Distinguished Lecturer Program

Primary funding is provided by
Основное финансирование предоставлено

The SPE Foundation through member donations and a contribution from Offshore Europe
Фондом общества инженеров-нефтяников, благодаря взносам членов общества

The Society is grateful to those companies that allow their professionals to serve as lecturers
Общество выражает благодарность компаниям, которые позволяют своим профессионалам читать лекции

Additional support provided by AIME
Дополнительная поддержка предоставлена AIME

Society of Petroleum Engineers
Distinguished Lecturer Program
www.spe.org/dl

Distinguished Lecturer Program

SPE International

Understanding and Checking the Validity of PVT- reports

Понимание и проверка корректности PVT-анализов

Klaus Potsch

Клаус Поч

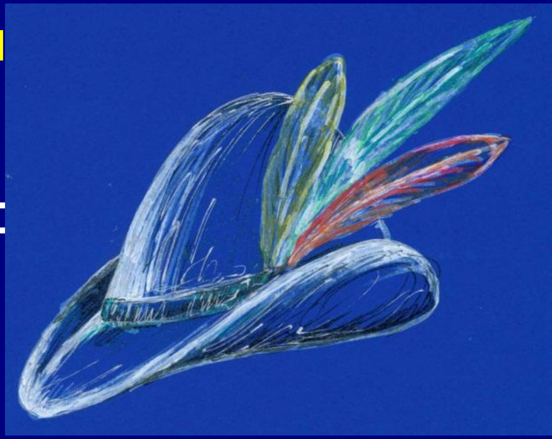
Consultant, EC&C

Консультант, EC&C

Society of Petroleum Engineers
Distinguished Lecturer Program
www.spe.org/dl

PVT report – an old hat?
PVT отчет – старая шляпа?

- Yes/ Да
  - Decades of experiments and reports/ Годы исследований и отчетов



- But with new feathers/ Но с новыми перьями:
  - Improved equipment/ Усовершенствованное оборудование
  - Improved reporting/ Улучшенная отчетность
  - Needs new quality control/ Необходимость нового контроля качества
- People forgot how to wear it/ Люди забыли как использовать
  - General ignorance about how fluid properties are determined and reported/ Общее незнание того, как определяются и описываются свойства флюидов

Outline
Содержание

- Sampling/ Отбор проб
- Black Oil systems/ Системы стандартной нефти
- Gas Condensate systems/ Системы газового конденсата
- Flow assurance/ Обеспечение Бесперебойного Режима Подачи Потока
- Summary/ Выводы

Motivation
Мотивация

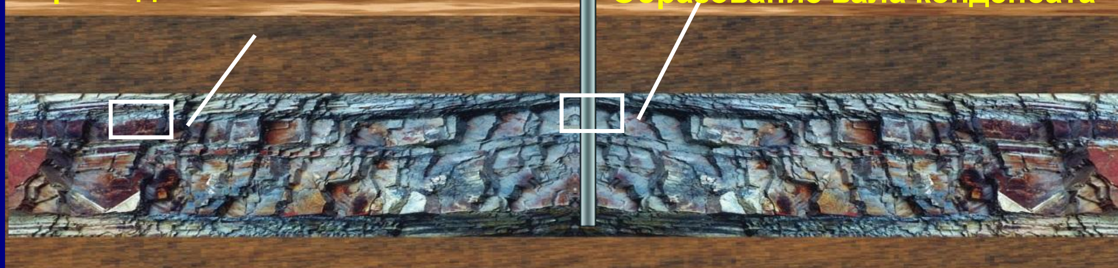


Formation of a gas cap
Condensate dropout
Fluid – Fluid Interaction -> EOR = Enhanced Oil Recovery/

Образование газовой шапки
Выпадение конденсата
Флюид – Взаимодействие флюидов -> Повышение нефтеотдачи пласта

Drilling mud invasion Bottom hole sampling Gas coning Water coning Condensate banking

Проникновение бурового раствора/ Отбор проб из забоя/ Прорыв Газа/ Прорыв конуса обводнения в скважину/ Образование вала конденсата



To know the fluid properties
from the reservoir
to the facilities
to the refinery

Знать свойства флюида
Из пласта-коллектора
К оборудованию
К НПЗ

What are the data good for?
Для чего информация полезна?

- Reservoir engineer/ Промысловый инженер:
  - simulation (black oil or compositional)/воспроизведение процесса разработки (стандартная или композиционная нефть)
  - well models/ модели скважины
- Facility engineer/ Инженер по технической эксплуатации:
  - designs surface installations (simulation with process SW)/ Проектирование поверхостного оборудования (воспроизведение процесса разработки, включая процесс имитации с помощью пограмного обеспечения)
  - design of transportation routes/ проектирование маршрутов транспортировки
- Economics/ Экономика:
  - Reserves/ запасы;
  - commodities (quality = price) stock tank oil, NGL, condensate, gas/ сырьевые товары (качество=цена) товарная нефть, газоконденсатная жидкость, конденсат, газ

Starting point = reservoir fluid samples
Начальная точка = пробы пластовой жидкости

- Laboratory work starts with good, **representative** samples/ Лабораторная работа начинается с хороших, репрезентативных проб
- Impossible to get good results from non representative samples (garbage in, garbage out)./ Невозможно получить хорошие результаты из некачественных проб (что посеешь, то и пожнешь)

Goal: information about the composition and quality/

Цель: информация о структуре и качестве

Essential, whether bottom hole sample (BHS) or surface sample (SS)/ Необходимы либо забойные пробы, либо пробы с поверхности:

- Reservoir conditions (p,T,depth) $\rightarrow$ experiments/ Пластовые условия (p, T, глубина) $\rightarrow$ испытания
- Sampling conditions (p,T,V=rates) $\rightarrow$ experiments/ Условия отбора проб (p, T, V = доли) $\rightarrow$ испытания

Sample only single phase streams/ Отбор проб только из однофазного потока
Sample only a conditioned well = clean and stable flow/
Отбор только из приспособленной скважины = чистый и стабильный поток

Bottom hole sampling
Отбор проб с забоя

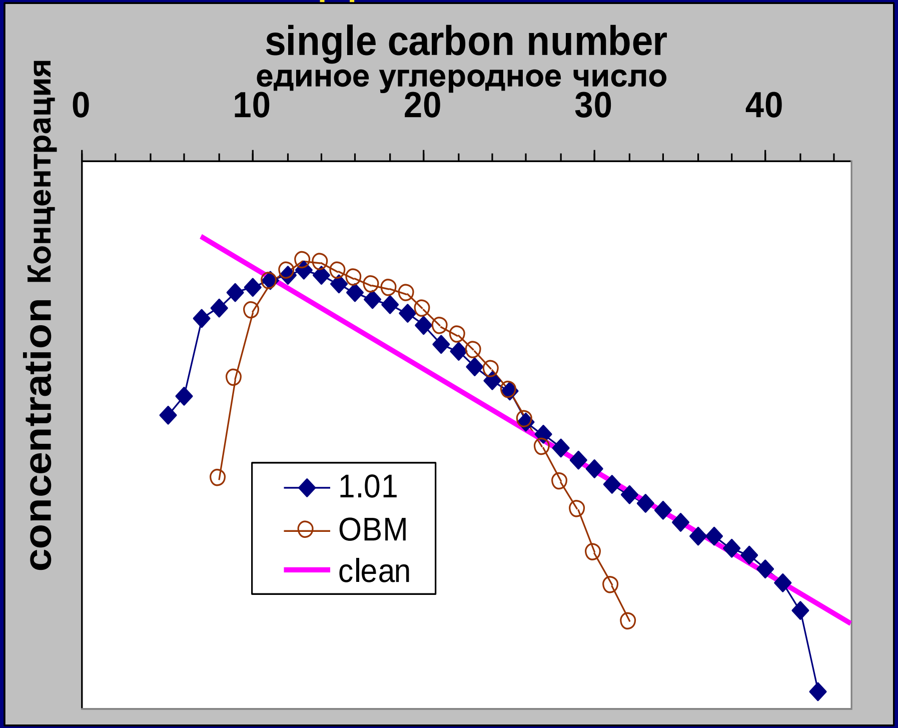
Danger: OBM mixed with reservoir fluid → decontamination

Tracers help!

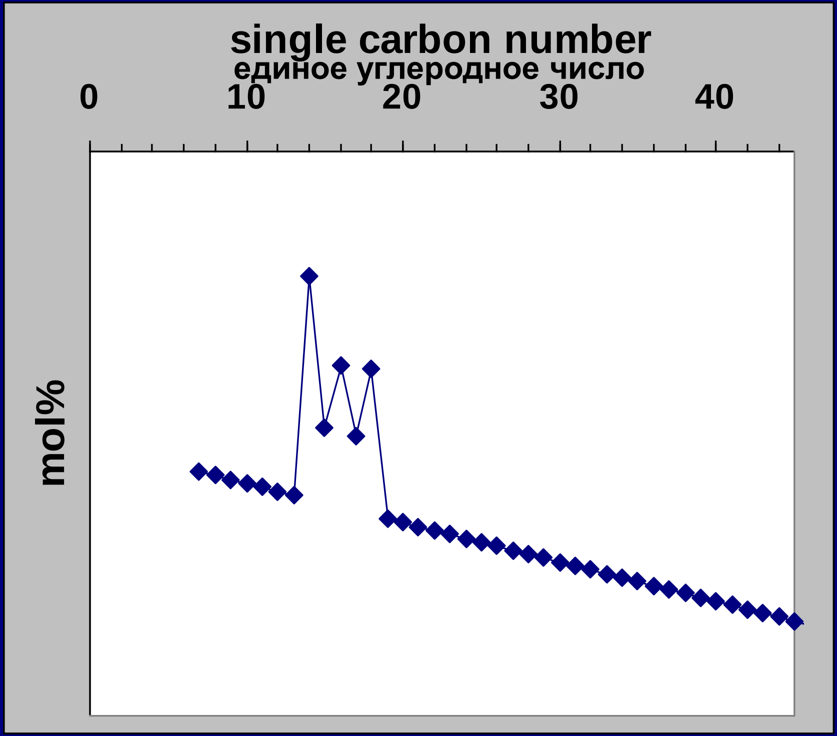
Опасность: смешивание РНО с пластовой жидкостью → очистка

Помощь индикаторов!

Diesel/
Дизель



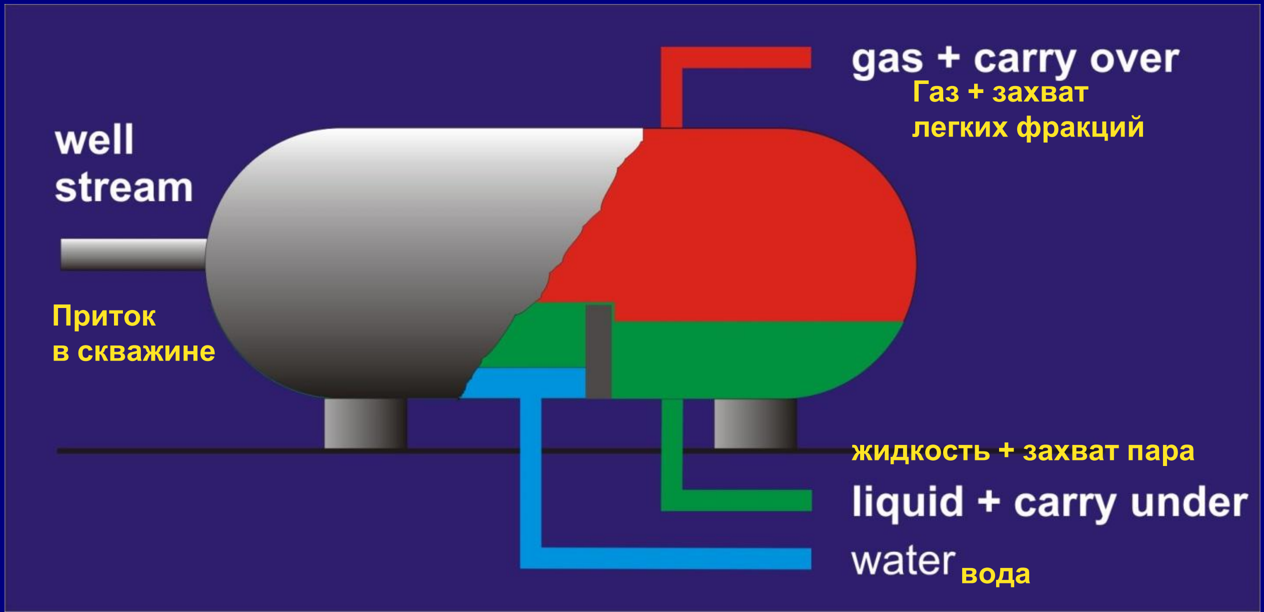
Artificial mud/
Синтетический буровой раствор



Separator sampling
Отбор отсепарированных образцов

- What is the flow rate and the retention time (size of the separator)? Темп добычи и время удержания (размер сепаратора)?
- Is carry-over or carry-under significant?

  Захват легких фракций и пара существенны?
- Are the rates stable? Показатели потока стабильны?
- How high is the pressure? Насколько высоко давление?
- How many phases are recorded? Сколько фаз записано?

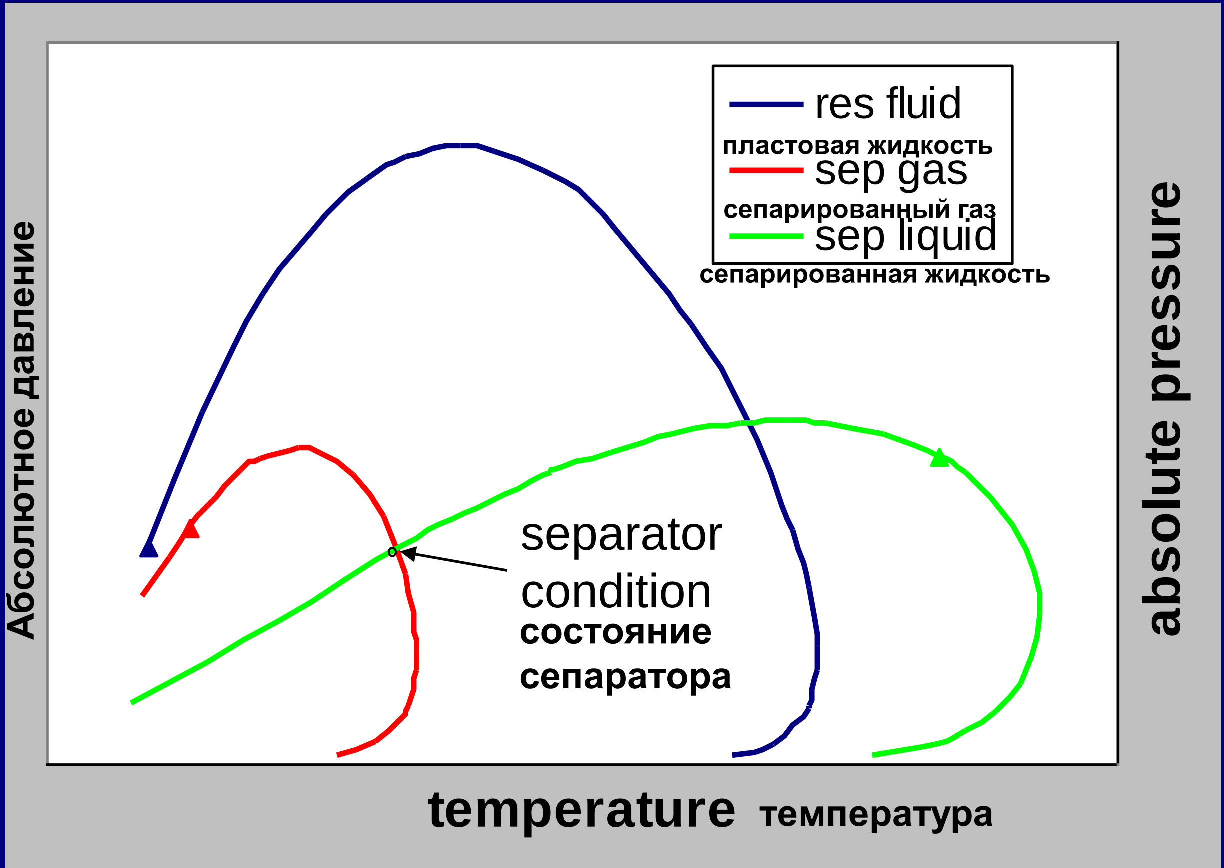


Separator sampling, cont'd
Отбор отсепарированных образцов

- Where is the reservoir in the phase diagram?

  Где пласт в диаграмме фазового равновесия?
- Gas phase is at a dew point

  Газовая фаза около точки конденсации
- Liquid phase is at a bubble point/ Жидкая ваза около точки начала кипения
- $\Rightarrow \boxed{p_{liquid}^{sat} = p_{vapor}^{sat}}$



Separator samples
Отсепарированные образцы

Reservoir
Пласт

reservoir fluid/
Пластовая жидкость
p_{res}, T_{res}, z_k

Surface separator
Поверхностный сепаратор

separator gas
Отсепарированный газ
p_{sep}, T_{sep}, y_k

$GLR_{sep}, K_k = y_k / x_k$

separator liquid
Отсепарированная жидкость
p_{sep}, T_{sep}, x_k

Laboratory
Лаборатория

gas 1
p_{amb}, T_{amb}, yy_k

liquid 1
$p_{amb}, = T_{amb}, yx_k$

GLR 1
$K_{yk} = yy_k / yx_k$

gas 2
p_{amb}, T_{amb}, xy_k

liquid 2
p_{amb}, T_{amb}, xx_k

GLR 2
$K_{xk} = xy_k / xx_k$

BHS
Забойные пробы

SS
Пробы с поверхности

Samples (SS), validity checks
Пробы с поверхности, контроль достоверности

- Was a valve leaking?/ Была ли утечка через клапан?
- Liquid: Determinig p^{sat} at ambient condition and recalculating to sampling condition/ Жидкость: уточнить давление насыщения при внешних условиях и пересчет на условия отбора проб
- Gas: p.V/T should be the same at ambient and sampling conditions/ Газ: p.V/T должно быть одинаковым при внешних условиях и условиях отбора проб

Samples (SS), analyses
Пробы с поверхности, анализ

Analyses by gas and liquid chromatography

Хроматография газа и жидкости

earlier times/ Ранее ↓

Component	Mol.%
Nitrogen	1.42
Hydrogen Sulphide	0.00
Carbon Dioxide	0.27
Methane	88.27
Ethane	2.88
Propane	3.93
Isobutane	0.93
N–Butane	1.38
Isopentane	0.40
N–Pentane	0.28
Hexanes	0.16
Heptanes +	0.08
Total	100.00
Gas gravity (air = 1.00) :	0.667

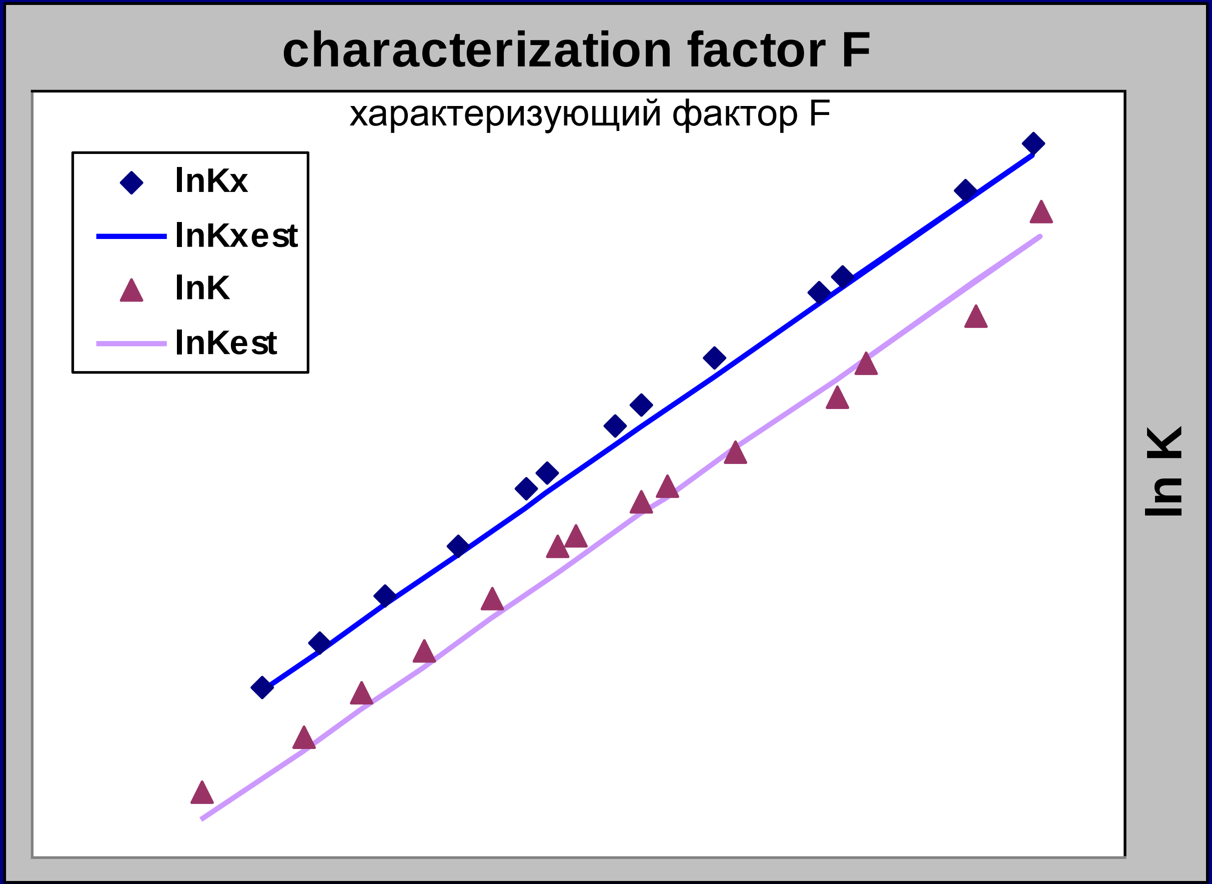
now/ сейчас →

	scn	Component		scn	Component
H_2	0	Hydrogen		6	Benzene
H_2S	0	Hydrogen Sulphide		6	Cyclohexane
CO_2	0	Carbon Dioxide	C_7	7	Heptanes
N_2	0	Nitrogen		7	Methyl-Cyclo-Hexane
C_1	1	Methane		7	Toluene
C_2	2	Ethane	C_8	8	Octanes
C_3	3	Propane		8	Ethyl Benzene
iC_4	4	iso Butane		8	Meta/Para-Xylene
nC_4	4	normal Butane		8	Ortho-Xylene
neo C_5	5	neo-Pentane	C_9	9	Nonanes
iC_5	5	iso Pentane		9	1,2,4-Tri-Methyl-Benzene
nC_5	5	normal Pentane	C_{10}	10	Decanes
C_6	6	Hexanes			…..
	6	Methyl-Cyclo-Pentane	C_{36} +		Hexatriacontanes Plus

Quality check of sample compositions
Проверка качества состава образцов

via equilibrium- or K-values (Wilson, Hoffman, etc) versus characterization factor, e.g.

Через устойчивость – или значение К (Вильсон, Хоффман, и др.) в сопоставлении с характеризующими факторами, например:



Reservoir fluid: composition
Пластовая жидкость: композиционный состав

- BHS: mathematical recombination

  Забой: математическая рекомбинация
- SS: mathematical and physical recombination

  Поверхность: математическая и физическая рекоминация

Reservoir fluid: properties
Пластовая жидкость: свойства

- Experiments, that mimic the flow process

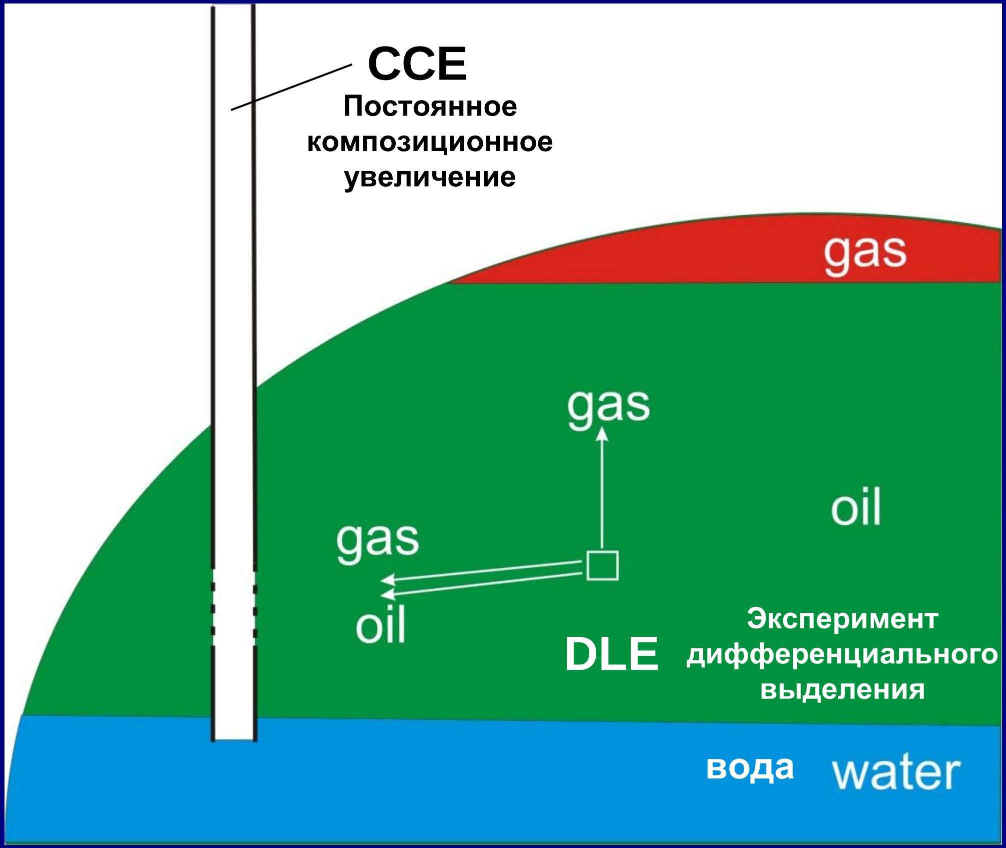
  Испытания, имитирующие поток
- Correlations for Black Oil (BO)

  Корреляция для стандартной нефти
- EOS/ Уравнение состояния

Flow processes, Black Oil
Поток, стандартная нефть

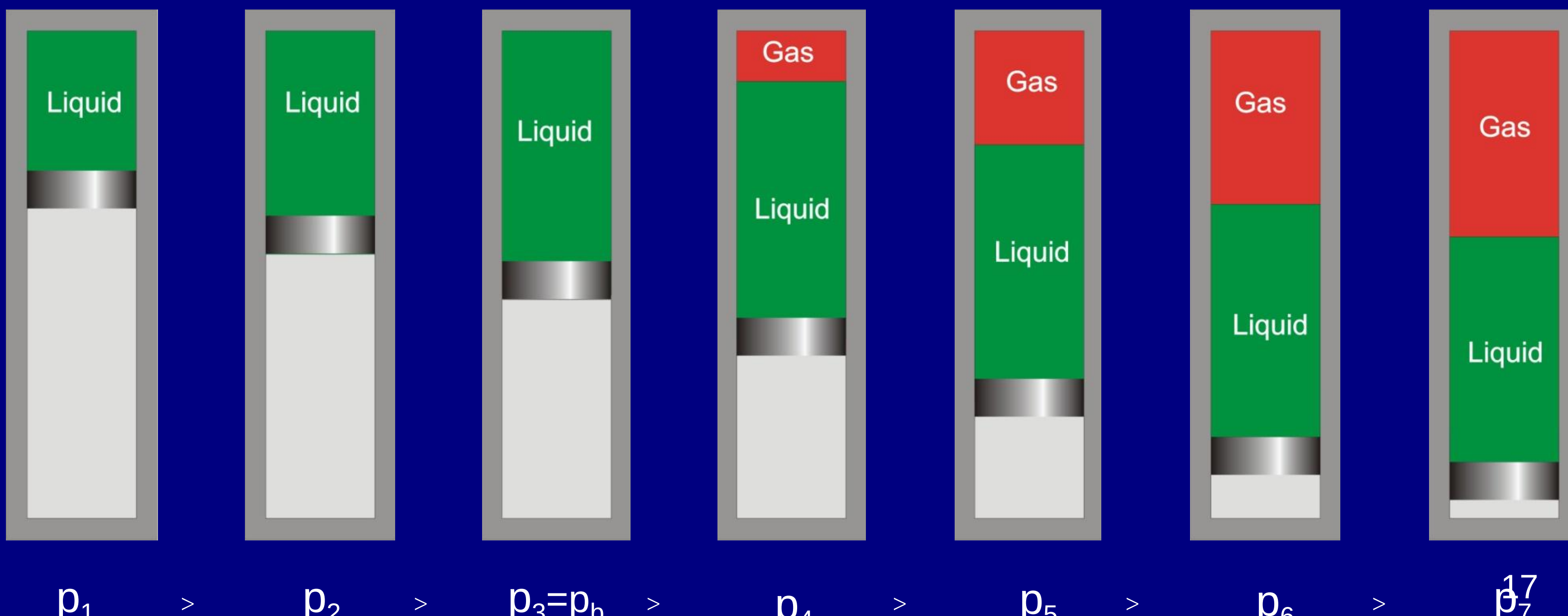
Problems/ Проблемы:

- Gas gets out of solution, moves upward, forms a gas cap/ Газ выходит из раствора, двигается вверх, образует газовую шапку
- 2phase flow into the well bore, different mobilities, GLR questionable/ Двухфазовый поток в скважину, различная подвижность, неоднозначное газожидкостное соотношение



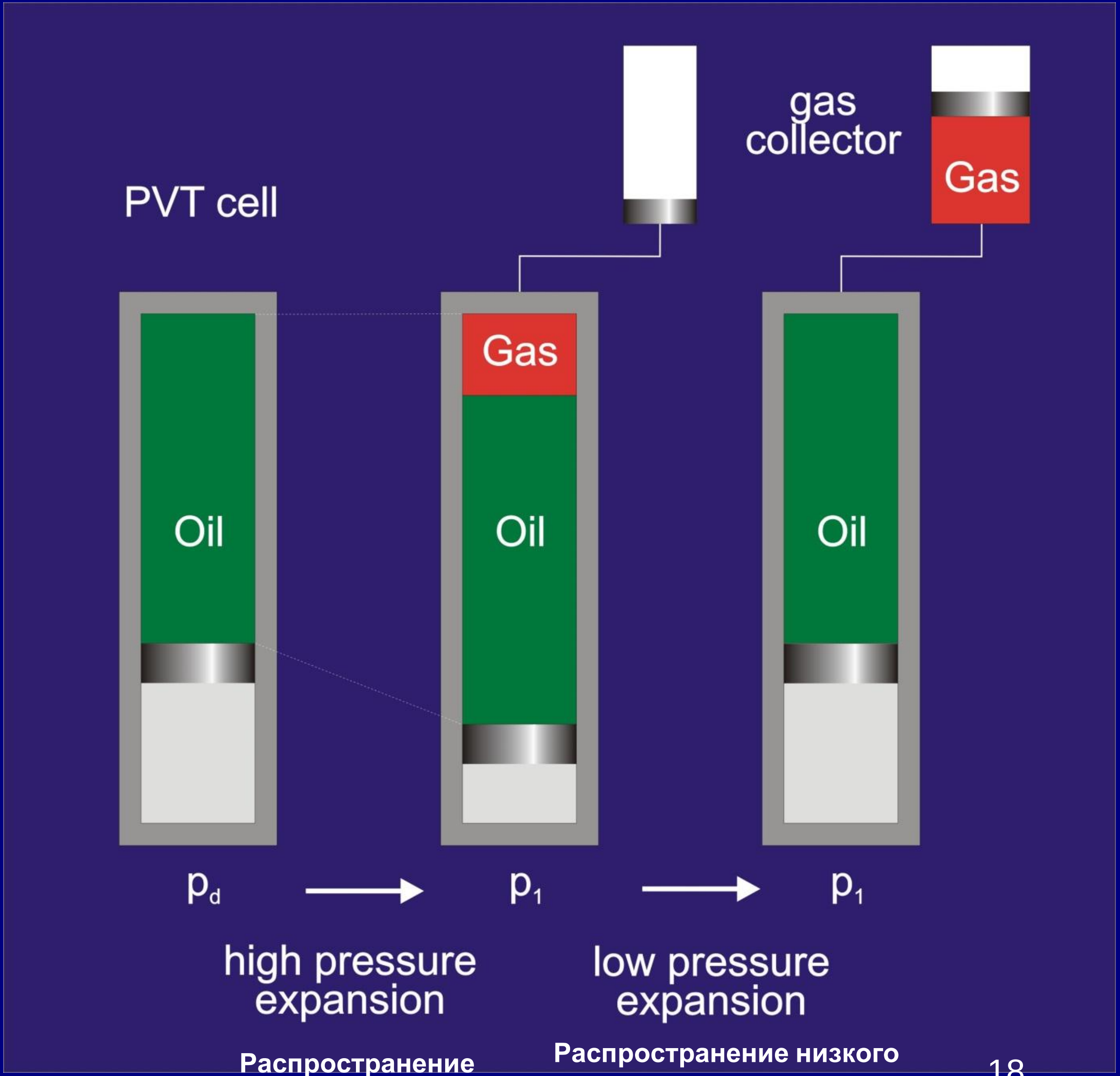
Constant composition expansion (CCE)
Постоянное композиционное увеличение

- $V(p)$ saturation pressure (p_b) – dV/dp is discontinuous
  давление насыщения (p_b) – dV/dp не ровно при p_b
- $p>p_b$: compressibility/ сжимаемость $C_p=\mathcal{O}(10^{-4})$
- test/ тест: $Y(p)=(p/p_b-1)/(V_t/V_b-1)$ linear in/ линейный по p
- principle/ принцип:



Differential liberation experiment (DLE)
Эксперимент дифференциального выделения

- Priniple/ принцип:



Распространение высокого давления

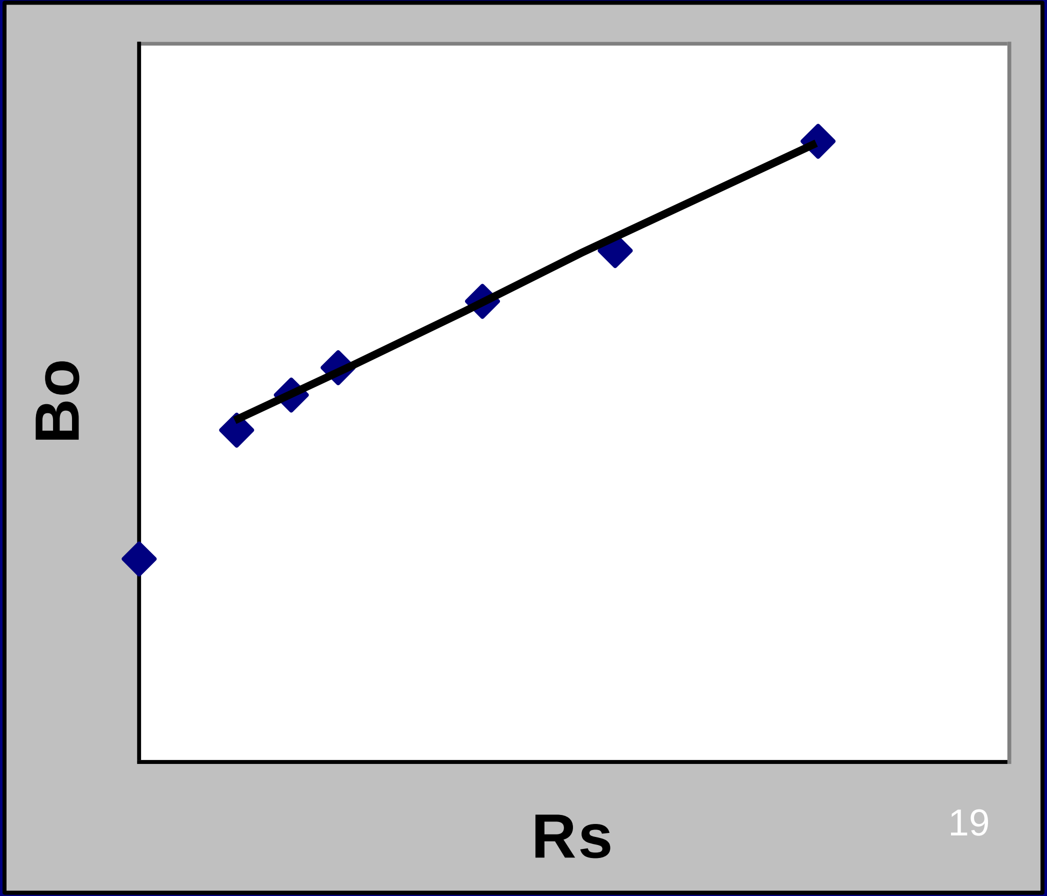
Распространение низкого давления

Differential liberation experiment (DLE)
Эксперимент дифференциального выделения

Gas in solution – $R_s(p)$ determines the volumetric behavior/

Растворенный газ - $R_s(p)$ определяет пространственное поведение

Test 1 - $B_o(R_s(p))$ almost linear in R_s / Тест1 - $B_o(R_s(p))$ почти линейный по R_s



Differential liberation experiment (DLE)
Эксперимент дифференциального выделения

Test 2

$C_t = B_o(p_{atm}) - 1 = \varnothing(10^{-3})$

Table 40: Differential vaporization - Oil

Pressure (psia)	Oil Volume Factor (Bo) (ft^3/scf)
7515	2.138
7015	2.163
6515	2.188
6015	2.215
5515	2.249
5415	2.256
5370	**2.258**
4615	2.007
3965	1.834
3065	1.644
2215	1.501
1365	1.368
565	1.241
15	1.000

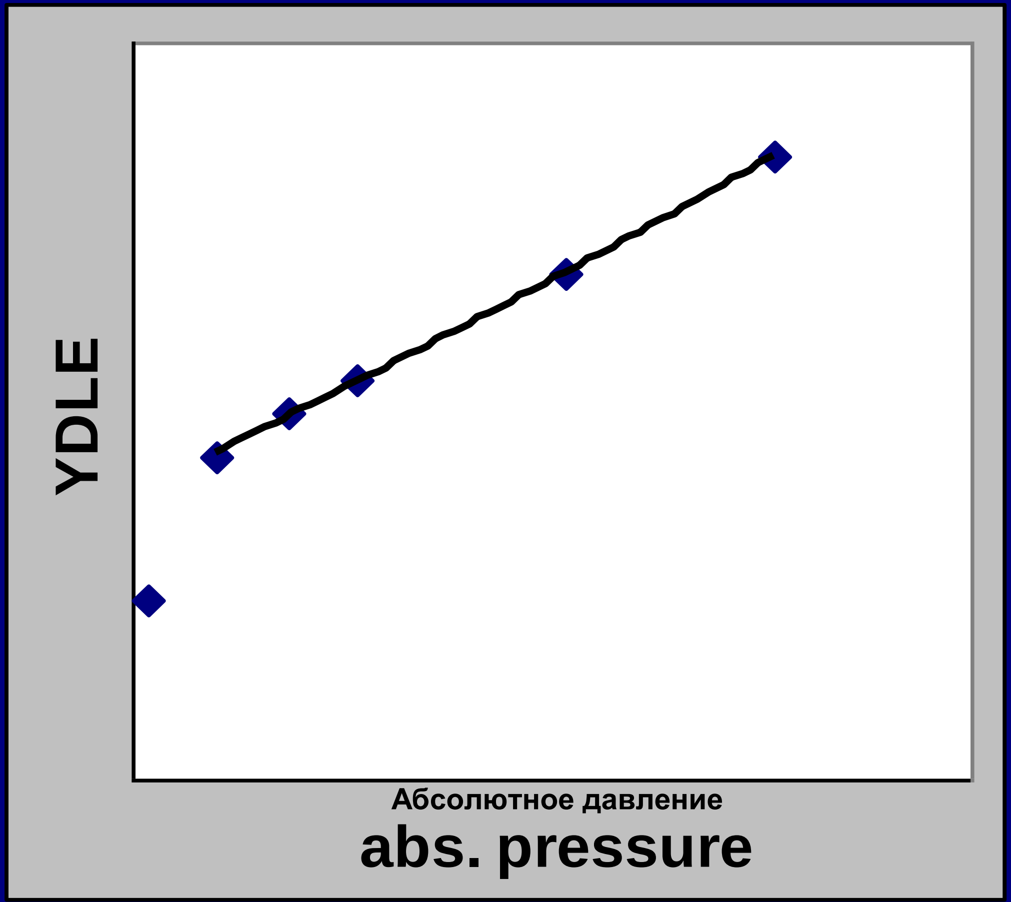
Residual oil density at 60°F : 0.829 (g/cc)

API Gravity : 39.1

Differential liberation experiment (DLE)
Эксперимент дифференциального выделения

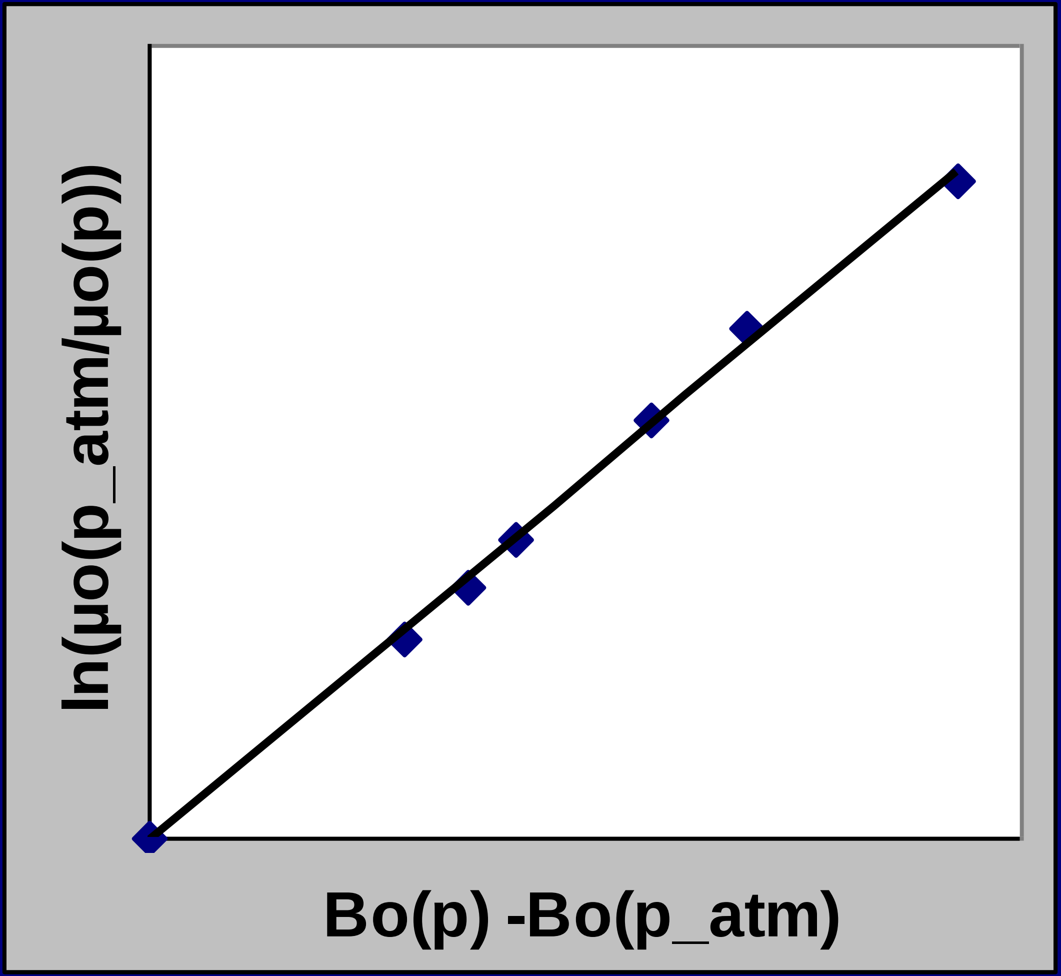
Z_g, check with REFPROP from NIST/ Z_g, проверка с REFPROP из NIST

Test 3 - Y-function, use/ использование $V_{g,lib}(p)$ for/ для V_t, (not in textbooks/ нет в учебниках)



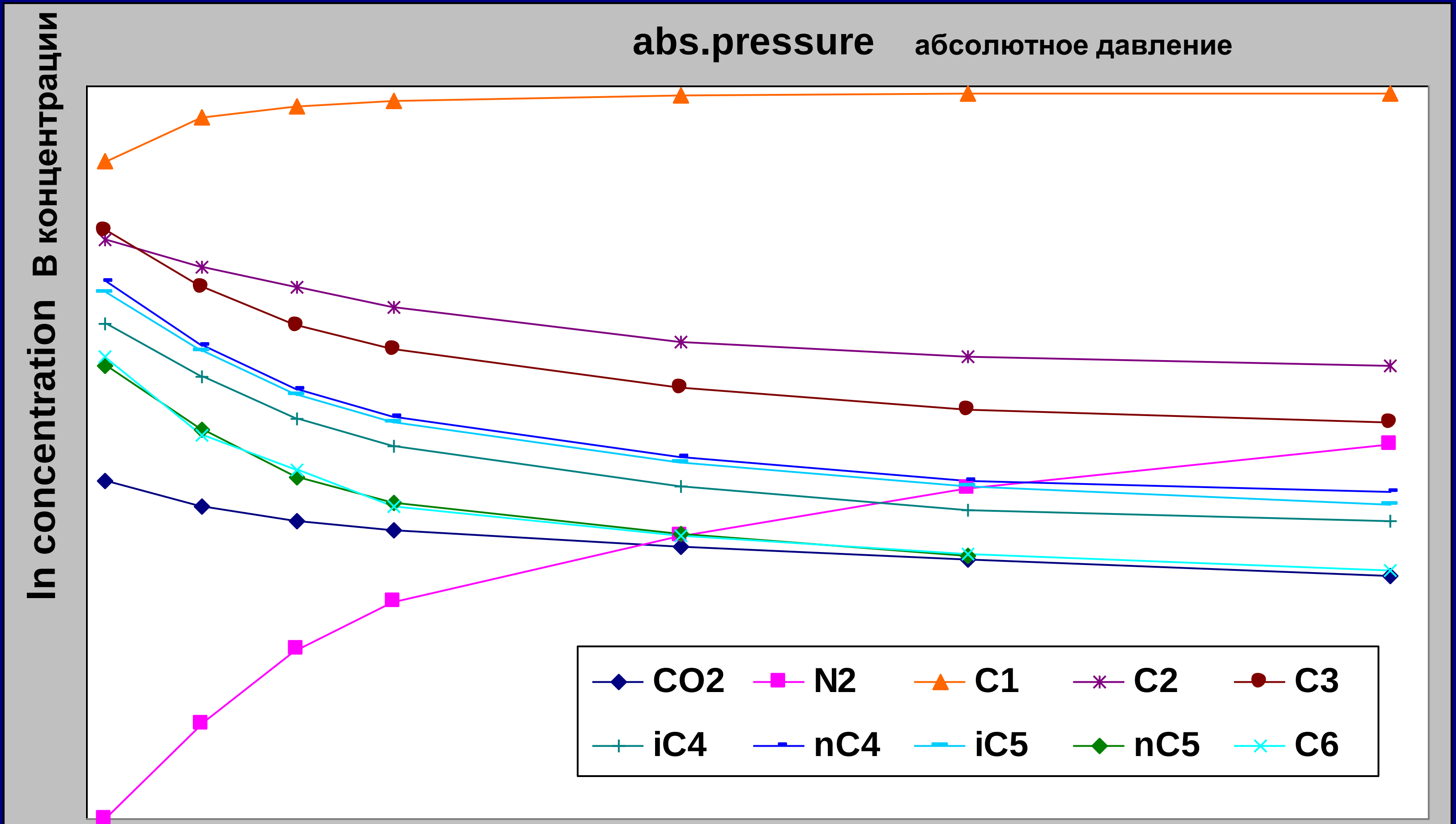
Differential liberation experiment (DLE)
Эксперимент дифференциального выделения

Test 4 - *$ln(\mu_o(p_{atm})/\mu_o(p))$* similar shape as/ похожая форма как *$B_o(p)$*, (not in textbooks/ нет в учебниках)



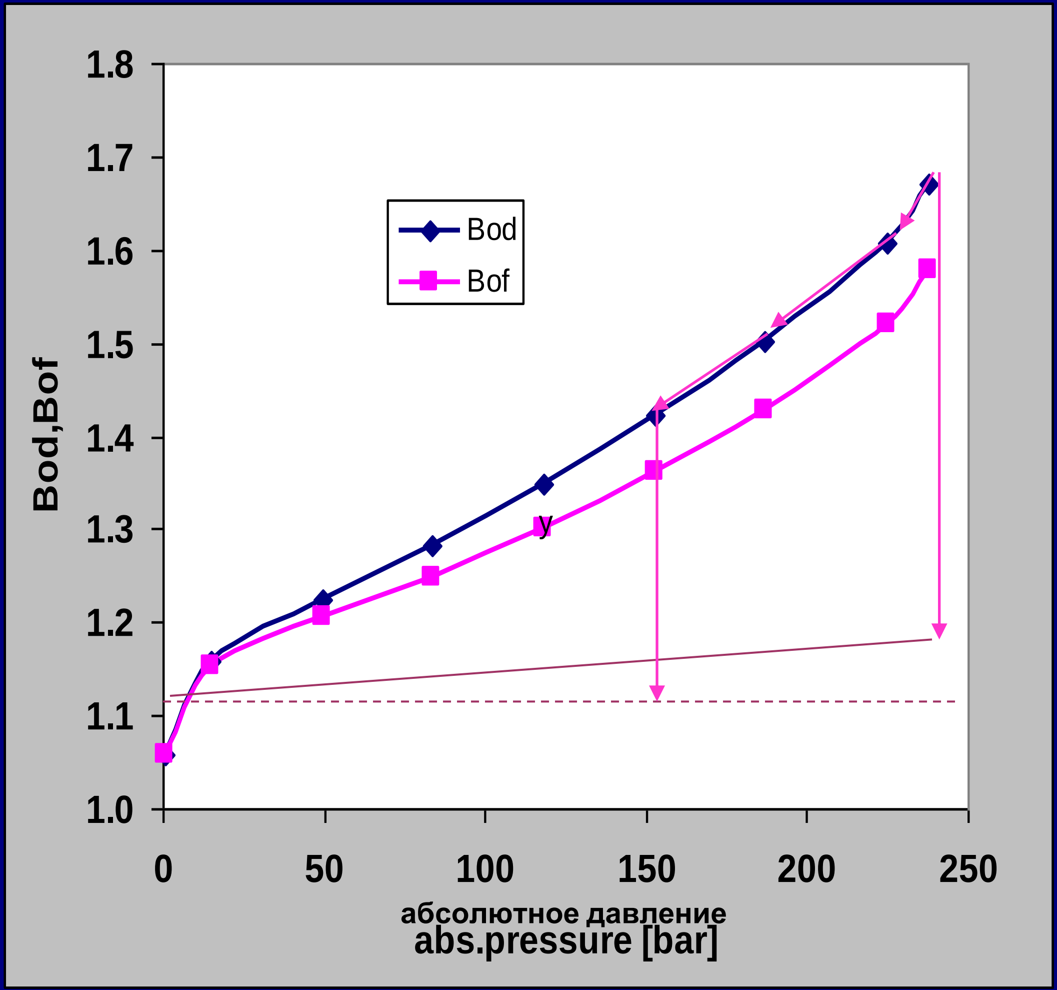
Differential liberation experiment (DLE)
Эксперимент дифференциального выделения

Test 5 - well stream composition, concentation of light components (N_2, C_1, possibly CO_2 and C_2 are convex, the rest is concave)/ строение притока к скважине, концентрация легких компонентов (N_2, C_1, возможно CO_2 и C_2 явл. выпуклостью, остальное вогнуто)



Production process/ Процесс добычи

- Combination of DLE (reservoir) and CCE (tubing)/
  Комбинация DLE (пласт) и CCE (тюбинг)
- Flash (CCE.B_{of},R_{sf} < diffferential (DLE) B_{od},R_{sd}
  Вспышка (CCE) B_{of},R_{sf} < дифференциал (DLE) B_{od},R_{sd}



$$R_{sf} = R_{sd}\frac{B_{ofb}}{B_{odb}}$$

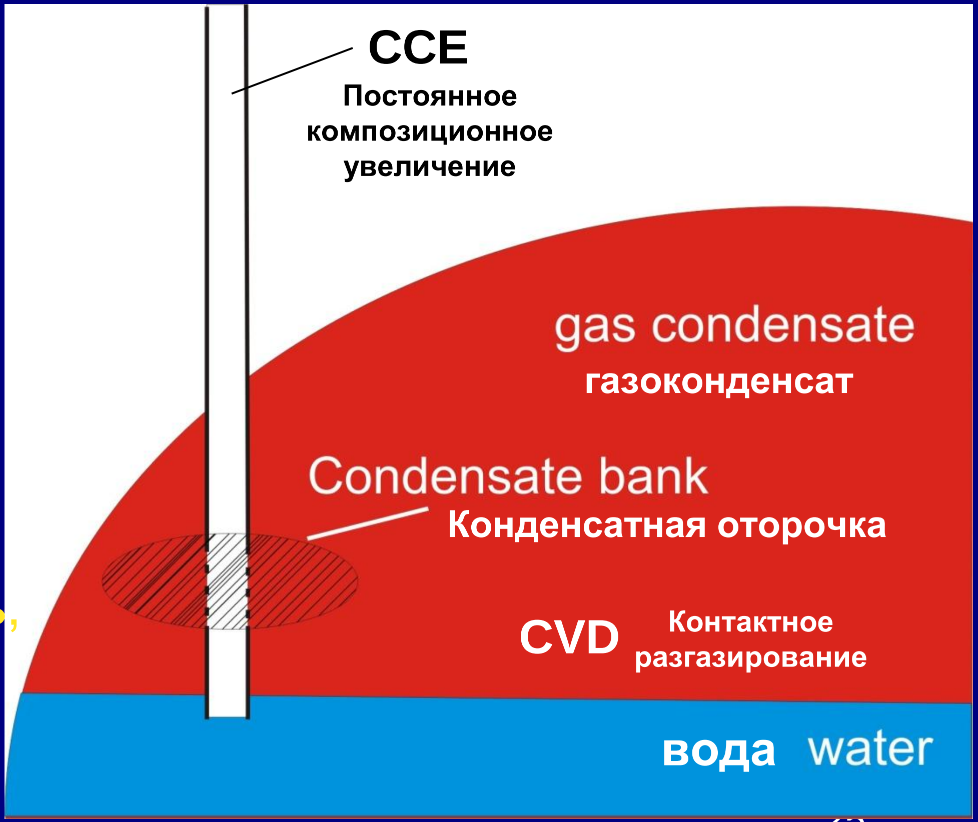
$$p < p_b : \quad \Delta B_o \propto \Delta R_s \quad \Rightarrow$$

$$B_{of} = B_{od} - \left(B_{odb} - B_{ofb}\right)\frac{p - p_a}{p_b - p_a}$$

Experiments and flow processes, GC
Испытания и процессы притока в ГЗК

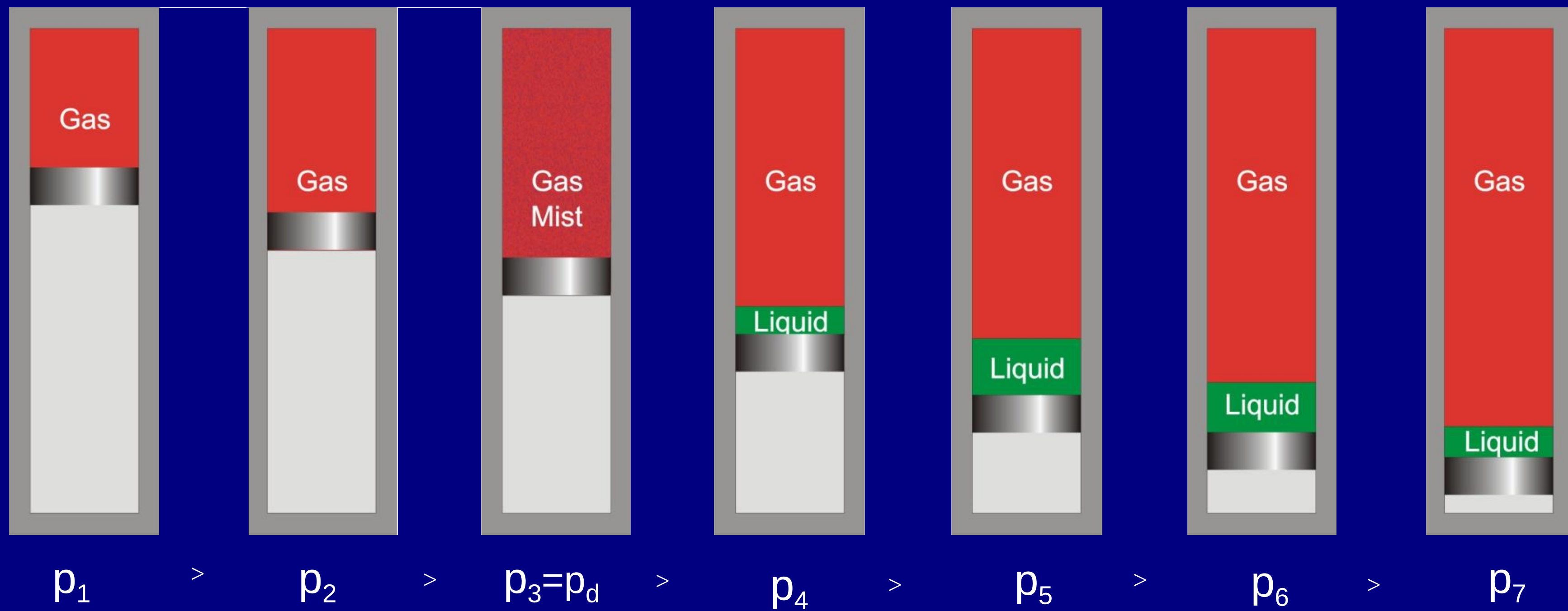
Problems/ Проблемы:

- Formation of a condensate bank, in case of lean condensate immobile well stream composition ≠ reservoir composition/ Формирование газовой оторочки, в случае, если стабильный конденсат неизменного состояния притока к скважине ≠ состоянию коллектора
- Rich condensate: 2-phase flow into the well bore, different mobilities, GLR questionable/ Богатый конденсат: двухвазный приток к скважине, различная подвижность, неоднозначное газожидкостное соотношение



Constant composition expansion (CCE)
Постоянное композиционное увеличение

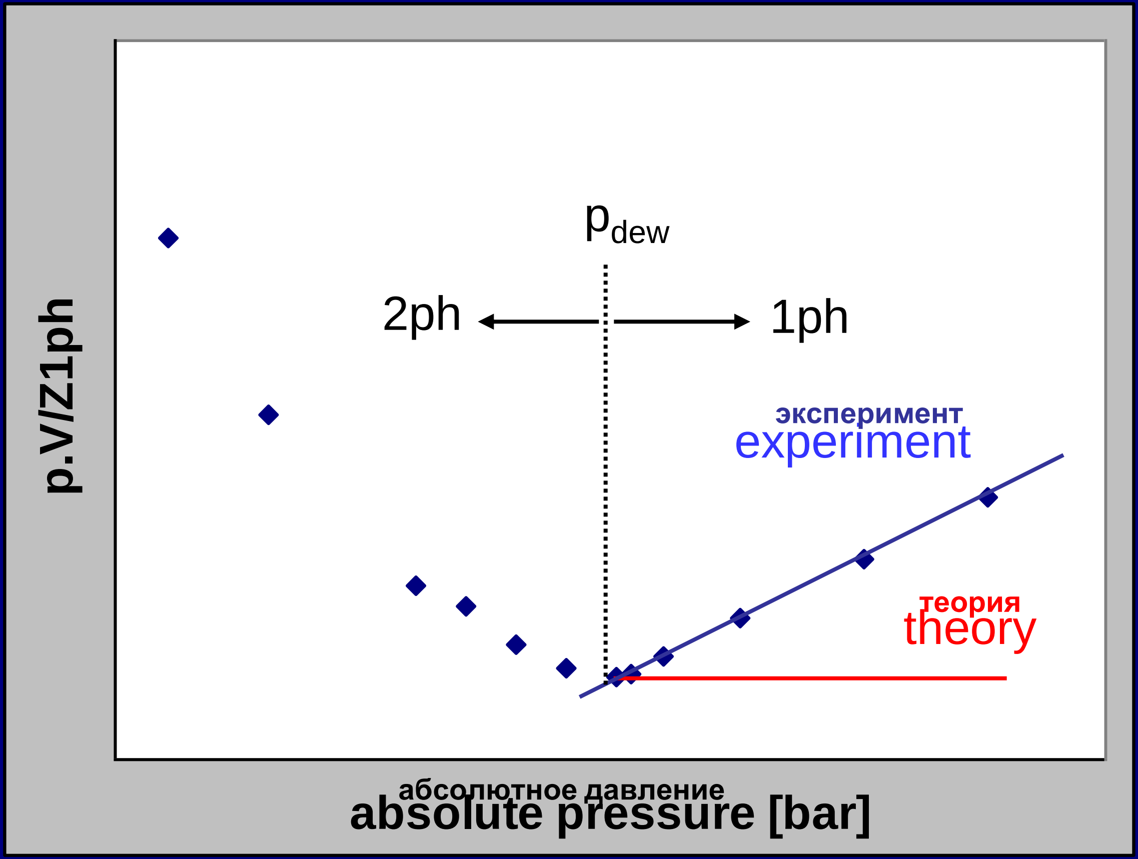
- principle/ принцип:



- Test - $Y(p)=(p/p_d-1)/(V_t/V_d-1)$ linear in p (not in textbooks)/
  Тест - $Y(p)=(p/p_d-1)/(V_t/V_d-1)$ линейный по p (нет в учебниках)

Constant composition expansion (CCE)
Постоянное композиционное увеличение

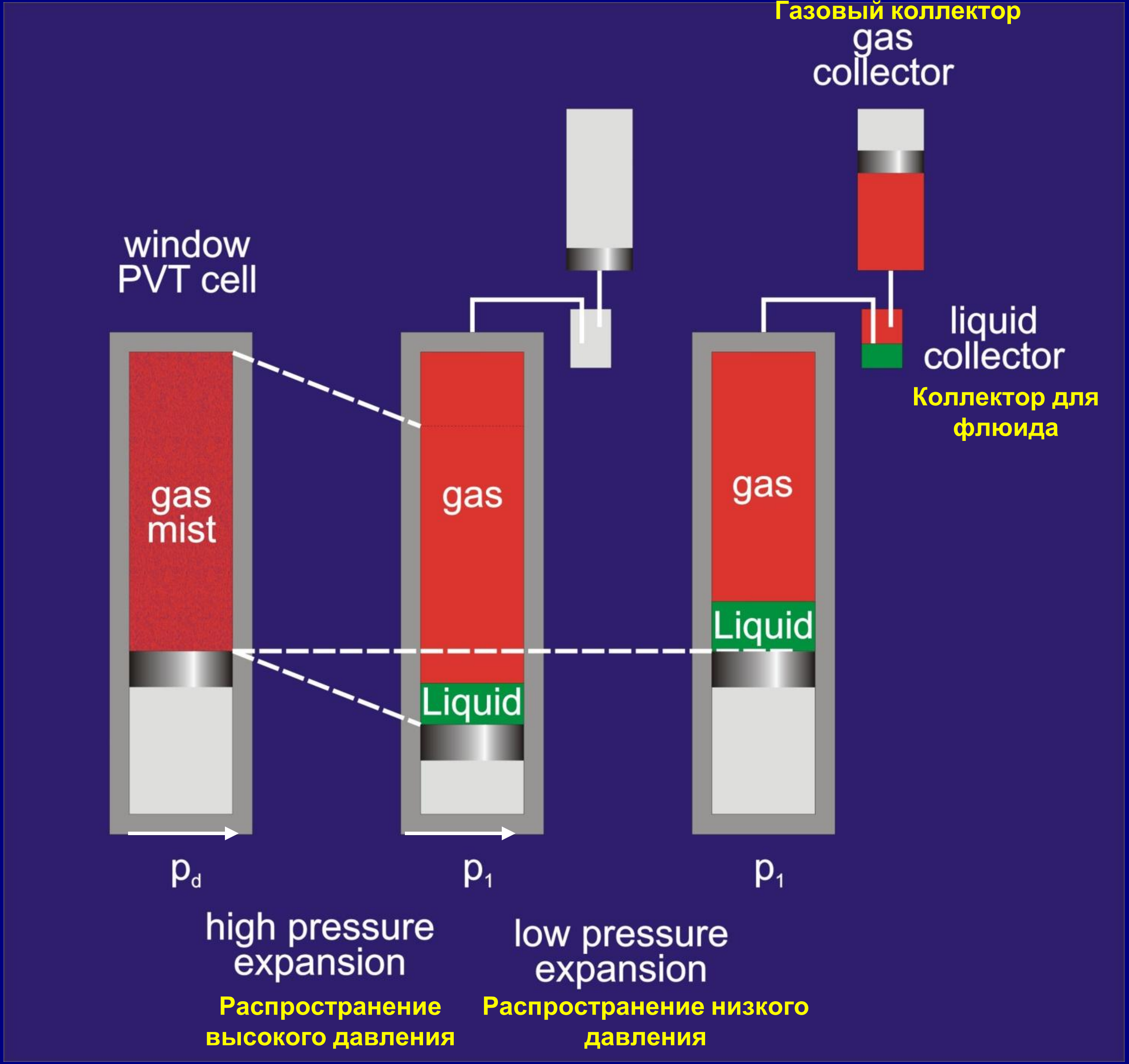
- saturation pressure (p_d) – $p.V/Z_{1ph}$ is discontinuous (SPE36919), Z_{1ph} from overall-composition
- давление насыщения (p_d) – $p.V/Z_{1ph}$ прерывистое (SPE36919), Z_{1ph} от общего состава



Constant volume depletion (CVD)
Контактное разгазирование

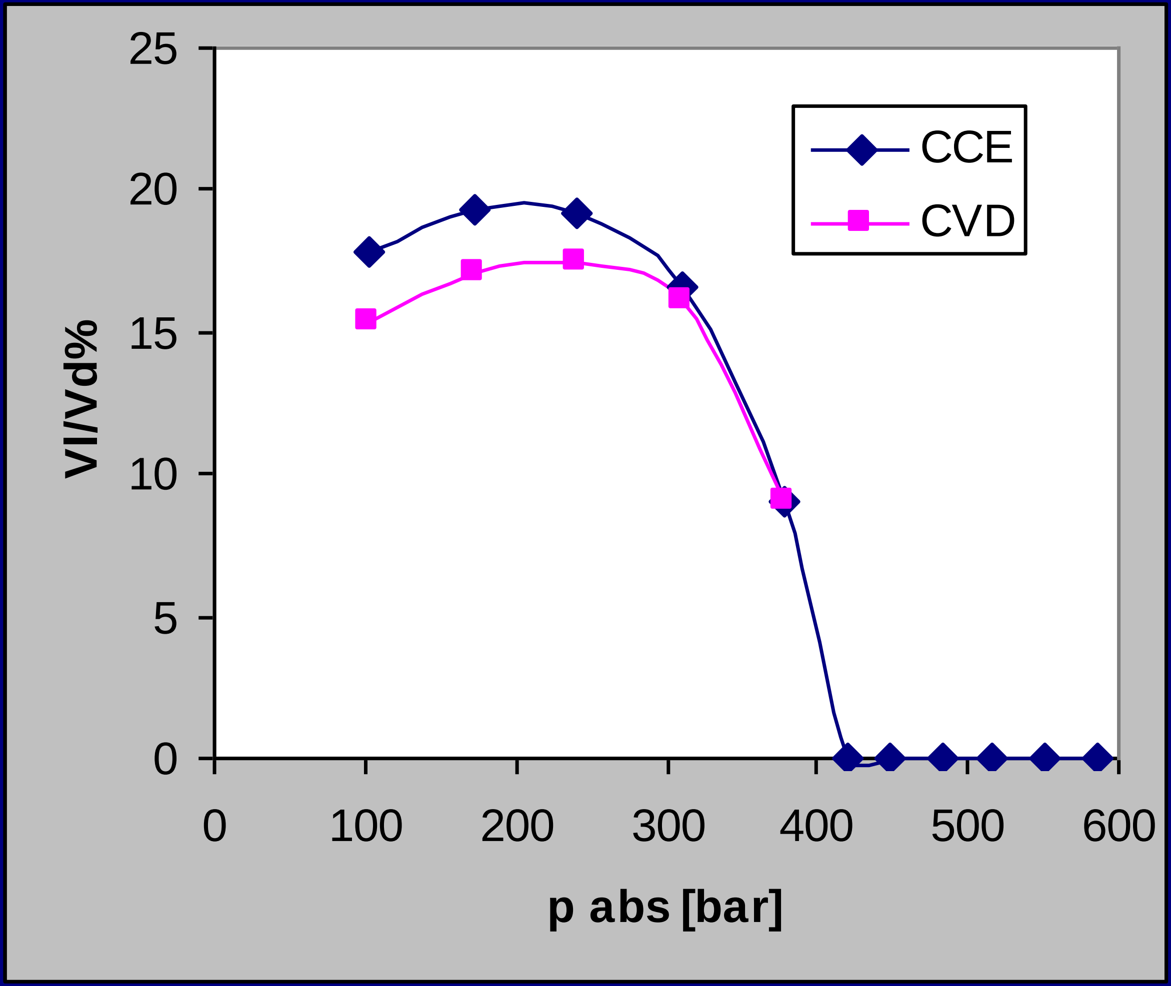
- Principle

  Принцип



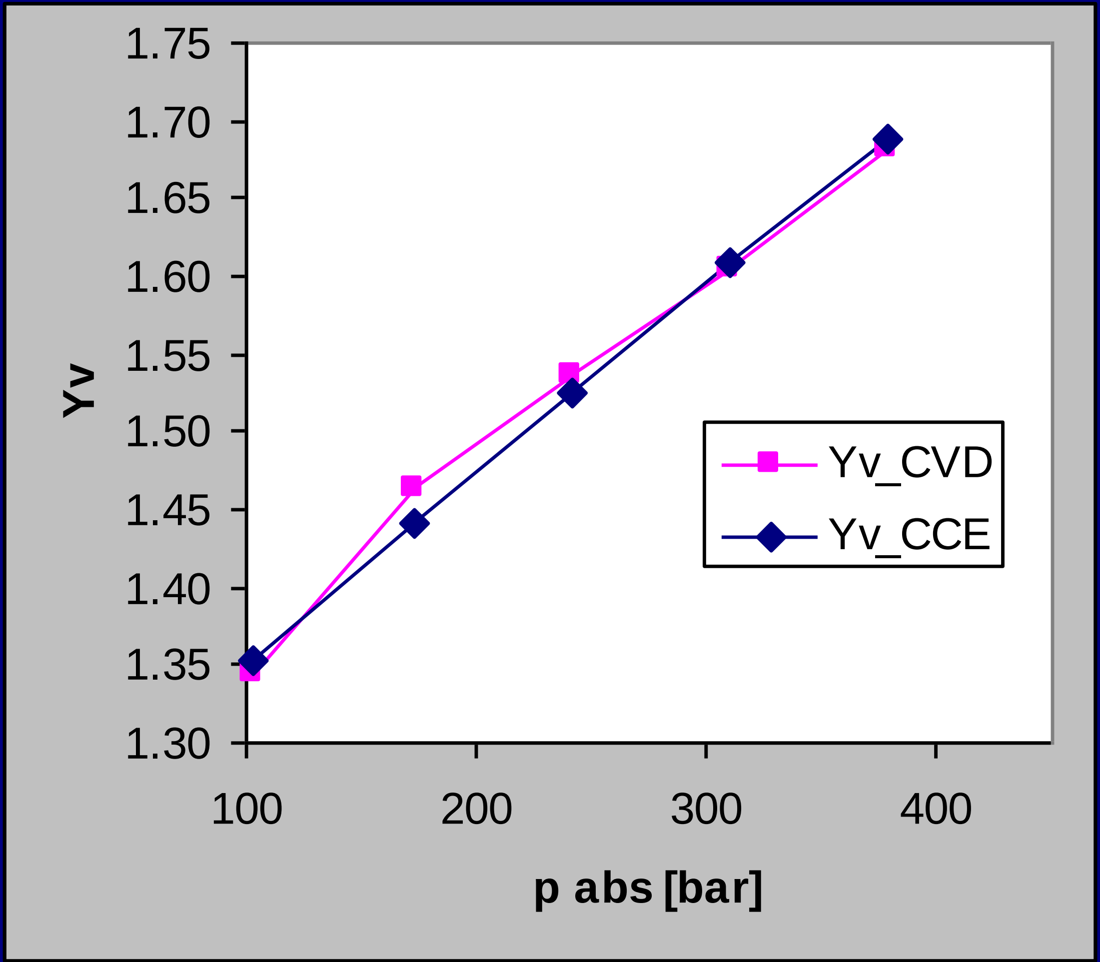
Constant volume depletion (CVD)
Контактное разгазирование

Test 1 - $V_l^{CCE}(p) > V_l^{CVD}(p)$ …liquid drop out/ выпадение жидкости



Constant volume depletion (CVD)
Контактное разгазирование

- **Test 2** - Y-function, using *1+V*$_{well\ stream}$*(p)* slightly curved, close to Y^{CCE}, (not in textbooks)
- Тест2 - Y-функция, используя *1+V*$_{приток\ к\ скважине}$ *(p)* слегка изогнутый, близок к Y^{CCE}, (нет в учебниках)



Correlations
Корреляция

- Estimates for Black Oil – tables

  Оценки для стандартной нефти - таблицы

- General form/ Общая форма:
  - $p_b = f_b(T_{res},\rho_{STO},\rho_{STG},R_s)$
  - $B_o = f_B(T_{res},\rho_{STO},\rho_{STG},R_s)$
  - $\mu_o = f_\mu(T_{res},\rho_{STO},\rho_{STG},R_s)$
  - μ_g calculated from *Gonzales, Eakin/ расчитывается по Гонзалесу, Экину*
  - Z_g from REFPROP (developed by NIST/ разработано НИСТ)

Equations of State – EOS
Уравнения состояния

- input = composition/ вклад= построение
- try to match the experiments/ попытка согласовать испытания
- prerequisite/ необходимое условие: C_{6+} modeling/моделирование
- $\Rightarrow$ reveals the inconsistencies/ обнаружение несоответствий
- mind the errors of the field measurments/ обратить внимание на ошибки полевых измерений

	Best /Лучший	Worst/ Худший
monophasic BHS Однофазовые забойные пробы	0%	invalid
separator GOR/ сепаратор	5 %	25 %
human or equipment failure/ Ошибка по вине оборудования или человека	0 %	invalid
BHP/ Давление на забое	$\pm$ 0.01 $\div$ 1 %	$\pm$ 3 %
BHT/ Температура на забое	$\pm$ 0.25 $\div$ 1 %	$\pm$ 5 %

Flow Assurance/ Обеспечение Бесперебойного Режима Подачи Потока

- Gas hydrates: gas composition necessary

  Газовые гидраты: необходим газовый состав
- Paraffins/ Парафины
  - Saturates, aromates, resins, asphaltenes

    Предельные углеводороды, ароматические органические вещества, смолы, асфальтены
  - $\rightarrow$ SARA or PNA analysis
  - Heavy end $\rightarrow$ liquid chromatography/ Тяжелые компоненты$\rightarrow$ хроматография флюидов
  - Wax appearance temperature (WAT) $\rightarrow$ cold finger test/ Температура начала кристализации парафина
- Asphaltenes/ Асфальтены
  - SARA or PNA or IP44
  - Flow test with capillary/ Исследование на приток с капиллярностью

Summary
Выводы

- Starting point for determination of fluid properties: quality-sampling/
  Основа для установления свойств флюидов: качественные пробы
- Tools exist to check the laboratory data/
  Существуют инструменты проверки лабораторных данных
- Estimates can be gained via correlations or EOS/
  Оценки могут быть достигнуты через корреляцию или уравнение состояния

Thank you for your attention!

Questions are welcome!

Спасибо за внимание!

Вопросы?

Distinguished Lecturer Program

Your Feedback is Important

Ваше Мнение ВАЖНО

Enter your section in the DL Evaluation Contest by completing the evaluation form for this presentation

Посетите свою секцию для оценивания этой презентации и участия в конкурсе

http://www.spe.org/dl/contest.php