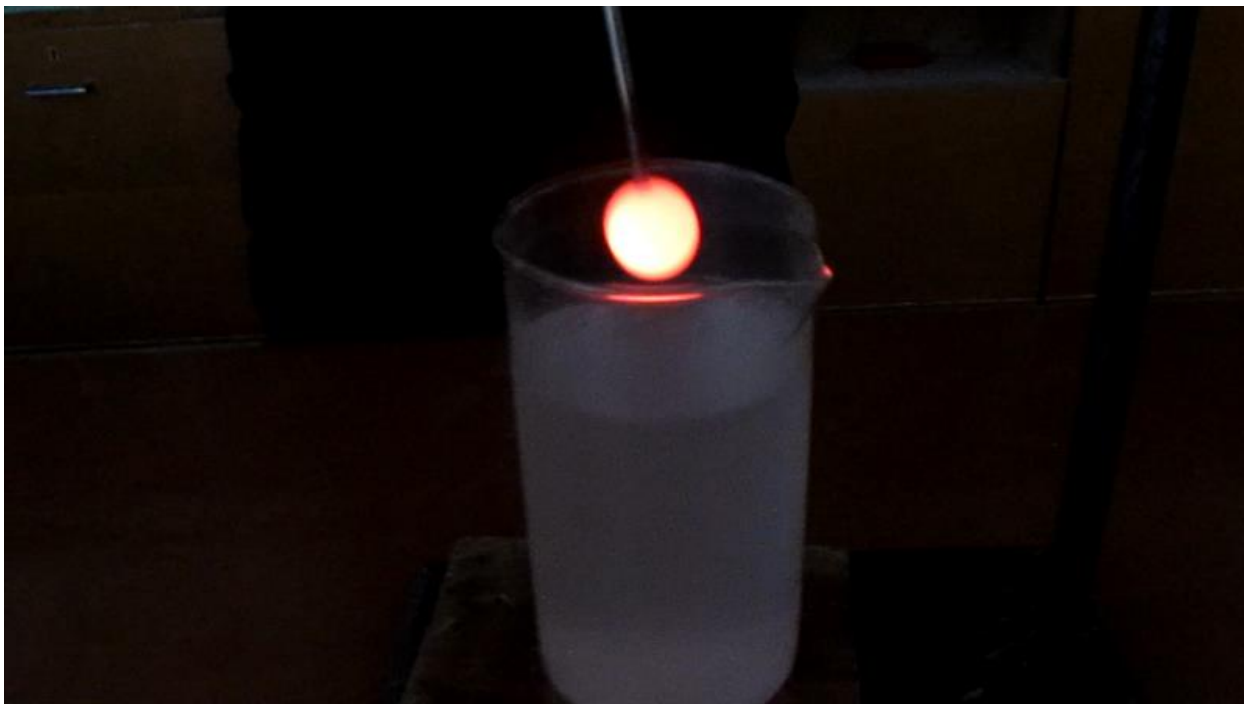


Рисунок 4.1. Нагретый шар до погружения в воду

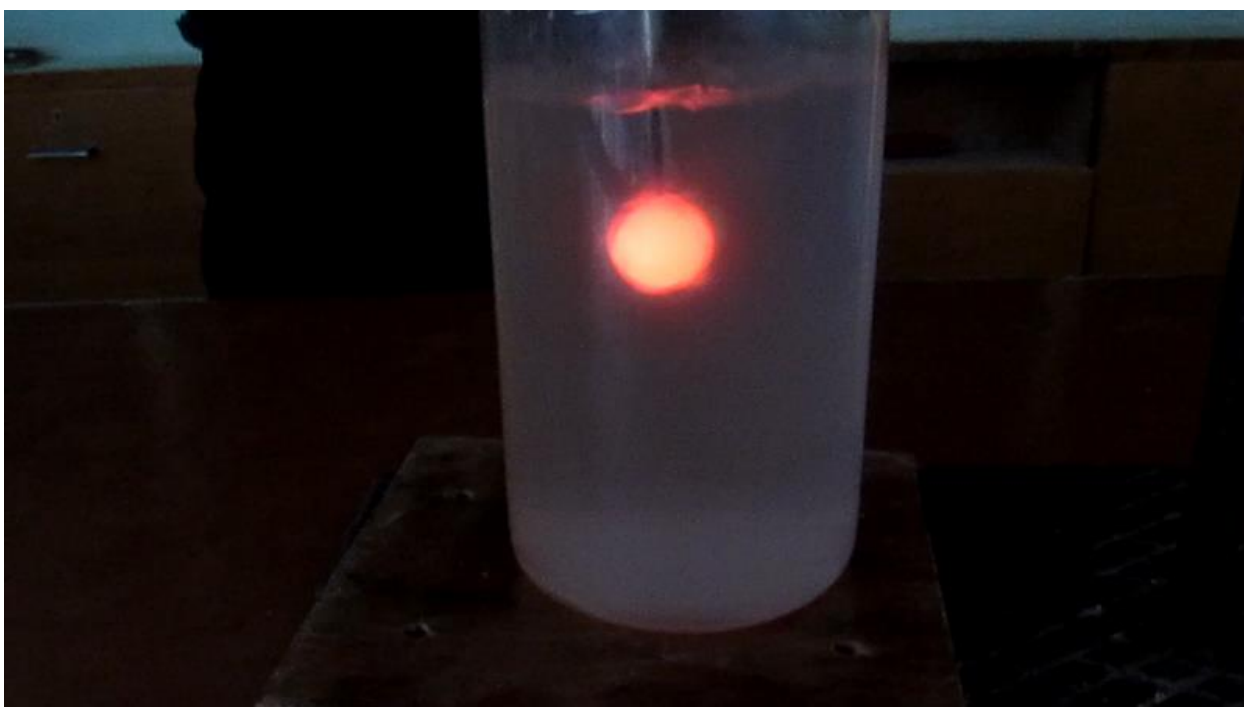


Рисунок 4.2. Нагретый шар сохраняет свою температуру после погружения под воду

Приложение 5

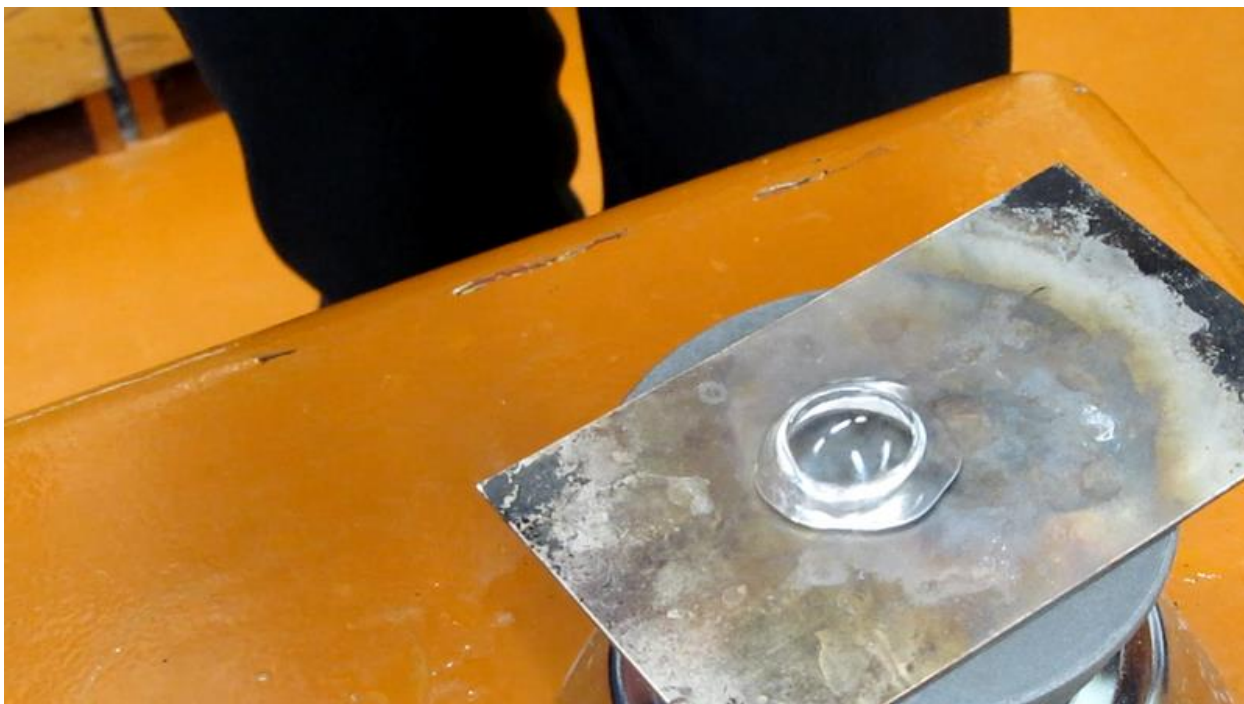


Рисунок 5.1. Форма капли с пузырьком по центру



Рисунок 5.2. Форма капли пятиконечная звезда