



ШД

Лекция 1: Фазовые состояния углеводородов

Махатова Меруерт Надировна
MS, BS in Petroleum Engineering

Алматы, 2016

Введение

- Залежи нефти и газа представляют собой смеси различных компонентов, которые под P & T могут существовать в разных состояниях.
- Эти состояния называются фазами.
- Фазовые состояния – ключевой аспект в понимании природы и поведения флюидов в пласте, во время добычи и при транспортировке

Определения

- Система

- Количество вещества в пределах заданных границ в определенных условиях, состоящие из нескольких компонентов
- Если существует движение через границу, то система меняется

- Компоненты

- Чистые вещества, составляющие систему

- Метан, этан, вода

Определения

- Фазы

- Однородная часть системы, ограниченная поверхностью раздела
- Пример: лед, жидкая вода, пар

- Равновесие

- Система находится в равновесии, если физические свойства отдельных фаз не изменяются со временем.

Определения

- Интенсивные свойства (Intensive Properties)
 - Независимы от количества вещества
 - Пример: плотность, коэффициент сжимаемости
- Экстенсивные свойства (Extensive Properties)
 - Зависят от количества вещества
 - Пример: объем и масса

Влияние температуры и давления

- Температура
 - Индикатор (показатель) кинетической энергии молекул.
 - Мера измерения кинетической энергии молекул.
 - Увеличивается при нагревании
 - Увеличение скорости молекул
 - Молекулы отдаляются друг от друга

Влияние температуры и давления

- Давление
 - Отражает частоту соударений молекул со стенками емкости
 - Больше количество молекул увеличивает давление
- Межмолекулярные силы: силы притяжения и отталкивания между молекулами
 - Силы притяжения увеличиваются при отдалении
 - Силы отталкивания увеличиваются при приближении

Газы и жидкости

- Газы

- Молекулы расположены далеко друг от друга
- Силы притяжения между молекулами

- Жидкости

- Близкое расположение молекул
- Силы отталкивания позволяют противостоять сжатию

Фазовое поведение однокомпонентной системы

- Перед изучением более сложных углеводородных систем необходимо изучить однокомпонентную систему
- ◆ Фазовые диаграммы
 - Диаграммы давления и температуры или давления и объема
 - Отображает фазовые состояния при различных условиях

Диаграмма давление-температура для однокомпонентного вещества

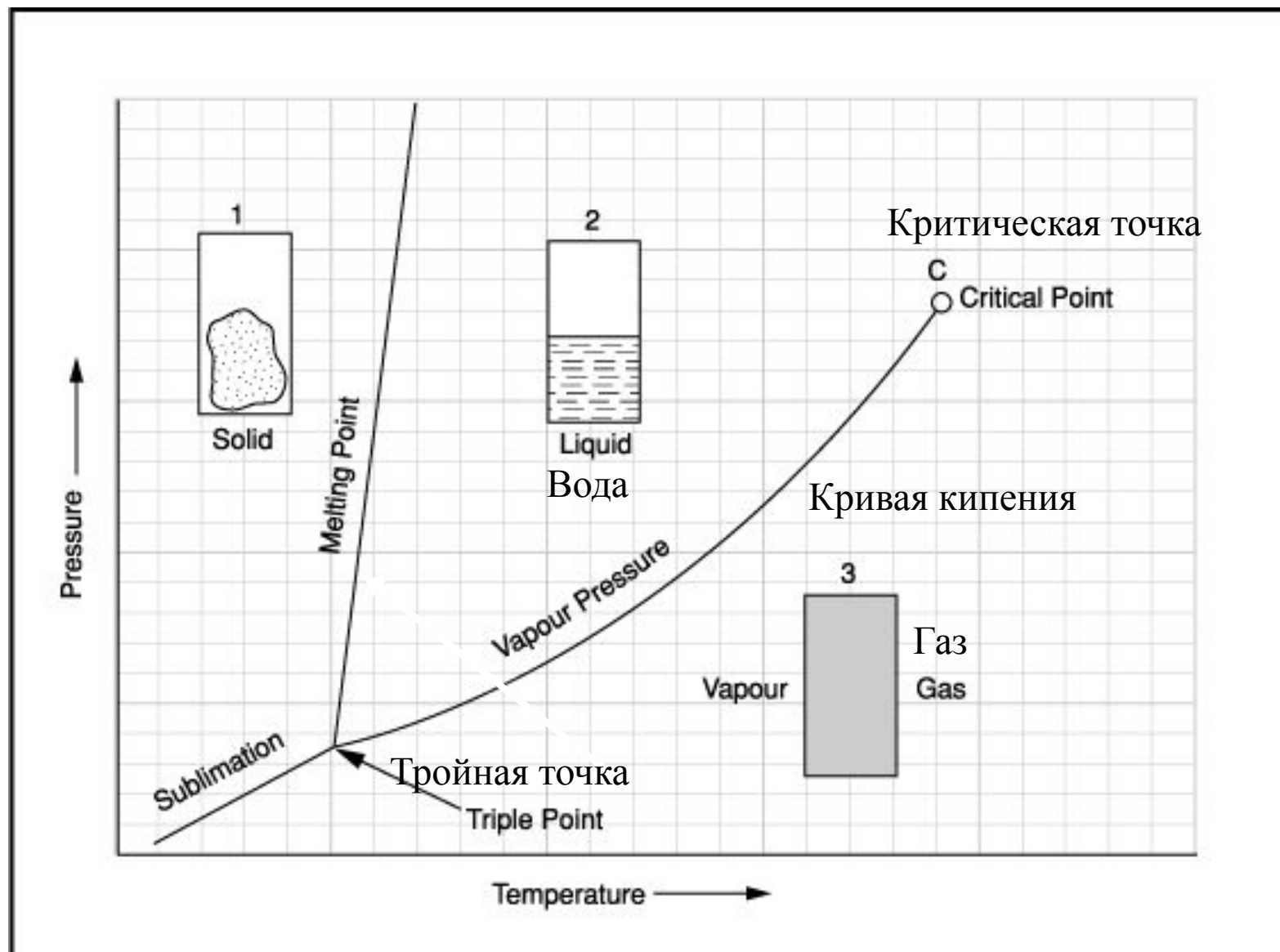


Диаграмма давление-температура для однокомпонентного вещества

Кривая парообразования

Разделяет области жидкой
фазы от газовой

Условия на линии -
совместное существование
жидкости и газа

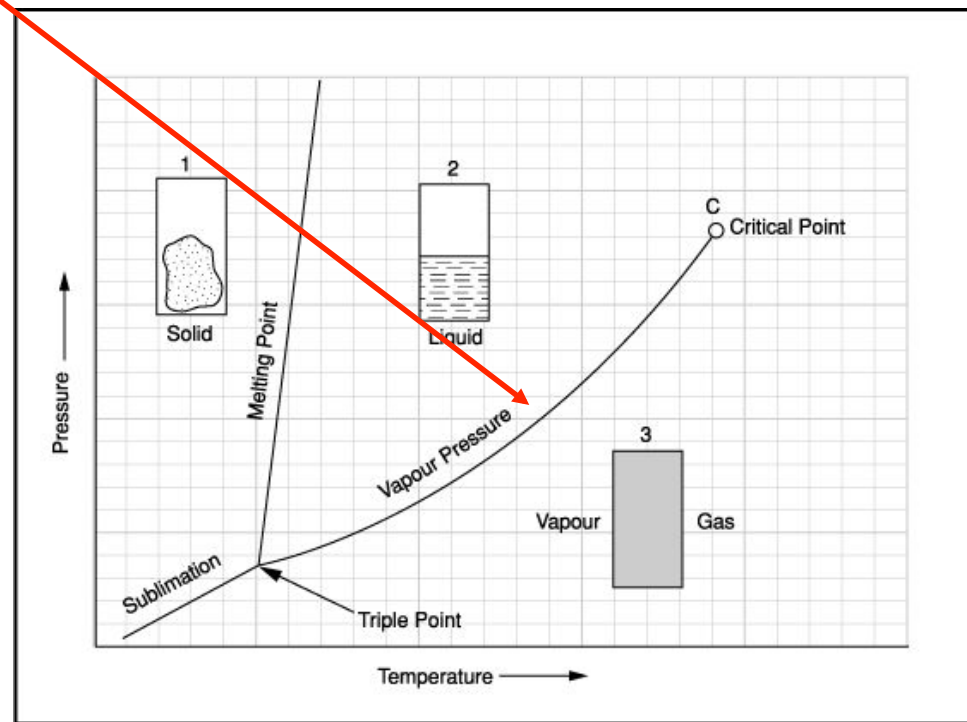
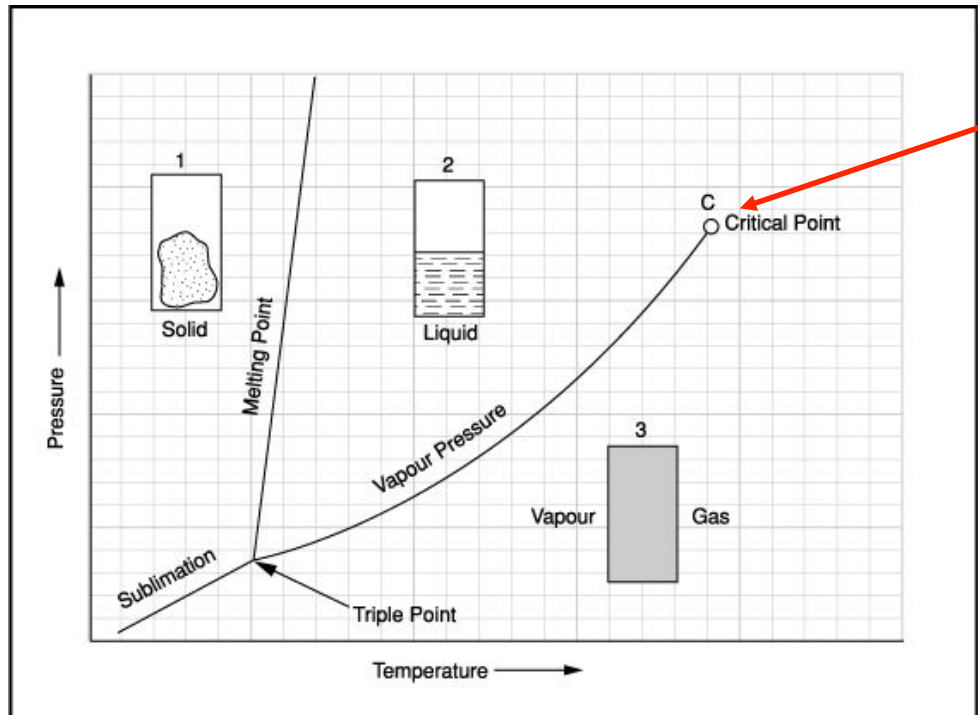


Диаграмма давление-температура для однокомпонентного вещества



Критическая точка

Максимальное значение кривой парообразования
Критическая температура, T_c
Критическое давление, P_c

Верхняя граница сосуществования жидкости и газа

Диаграмма давление-температура для однокомпонентного вещества

Тройная точка

Отображает давление и температуру, при которых совместно существуют три фазы

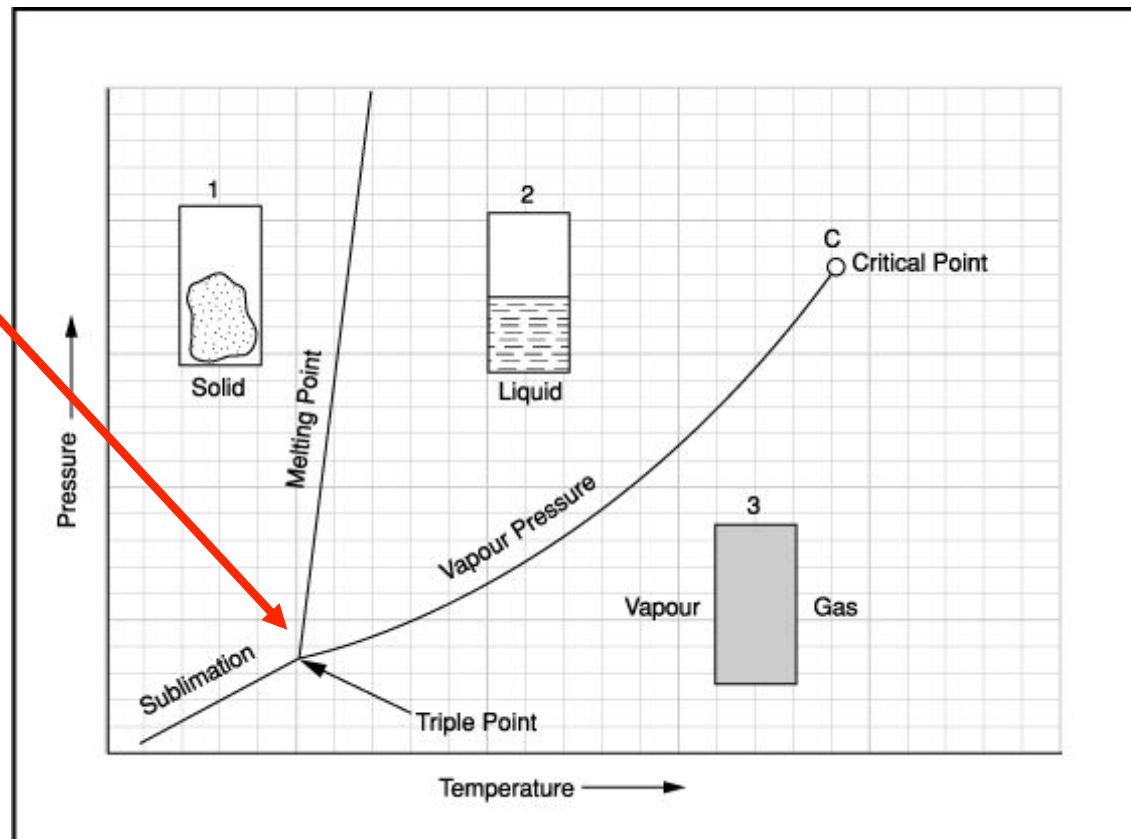


Диаграмма давление-температура для однокомпонентного вещества

Линия
сублимации

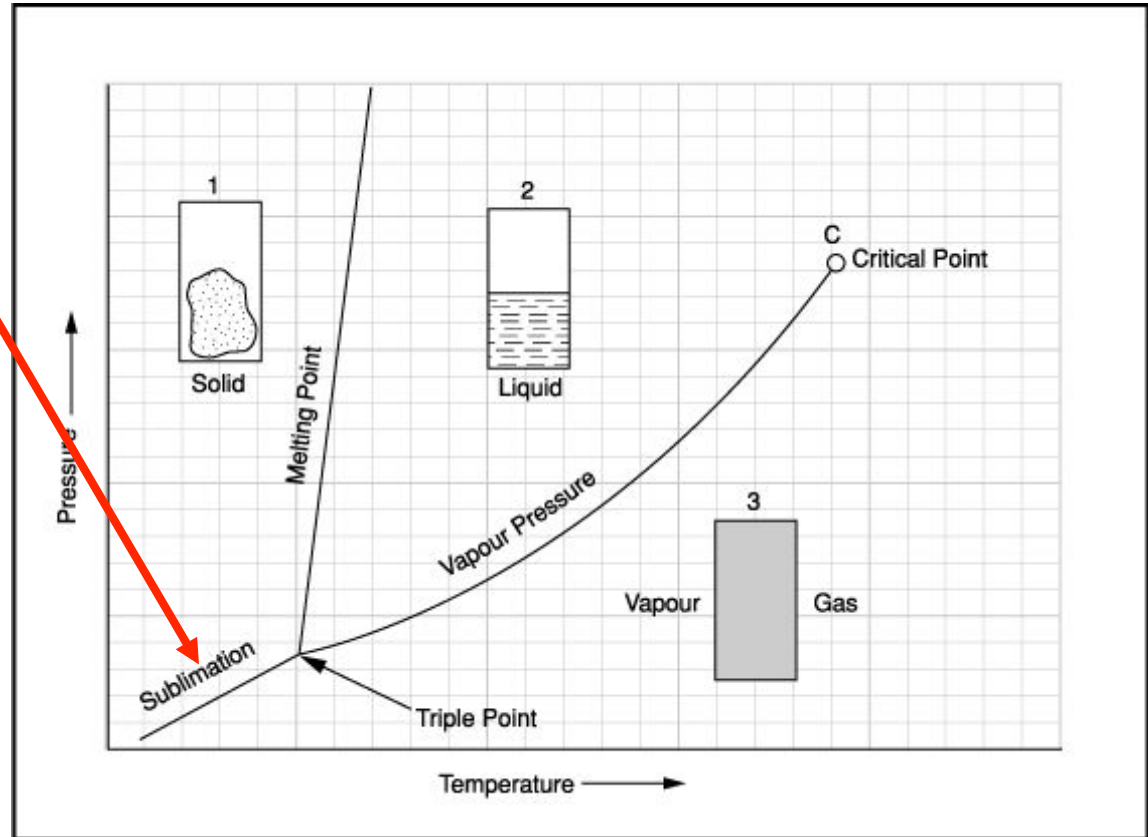


Диаграмма давление-температура для однокомпонентного вещества

Линия
плавления

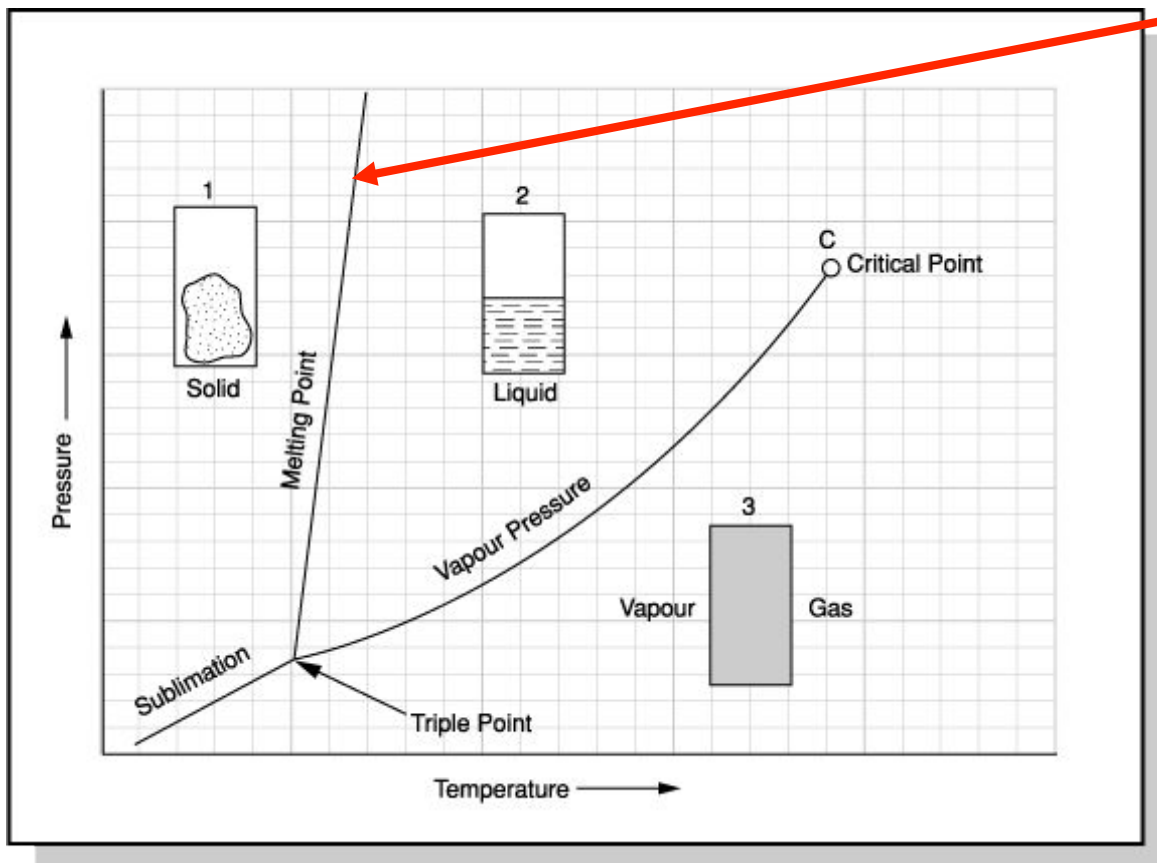
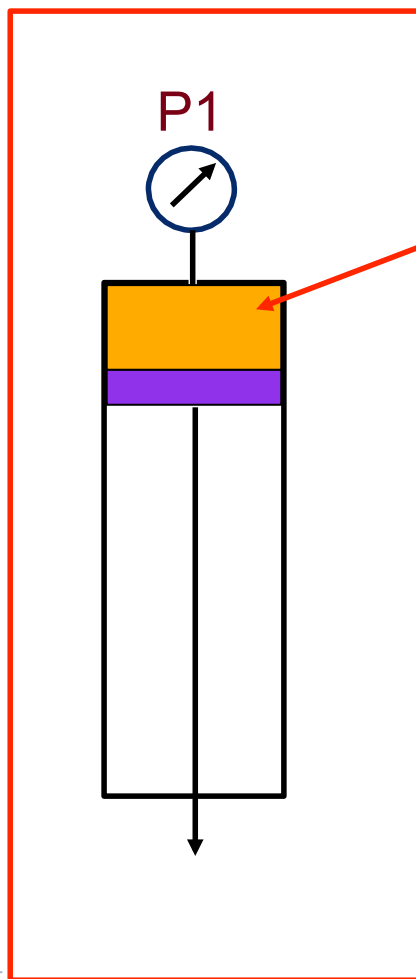


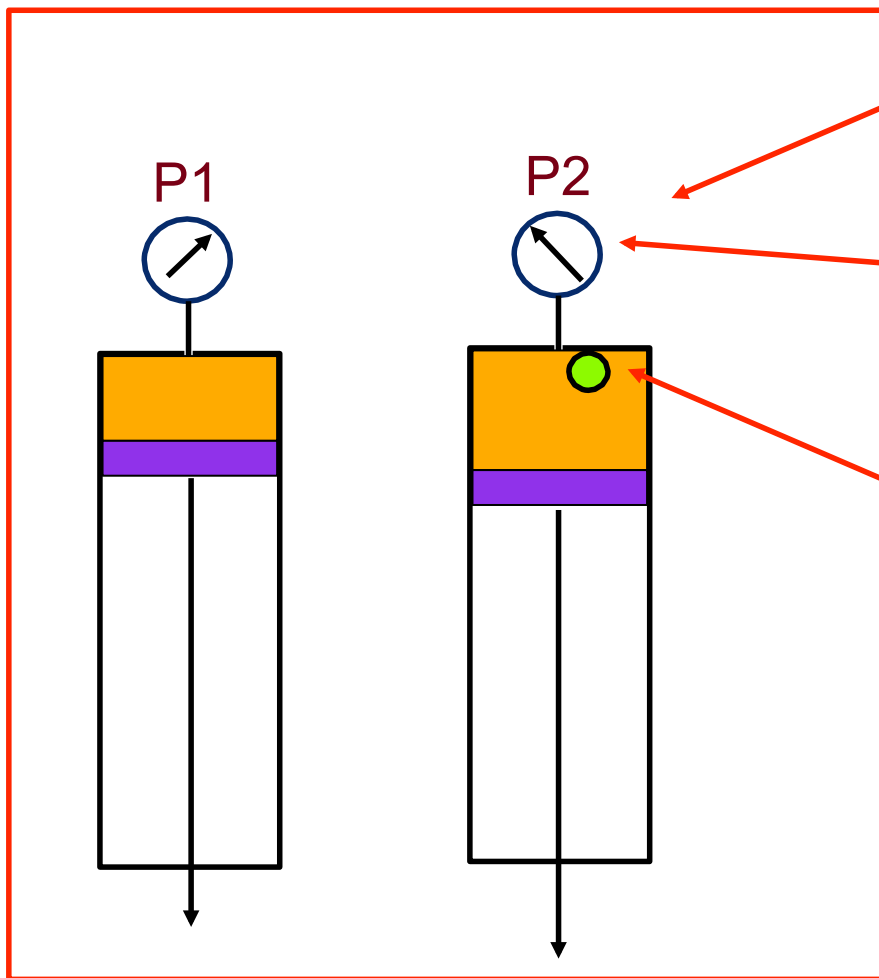
Диаграмма давление-температура



Однокомпонентная жидкость при давлении P_1

Диаграмма давление-температура

Однокомпонентная жидкость при давлении P_1



□ Значительное снижение давления. Незначительное изменение объема

□ Давление насыщения

□ P_2

□ Пузырьки газа в равновесии с жидкой фазой

Диаграмма давление-температура

Однокомпонентная жидкость при давлении P_1

Давление насыщения P_2

Увеличение объема

Увеличение газовой фазы, уменьшение жидкости

Давление постоянное

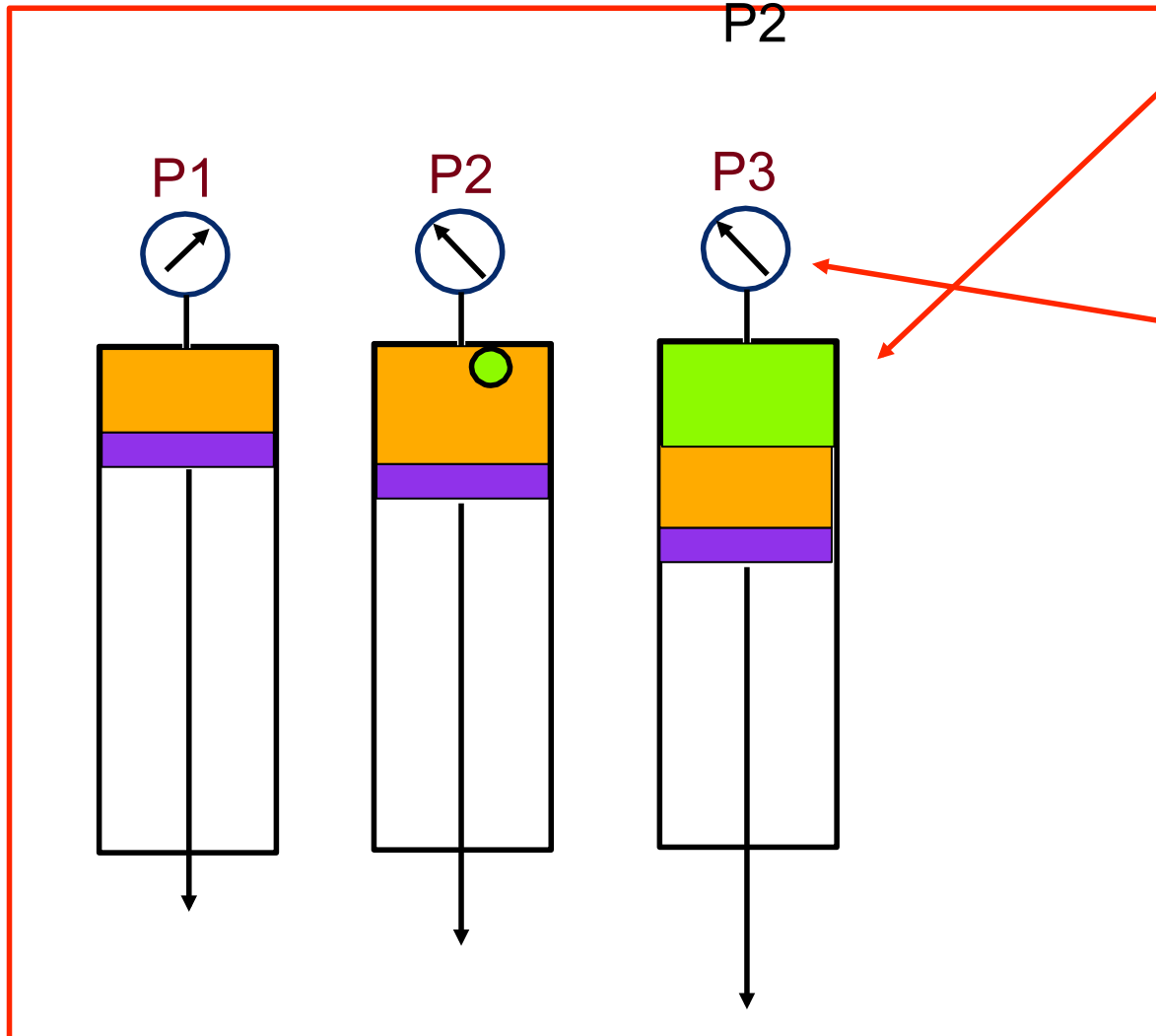
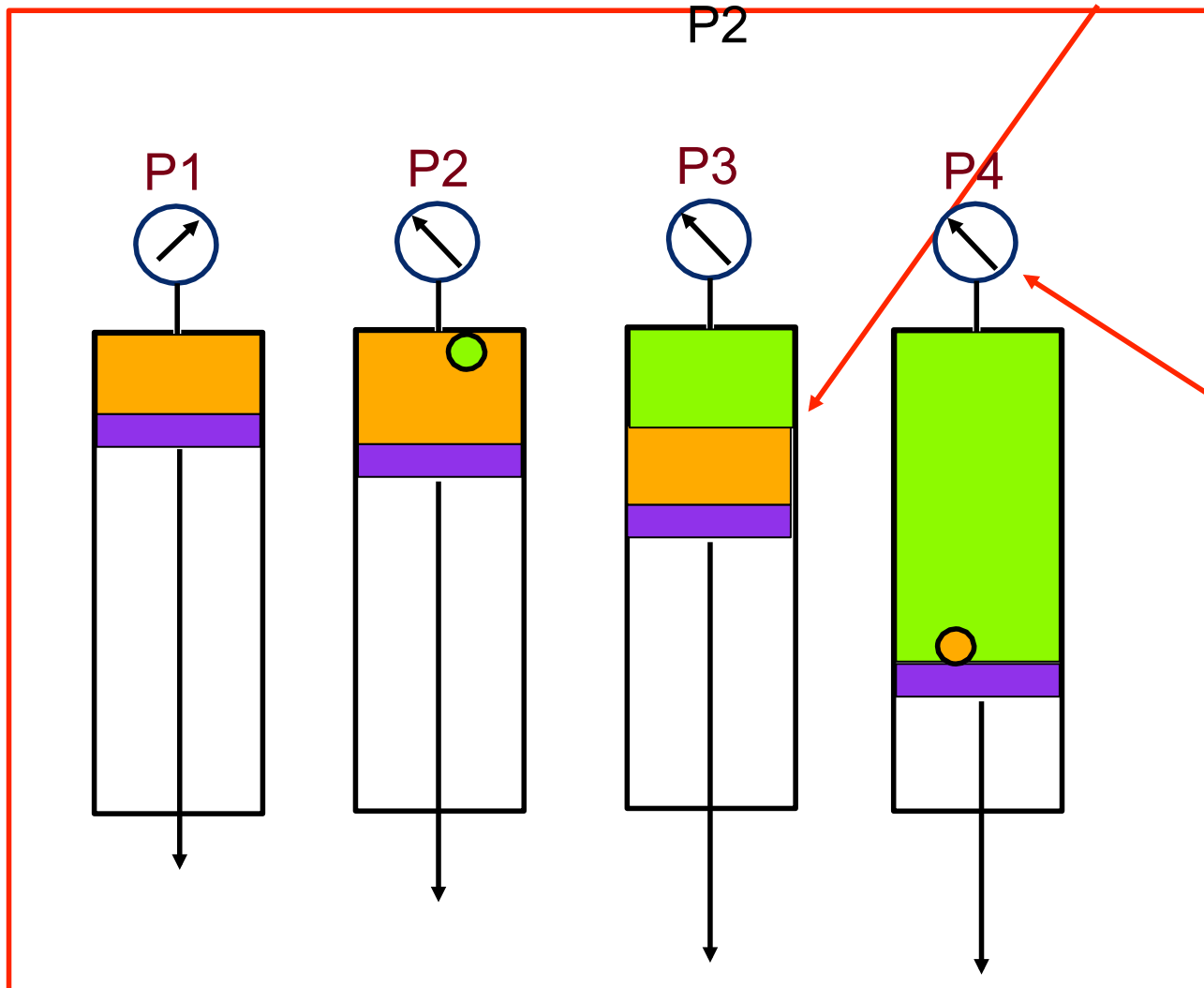


Диаграмма давление-температура

Однокомпонентная жидкость при давлении P_1

Давление насыщения P_2

Увеличение объема



Давление точки росы P_4

Маленькие капли жидкости

Давление постоянное

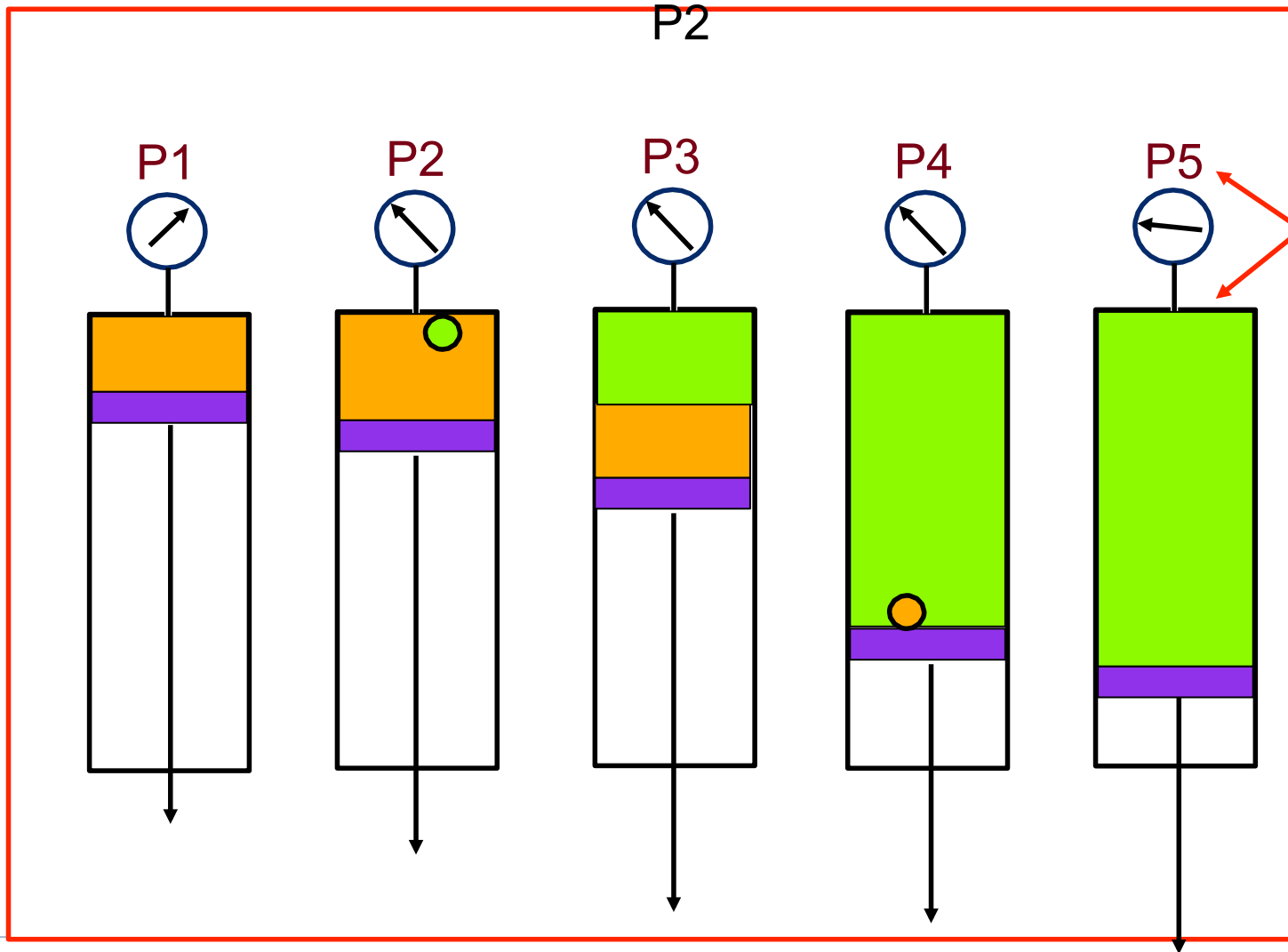
Диаграмма давление-температура

Однокомпонентная жидкость при давлении P_1

Давление насыщения P_2

Увеличение объема

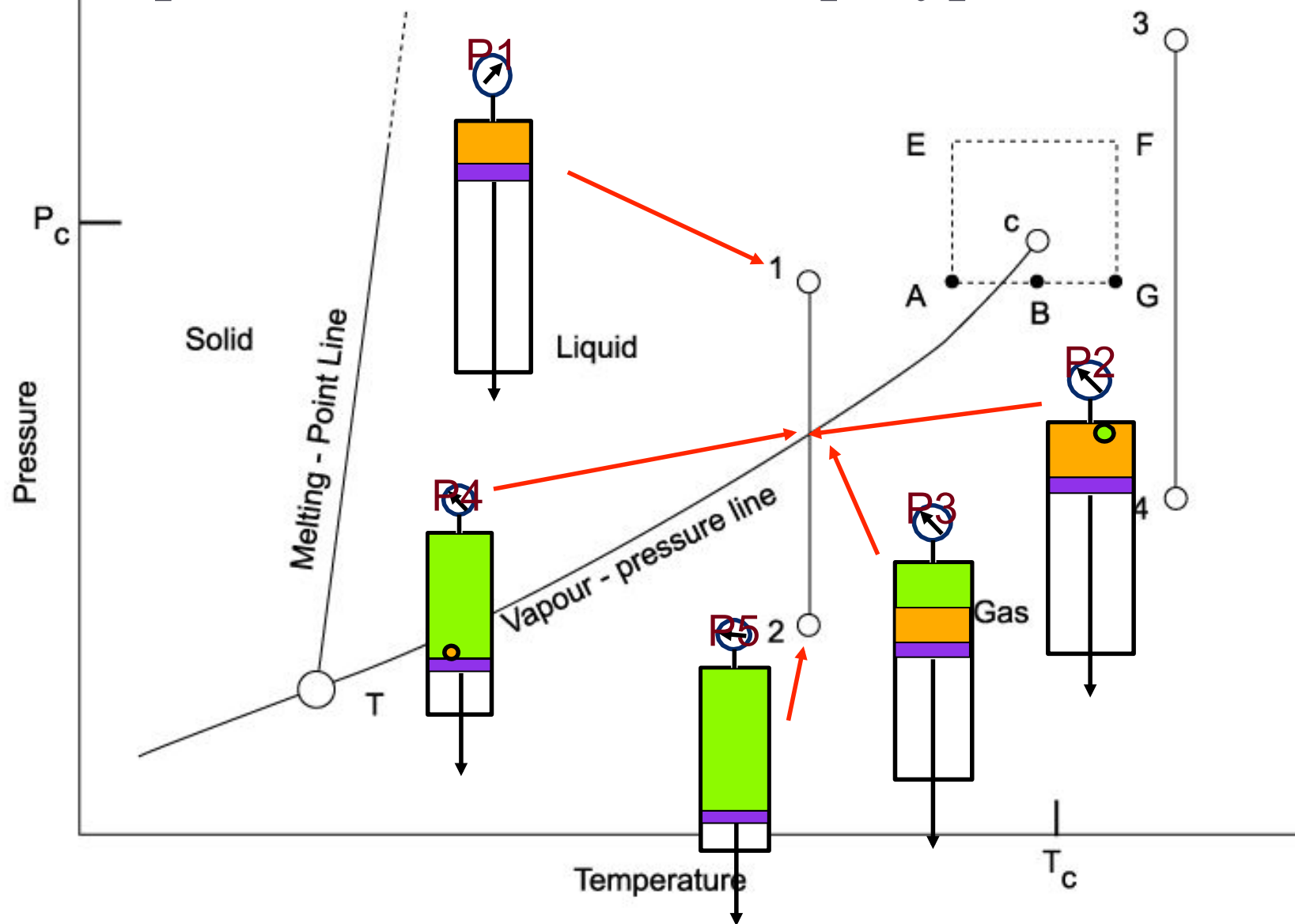
Давление точки росы P_4



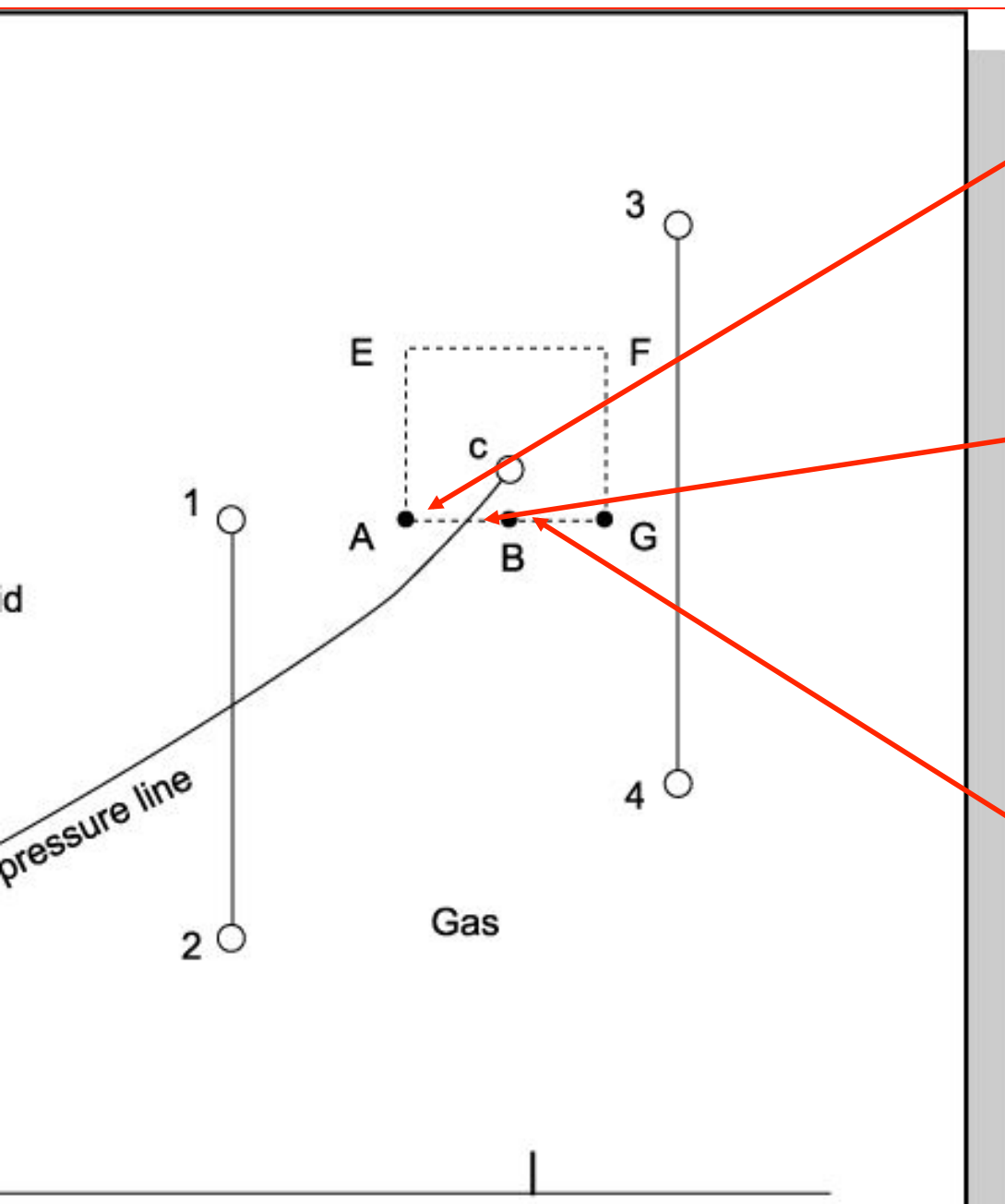
Дальнейшее расширение газа

Падение давления

Диаграмма давление-температура



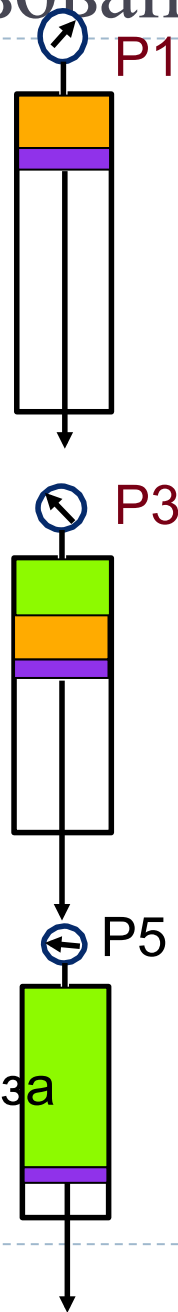
Поведение вдоль кривой парообразования



A - жидкая фаза

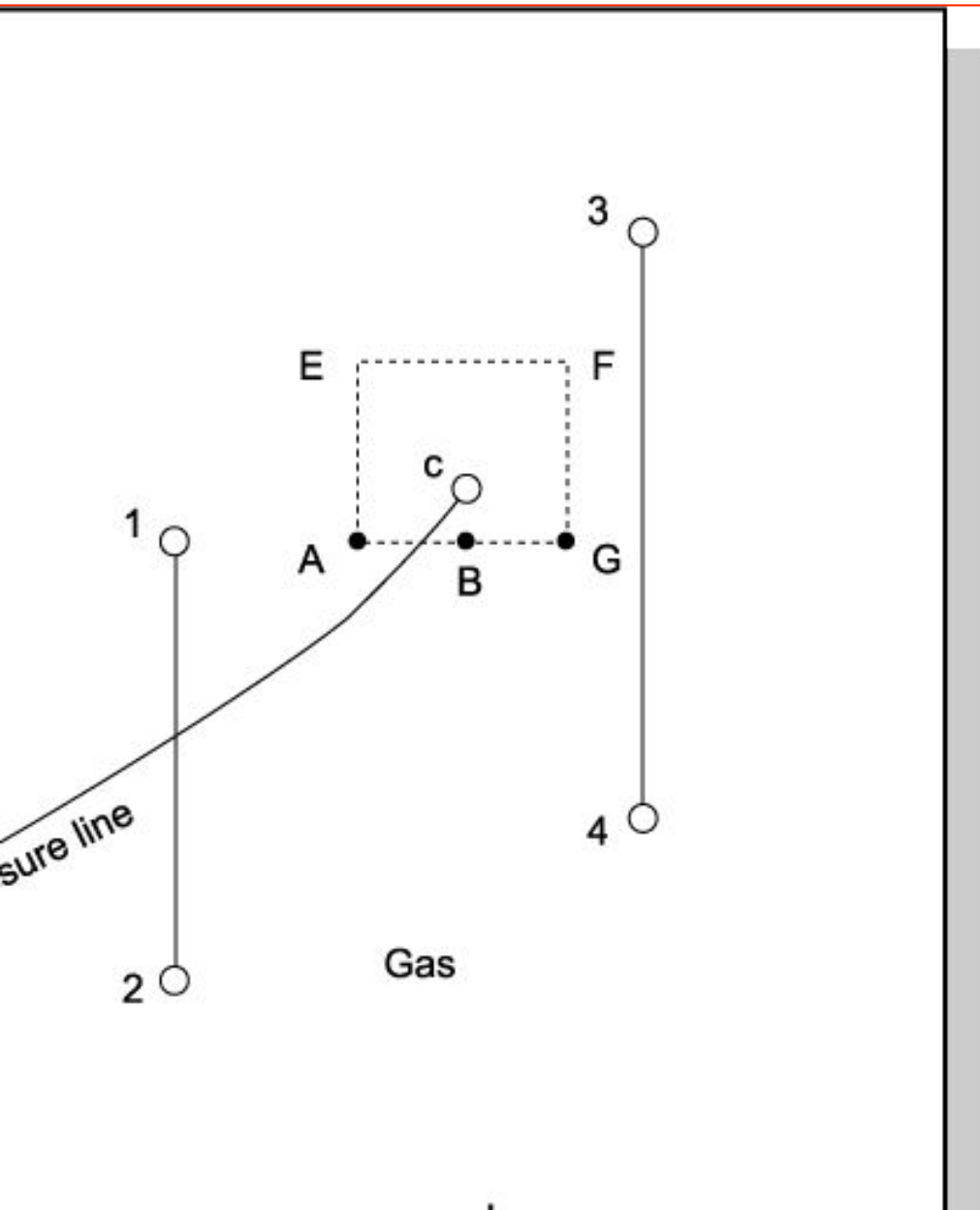
Между A&B на линии – газ и жидкость

B - газовая фаза



^c ACTODD

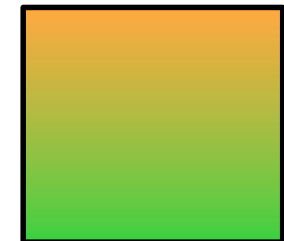
Поведение в критической точке



At A liquid phase
A – жидкая фаза
E – сжатая жидкая фаза



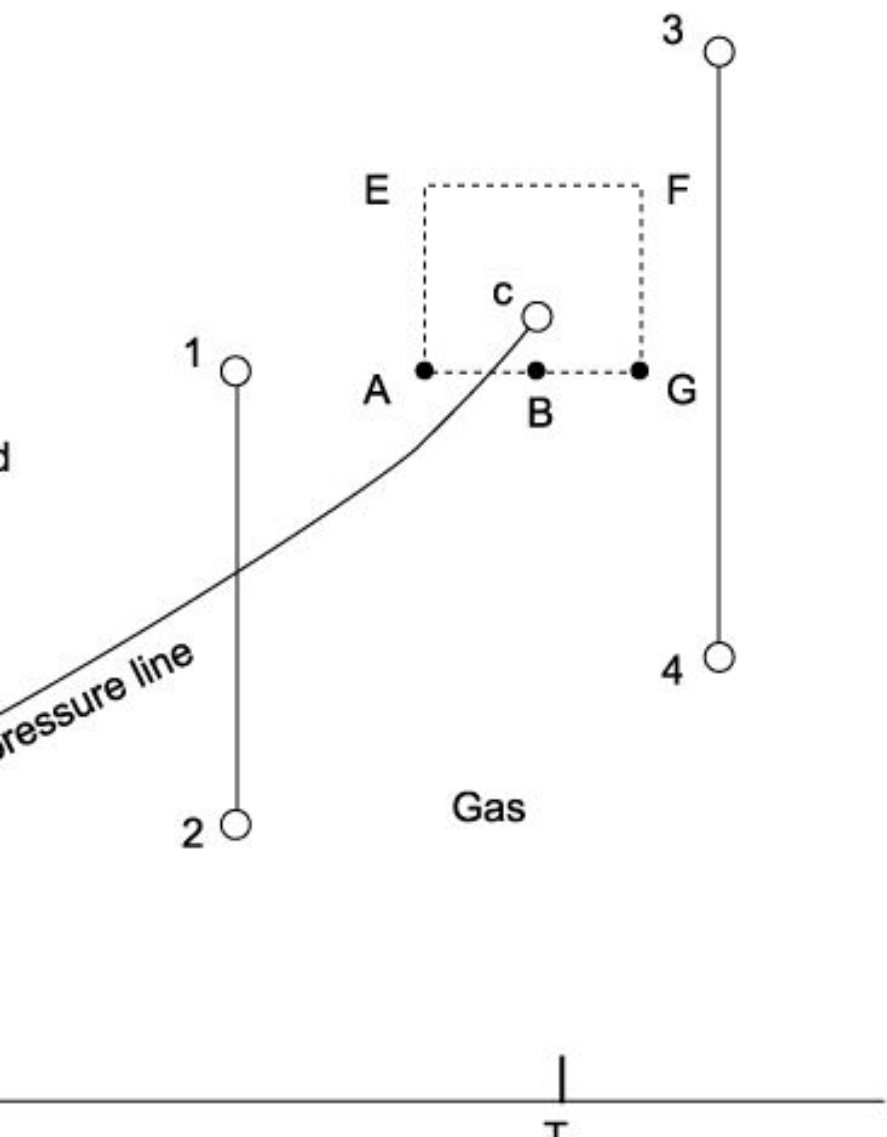
From E to F from liquid to gas with no phase boundary
От E до F из жидкости газ без четких границ



G - газовая фаза
B – газовая фаза



Выше критической точки



3 – жидкая фаза?

Фаза с высокой
плотностью



3-4 переход от
свойств жидкости к
свойствам газа без
определенного
фазового перехода



PT диаграмма для этана

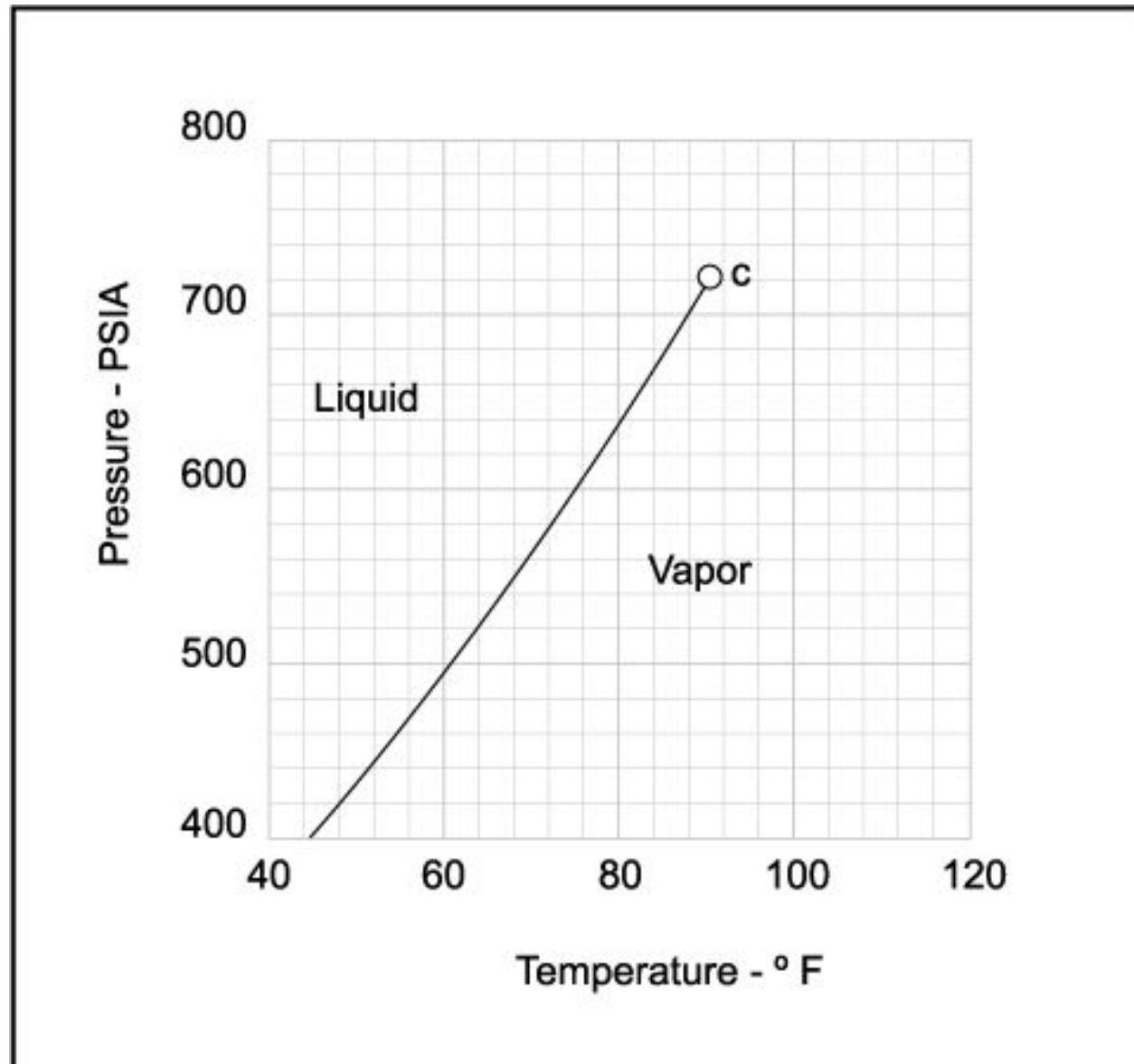


Диаграмма давление-объем

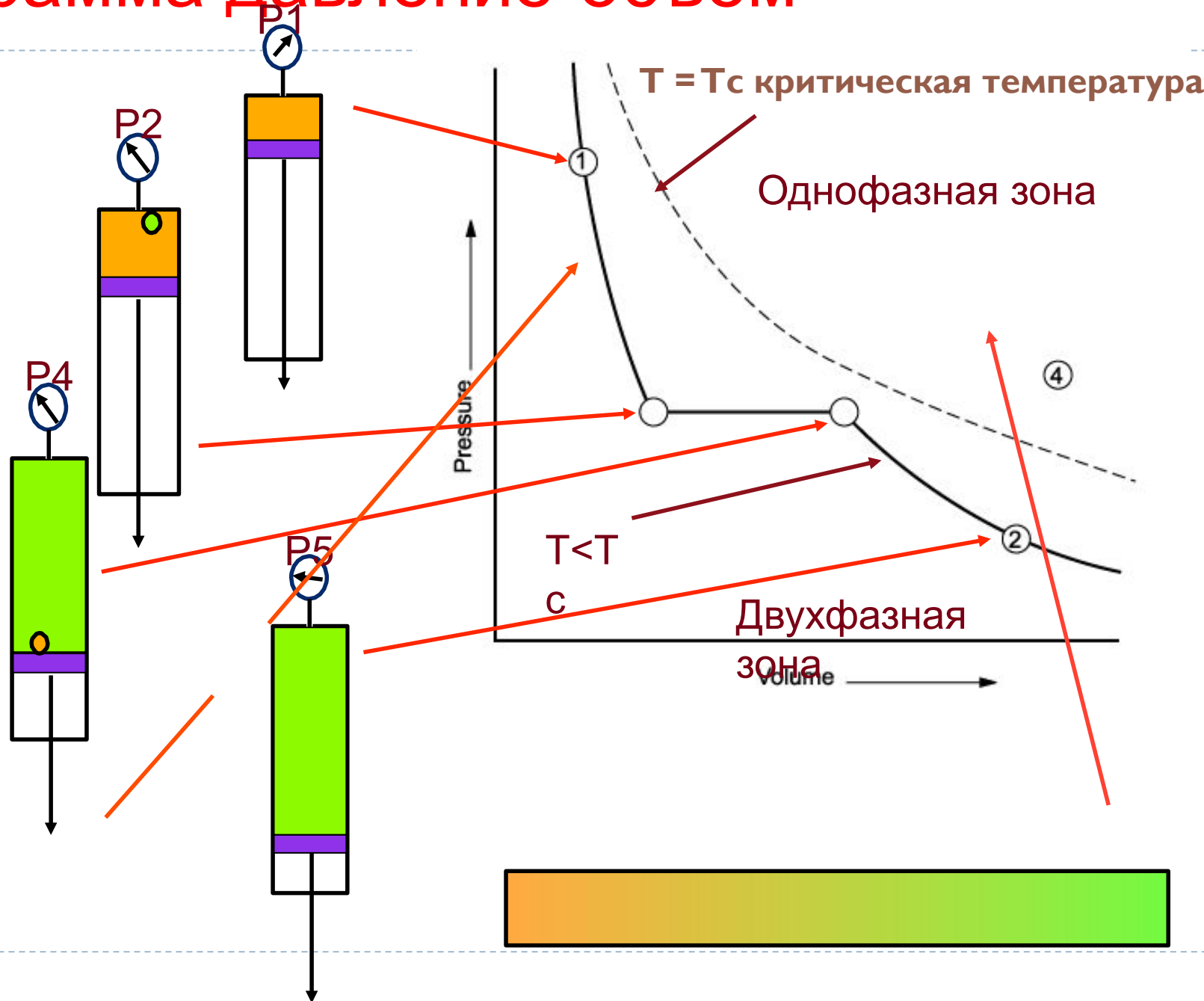
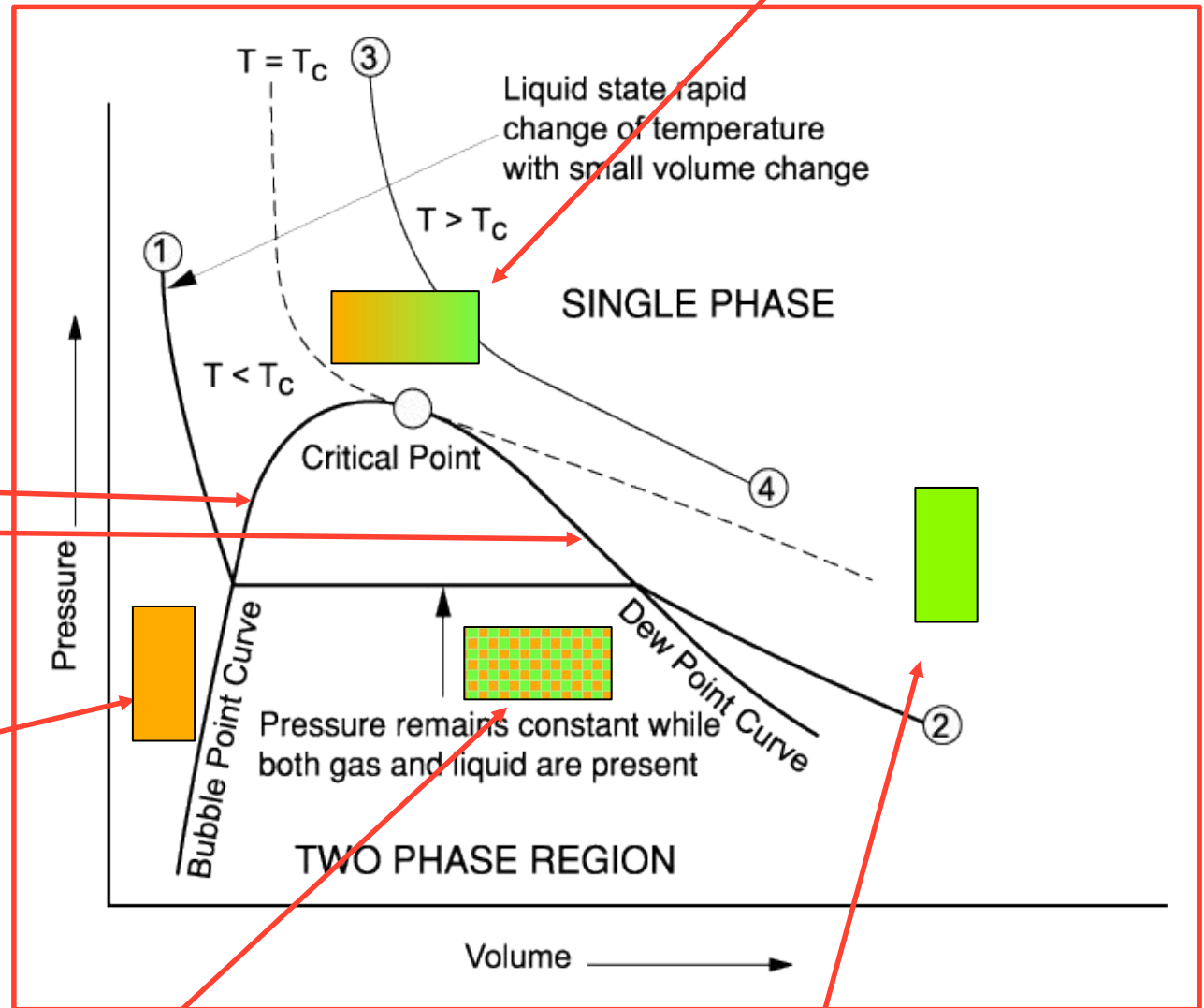


Диаграмма давление-объем

Одна фаза

- GMT точек кипения и точек росы

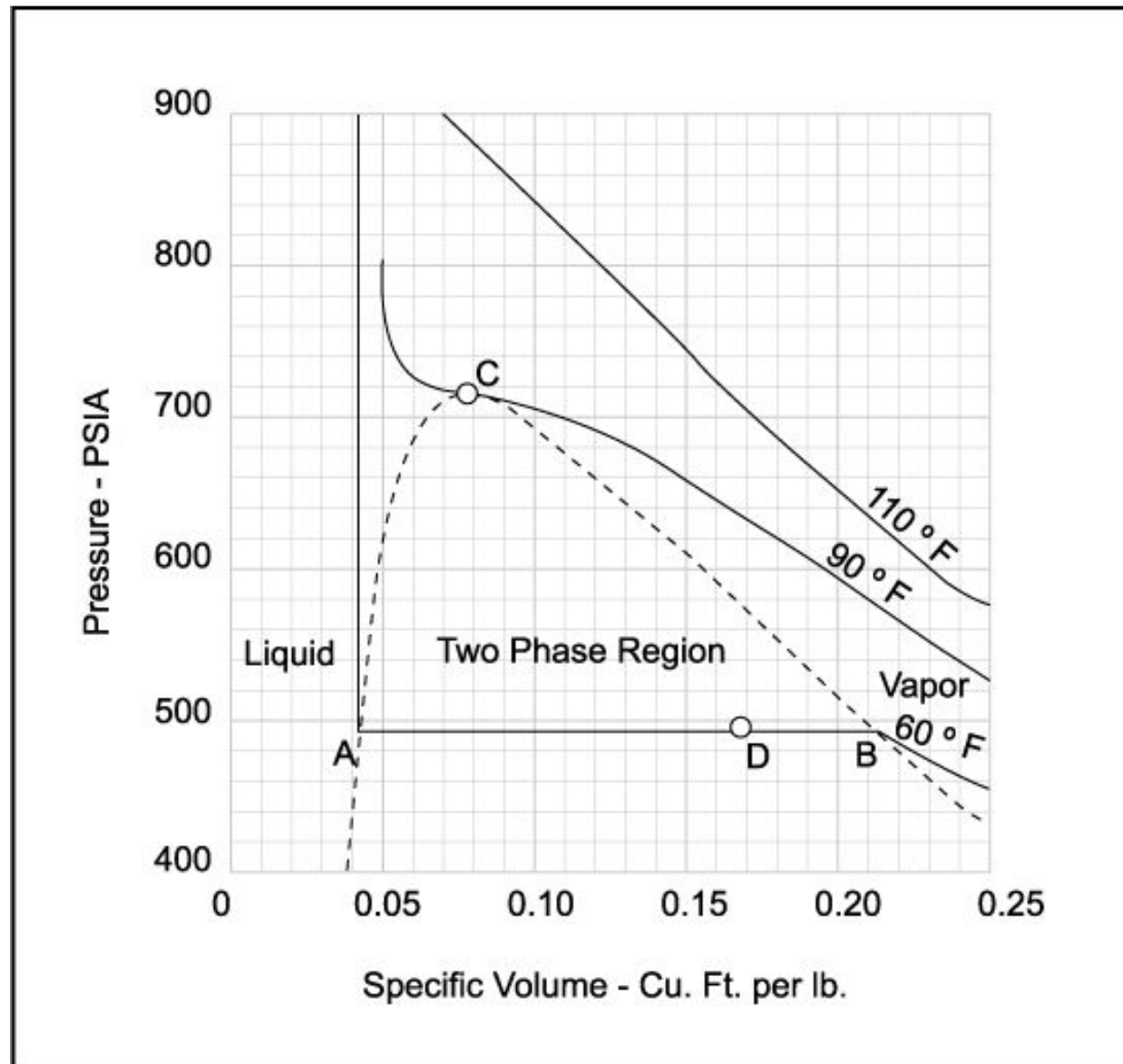
Жидкость



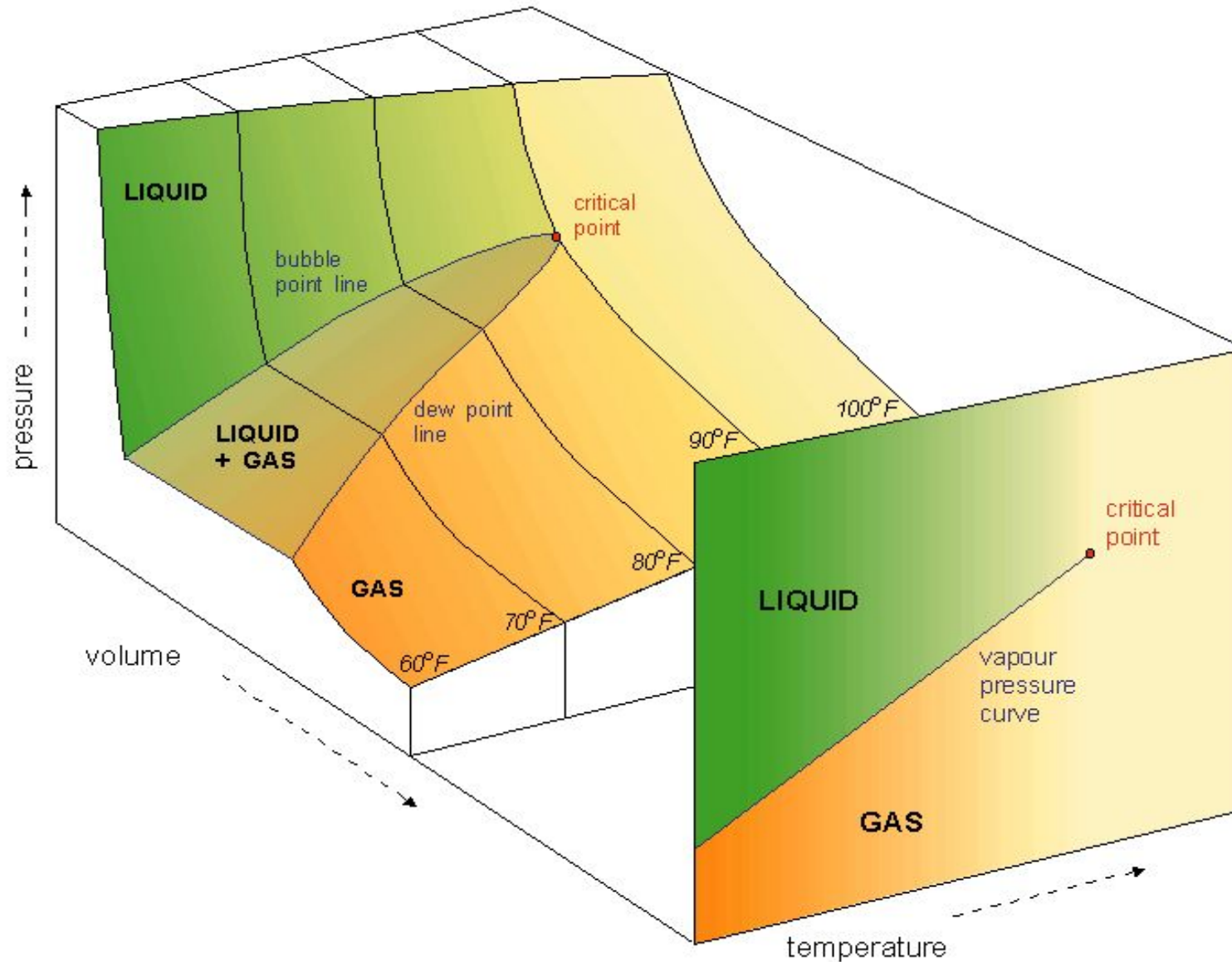
Две фазы

газ

Диаграмма давление-объем для этана



3D фазовая диаграмма для ОДНОКОМПОНЕНТНОГО ВЕЩЕСТВА



Двухкомпонентная система

- Один компонент легче другого
- Компоненты смешиваемы

Диаграмма давление-объем для двухкомпонентной системы

Изотермы схожи с изотермами однокомпонентного вещества

Давление уменьшается от точки кипения до точки росы

Композиционный состав жидкой фазы и газа меняется

Физические свойства — функция композиционного состава

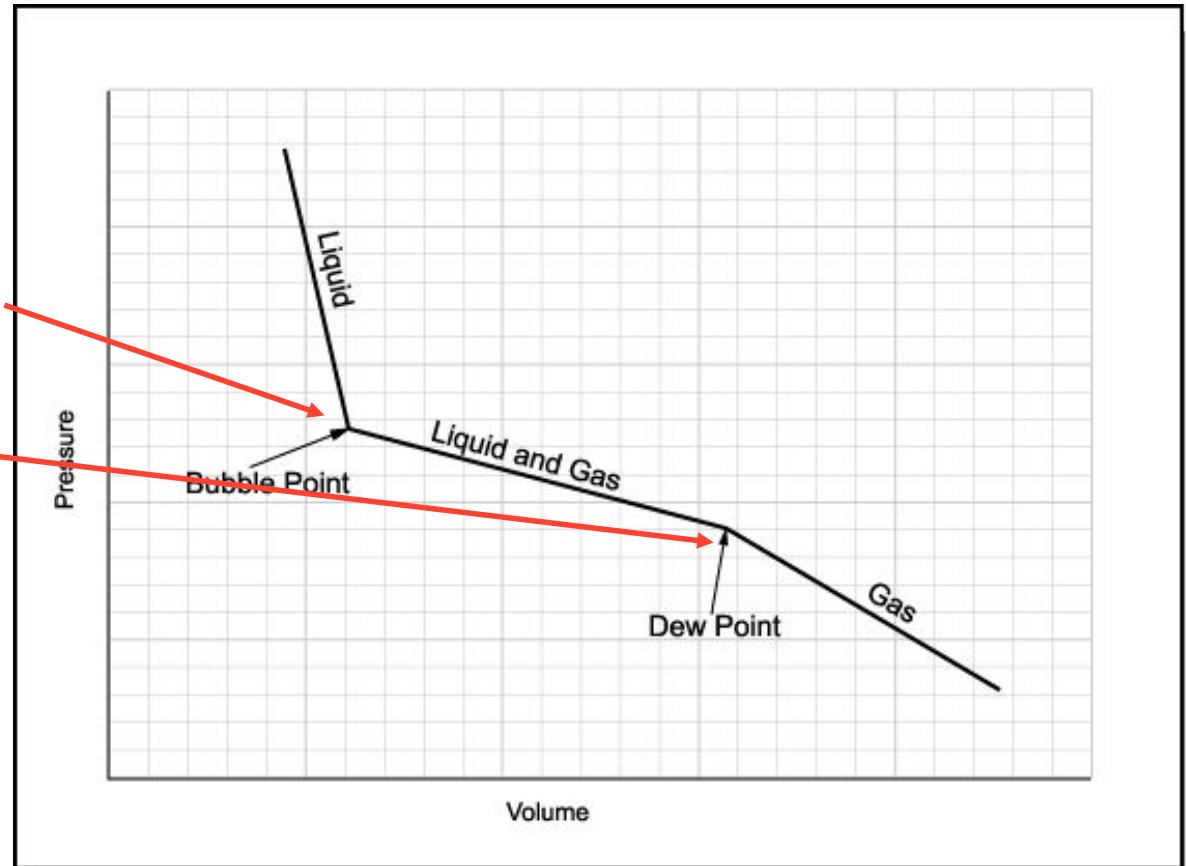



Диаграмма давление-объем для двухкомпонентной системы

- Compositions
- Легкие компоненты 
 - Тяжелые компоненты 
 - Жидкая смесь 
 - В точке кипения 
 - Жидкость  Газ 
 - Жидкость в точке росы  Газ 
 - Смесь газов 

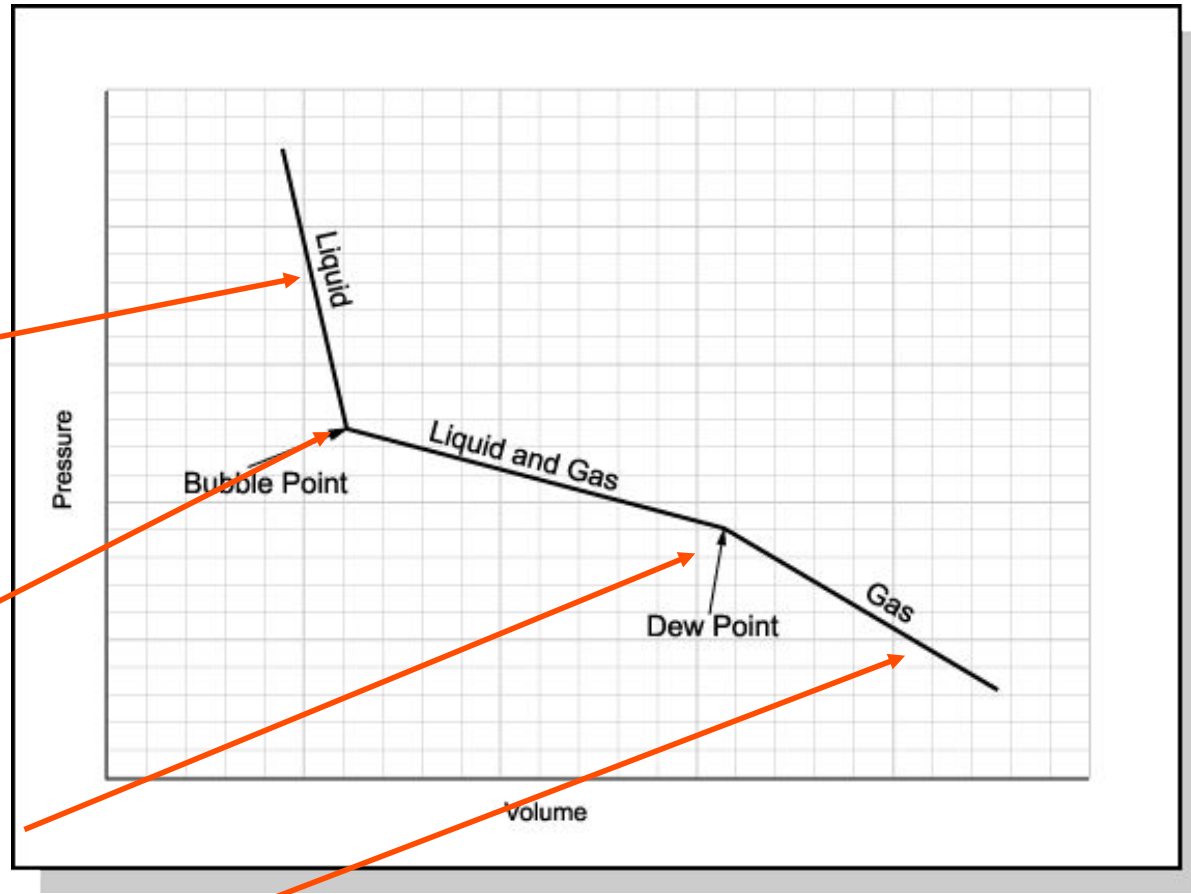
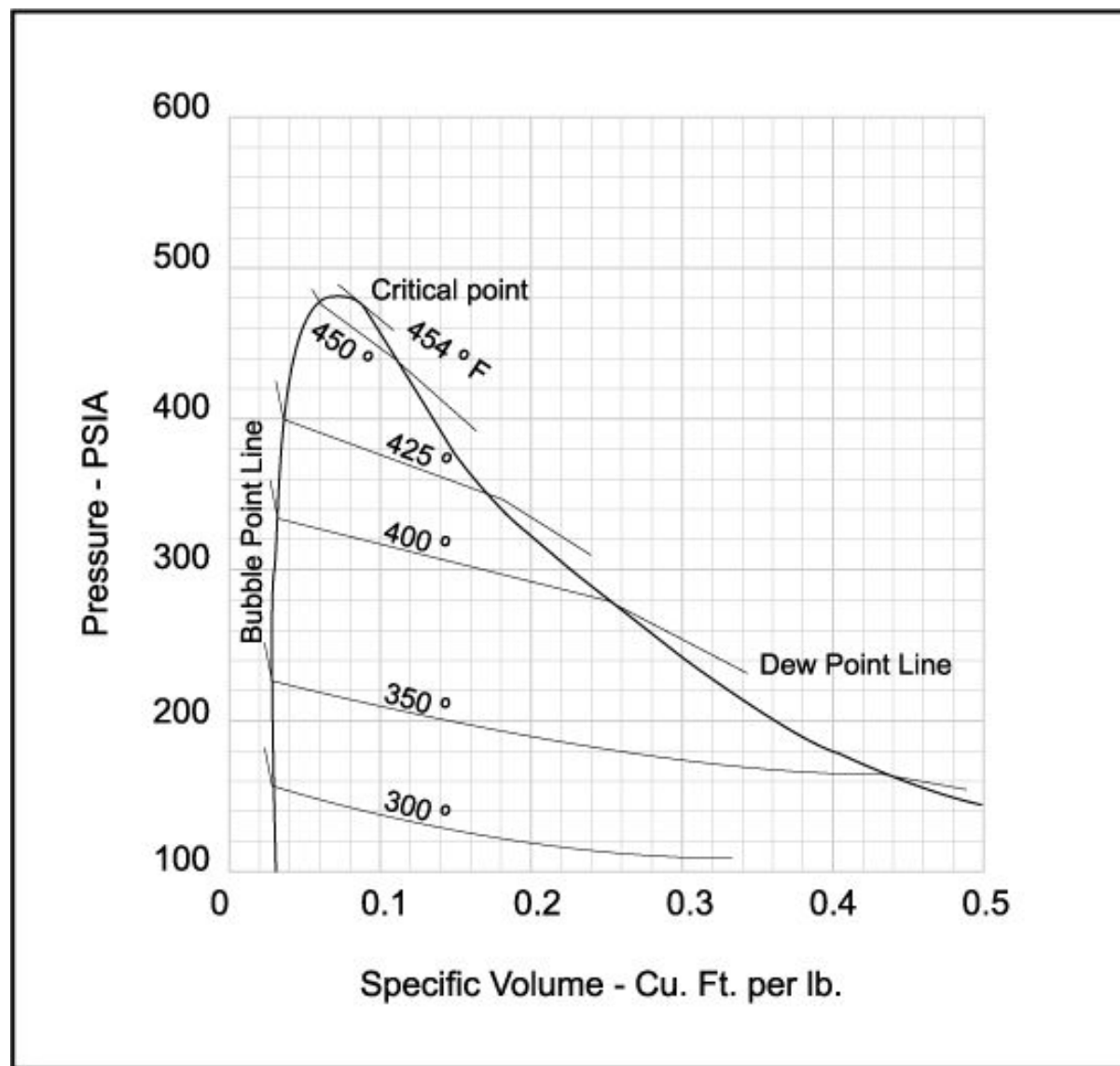


Диаграмма давление-объем для двухкомпонентной системы

Диаграмма
для 52.4
моль% N-
гептана и N-
пентана



температура для двухкомпонентного вещества

Кривая
парообразования
для
однокомпонентног
о вещества

Преобразуется в
широкую область
сосуществования
двух фаз

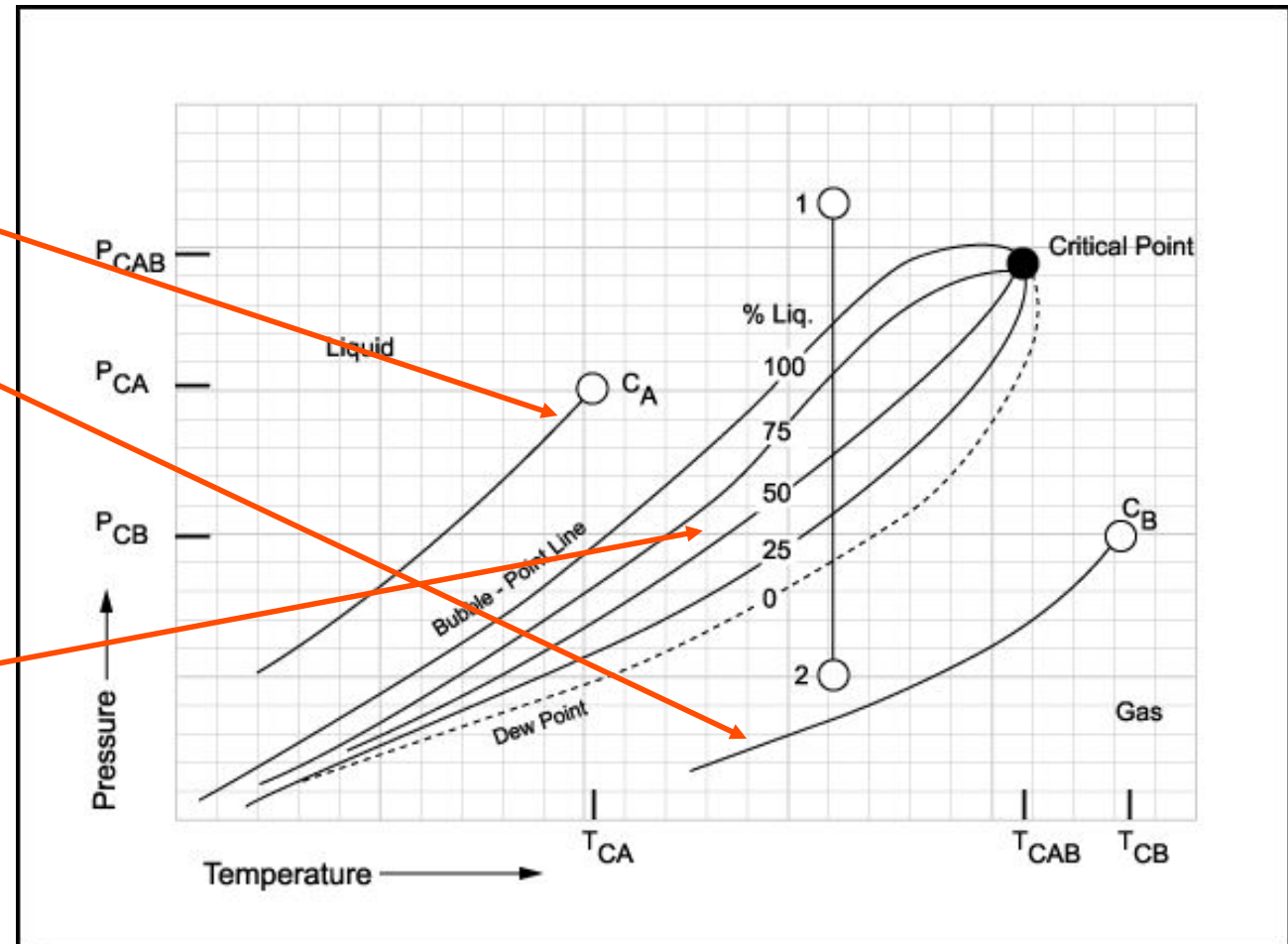
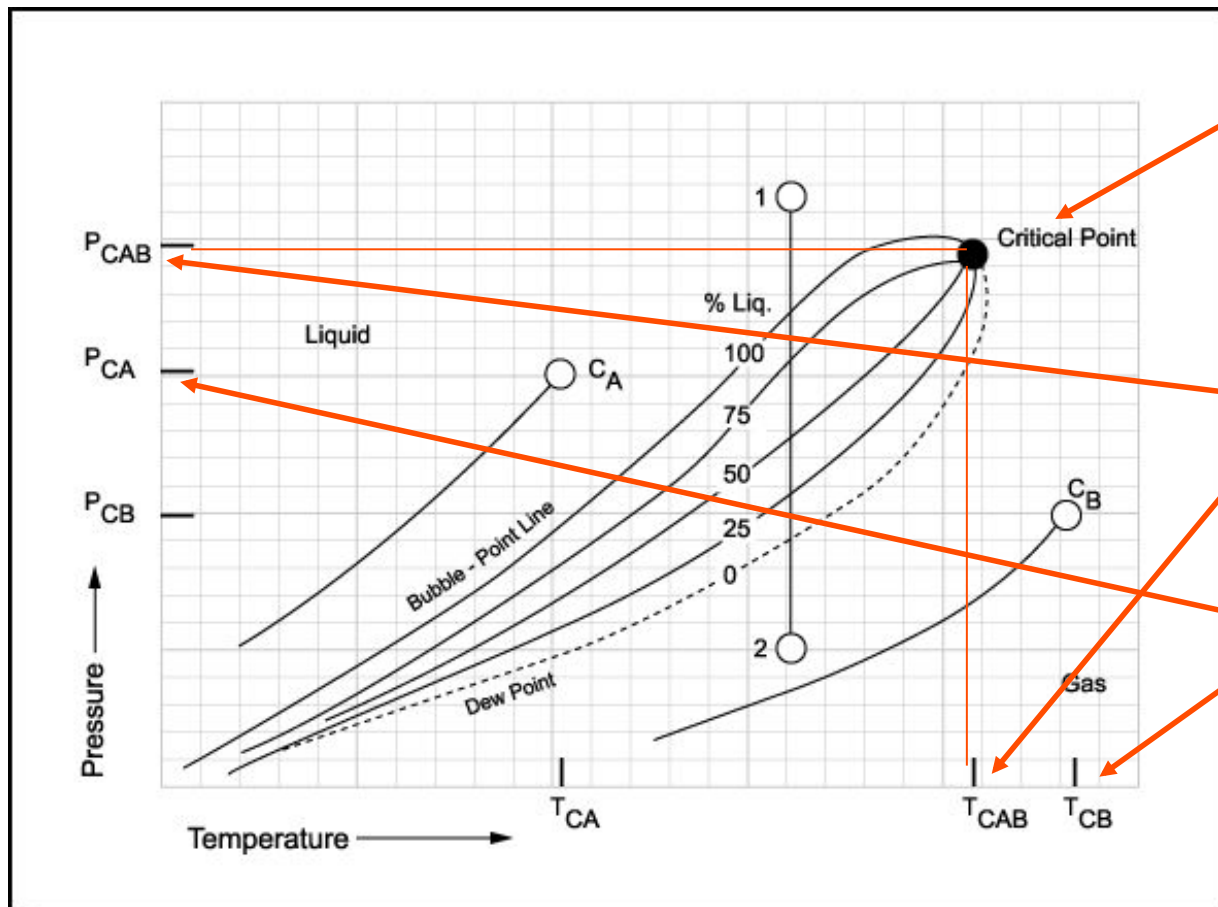


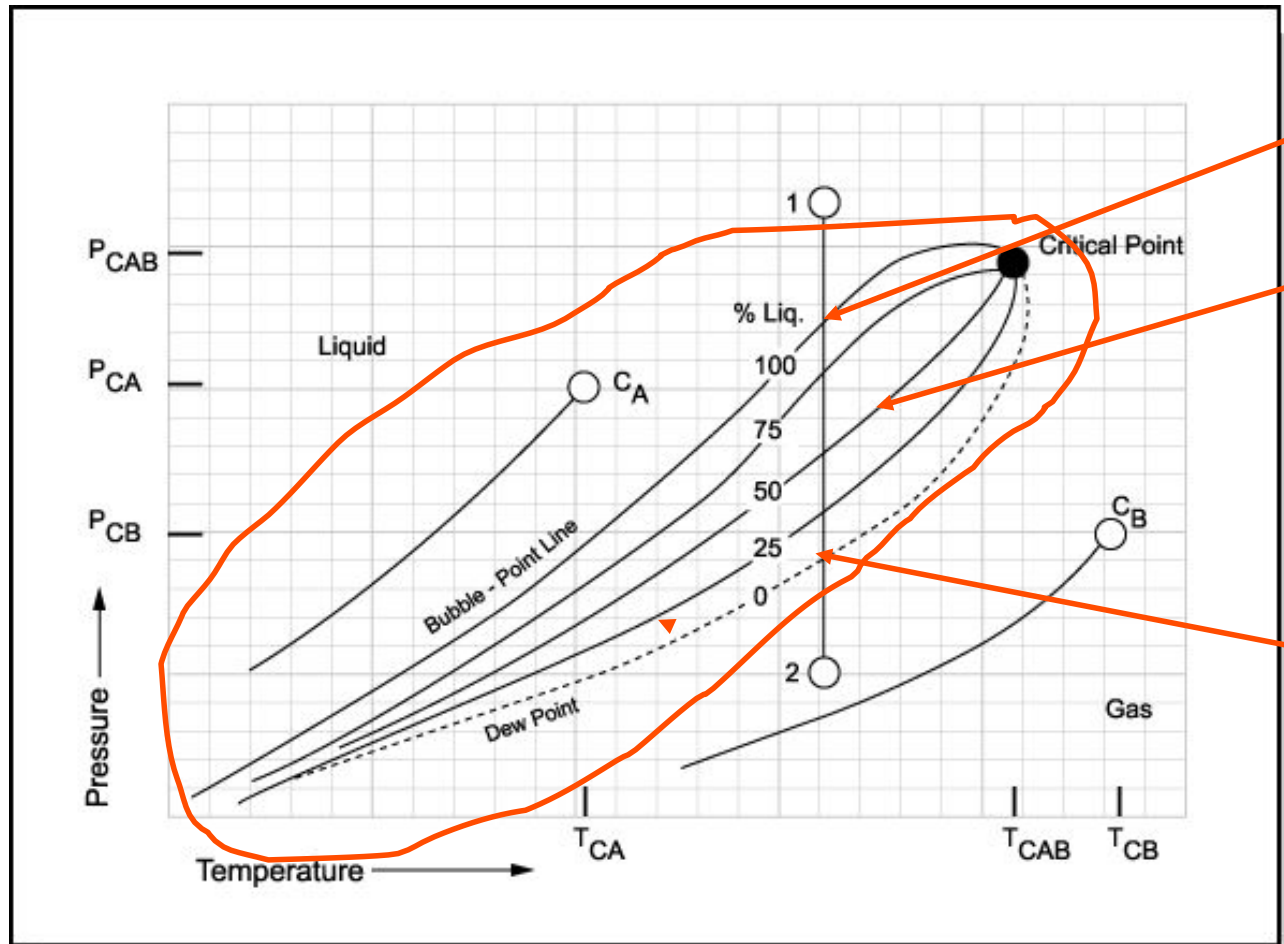
Диаграмма давление-температура для двухкомпонентного вещества



Линия точек кипения и точек росы соединяются в критической точке

Смесь характеризуется критическими давлением и температурой

Диаграмма давление-температура для двухкомпонентного вещества

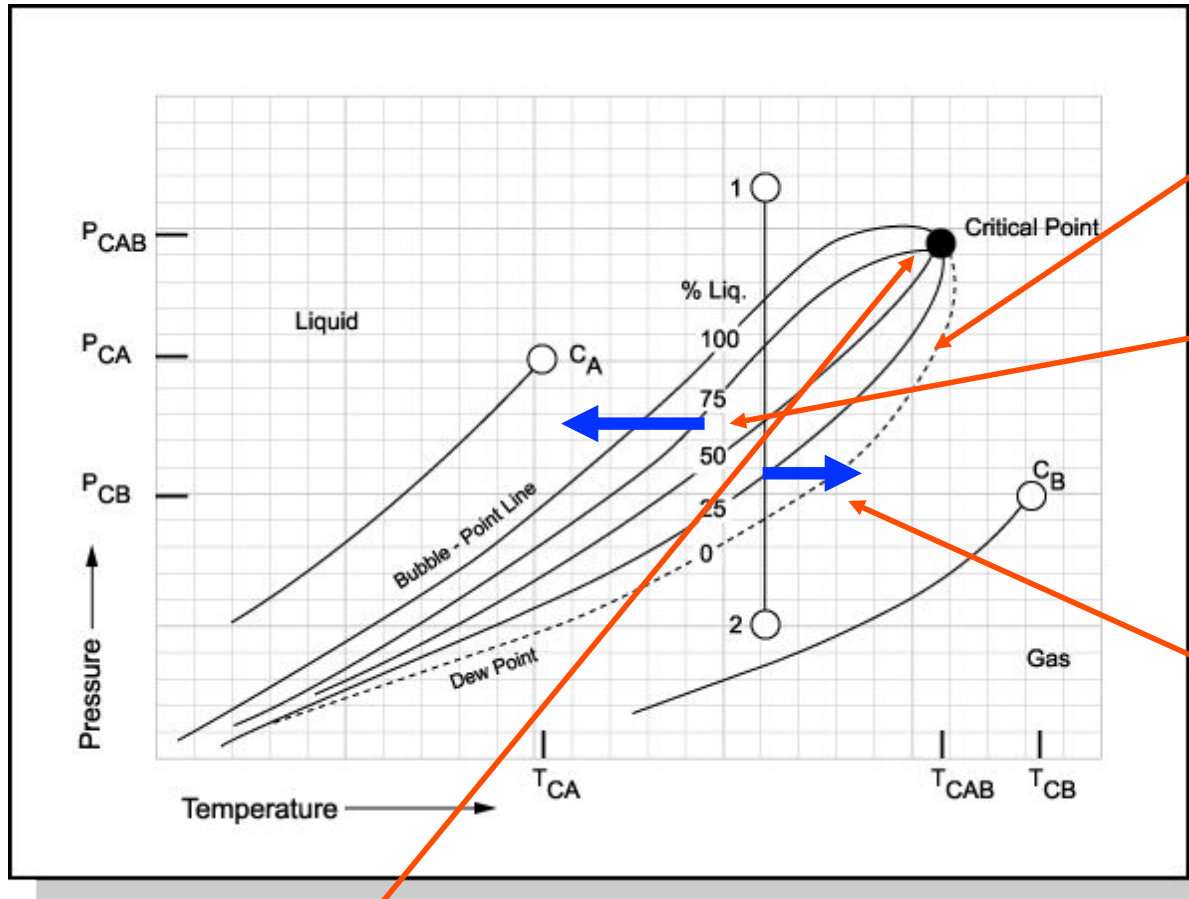


Точка кипения

Процентный состав жидкости

Точка росы

Диаграмма давление-температура для двухкомпонентного вещества



Разный состав смеси соответствует определенной форме двухфазной области.

Увеличение содержания компоненты А сдвигает двухфазную область влево

Увеличение содержания компоненты В сдвигает двухфазную область вправо

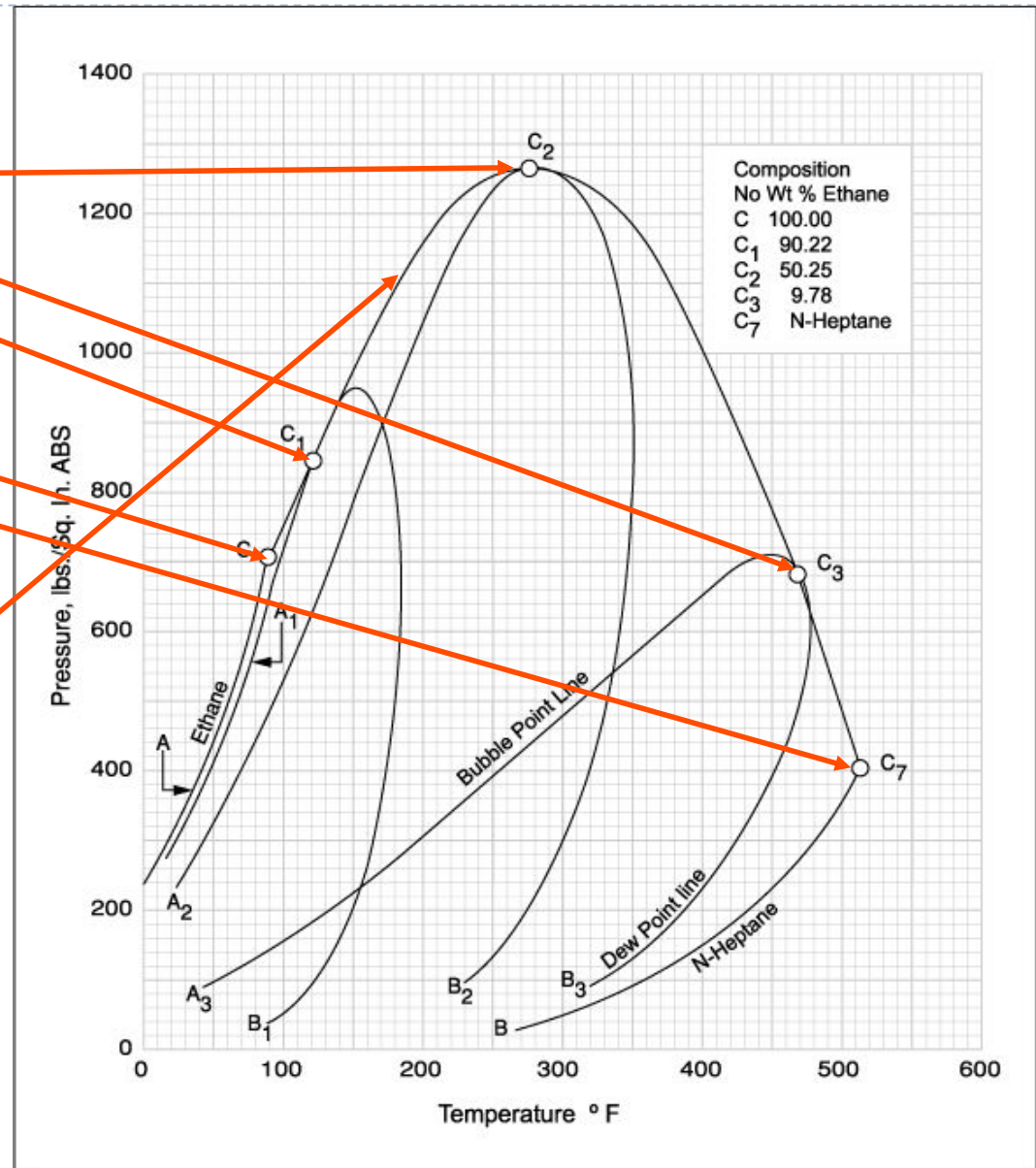
P_{CAB} намного выше, чем P_{CA} и P_{CB}

Диаграмма Давление-Температура для смеси этана и гептана

Критические точки для различных смесей

Критическое значение для однокомпонентной системы

ГМТ критических точек



• Ретроградная конденсация

- В двухфазной области возможны значения температуры выше критической температуры и давление выше критического давления

◆ Крикодентерма.

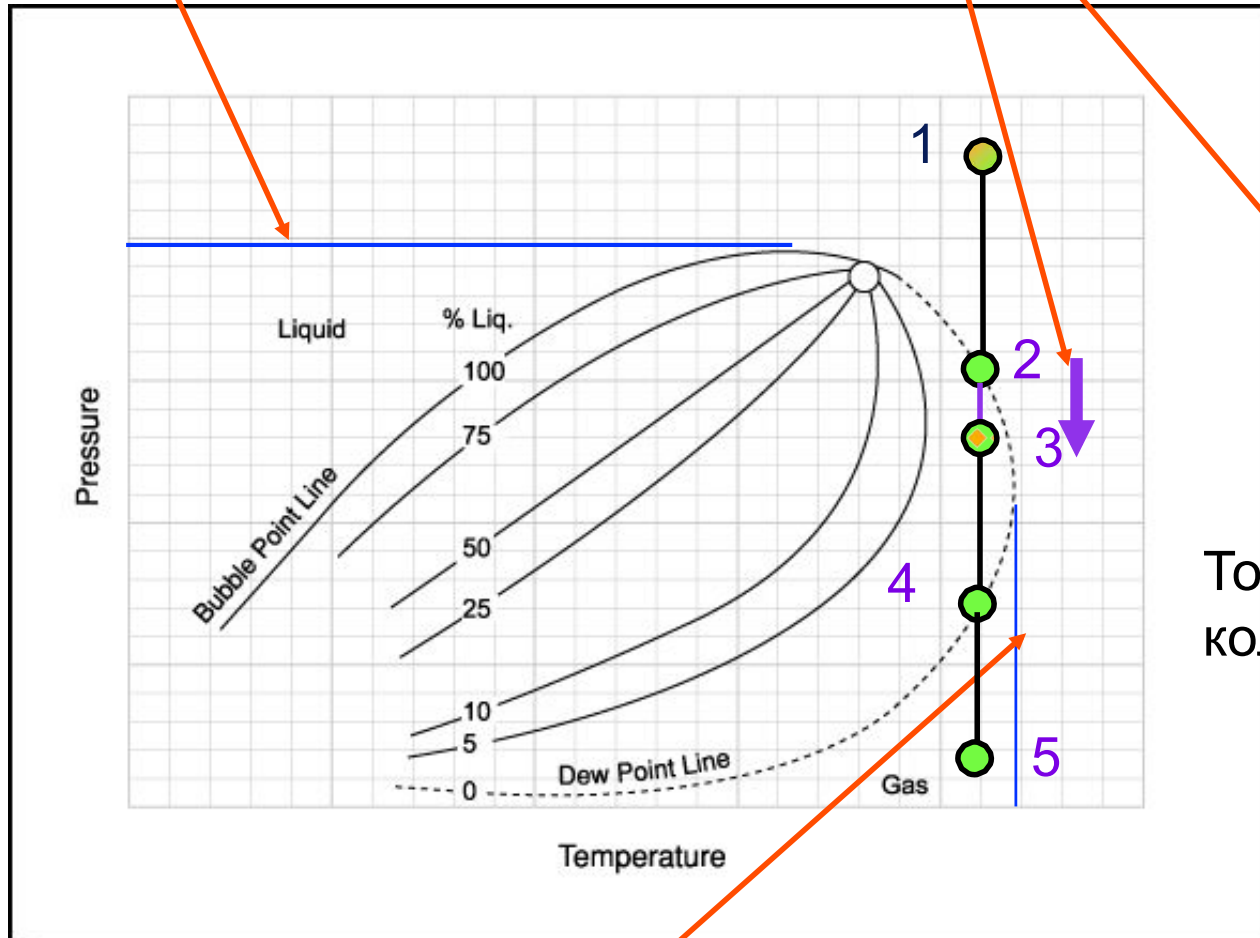
- Максимальная температура совместного существования двух фаз

◆ Крикоденбара

- Максимальное давление совместного существования двух фаз

Ретроградная конденсация

Крикоденбара



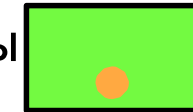
Крикодентерма

Поведение при постоянной температуре между критической температурой и крикодентермой

Точка 1 – одна фаза



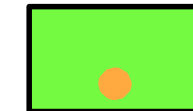
Точка 2 – точка росы



Точка 3 – максимальное кол-во жидкости



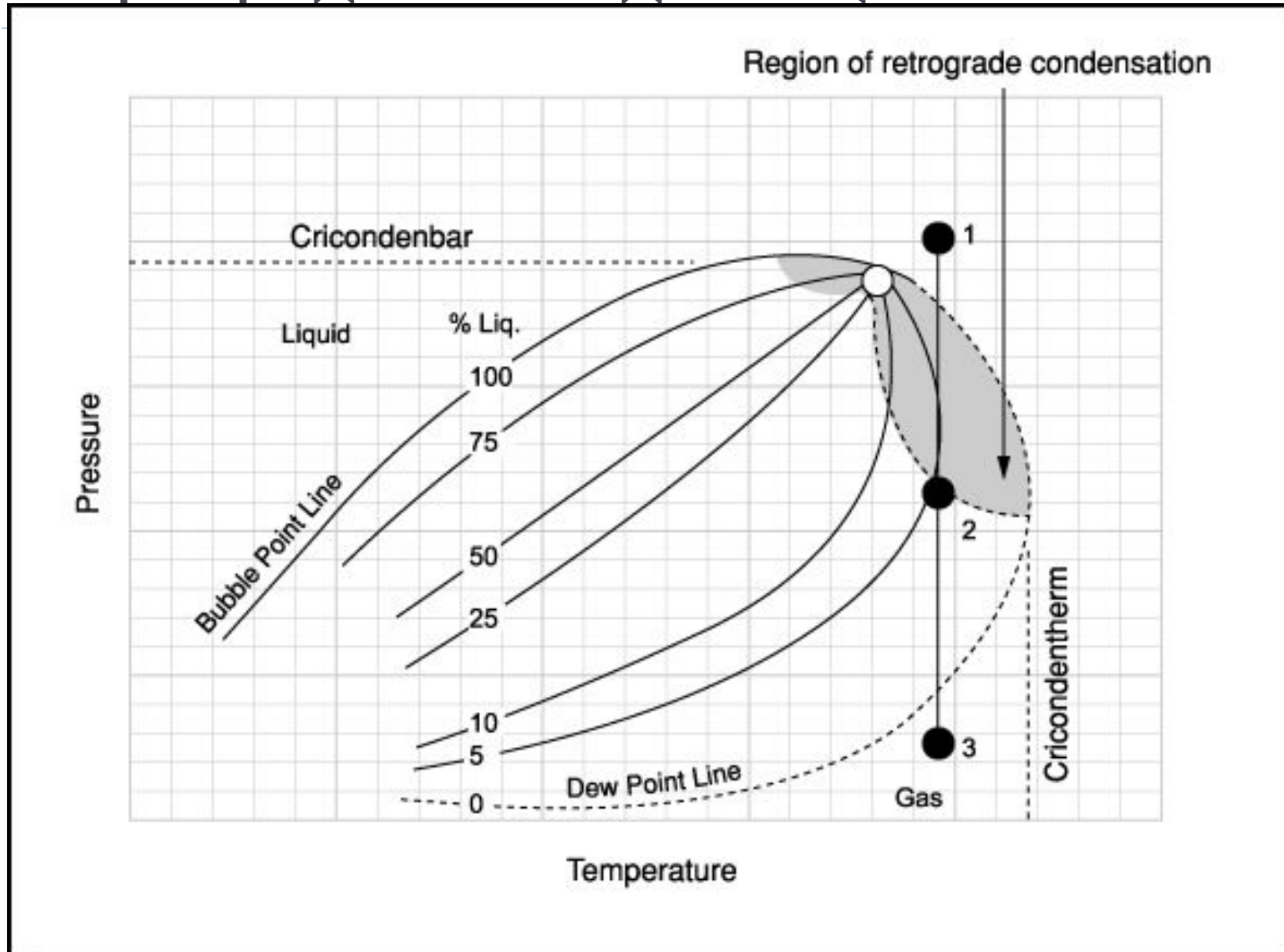
Точка 4 – точка росы



Точка 5 – чистый газ



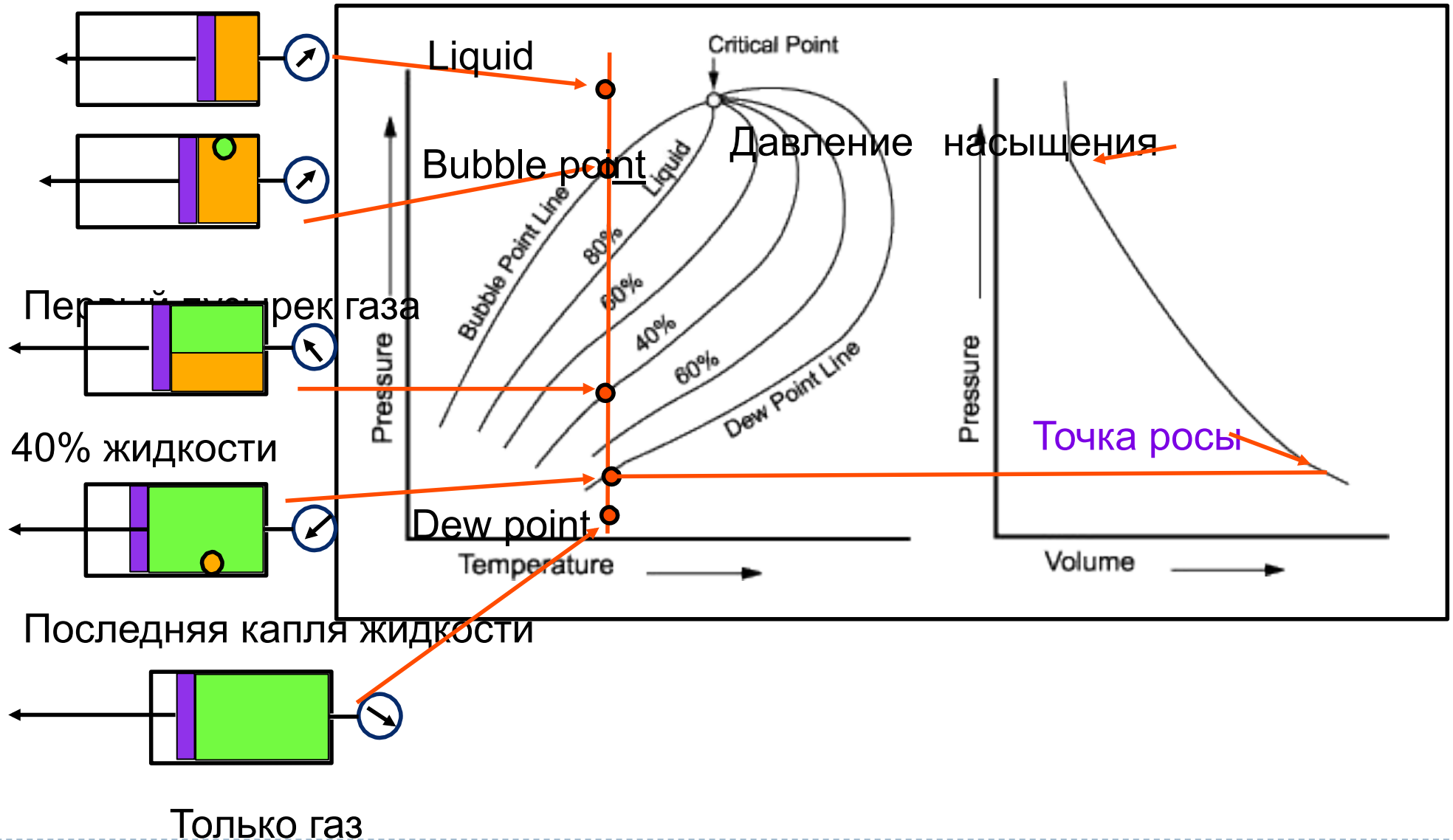
Ретроградная конденсация



Многокомпонентная система УВ

- Пластовые флюиды содержат сотни различных компонент
- Мультикомпонентная система
- Фазовые переходы аналогичны двухкомпонентной системе
- .

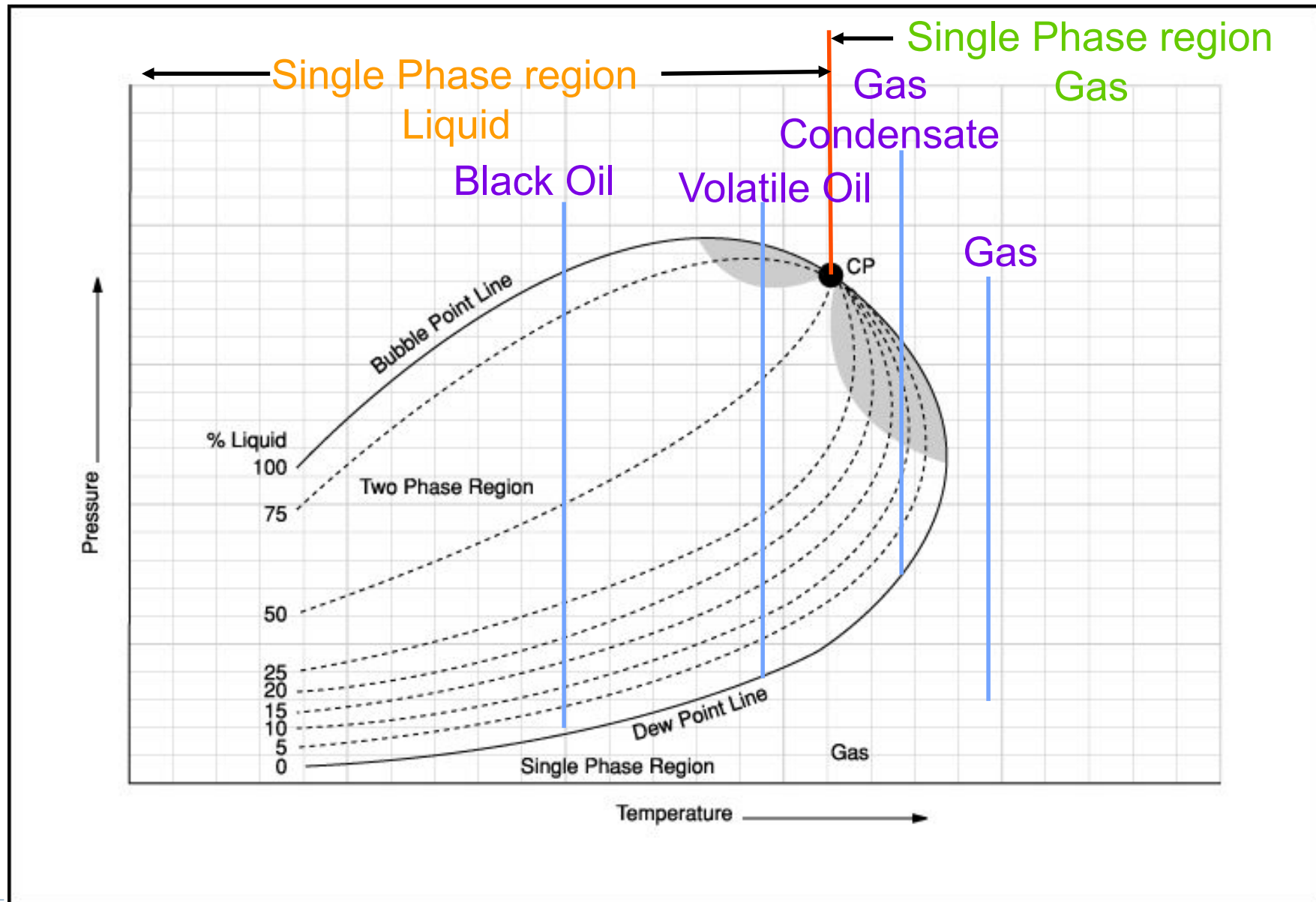
Фазовые состояния многокомпонентной системы УВ



Классификация пластовых флюидов

- Black Oil
 - Тяжелая нефть
 - Малоусадочная нефть
- Легкая нефть
 - Летучая нефть
- Ретроградный газ
- Влажный газ
- Сухой газ

Фазовые состояния пластовых флюидов



Нефтяная система – Тяжелая нефть

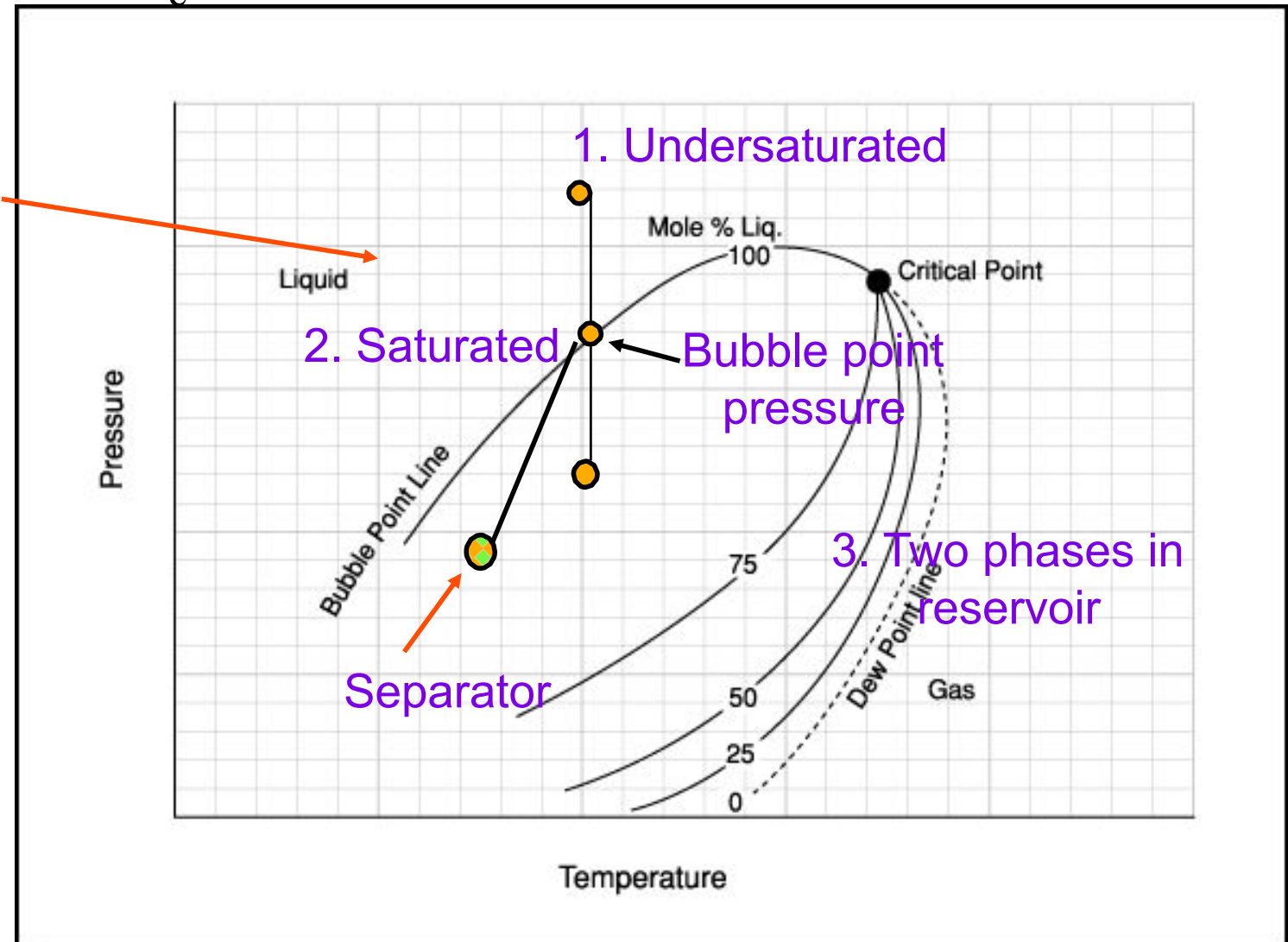
Выше давления насыщения
ненасыщенный флюид

При давлении насыщения –
насыщенный флюид

1&2 – одна фаза.

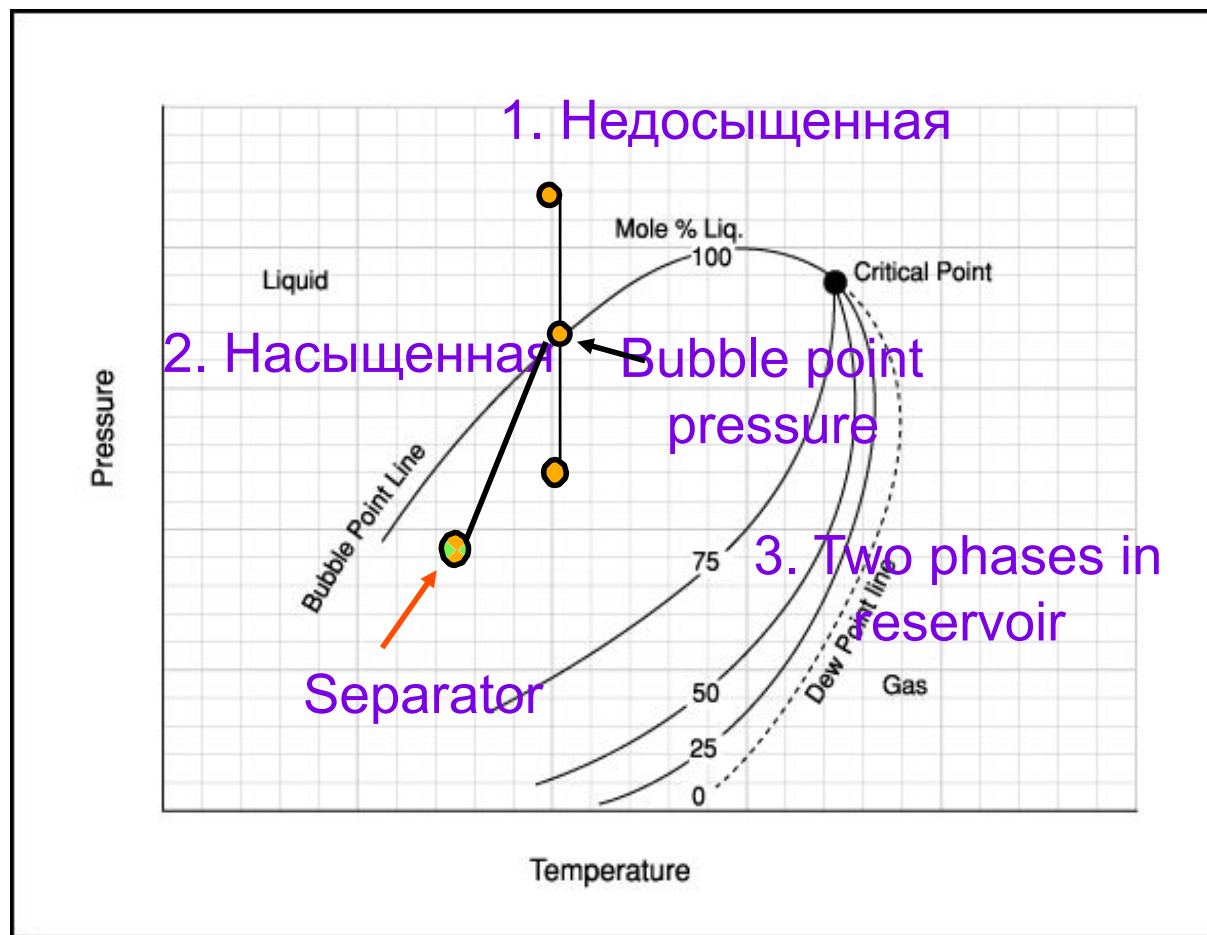
Сепаратор –
две фазы
жидкость/газ
85/15% -
малоусадочный флюид

T_c выше пластовой температуры



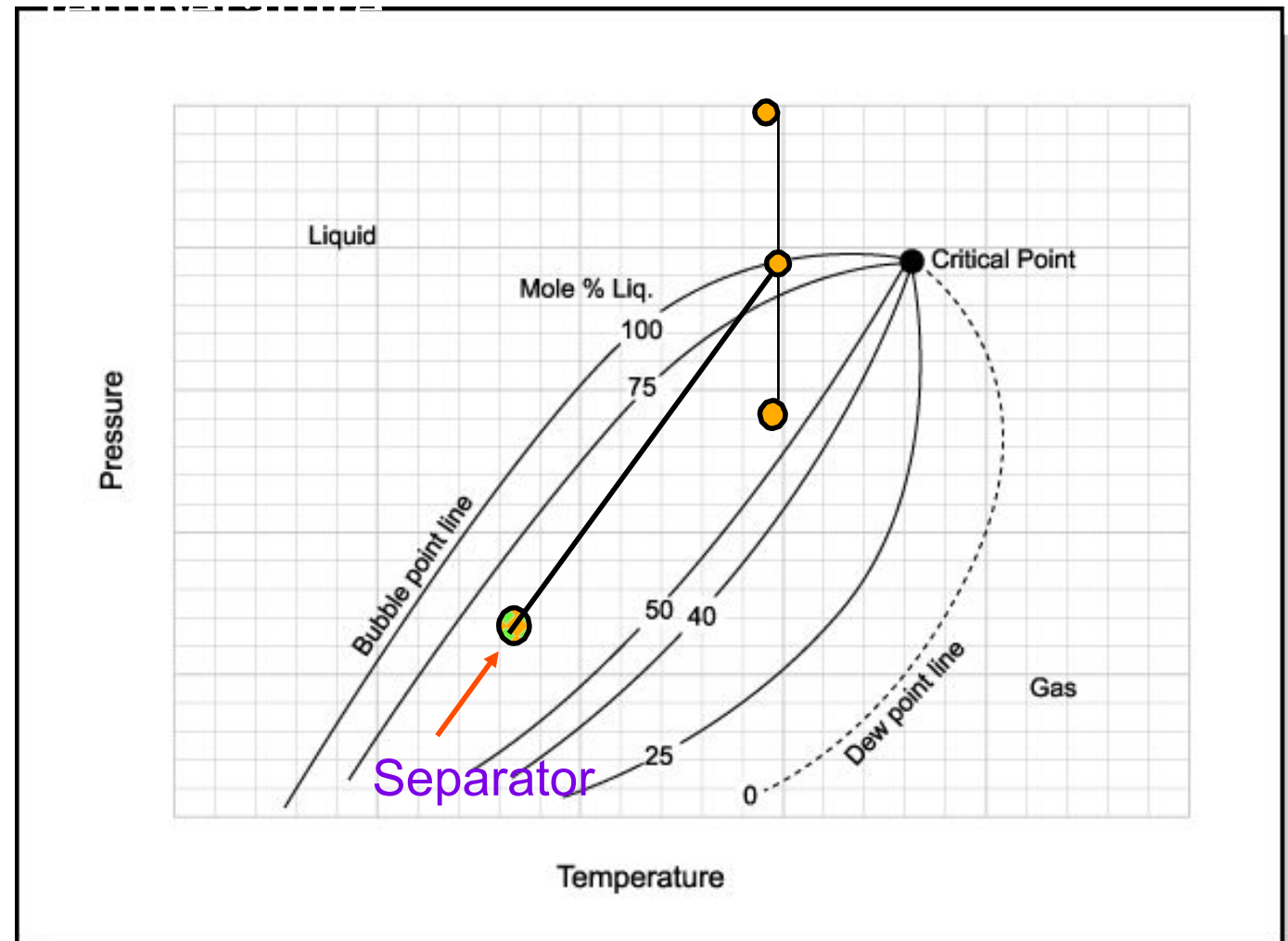
Нефтяная система – Тяжелая нефть

- Широкая двухфазная область
- Высокое содержание жидкости
- Тяжелые УВ
- $GOR < 500 \text{ scf/stb}$
- Плотность нефти 30°API
- Черный цвет



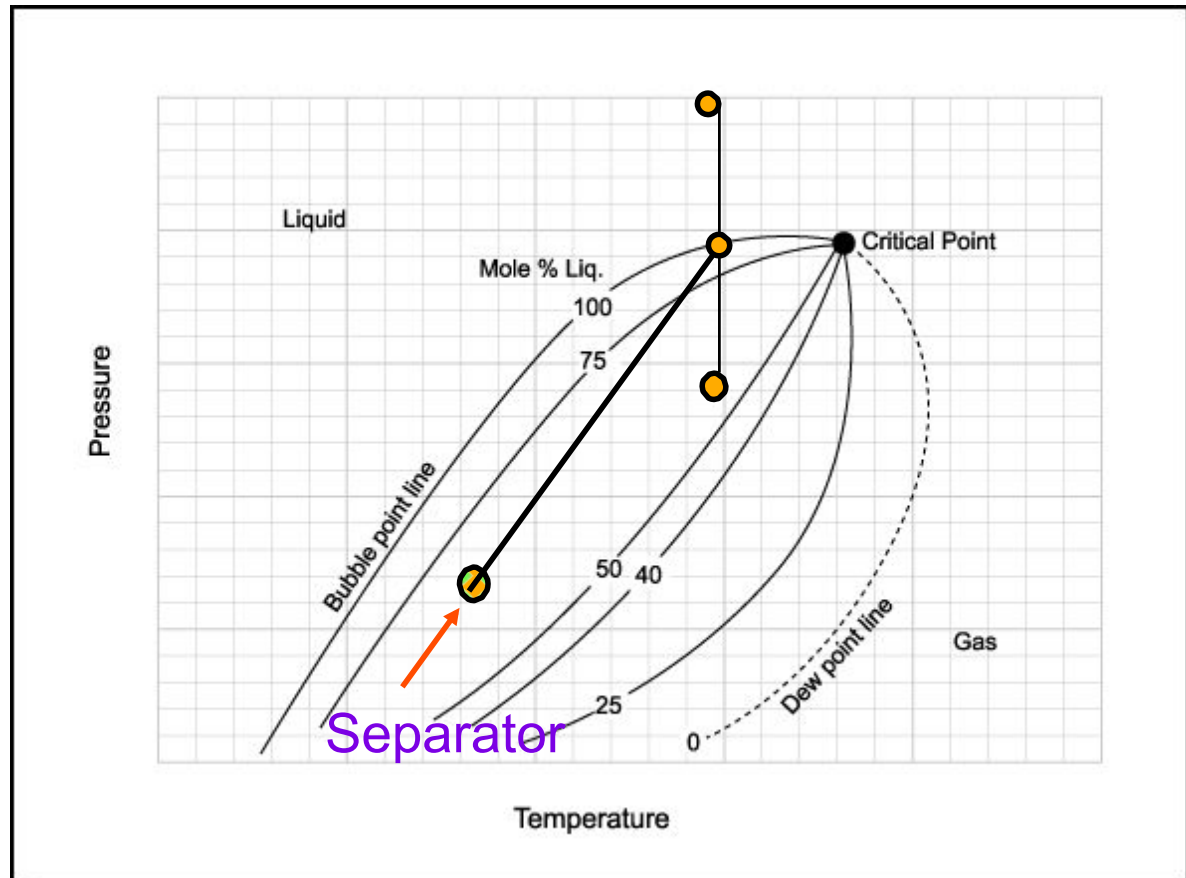
Нефтяная система – Легкая нефть

Сепаратор –
два фазы
жидкость/газ
65/35%
Высокое
содержание
легких УВ



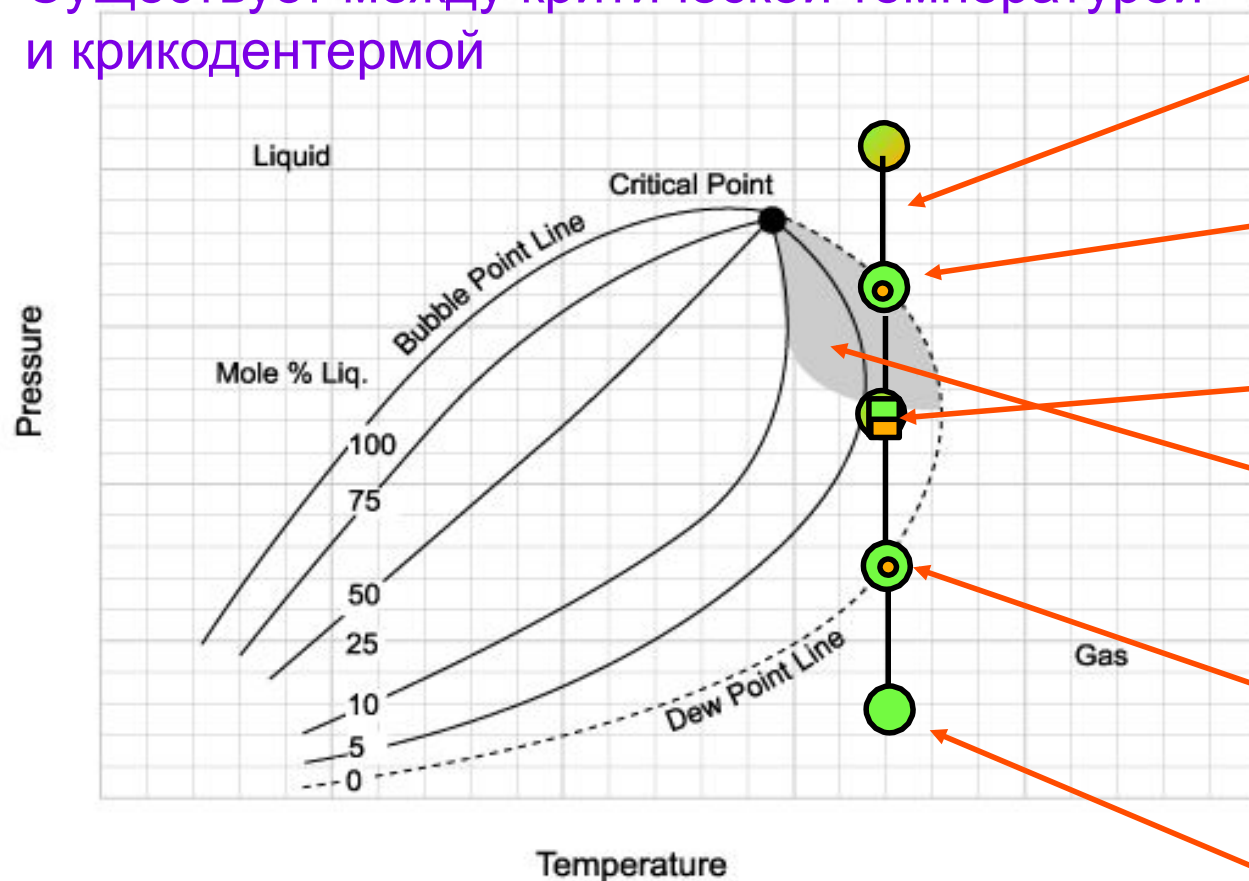
Нефтяная система – Легкая нефть

- Двухфазная область меньше, чем для тяжелой нефти
- Меньшее количество тяжелых УВ
- Темный цвет
- $API < 50^\circ$
- $GOR < 8000 \text{scf/stb}$



Ретроградный газ

- Существует между критической температурой и крикодентермой



Одна фаза

Точка росы

Максимальное содержание жидкой фазы

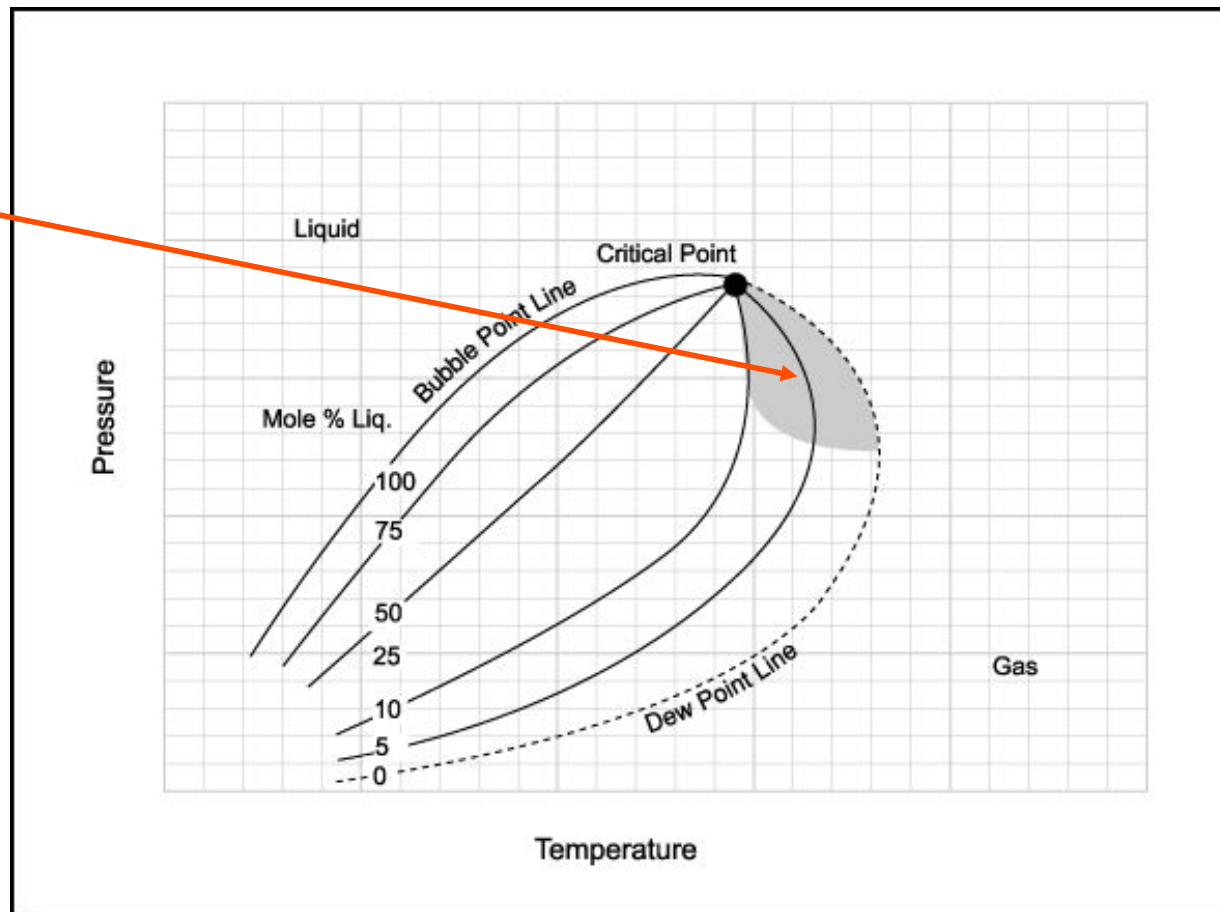
Область ретроградной конденсации

Точка росы

Газовая фаза

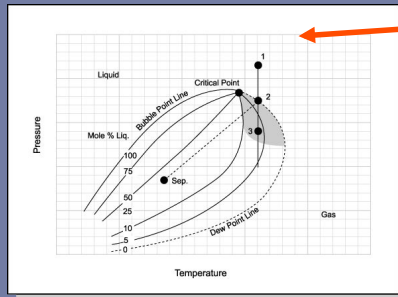
Ретроградный газ

- Конденсат неподвижен
- Потеря добычи
- При высоких значениях конденсата
- Возможность циклической закачки газа



Циклическая закачка газа

- Для предотвращения образования конденсата регулируют условия однофазного потока



Сепарация

Продажа конденсата

Конденсат

Добывающая скважина

Обратная закачка сухого газа

Газоводяной контакт

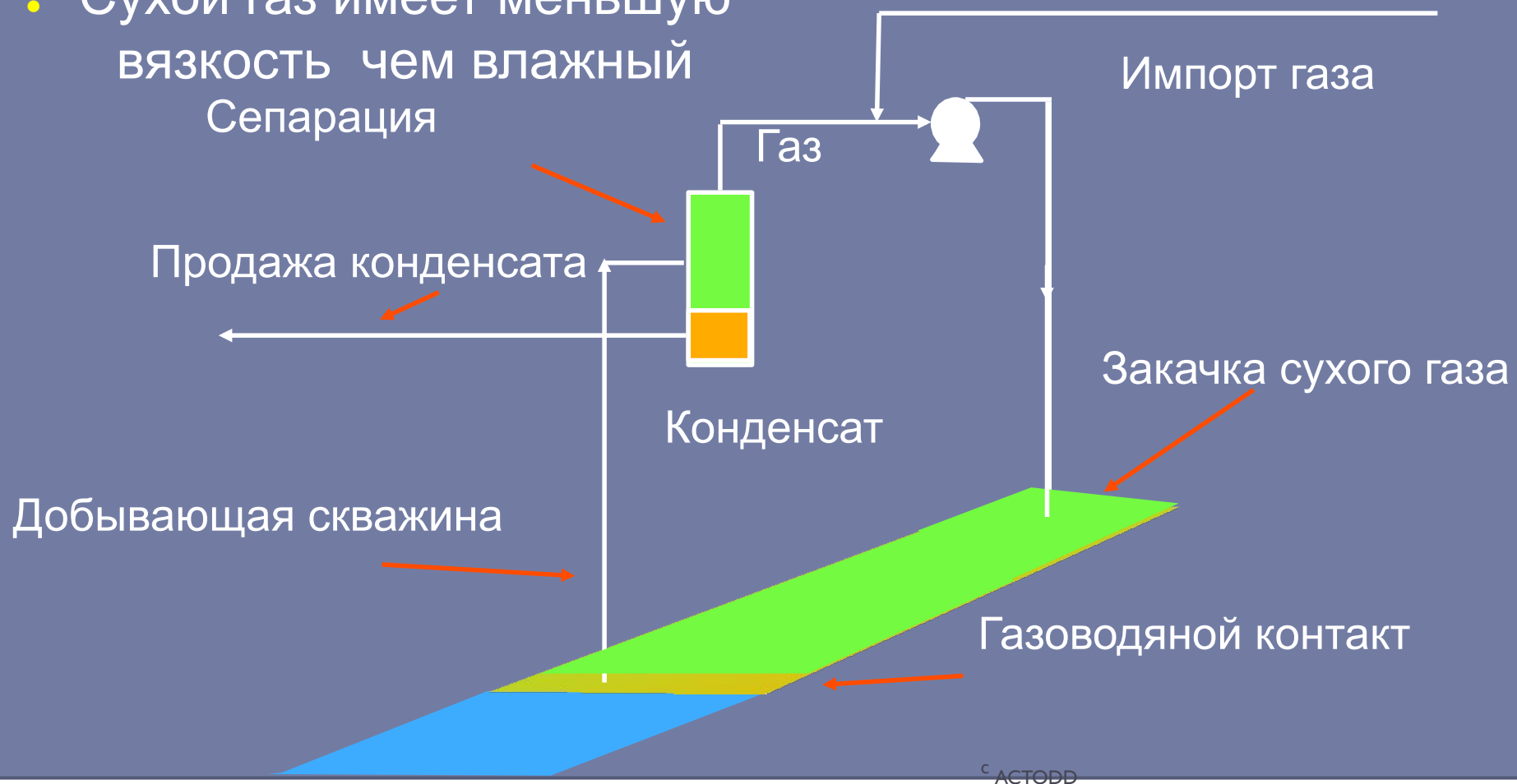
Газ

Импорт газа

Циклическая закачка газа

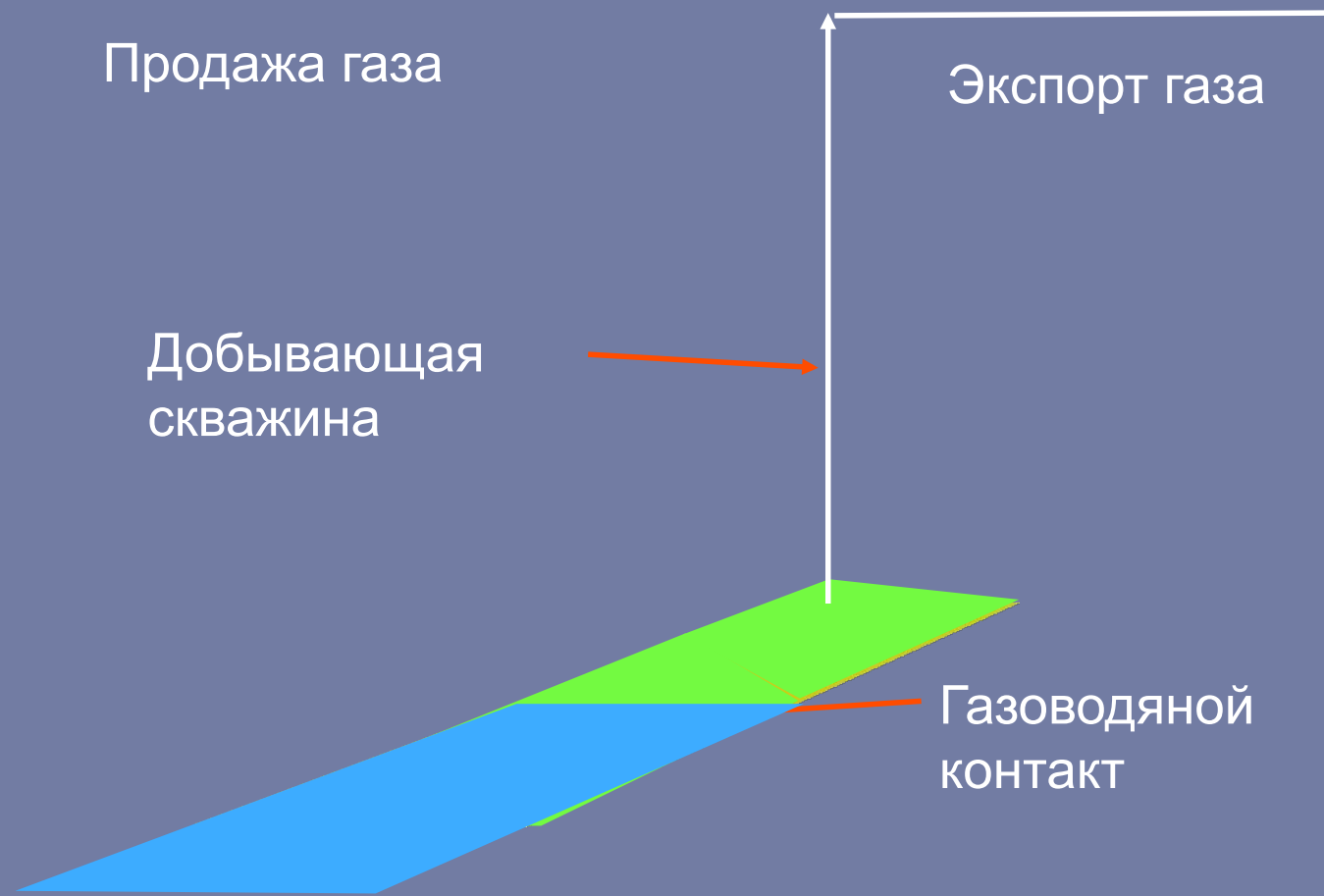
- Закачка продолжается до прорыва сухого газа

- Сухой газ имеет меньшую вязкость чем влажный
Сепарация

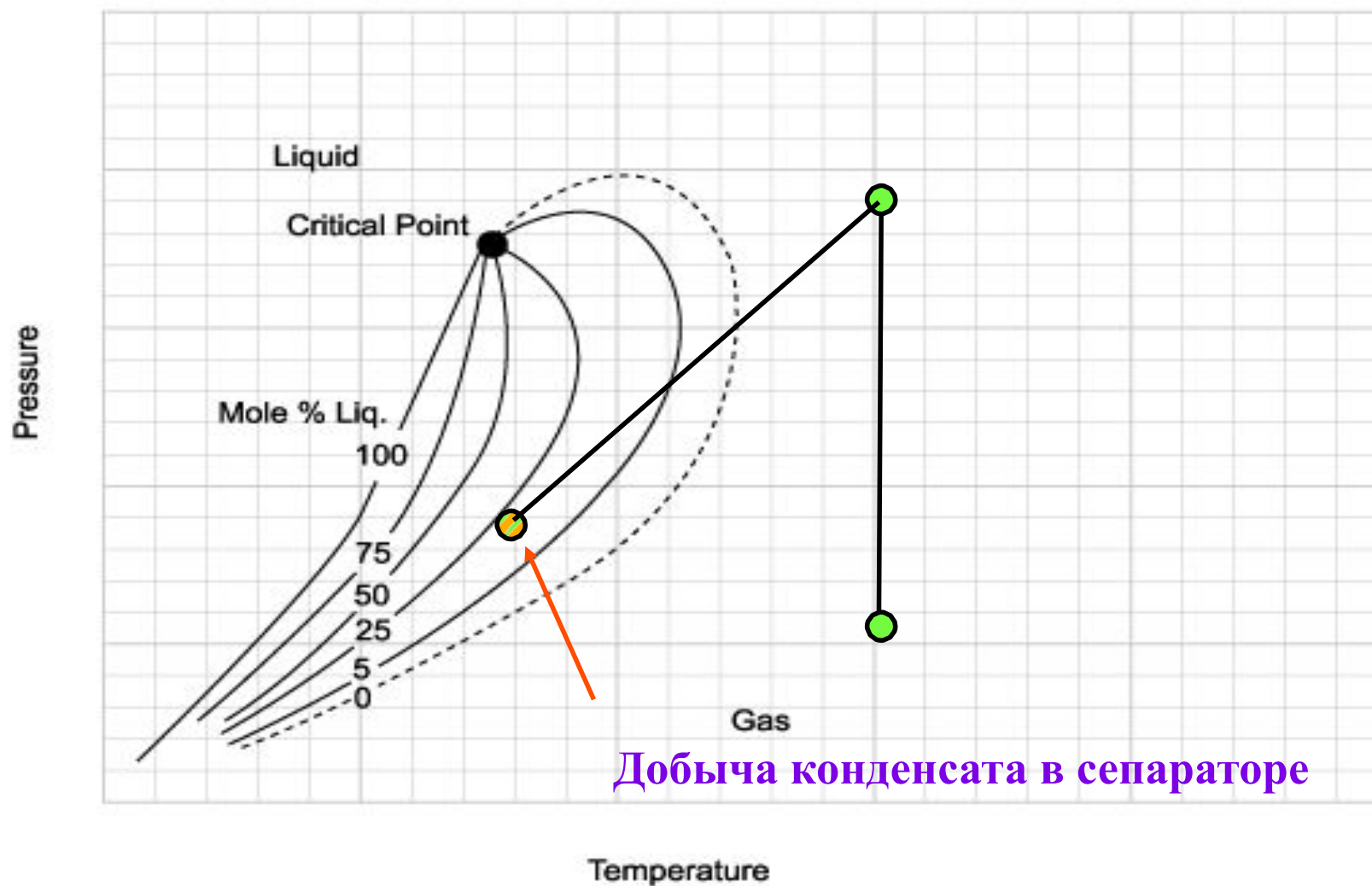


Циклическая закачка газа

- Залежь сухого газа



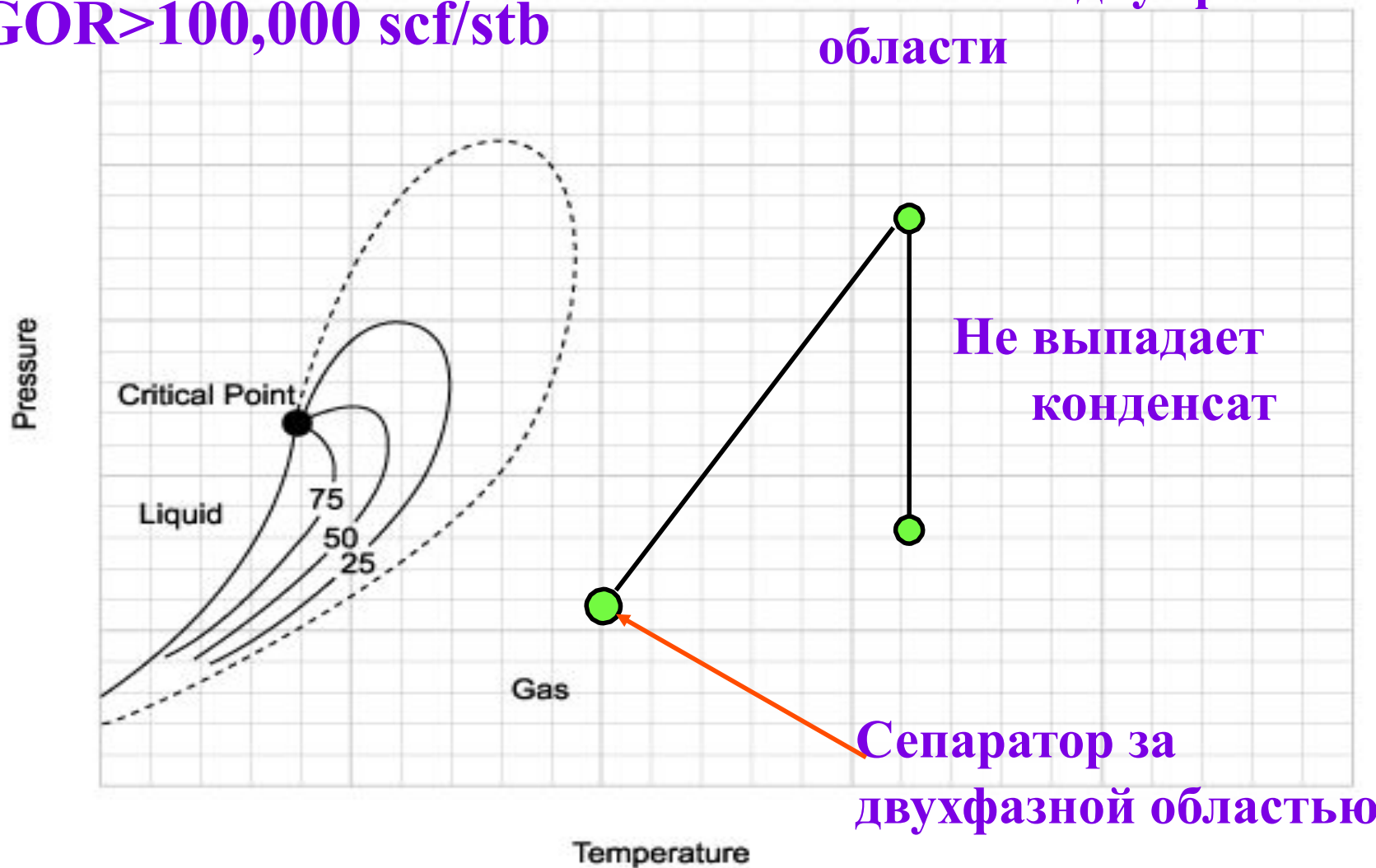
Влажный газ



Сухой газ

GOR > 100,000 scf/stb

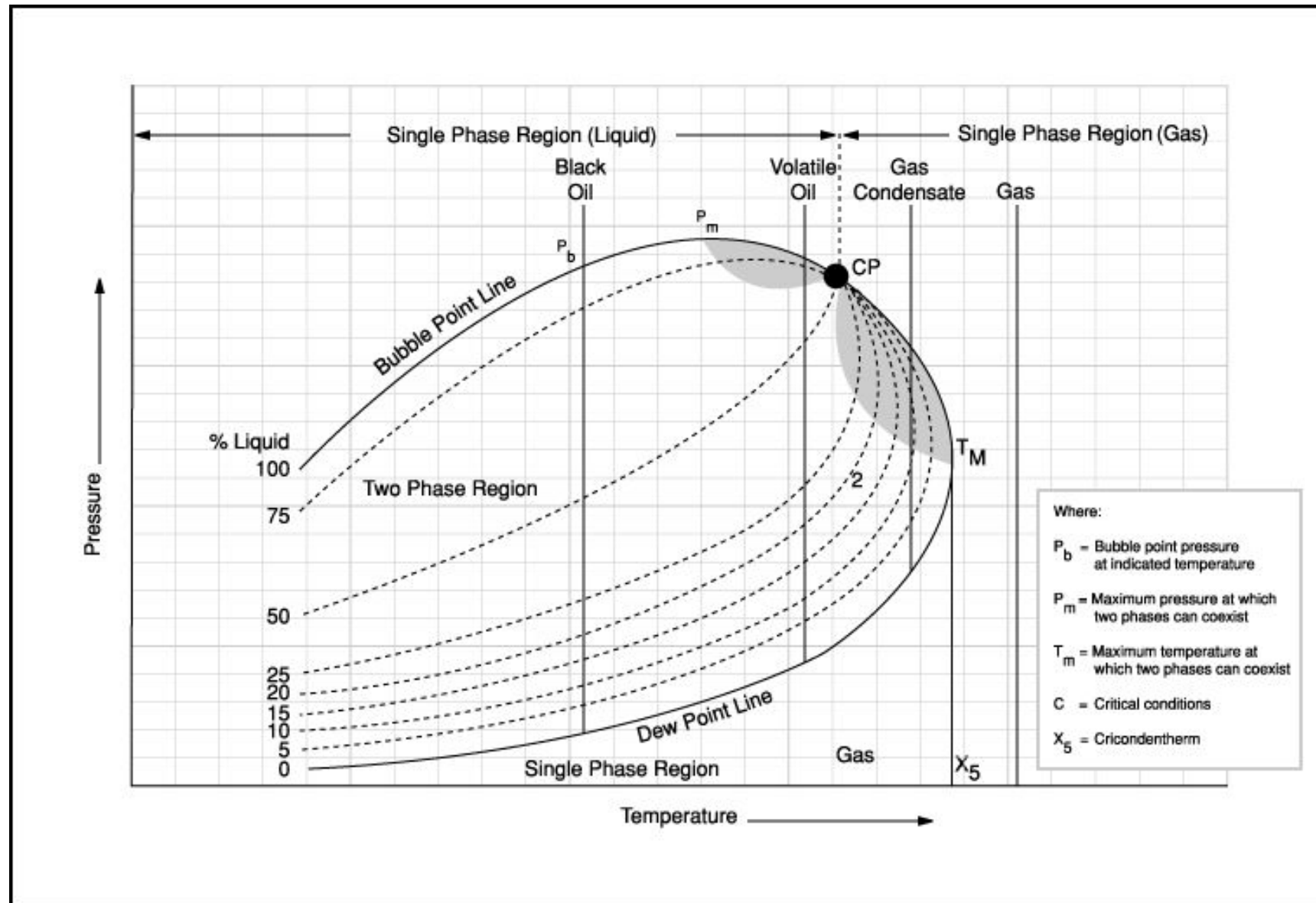
**Вне
области
двухфазной**



**Не выпадает
конденсат**

**Сепаратор за
двухфазной областью**

Расположение двухфазных областей



Расположение двухфазных областей

