

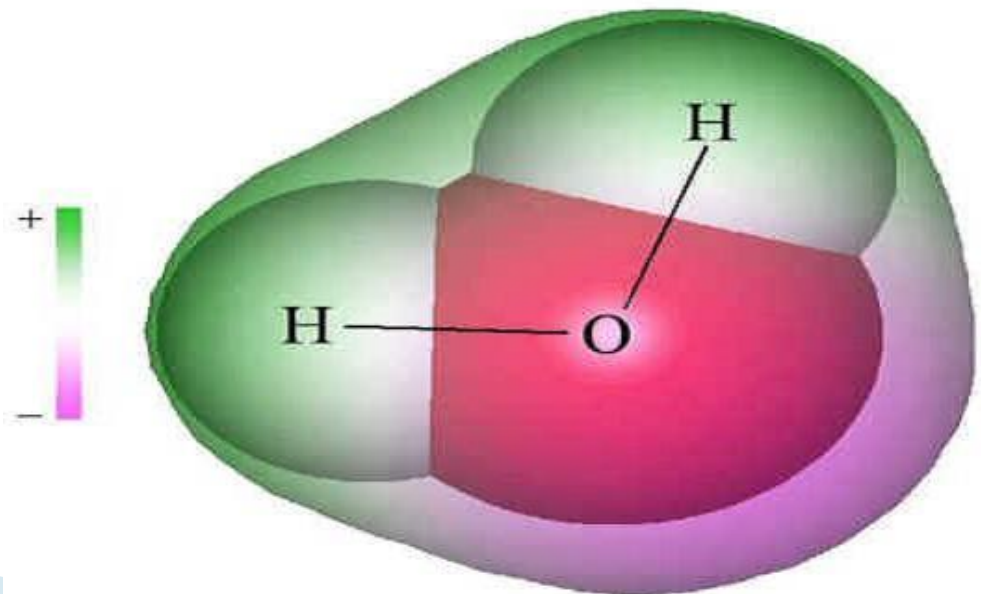
ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОПЕРЕДАЧА



Тема 16: Общие свойства жидкостей и паров

План

- Основные параметры состояния жидкости и пара
- Пограничные кривые
- Критическая температура
- Домашние задание

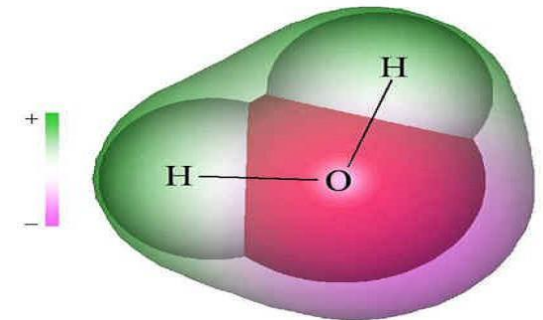


Основные параметры состояния жидкости и пара

В теплотехнике и хладотехнике используются различные жидкости и их пары:

- аммиак (NH_3);
- углекислота (CO_2);
- фреоны и многие другие...

Но наиболее часто – *вода и водянии пар.*



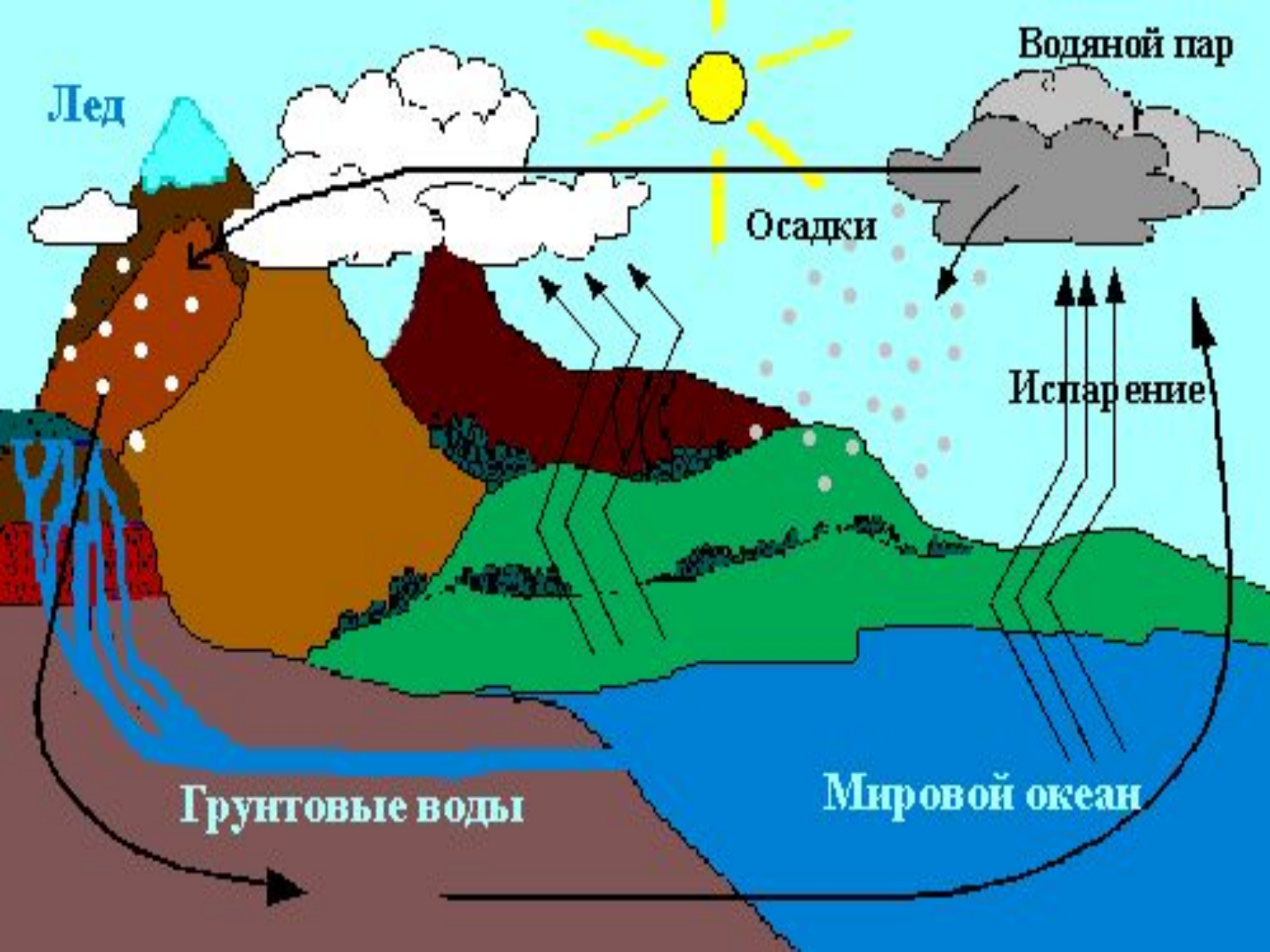
Пар можно получить **двумя способами:**

- при испарении
- при кипении

Испарение

В процессе испарения молекулы жидкости у её поверхности, имеющие большую скорость, чем другие молекулы, преодолевают силы молекулярного сцепления и вылетают в окружающее пространство.

Чем выше температура жидкости, тем более интенсивно происходит испарение.



Кипение

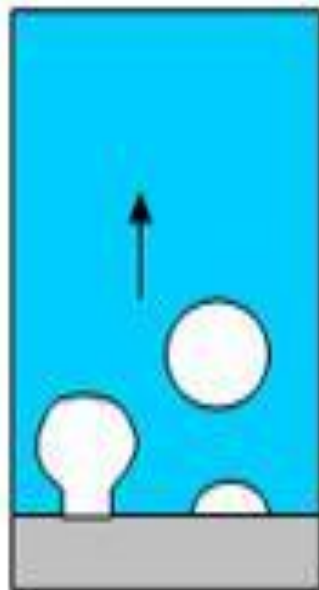
При кипении пар образуется во всей массе жидкости и, имея меньшую плотность, чем жидкость, устремляется вверх, соединяясь при этом с другими частицами пара и образуя, таким образом, **клубки**.

Такие клубки, достигая поверхности жидкости, преодолевают силы поверхностного натяжения и вылетают в окружающее пространство.

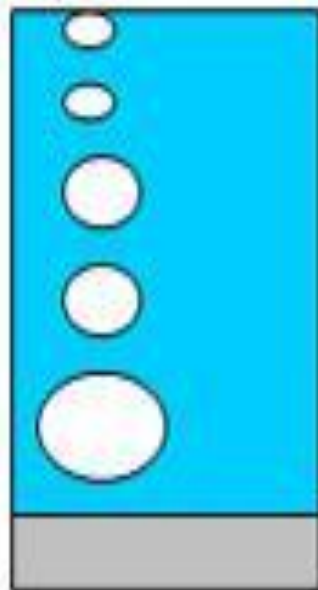




А



Б)



В)

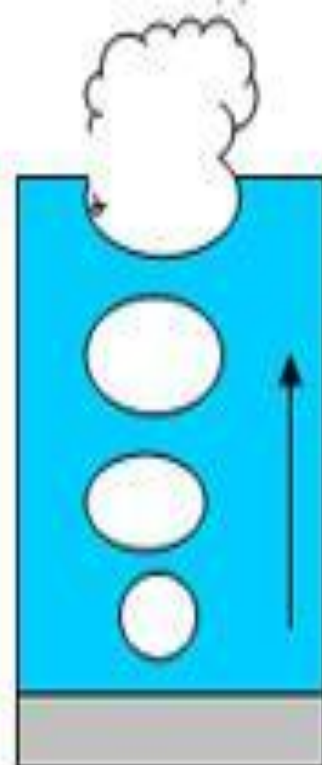


Рис.4





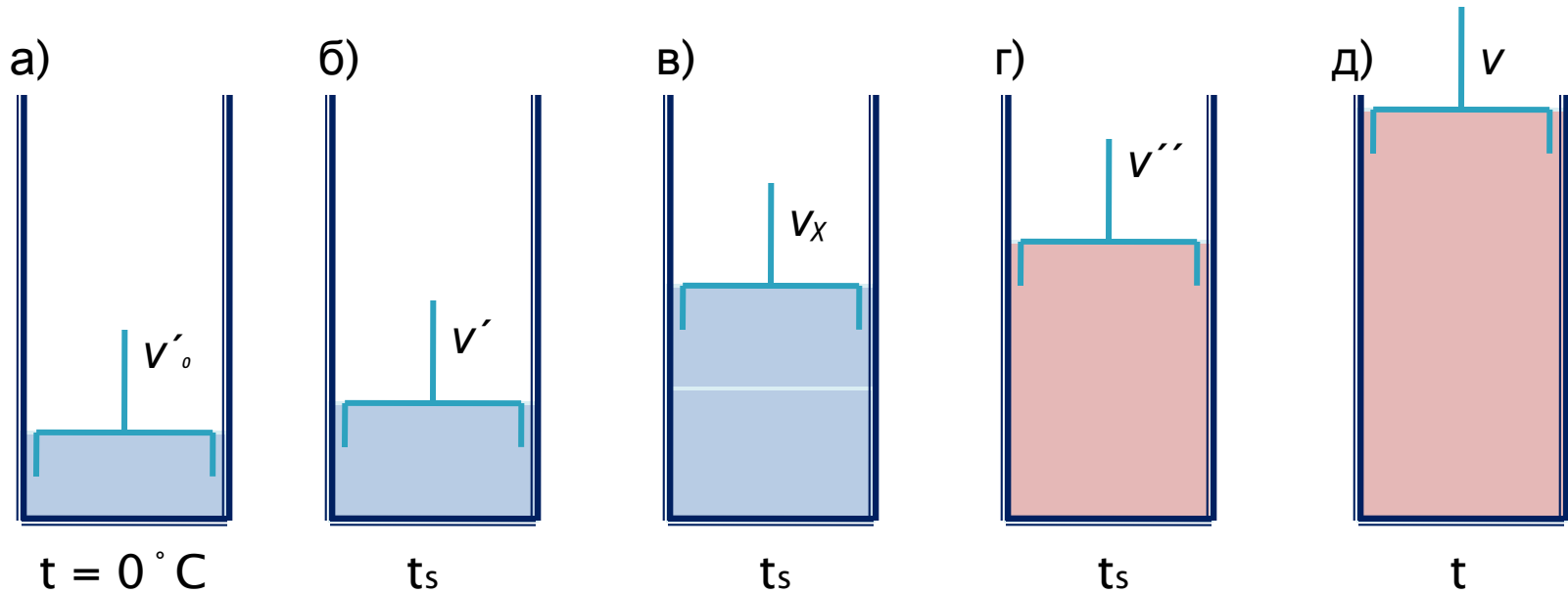
Процесс кипения может происходить лишь при вполне определенной для данного давления температуре жидкости, называемой **температурой кипения** и обозначается **t_s** .

В практических условиях пар обычно получают при постоянном давлении (P-Const).

Такой процесс и рассмотрим ниже.

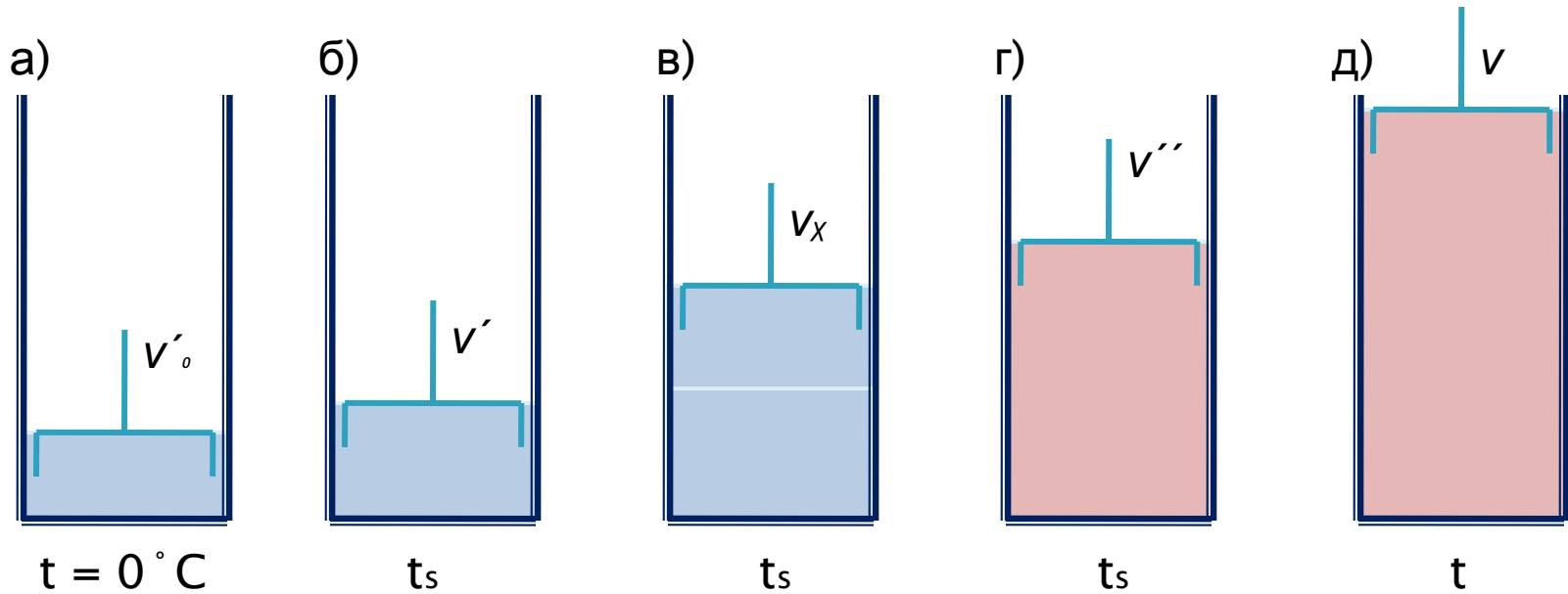


Процесс получения пара при постоянном давлении



Допустим, что жидкость массой 1 кг при 0°C заключена в цилиндре с подвижным поршнем, нагруженным постоянным поршнем, создающим давлением P (рис.а).

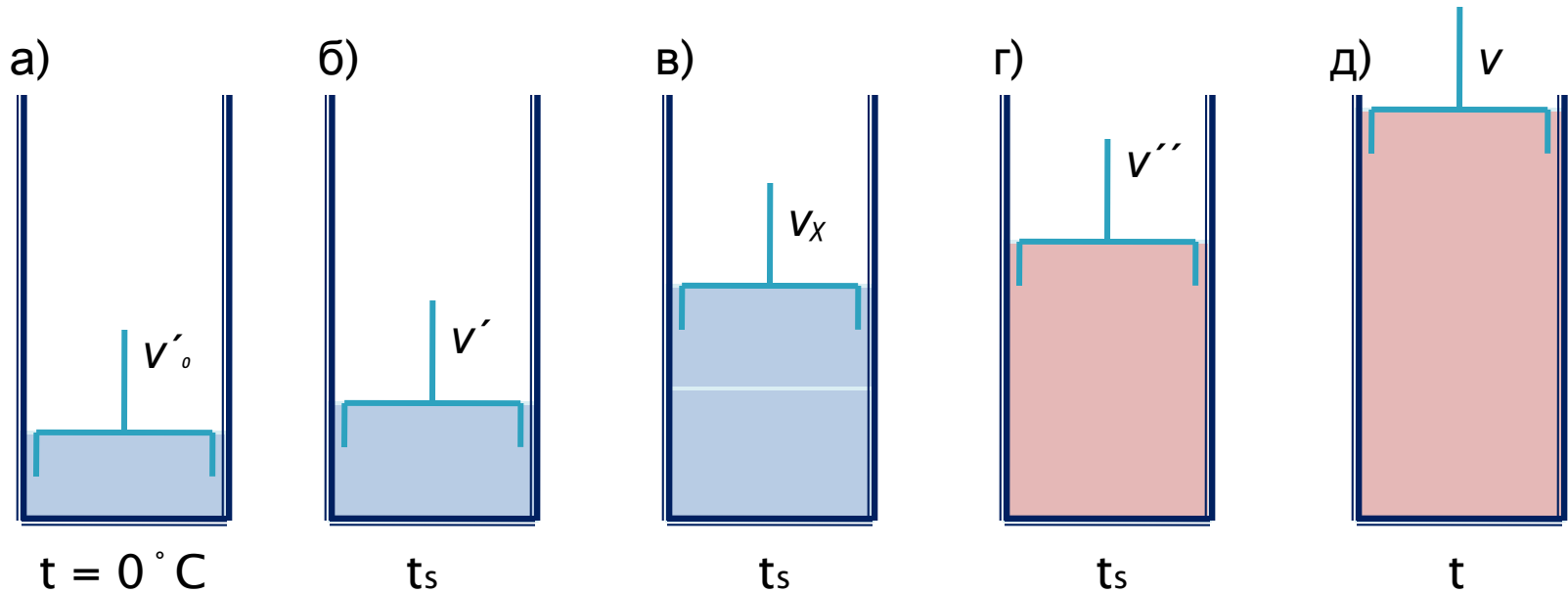
Процесс получения пара при постоянном давлении



В первой стадии получения пара жидкость подогревается от 0°C до температуры кипения t_s , соответствующий данному давлению. Если при температуре 0°C удельный объем жидкости был v'_0 , то при нагревании её до температуры t_s он увеличивается до v' (рис. б).

v' - удельный объём кипящей жидкости.

Процесс получения пара при постоянном давлении



При дальнейшем нагревании наступает стадия, когда кипящая жидкость постепенно переходит в пар (рис. в).

Пар, образующийся в кипящей жидкости, называется **насыщенным**.

Смесь пара и жидкости (двухфазовая система) называется **влажным насыщенным паром** (рис.в).

В процессе кипения масса пара в цилиндре увеличивается, а жидкости уменьшается до тех пор пока последняя капля её превратится в пар. В этот момент **пар становится сухим насыщенным** (рис.г).

Влажный насыщенный пар характеризуется паросодержанием χ .

Паросодержание – это отношение массы сухого насыщенного пара к общей массе влажного насыщенного пара, или другими словами, массовой долей пара.

Например, если паросодержание влажного насыщенного пара равно 0,85, то это значит, что в таком паре массой 1 кг содержится пар массой 0,85 кг и жидкость массой 0,15 кг.

В некоторых случаях состояние влажного насыщенного пара характеризуется **влажностью ω** .

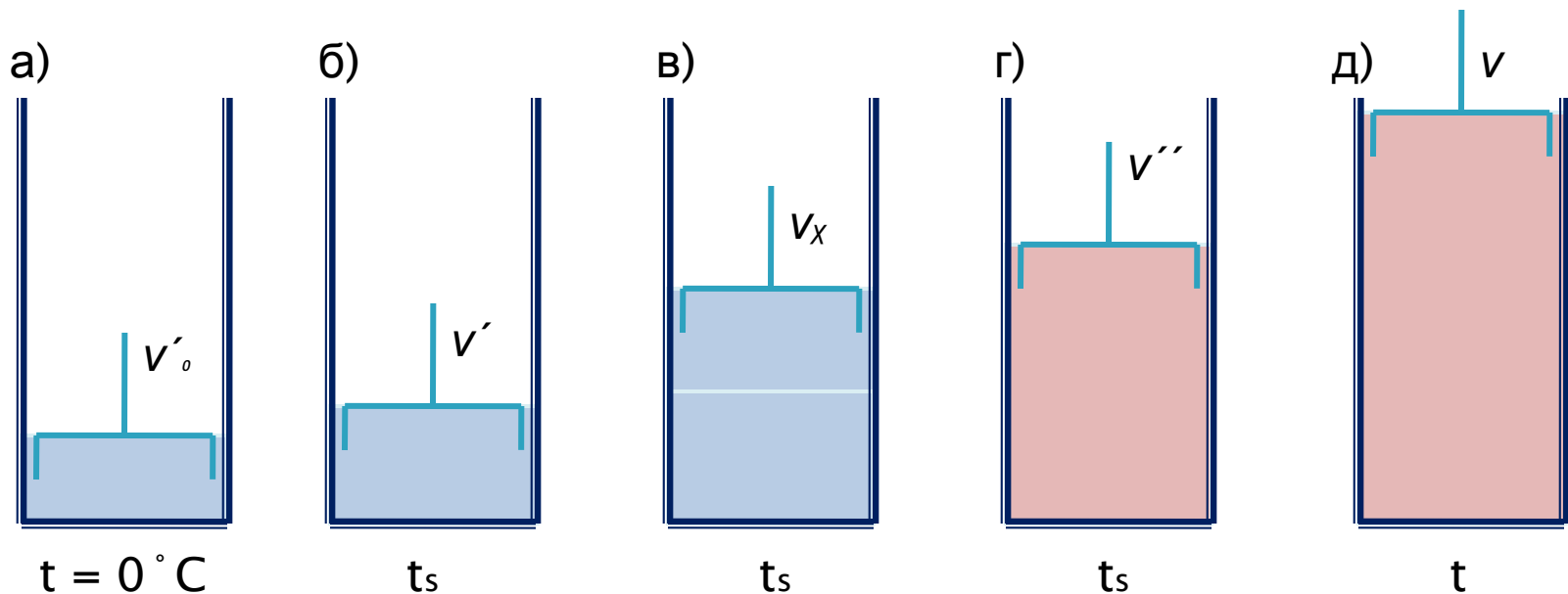
$$\omega = 1 - \chi$$

В приведенном примере влажность пара равно $\omega = 0,15$.

Чем пар суше, тем паросодержание его больше:

- для сухого насыщенного пара $\chi = 1$;
- для жидкости $\chi = 0$.





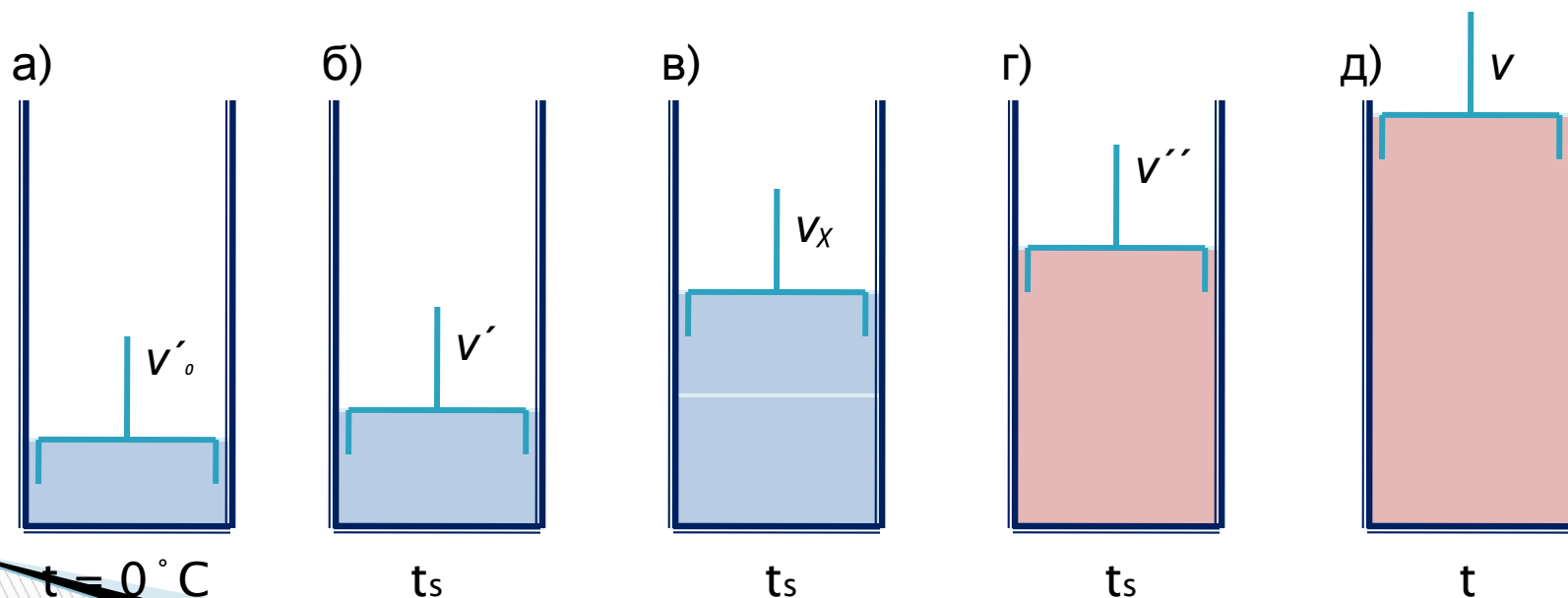
Так как удельный объем сухого насыщенного пара v'' больше удельного объема жидкости v' ($v'' > v'$), из которой он получился, то с увеличением паросодержания удельный объем влажного пара v_x также увеличивается =>

$$v' \leq v_x \leq v''$$

при относительно невысоких давлениях

$$v'' \gg v'$$

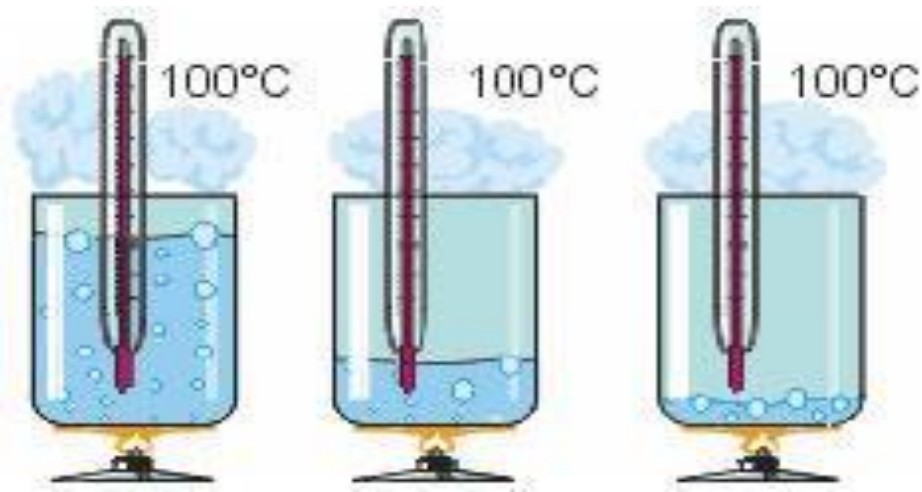
Например, при давлении 1 МПа удельный объем сухого насыщенного водяного пара больше удельного объема кипящей воды почти в 200 раз.



Когда процесс кипения протекает при постоянном давлении, температура жидкости, как было сказано выше, остаётся постоянной и равной температуре насыщения (температура кипения) t_s такую же температуру имеет насыщенный пар.

Исходя из равенства этих температур, насыщенному пару (как влажному, так и сухому) можно дать такое определение:

Насыщенным называется **пар**, имеющий температуру кипящей жидкости, из которой он получился (рис. в, г).



Если к сухому насыщенному пару подводить теплоту, то он становится **перегретым**.

Перегрев является третьей стадией рассматриваемого процесса парообразования, сопровождающейся повышением температуры пара и увеличением его удельного объёма (рис. д).

Перегретым называется **пар**, имеющий температуру выше температуры кипения жидкости, из которой он получился.

Температура перегретого пара обозначается через t , а удельный объем его – через v .

Разность $t - t_s$ называется **степенью перегрева**.

Чем выше при данном давлении температура перегретого пара, тем больше степень перегрева и его удельный объем.

$$T \uparrow \Rightarrow (t - t_s) \uparrow \text{ и } v \uparrow$$

Отнятие теплоты от перегретого пара при постоянном давлении связано с уменьшением его температуры. Если она не понижается до температуры кипения, то пар остается перегретым.

Последнее свойство перегретого пара позволяет доставлять его потребителю в перегретом состоянии: более высокая работоспособность перегретого водяного пара (по сравнению с насыщенным) является основной причиной его широкого использования в паровых двигателях

Итак, процесс получения пара при постоянном давлении в общем случае при постоянном давлении в общем случае можно разделить на три стадии:

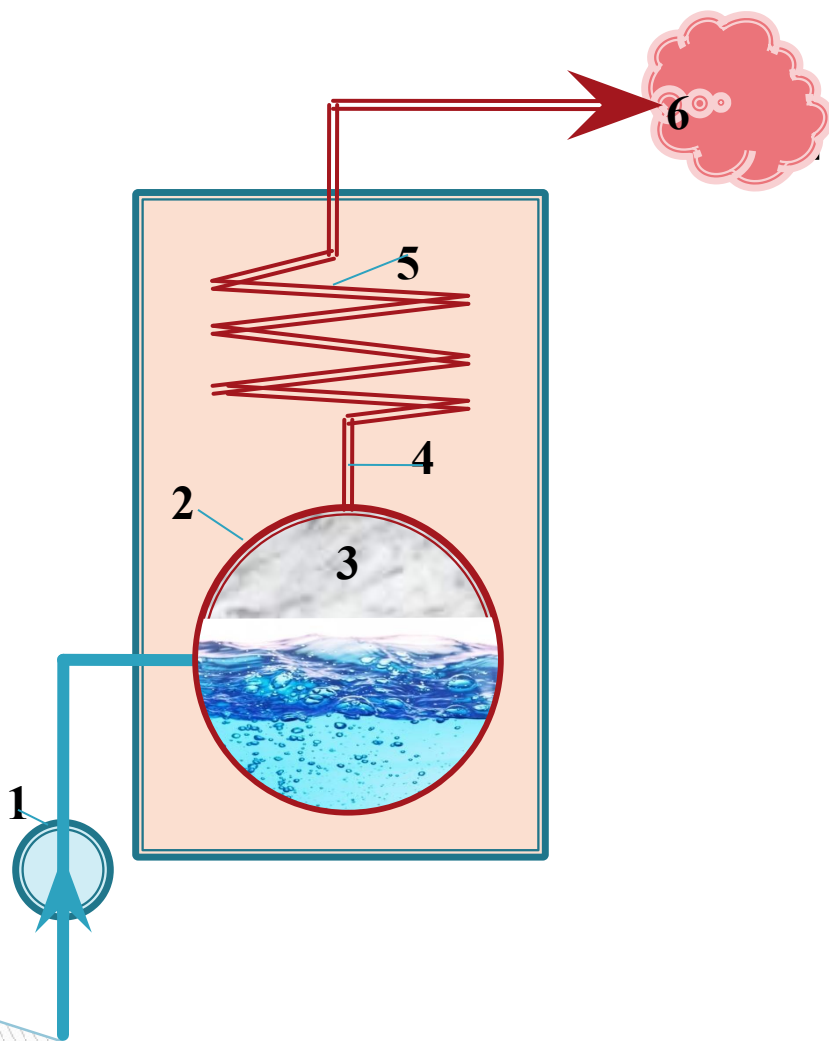
1. Подогрев жидкости до температуры кипения;
2. Кипение жидкости (получение сухого насыщенного пара из кипящей жидкости) при постоянной температуре;
3. Превращение сухого насыщенного пара в перегретый.



Состояние сухого насыщенного пара крайне неустойчиво, так как даже при самом незначительном подводе или отводе теплоты он превращается либо в перегретый (в первом случае), либо во влажный насыщенный пар (во втором случае).

Из рассматриваемого процесса парообразования следует также, что в присутствии жидкости пар может быть только влажным насыщенным. При подводе к нему теплоты без присутствия жидкости он подсушивается и только после того, как паросодержание становится равным единице, начинается перегрев.

Схема котельной установки



Практически перегретый водяной пар получается в котельной установке.

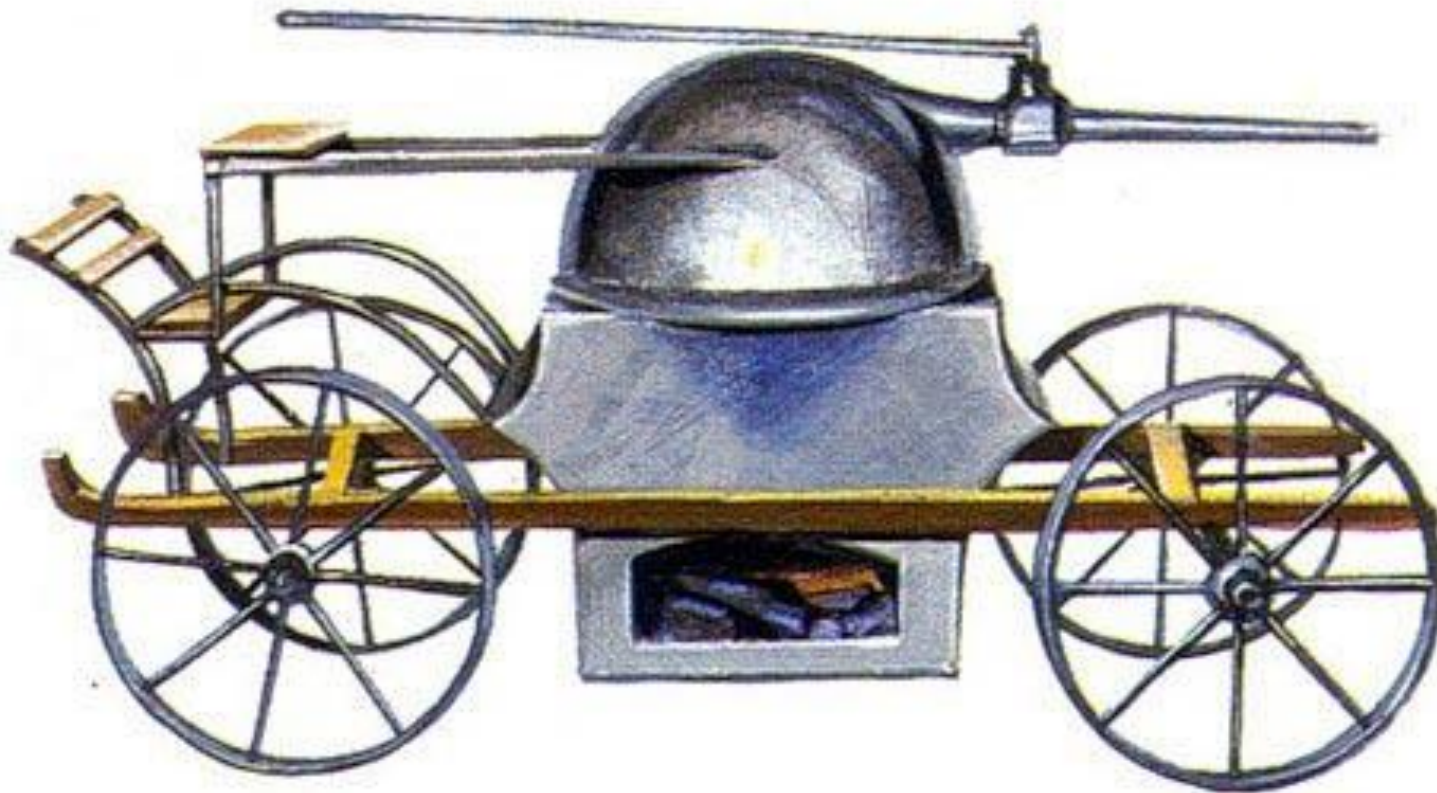
Питательная вода по **трубе 1** нагнетается питательным насосом в **паровой котел 2**. В **паровом пространстве 3** этого котла образуется влажный насыщенный пар, имеющий температуру кипящей в котле воды. Из парового котла влажный пар отводится по **трубе 4** в **пароперегреватель 5**, обогреваемый горячими газами, где сначала превращается в сухой насыщенный, а затем в перегретый пар. Из пароперегревателя этот пар по **трубе 6** поступает к потребителю (например, в паровую турбину).

Первые паровые машины



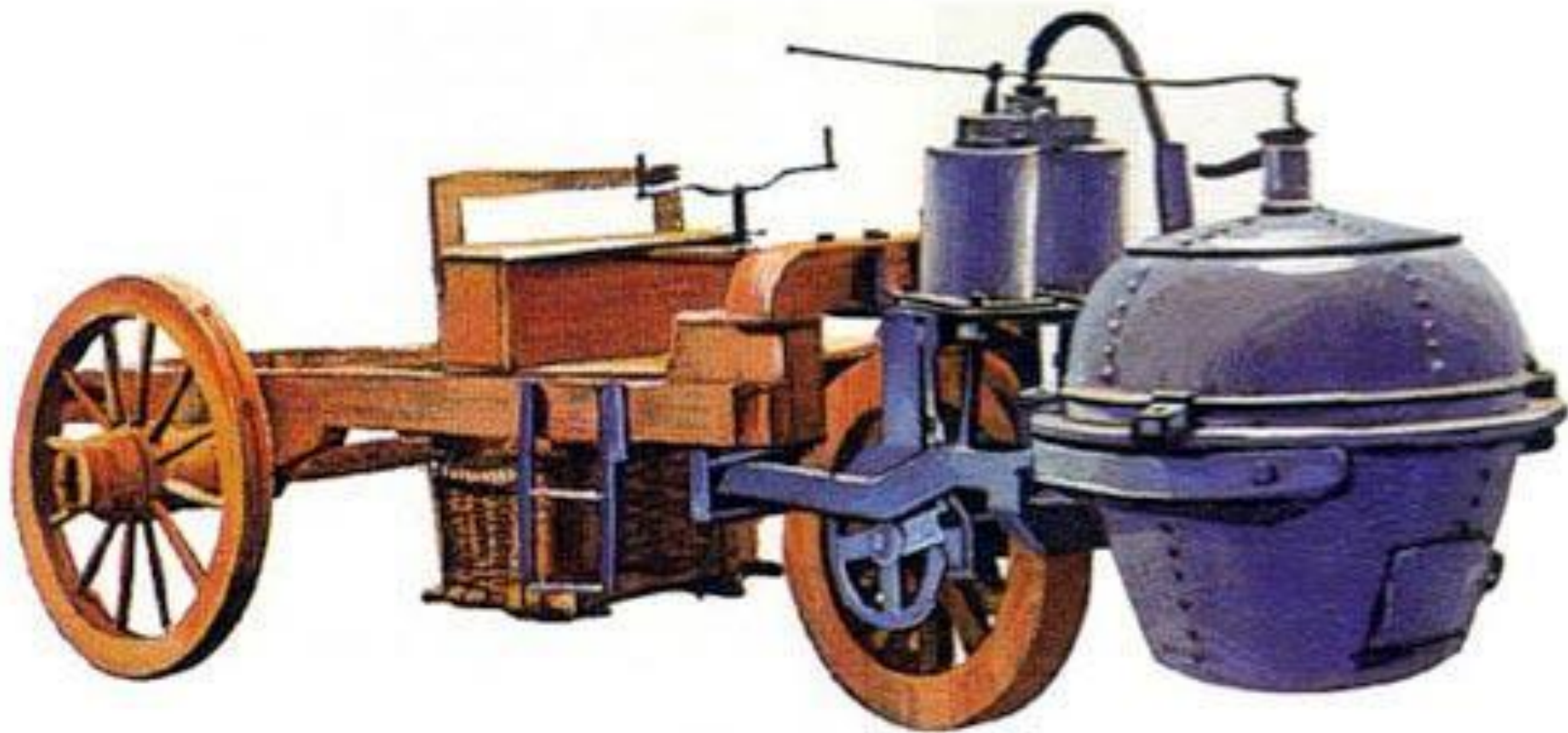
Паровой автомобиль Фербиста
1672 год. Бельгия

Первые паровые машины



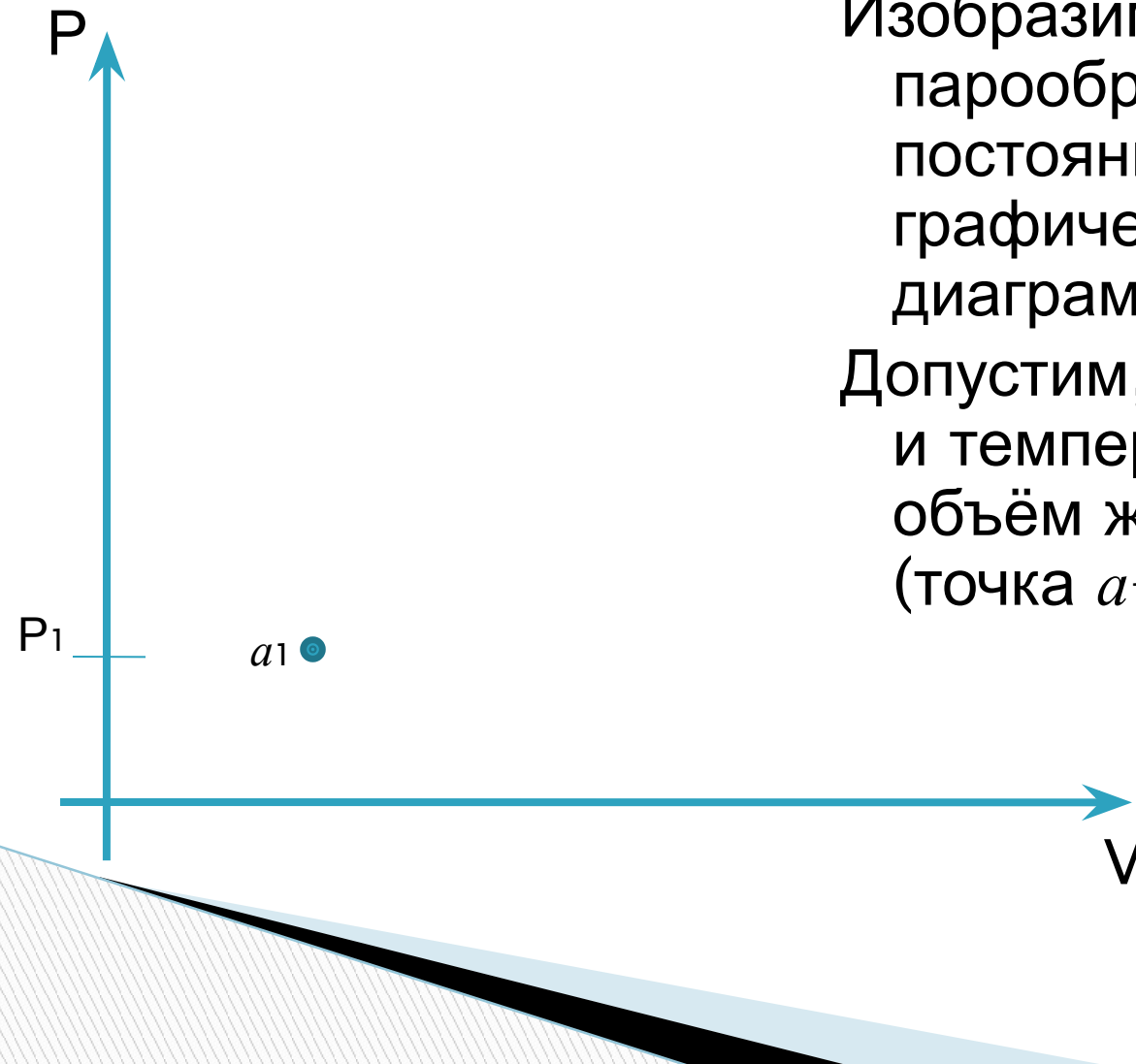
Реактивный автомобиль Ньютона
1680 год. Великобритания

Первые паровые машины



Автомобиль Куньо 1769 год. Франция

Пограничные кривые



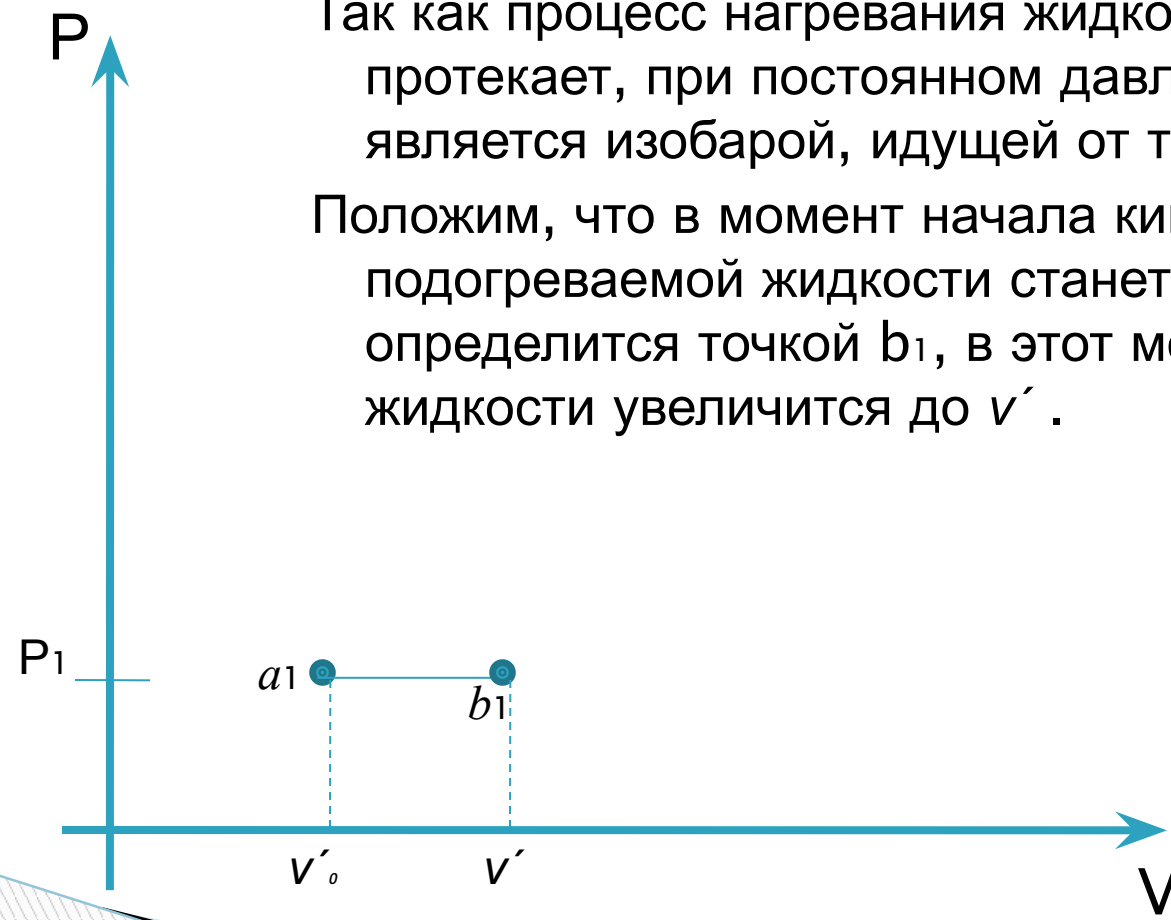
Изобразим процесс парообразования при постоянном давлении графически на PV – диаграмме.

Допустим, что при давлении P_1 и температуре 0°C удельный объём жидкости равен v'_0 (точка a_1 на диаграмме).

Пограничные кривые

Так как процесс нагревания жидкости и парообразования протекает, при постоянном давлении, то линия его является изобарой, идущей от точки a_1 вправо.

Положим, что в момент начала кипения, когда температура подогреваемой жидкости станет равной t_s состояние её определится точкой b_1 , в этот момент удельный объем жидкости увеличится до v' .

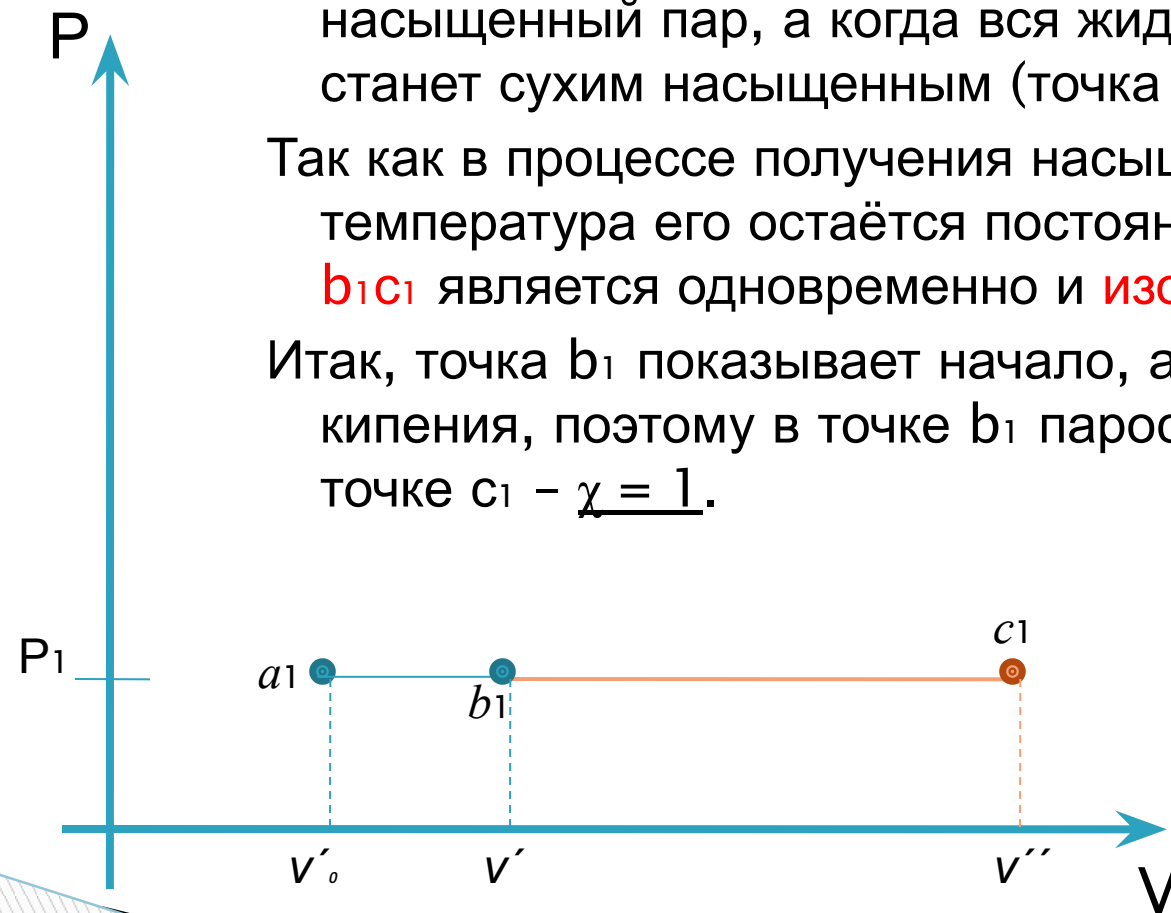


Пограничные кривые

При дальнейшем подводе теплоты получается влажный насыщенный пар, а когда вся жидкость перейдет в пар, он станет сухим насыщенным (точка c_1).

Так как в процессе получения насыщенного пара температура его остаётся постоянной, то участок **изобары** b_1c_1 является одновременно и **изотермой**.

Итак, точка b_1 показывает начало, а точка c_1 – конец кипения, поэтому в точке b_1 паросодержание $\chi = 0$, а в точке c_1 – $\chi = 1$.



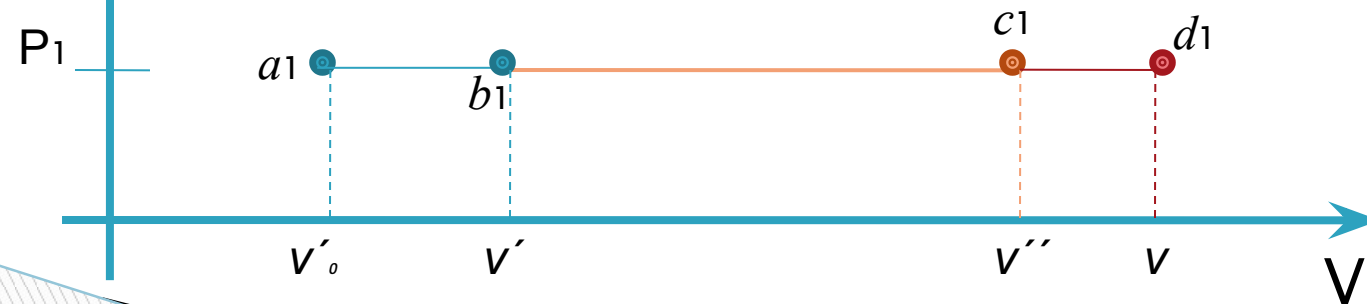
Пограничные кривые

Промежуточные точки относятся к влажному насыщенному пару.

Понятно, что чем правее на линии b_1c_1 располагается точка, определяющая состояние влажного насыщенного пара, тем он суше.

При сообщении сухому насыщенному пару теплоты он переходит в перегретый пар, состояние которого определяется, например точкой d_1 .

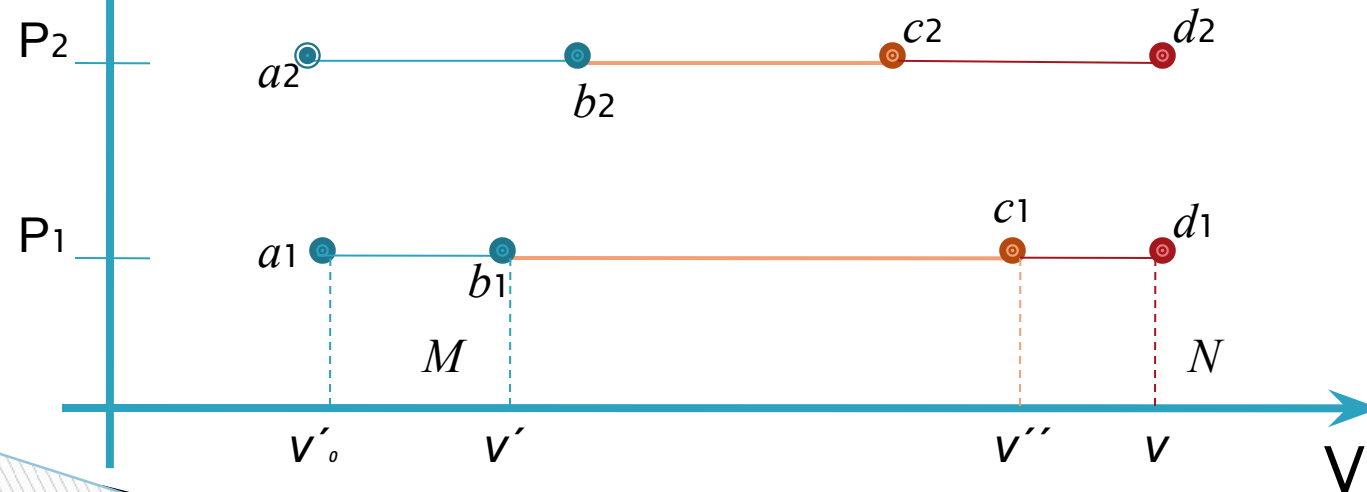
Чем теплоты подведено больше, тем удельный объем перегретого пара v будет также больше, и точка d_1 располагается дальше от точки c_1 .



Пограничные кривые

Если подобный процесс парообразования проводить при более высоком давлении P_2 , то изобара, соответствующая этому давлению, расположится выше.

Жидкость считают практически несжимаемой и полагают, что удельный объём её не зависит от давления. Поэтому без заметной погрешности можно точку a_2 , определяющую состояние жидкости при давлении P_2 и температуре 0°C , расположить на одной вертикали с точкой a_1 .

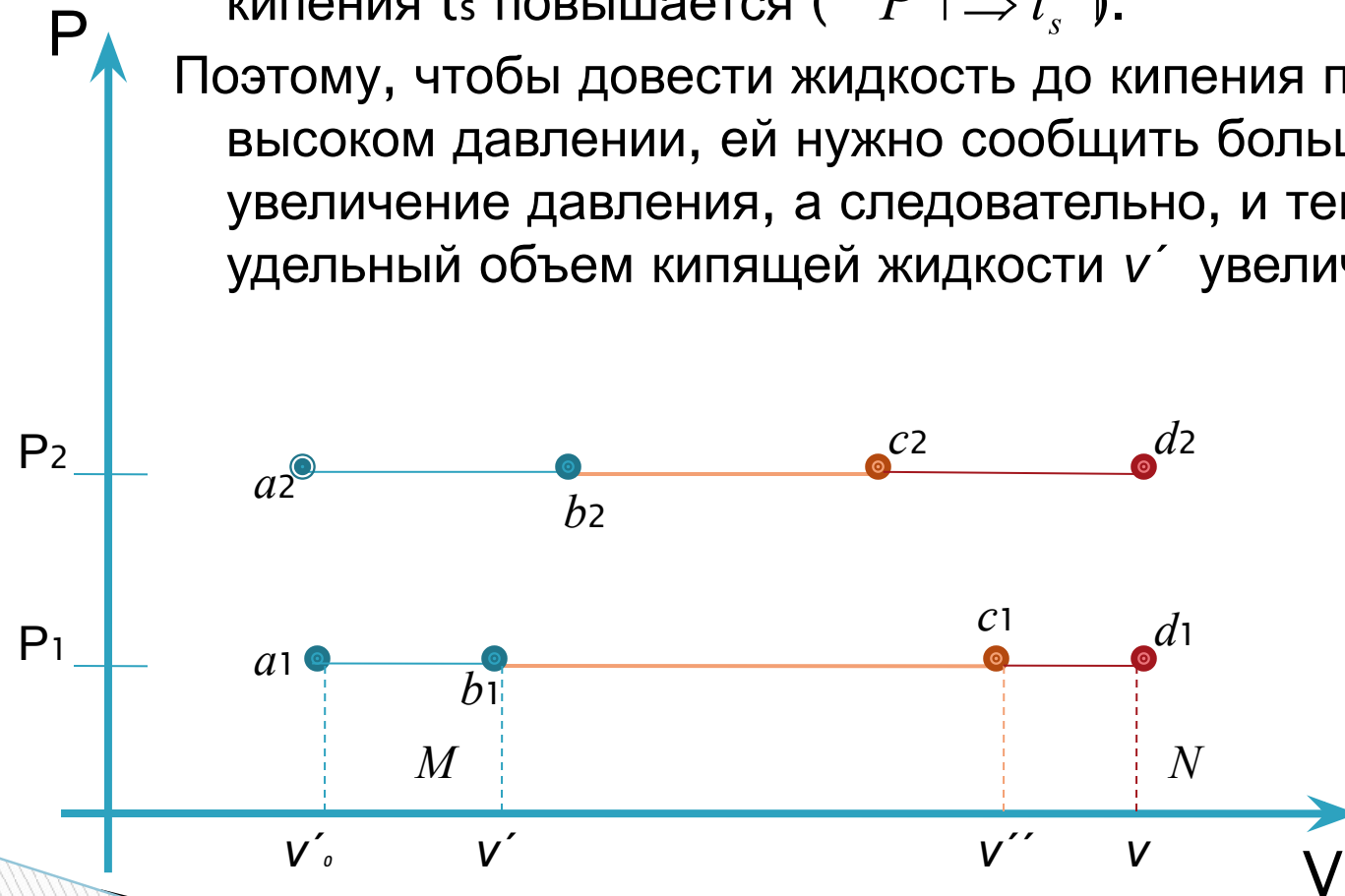


(в действительности точка a_2 должна быть расположена несколько левее точки a_1 , как показано на рисунке).

Пограничные кривые

Как уже отмечалось, с увеличением давления температура кипения t_s повышается ($P \uparrow \Rightarrow t_s \uparrow$).

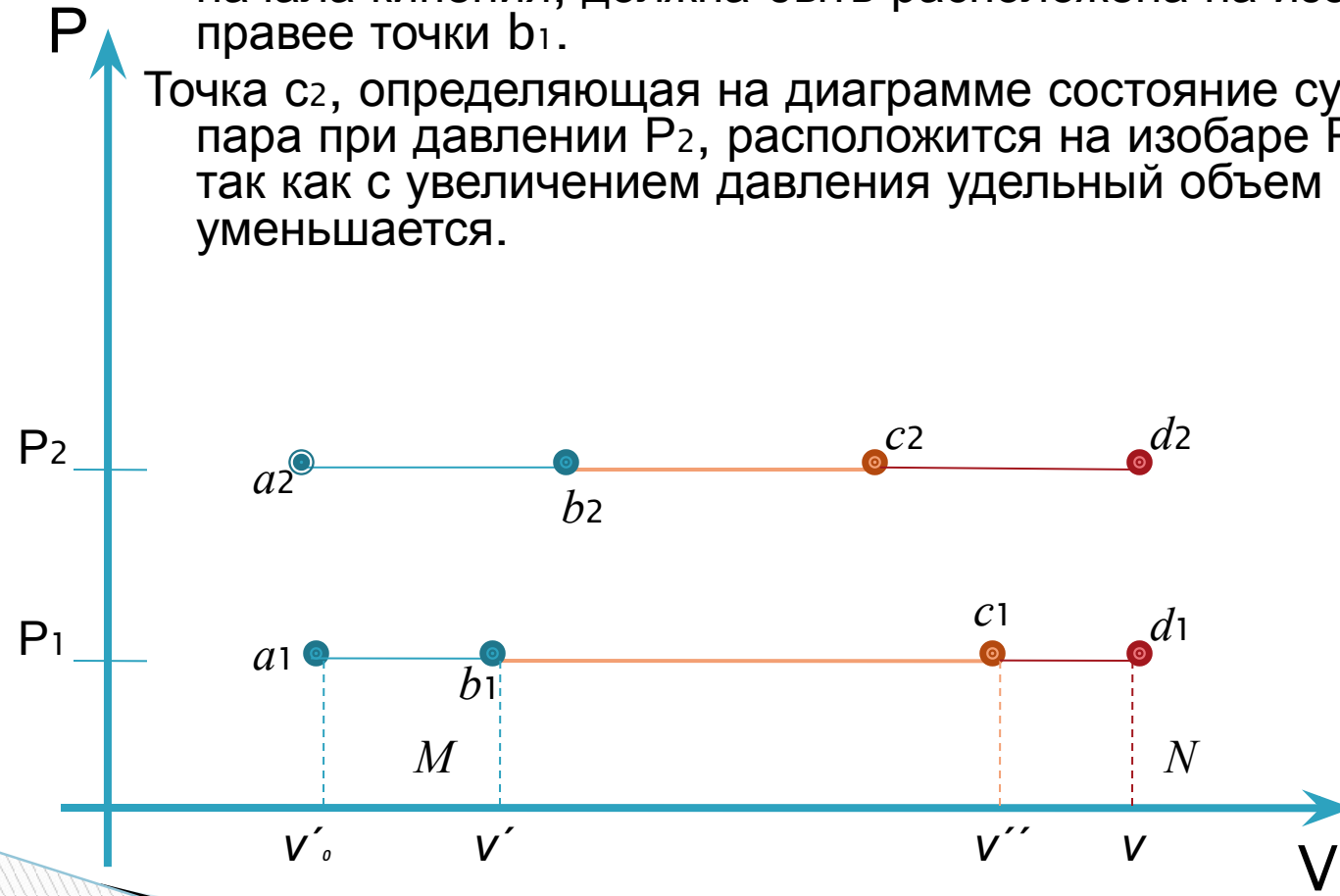
Поэтому, чтобы довести жидкость до кипения при более высоком давлении, ей нужно сообщить больше теплоты. С увеличением давления, а следовательно, и температуры удельный объем кипящей жидкости v' увеличивается.



Пограничные кривые

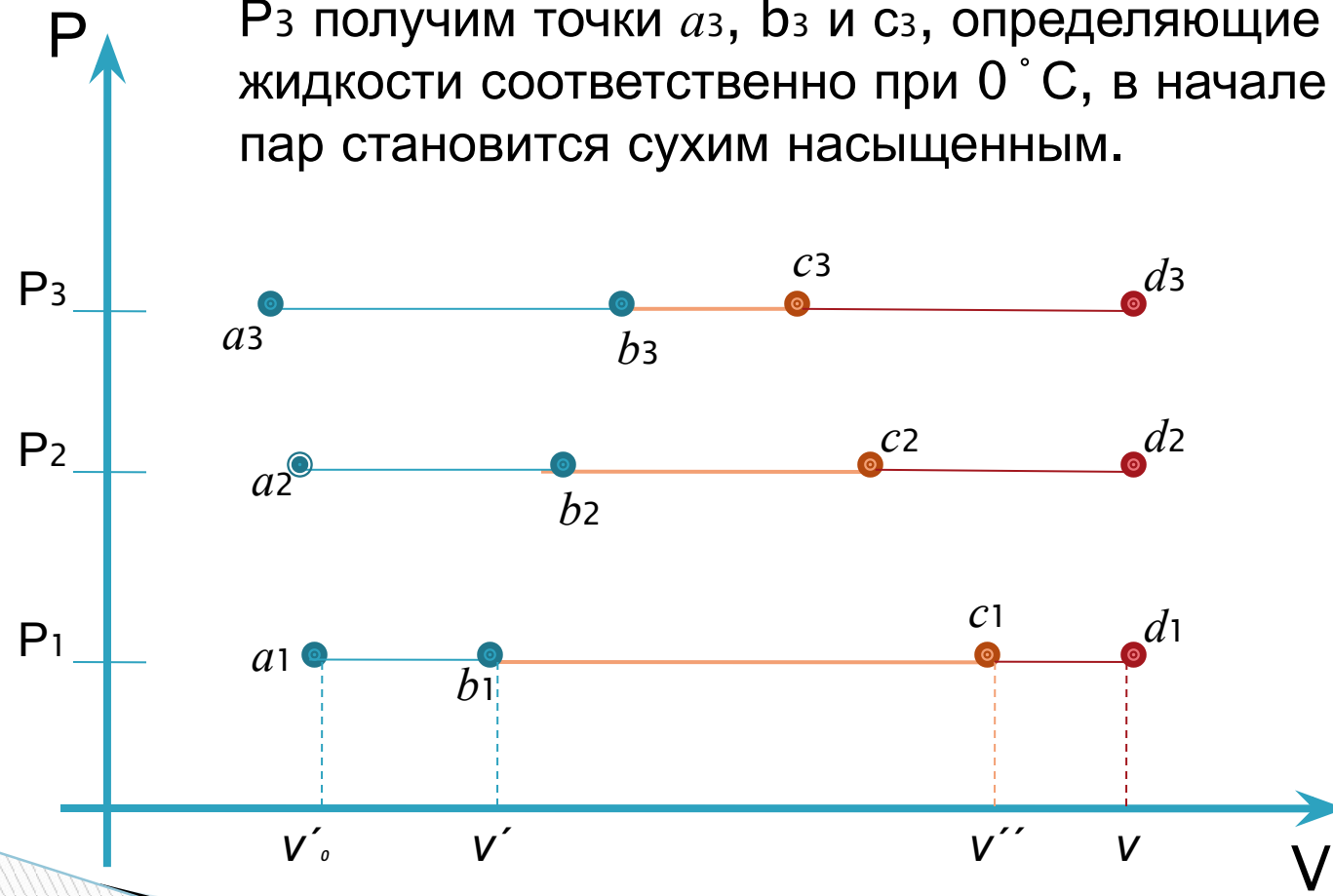
Ясно, это и точка b_2 , определяющая состояние жидкости в момент начала кипения, должна быть расположена на изобаре P_2 несколько правее точки b_1 .

Точка c_2 , определяющая на диаграмме состояние сухого насыщенного пара при давлении P_2 , расположится на изобаре P_2 левее точки c_1 , так как с увеличением давления удельный объем насыщенного пара уменьшается.

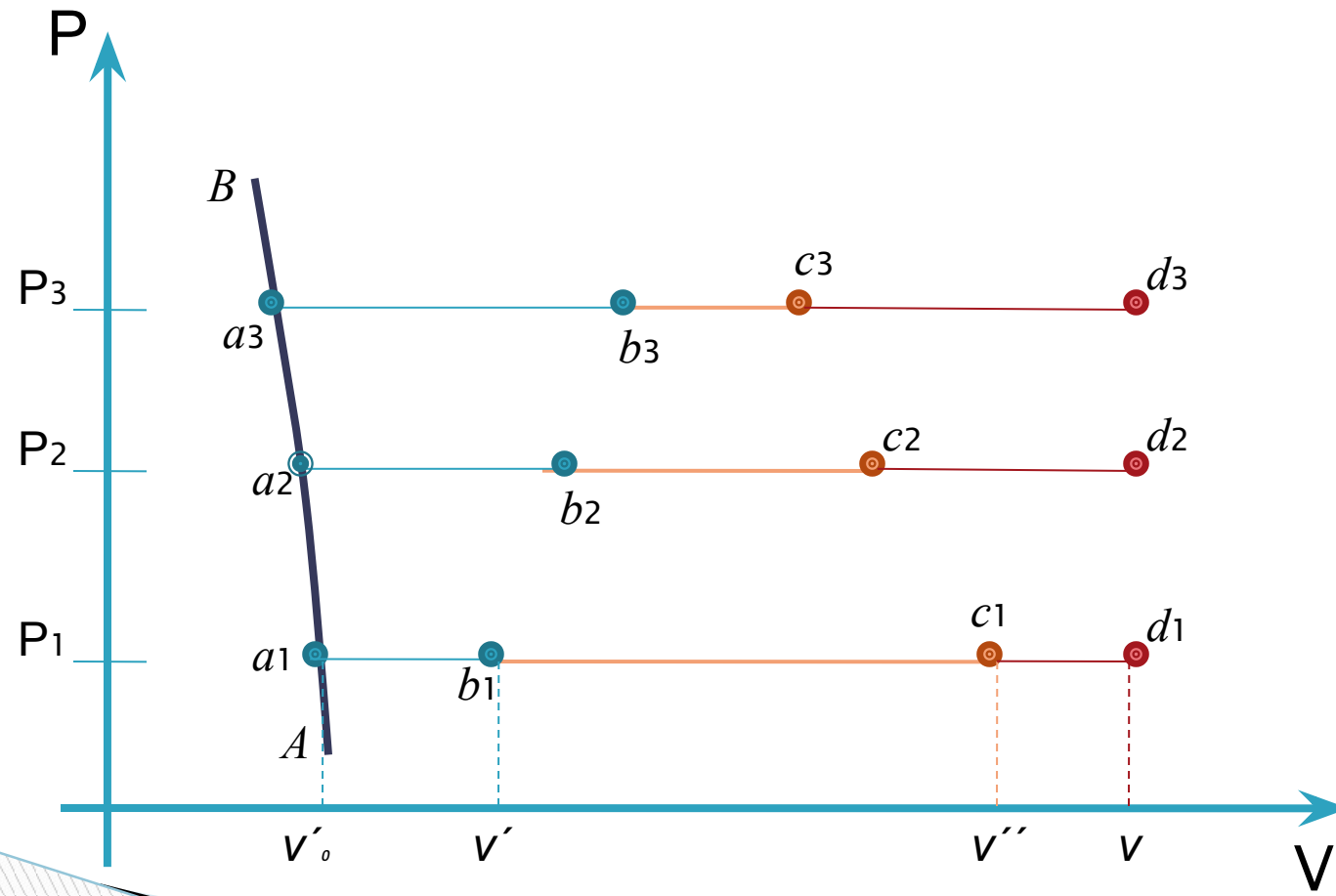


Пограничные кривые

В процессе парообразования при ещё более высоком давлении P_3 получим точки a_3 , b_3 и c_3 , определяющие состояние жидкости соответственно при 0°C , в начале кипения и когда пар становится сухим насыщенным.



Пограничные кривые



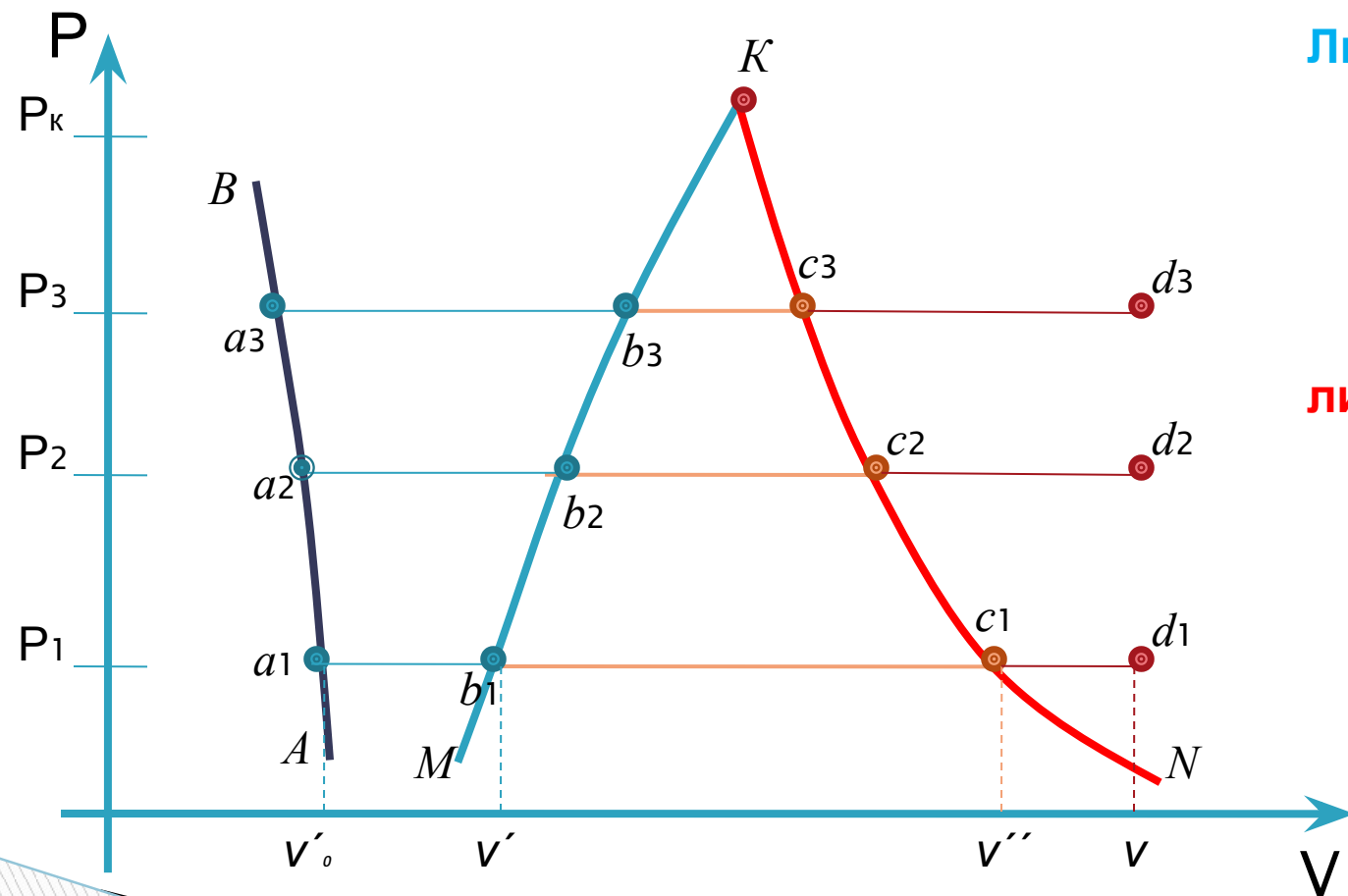
Если через
одноименные
точки провести
плавные линии,
то получим
линию АВ
удельных
объёмов
жидкости при
 0°C

Пограничные кривые

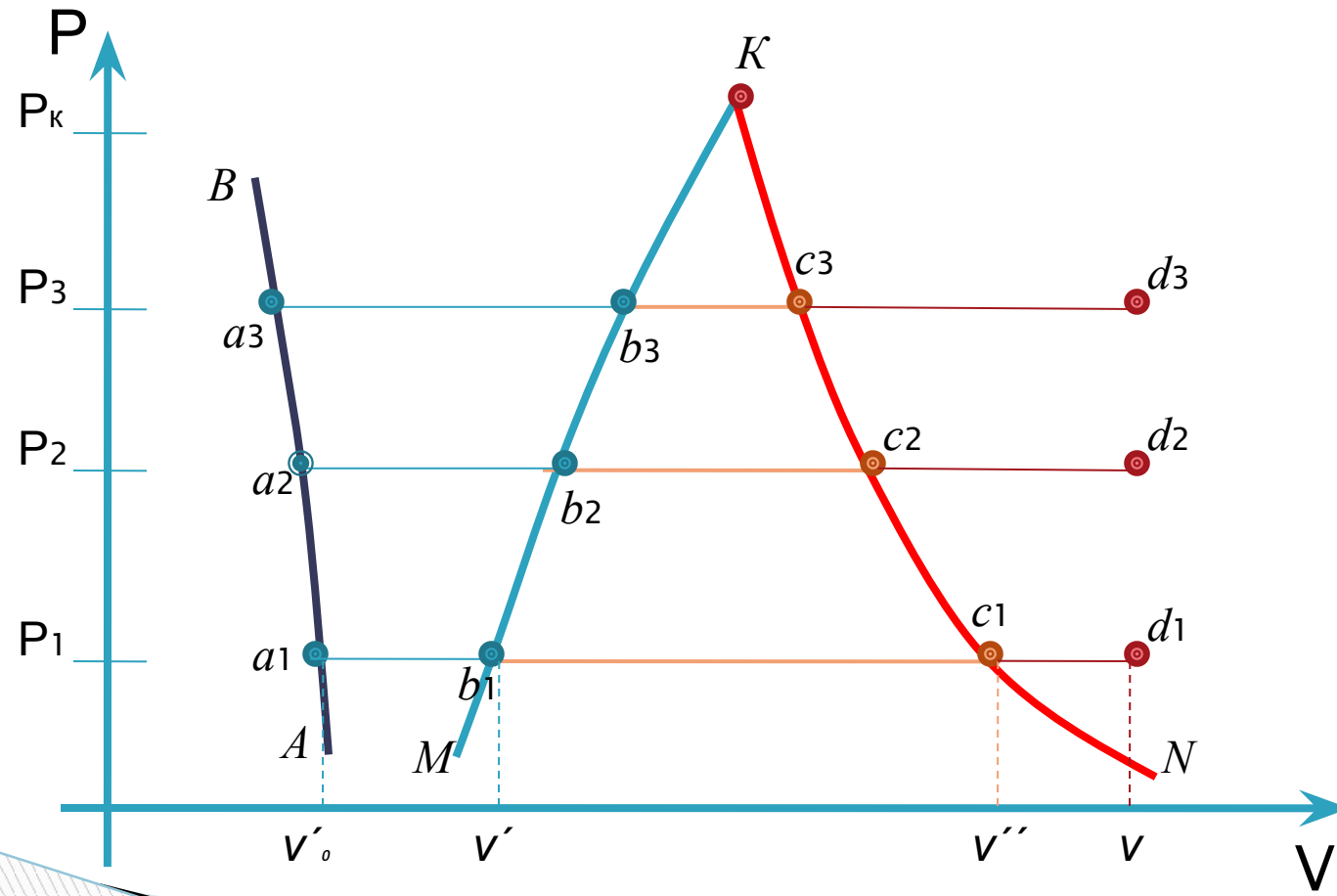
Линии МК и НК,
сходятся в **точке К**.

Линия МК представляет собой геометрическое место точек, характеризующих состояние кипящей жидкости, а

линия НК – геометрическое место точек, характеризующих состояние сухого насыщенного пара.



Пограничные кривые



Таким образом, линии МК и НК разделяют всю диаграмму на три области:

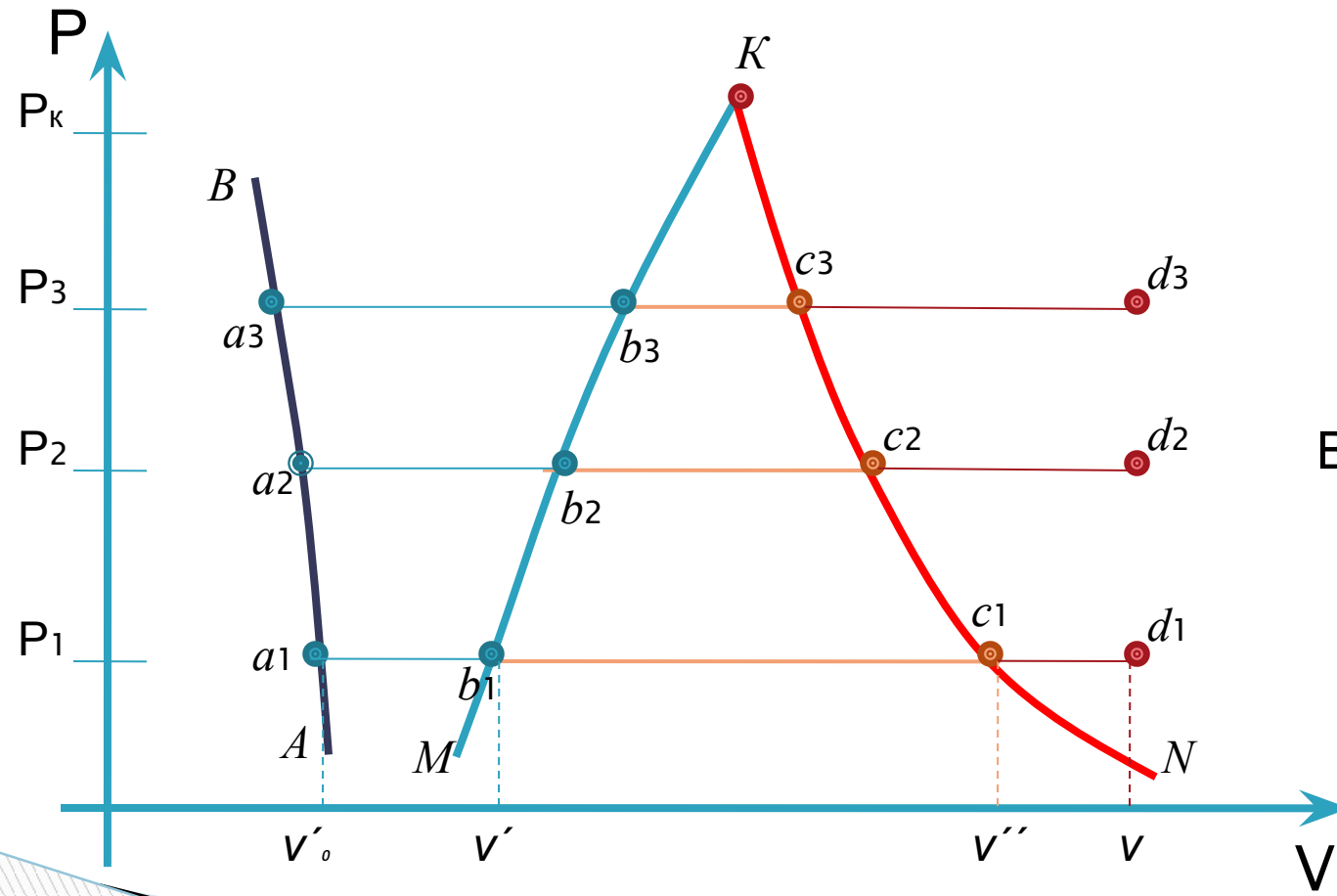
- **Область жидкости**, лежащую между линиями АВ и МК;
- **Область влажного насыщенного пара**, расположенную между пограничными линиями МК и НК;
- **Область перегретого пара**, находящуюся правее линии НК.

Пограничные кривые

Линия МК

называется пограничной **кривой жидкости**, а **линия НК** – пограничной **кривой сухого насыщенного пара**.

В точке K кипящая жидкость и сухой насыщенный пар имеют одинаковые параметры P_k , t_k и v_k называемые критическими, а сама **точка K – критической**.



Критические температуры и давления некоторых газов и водяного пара

Наименование газа	Химическая формула	Критическая температура, °С	Критическое давление, М Па
Азот	N ₂	-147,0	3,39
Аммиак	NH ₃	132,3	11,3
Вода	H ₂ O	374,15	22,129
Водород	H ₂	-239,9	1,29
Воздух (сухой)	-	-140,7	3,76
Кислород	O ₂	-118,4	5,07
Метан	CH ₄	-82,1	4,64
Окись углерода	CO	-140	3,49
Сернистый газ	SO ₂	157,5	7,88
Углекислый газ	CO ₂	31,04	7,38
Фреон - 11	CF ₃ Cl	198	4,37
Хлор	Cl ₂	144	7,7
Эфир диэтиловый	C ₄ H ₁₀ O	194	3,61

Наличие критической точки у различных веществ впервые было установлено Д.И. Менделеевым. Это открытие оказалось чрезвычайно важным для всего дальнейшего развития теории реальных газов.

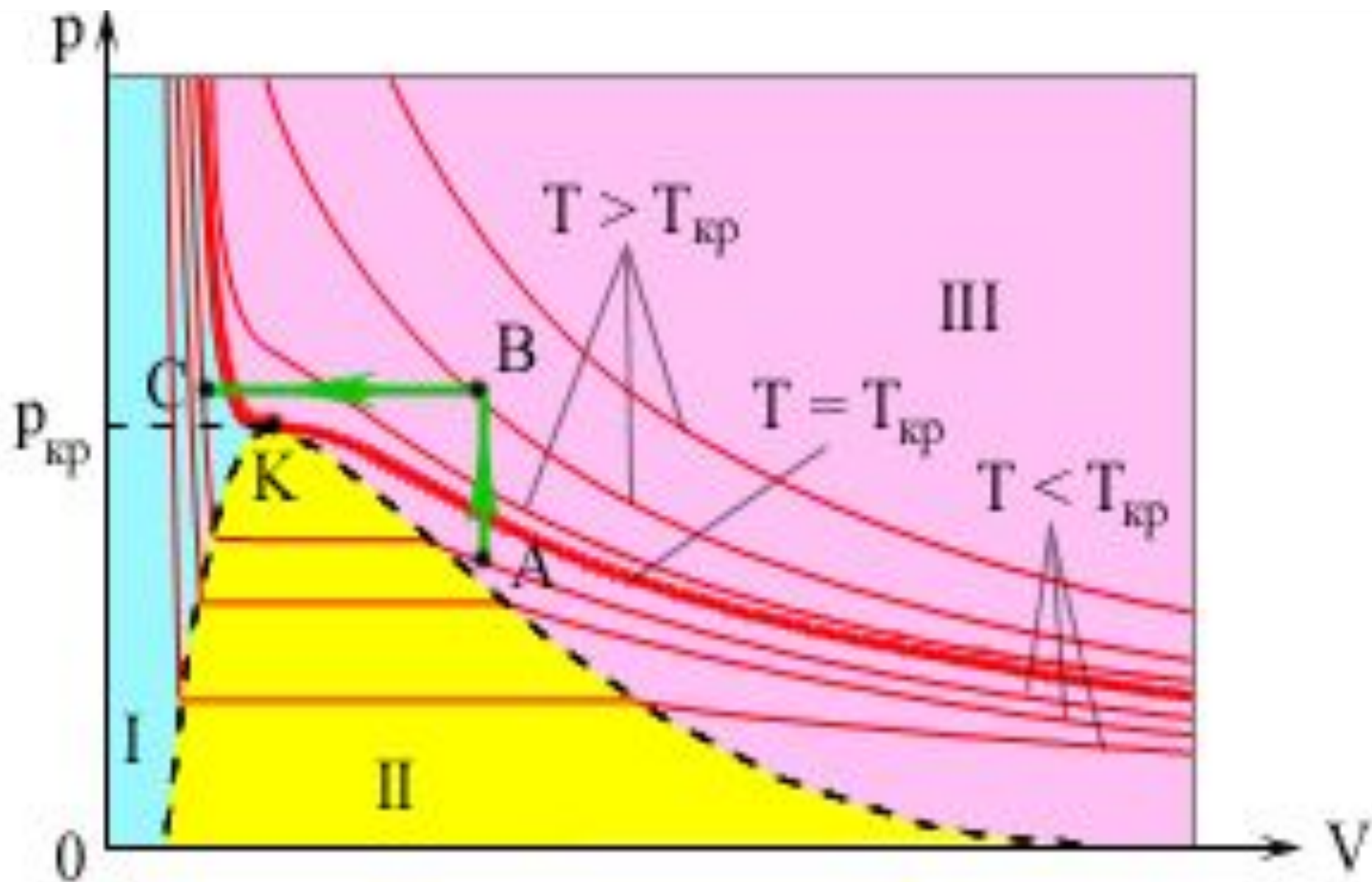
В настоящее время принято считать для воды:

$$P_k = 22,129 \text{ М Па} \approx 22,1 \text{ М Па}$$

$$t_k = 374,15 \text{ }^\circ\text{С}$$

$$v_k = 0,00326 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Критическая температура



Если пар имеет температуру, равную или выше критической, то никакое повышение давления при постоянной температуре никогда не переведёт его в жидкость.

Чем температура перегретого пара выше критической, тем он по своим свойствам больше приближается к идеальным газам.

Однако в интервале температур и давлений, в котором он используется в пароэнергетических установках (паровых котлах и паровых турбинах), различие в его свойствах и свойствах идеальных газов настолько велико, что перегретый пар недопустимо рассматривать как идеальный газ, подобно тому, как это делается в расчётах с газами.

Такой пар приходится рассчитывать по формулам, в которых учитываются и межмолекулярные связи, и суммарный объём молекул в общем объёме, занимаемом паром.

Эти формулы, как правило, сложны и поэтому везде, где возможно, их заменяют таблицами и диаграммами, составленными на основании этих формул и опытных данных.

Такой графоаналитический метод расчёта оказывается достаточно простым и точным.

Домашние задание





Спасибо за внимание
Урок 01

