

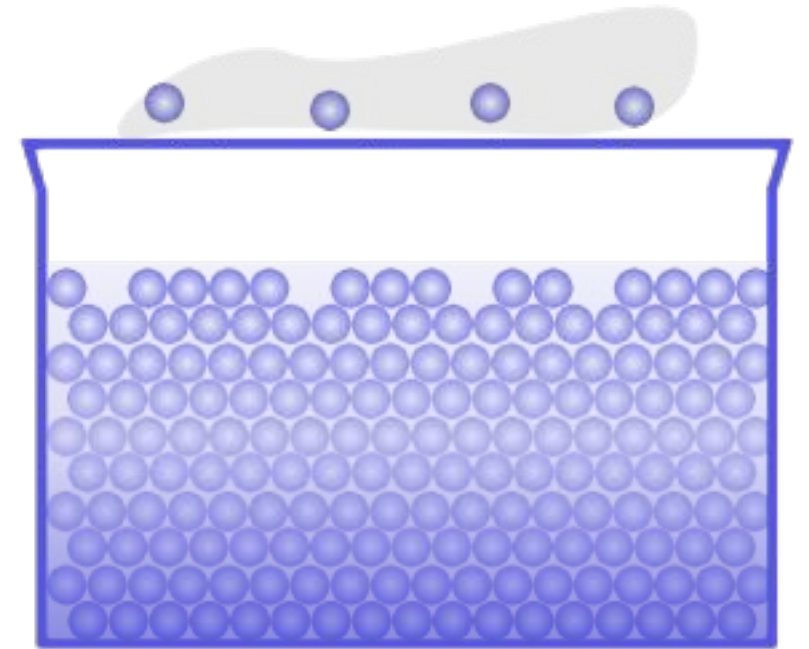
**Испарение** — это процесс парообразования, происходящий с поверхности жидкости.

Испарение может происходить при любой температуре.

Скорость испарения зависит от:

1. Температуры
2. Площади поверхности жидкости
3. Рода вещества
4. Концентрации молекул пара над жидкостью

**Насыщенный пар** — это пар, находящийся в термодинамическом равновесии со своей жидкостью.



**При решении задач помни!**

1. Давление насыщенного пара при температура 100 °C (373K) равно нормальному атмосферному давлению  $10^5$ Па.
2. Давление и плотность насыщенного пара зависят только от температуры, не зависят от объёма. И принимают максимально возможное значение при данной температуре.
3. Насыщенный пар не является идеальным газом, однако его состояние описывается с помощью уравнения Менделеева-Клапейрона.

# ПАРООБРАЗОВАНИЕ

Из повседневной жизни мы знаем, что вода, оставленная в стакане, рано или поздно перейдёт в газообразное состояние, значит идёт процесс парообразования.

В данном случае, говорят что вода испарилась из стакана.

Парообразование бывает двух видов: испарение и кипение. Обратный процесс парообразованию — конденсация.



Благодаря этим процессам возможен круговорот воды в природе.

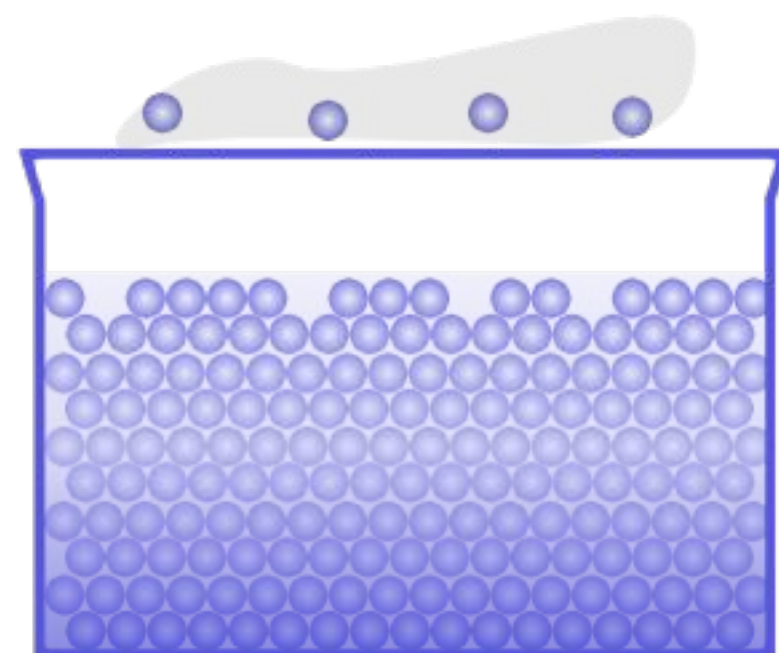
## ИСПАРЕНИЕ

**Испарение** — это процесс парообразования, происходящий с поверхности жидкости.

**ВАЖНО!** Испарение может происходить при любой температуре.

Молекулы жидкости находятся в непрерывном хаотическом движении, причём одни молекулы движутся быстрее, другие — медленнее. В приповерхностном слое у более быстрых молекул жидкости есть возможность вылететь вверх, покинув жидкость. Такие молекулы образуют над жидкостью её пар.

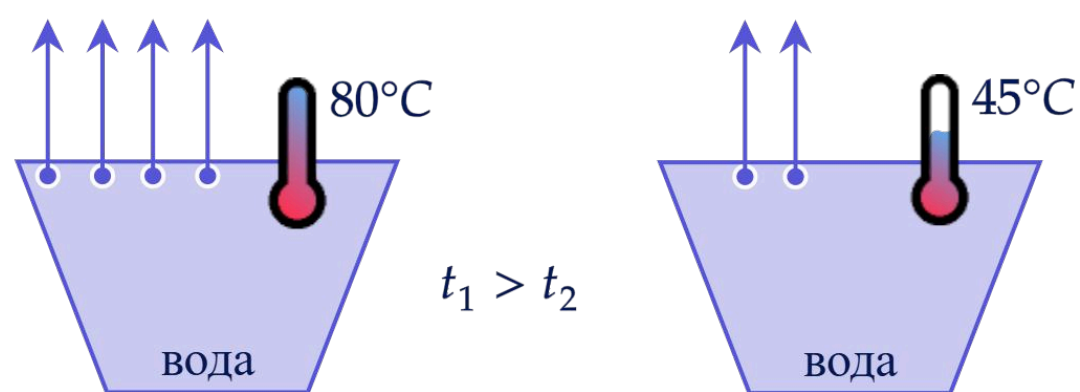
Так как жидкость покидают наиболее быстрые молекулы с бóльшей кинетической энергией, а остаются наиболее «медленные», то средняя скорость движения молекул жидкости становится меньше. Это приводит к тому, что внутренняя энергия жидкости уменьшается и температура испаряющейся жидкости становится меньше.



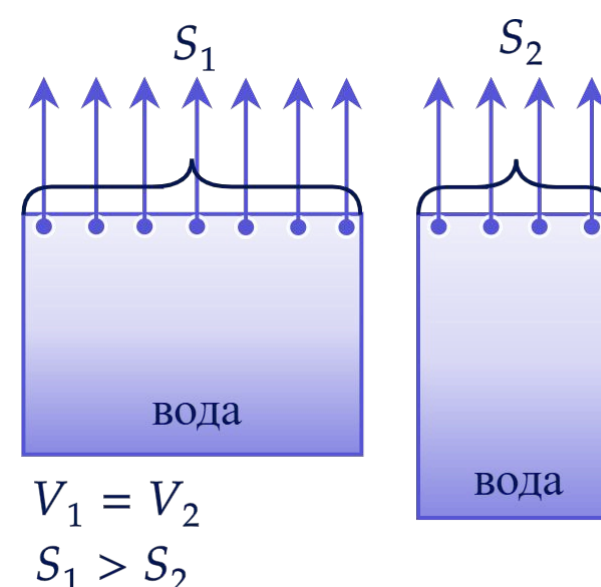
**ВАЖНО!** При испарении температура жидкости всегда становится меньше!

Скорость испарения зависит от:

Температуры (чем больше температура жидкости, тем более быстрые молекулы присутствуют в ней, соответственно, и вероятность преодолеть силы притяжения соседних молекул и вылететь из жидкости у них очень высокая);

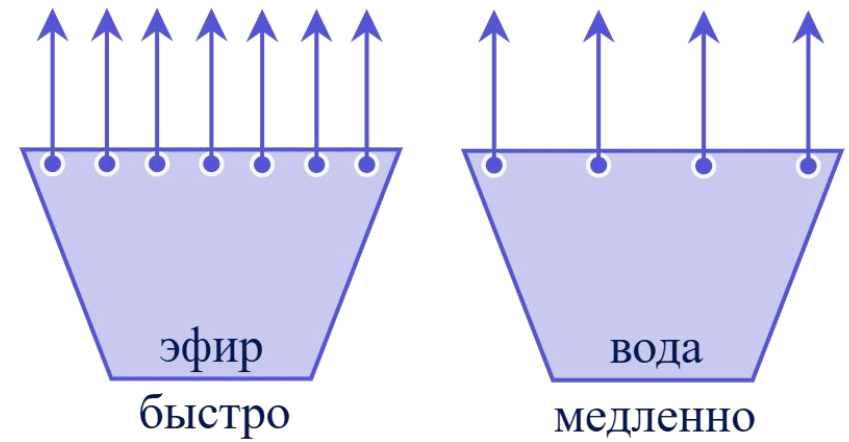


Температуры (чем больше температура жидкости, тем более быстрые молекулы присутствуют в ней, соответственно, и вероятность преодолеть силы притяжения соседних молекул и вылететь из жидкости у них очень высокая);

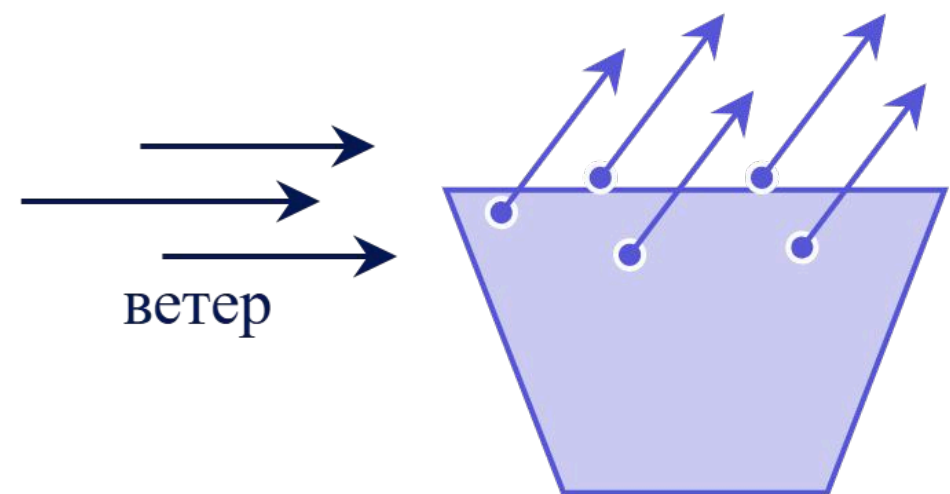




Рода вещества (быстрее будет испаряться та жидкость, у которой силы притяжения между молекулами меньше).

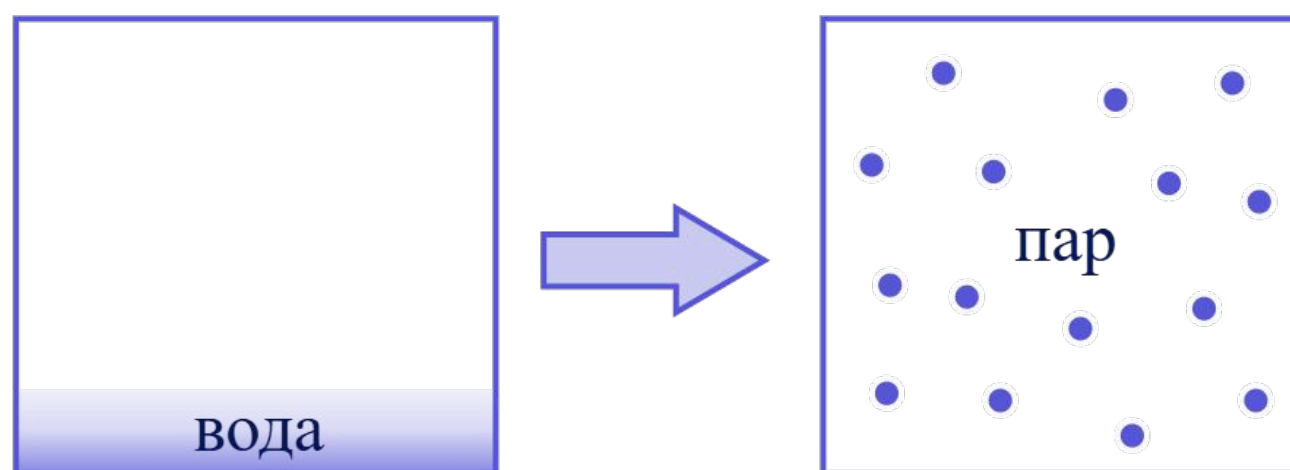


Концентрации молекул пара над жидкостью (вылетевшие из жидкости молекулы имеют хаотичный характер движения, следовательно возможен такой вариант, что они вернутся обратно в жидкость. Если уменьшить концентрацию, например, с помощью ветра, то испарение будет происходить быстрее).



## НАСЫЩЕННЫЙ ПАР

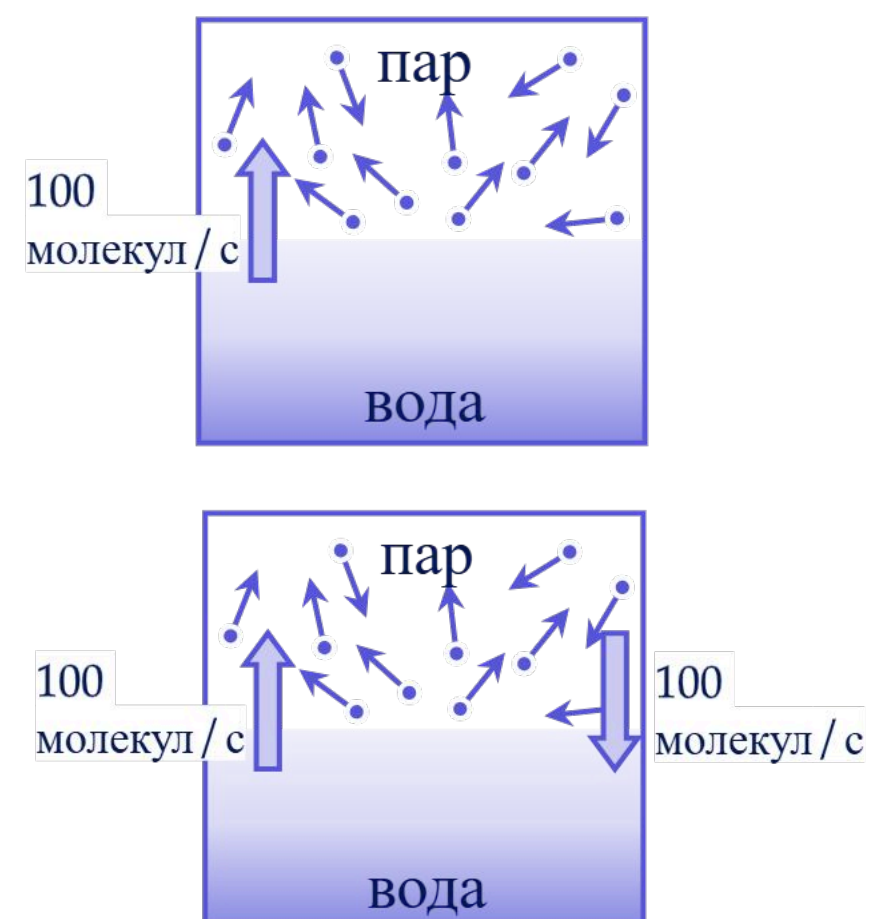
Рассмотрим закрытую ёмкость, заполненную водой на четверть. Будет ли происходить испарение в такой ёмкости? Да, спустя некоторый промежуток времени вся вода полностью испарится. Это происходит потому, что над жидкостью достаточно пустого пространства, молекулам есть куда вылетать.



А что если вода заполнит больше половины ёмкости закрытой крышкой, будет ли происходить испарение?

Сначала число молекул, вылетающих с поверхности жидкости, будет больше. Молекулы пара постепенно заполняют пространство над водой. Спустя время молекулам пара становится слишком тесно, тогда они начнут возвращаться обратно в жидкость. Плотность пара будет расти до порогового значения, после которого, увеличится число молекул, возвращающихся в жидкость. Со временем наступит термодинамическое равновесие между жидкостью и паром.

Это значит, что число молекул, вылетающих с поверхности жидкости, будет равно числу молекул, возвращающихся в жидкость обратно. Хоть процесс испарения и будет происходить в закрытом сосуде, масса жидкости меняться не будет.



Температура и давление пара остаются постоянными. Т.к. количество паров, конденсирующихся в жидкость, равно количеству жидкости, превращающейся в пар в закрытой ёмкости количество теплоты, которое необходимо для испарения равно количеству теплоты выделяемому при конденсации. Т.е. в один и тот же момент времени в системе вода-пар изменения внутренней энергии не происходит. Поэтому равновесие между жидкостью и паром называют термодинамическим.

**Насыщенный пар** — это пар, находящийся в термодинамическом равновесии со своей жидкостью.

## ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ВАЖНО ПОМНИТЬ

1. Давление насыщенного водяного пара составляет при 100 °С составляет 100 кПа.
2. Давление и плотность насыщенного пара зависят от его температуры, но не от объёма (при увеличении объёма испаряется дополнительное количество жидкости, при уменьшении объёма конденсируется часть пара).
3. Состояние насыщенного пара достаточно точно описывается уравнением Клайперона — Менделеева.

# ДАВЛЕНИЕ И ПЛОТНОСТЬ НАСЫЩЕННОГО ПАРА

## ОПЫТ 1

Пусть вода и пар длительное время находятся в закрытой ёмкости. Тогда, водяной пар над водой в этой ёмкости является насыщенным. Начнём нагревать ёмкость.

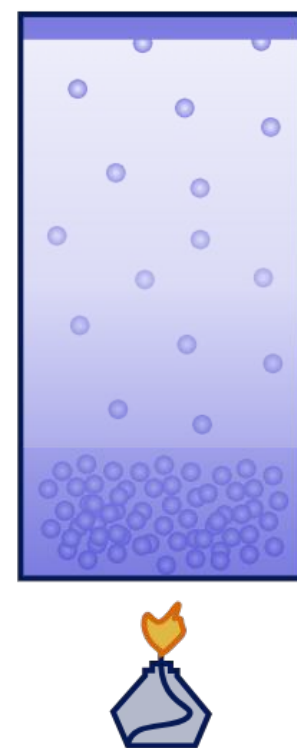
1. В начале нарушится динамическое равновесие, так как с ростом температуры, количество молекул, покидающих поверхность воды, будет расти. То есть в начале количество молекул, покидающих воду, больше, чем тех, которые возвращаются обратно.
2. Через некоторое время равновесие вновь восстановится. Но! Так как число молекул в единице объёма пара увеличилось по сравнению с первоначальным, то увеличится и плотность насыщенного пара.

Запишем уравнение состояния идеального газа:

$$p = \frac{\rho}{\mu} RT$$

Из него легко заметить, что при увеличении плотности газа возрастает и его давление.

**Значит, с увеличением температуры, плотность и давление насыщенного пара увеличиваются.**



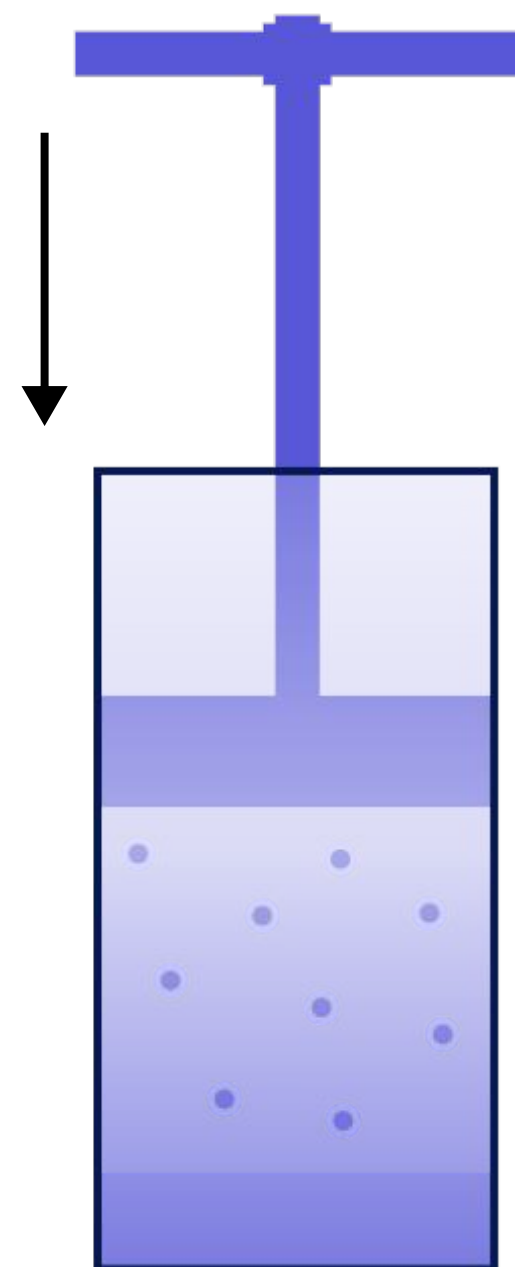
## ОПЫТ 2

Теперь рассмотрим другой процесс. Возьмём герметичную ёмкость с переменным объёмом и нальём в неё воду. Водяной пар находится в динамическом равновесии со своей жидкостью.

Начнём уменьшать объём ёмкости. Сразу при уменьшении объёма пара его давление увеличивается. Это приведёт к росту количества молекул, переходящих в жидкость, начнётся процесс конденсации и динамическое равновесие нарушится.

Но! Число молекул, которые покидают поверхность жидкости, не меняется, так как оно зависит только от температуры, которая у нас остаётся неизменной. Поэтому количество молекул пара уменьшается. Этот процесс продолжится вплоть до установления динамического равновесия и плотность пара, а, следовательно, его давление и концентрация молекул обязательно вернуться к прежним значениям (для данной температуры).

Таким образом, при постоянной температуре давление и плотность насыщенного пара не зависят от занимаемого им объёма.



**ВЫВОД:** Давление и плотность насыщенного пара при данной температуре — это максимальные давление и плотность, которое может иметь пар, находящийся в состоянии динамического равновесия со своей жидкостью при этой температуре.

## ОПЫТ 3

Чтобы объяснить, почему при температуре  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  давление насыщенного пара равно атмосферному давлению рассмотрим кипение воды.

1. Образование пузырьков пара в жидкости.

Внутри воды содержится воздух. При нагревании жидкость начинает испаряться не только с её поверхности, но и внутри объёма жидкости. В процессе кипения внутри жидкости появляются пузырьки воздуха и пара. При дальнейшем нагревании давление водяного пара в пузырьках увеличивается, поэтому они растут в объёме и под действием силы Архимеда начинают отрываться от дна сосуда.

2. Условие схлопывания пузырька

На пузырёк оказывает давление столб жидкости над ним и атмосферное давление. В сравнении с атмосферным, гидростатическое давление мало, пренебрегаем им. Пока жидкость прогрета неравномерно, температура жидкости и пара небольшие, тогда и давление пара внутри пузырька мало. При достижении максимально возможной температуры жидкости  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $373\text{ K}$ ), давление пара внутри становится максимальным. Тогда, пузырёк будет схлопываться в том случае, если внутри него давление станет равно атмосферному.



**ВЫВОД:** Давление насыщенного пара равно атмосферному при температуре  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , так как в этих условиях пар внутри пузырьков имеет такое же давление как и внешнее давление (атмосферное).



# НЕНАСЫЩЕННЫЙ ПАР

Пар, давление (или плотность) которого меньше давления (или плотности) насыщенного пара при той же температуре, называют **ненасыщенным паром**.

Теперь рассмотрим закрытую ёмкость переменного объёма с водой, в которой водяной пар над водой является **ненасыщенным**.

При уменьшении объёма давление ненасыщенного пара увеличивается подобно тому, как изменяется давление при уменьшении объёма идеального газа. По достижении некоторого объёма водяной пар станет насыщенным, если продолжить уменьшать объём, то продолжится процесс конденсации — насыщенный пар будет превращаться в жидкость. Как только весь пар превратится в жидкость, дальнейшее сжатие будет невозможно. Резко увеличится давление, так как жидкости трудносжимаемы.