

**Московский Физико-Технический Институт  
(государственный университет)**

**Вопрос по выбору по термодинамике:  
Эффект Марангони на примере «виных слёз»**

Шлапак Мария, Б04-004  
Физтех-школа электроники, фотоники и молекулярной физики

## Описание работы

Эффект Марангони - явление переноса вещества вдоль границы раздела двух сред, возникающее вследствие наличия градиента поверхностного натяжения.

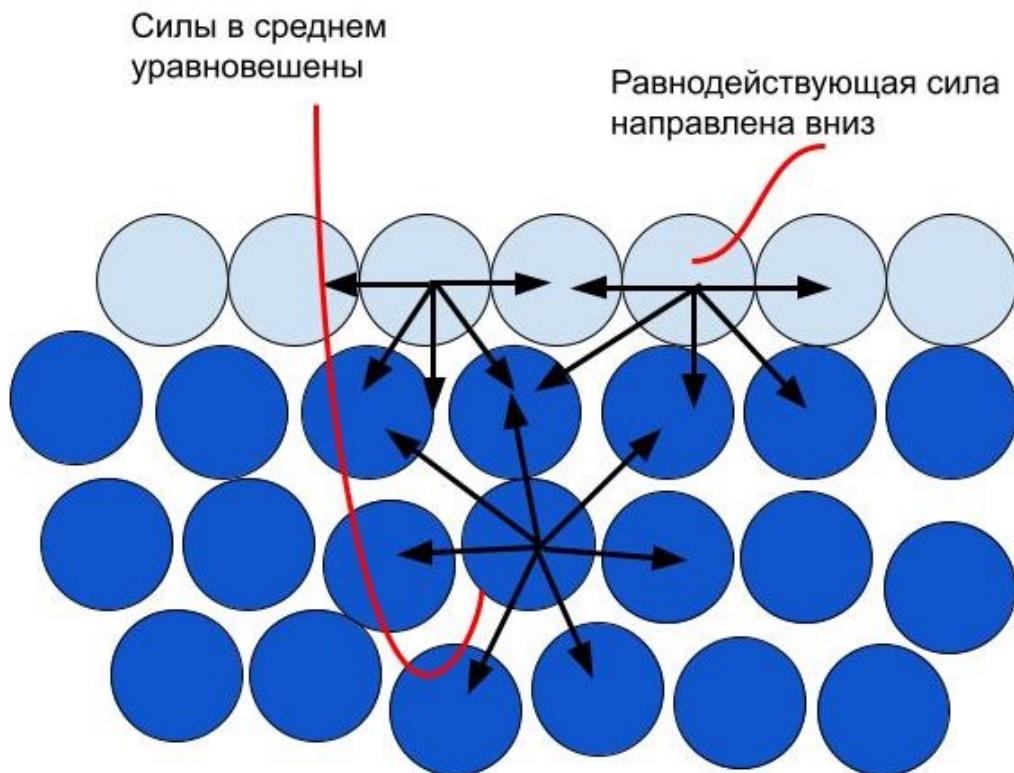
В данной работе исследуется физика явления эффекта Марангони (Марангони-Гиббса) на примере образования так называемых «винных слёз» - покрытия внутренней стенки бокала тонкой пленкой вина, которое затем медленно стекает вниз отдельными потоками. В ходе работы также используется **принцип неустойчивости Рэлея - Плато**, явление **смачивания и несмачивания**, понятие **краевых углов** и возникновение **градиента поверхностного натяжения**.

## Теоретические сведения

На молекулу жидкости действуют силы притяжения со стороны окружающих молекул. Если молекула находится внутри жидкости и удалена от её поверхности на расстояние, превышающее радиус сферы молекулярного действия, то эти силы в среднем уравновешиваются. Если же молекула находится в приграничном слое, толщина которого равна радиусу сферы молекулярного действия, то появляется результирующая сила, направленная внутрь жидкости. Поэтому для извлечения молекулы из внутренних частей жидкости на её поверхность требуется затрата работы. Таким образом, работу, которую надо затратить, чтобы изотермически и квазистатически увеличить поверхность жидкости на одну единицу при сохранении её объема неизменным, называется *поверхностным натяжением жидкости*.

$$\psi_{pov} = \sigma F, \text{ где } F - \text{площадь поверхности жидкости.}$$

Таким образом, на границе жидкость-газ возникает результирующая сила, которая направлена внутрь жидкости.



В случае соприкосновения с твердым телом силы взаимодействия молекул жидкости с молекулами твердого тела начинают играть существенную роль. Поведение жидкости будет зависеть от того, что

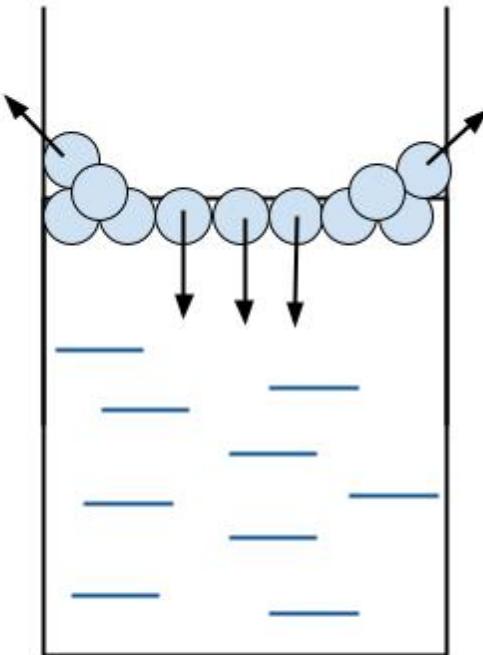
больше: сила взаимодействия между молекулами жидкости или сила взаимодействия молекул жидкости с молекулами твердого тела.

Если силы притяжения молекул жидкости к молекулам твердого тела больше, чем между молекулами самой жидкости, то молекулы жидкости «прилипают» к поверхности твердого тела. В этом случае говорят о *смачивании*.

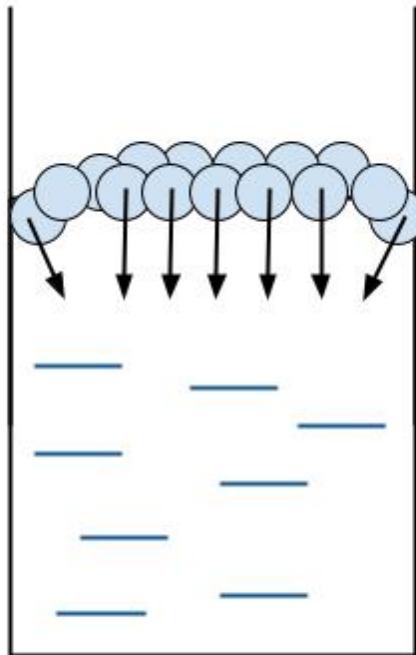
Если силы притяжения молекул жидкости к молекулам твердого тела меньше, чем между молекулами самой жидкости, то прилегающие слои жидкости «отталкиваются» от поверхности твердого тела. В этом случае говорят о *несмачивании*.

Явление смачивания и несмачивания приводят к искривлению поверхности жидкости у стенок сосуда, наблюдаемые при этом эффекты получили название *краевых эффектов*.

Количественной характеристикой краевых эффектов служит *краевой угол*  $\theta$  между плоскостью, касательной к поверхности жидкости, и поверхностью твердого тела. При смачивании он будет острым (рис. 2а), а при несмачивании – тупым (рис. 2б).

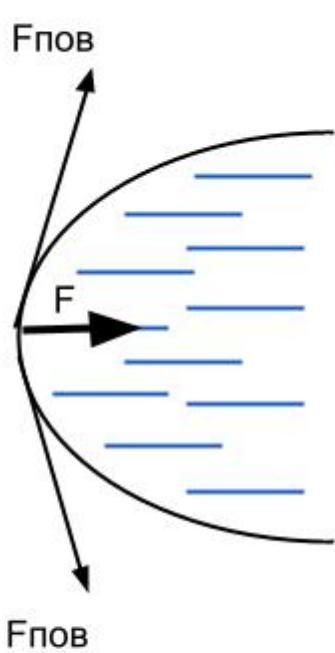


частичное смачивание, рис. 2а

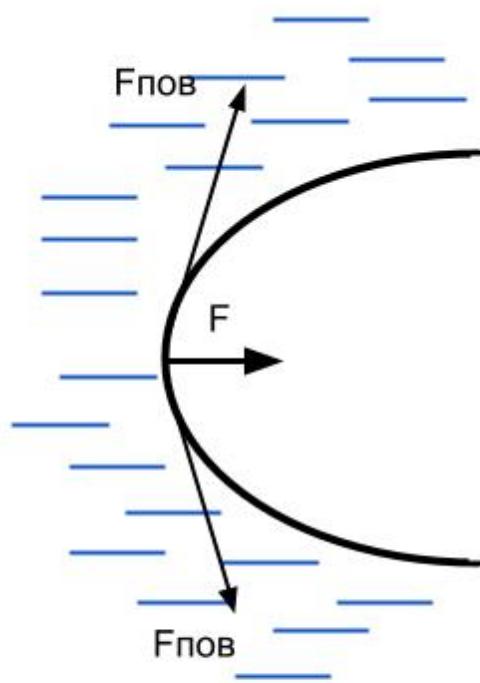


частичное несмачивание, рис. 2б

Силы, связанные с наличием поверхностного натяжения и направленные по касательной к поверхности жидкости, в случае выпуклой поверхности дают результирующую, направленную внутрь жидкости (рис. 3а). В случае вогнутой поверхности результирующая сила направлена, наоборот, в сторону газа, граничащего с жидкостью (рис. 3б).



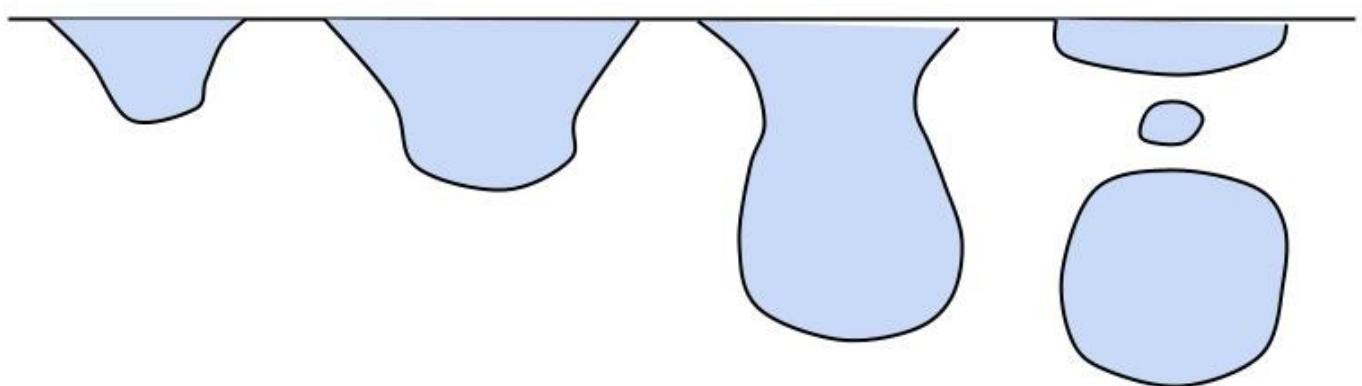
выпуклая поверхность, рис. 3а



вогнутая поверхность, рис. 3б

**Принцип неустойчивости Плато-Рэлея:**

Это явление самопроизвольного разбиения длинной струи жидкости на отдельные не связанные фрагменты — капли:



Поверхностное натяжение стремится уменьшить площадь поверхности жидкость-газ, так как у меньшей поверхности меньшая энергия поверхностного натяжения. Длинная, например, цилиндрическая струя некоторого объёма имеет большую площадь поверхности, чем несколько сферических капель того же объема. Именно поэтому длинные струи жидкости разбиваются на капли.

## Эффект Марангони

Ранее мы всегда рассматривали однородную жидкость с поверхностным натяжением, одинаковым для всей поверхности. Однако, если появляется градиент поверхностного натяжения, появляется также и перенос вещества вдоль границы раздела двух сред.

Градиент поверхностного натяжения может быть вызван градиентом концентрации или градиентом температуры. Мы будем рассматривать первый вариант.

*Чем больше у жидкости поверхностное натяжение, тем с большей силой она стягивается.* Поэтому при наличии градиента поверхностного натяжения жидкость будет перемещаться в область с большим коэффициентом поверхностного натяжения.

### Опыт с водой и мыльным раствором:

Это утверждение можно проверить на опыте. Для этого возьмём неглубокую тарелку с водой и насыпем в неё какую-нибудь мелкую смесь, которая бы не тонула, а оставалась на поверхности воды. С помощью неё мы сможем отследить движение потоков воды. Добавим в нашу жидкость каплю моющего средства, оно содержит в своём составе мыло или глицерин, поверхностное натяжение которых меньше, чем у воды. В результате в центре тарелки возникнет пониженное поверхностное натяжение и поток воды будет стремиться к краям тарелки (область с повышенным поверхностным натяжением).

#### Сравнение коэффициентов поверхностного натяжения:

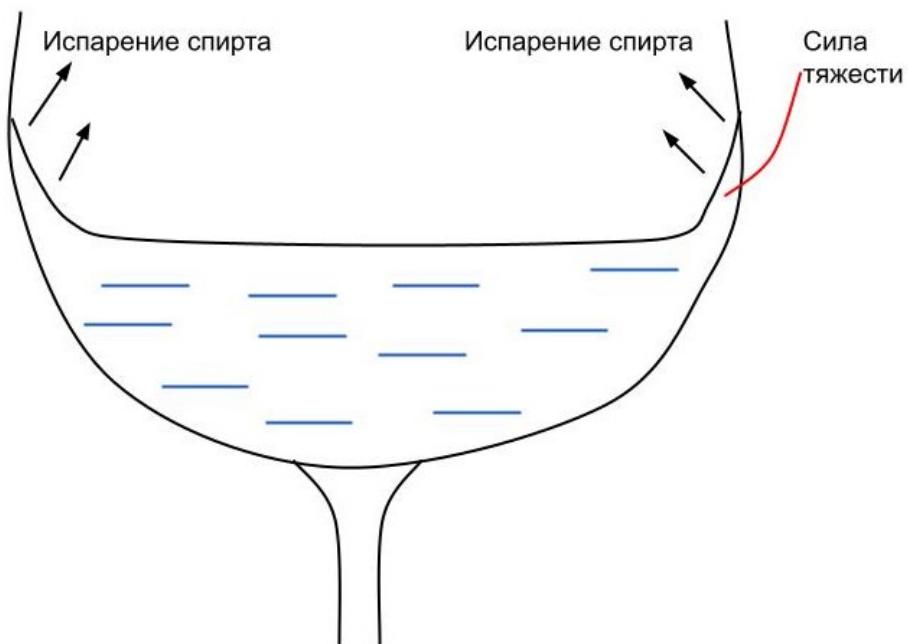
Жидкость	$\sigma$ , мН/м (н.у)
Вода	73
Мыльный раствор	40
Глицерин	60





## Винные слёзы

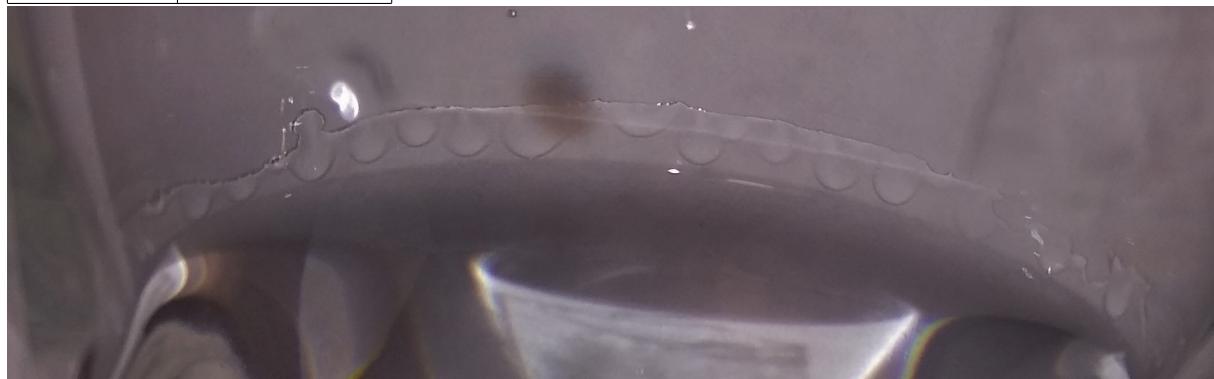
Наиболее известное проявление эффекта Марангони — «слёзы вина», является следствием того, что этанол имеет более низкое, чем у воды, поверхностное натяжение. Если спирт смешивается с водой неоднородно, область с меньшей концентрацией алкоголя будет иметь больший коэффициент поверхностного натяжения и стягивает окружающую жидкость сильнее, чем область с более высокой концентрацией спирта. В результате такая смесь имеет тенденцию перетекать в области, где концентрация алкоголя меньше. Такой областью является мениск у стенки бокала, где испарение наиболее интенсивно.



**Опыт со спиртосодержащей жидкостью:**

В данном опыте использовалась жидкость с 40% содержанием спирта.

Жидкость	$\sigma$ , мН/м (н.у)
Спирт	20



## Эффект Марангони на примере винных слёз

---



