

Хроматография

**Основы метода и
ключевые параметры**

Пирогов Андрей Владимирович

(д.х.н., профессор)

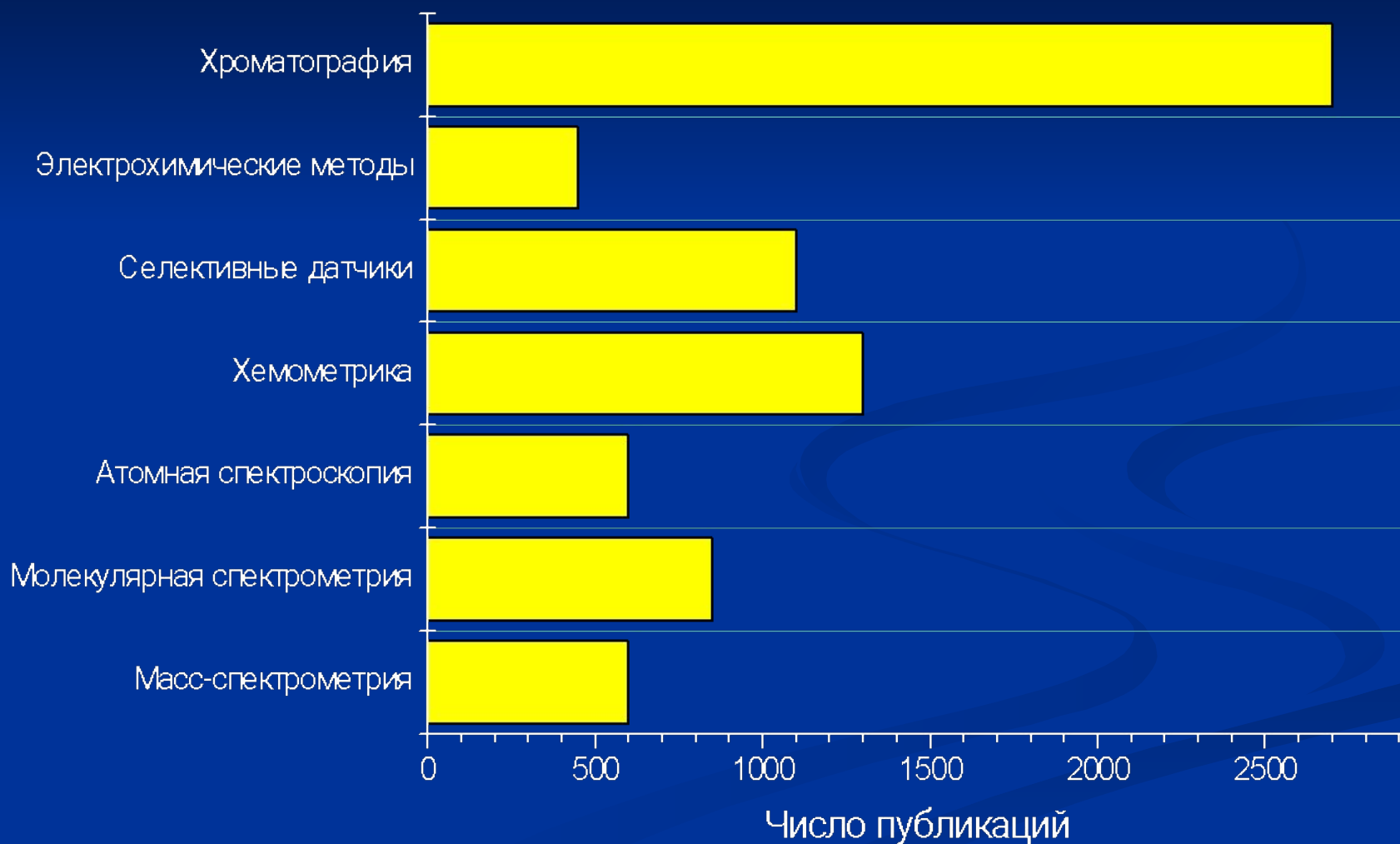
Тел.

КОМ.

Рассмотрим:

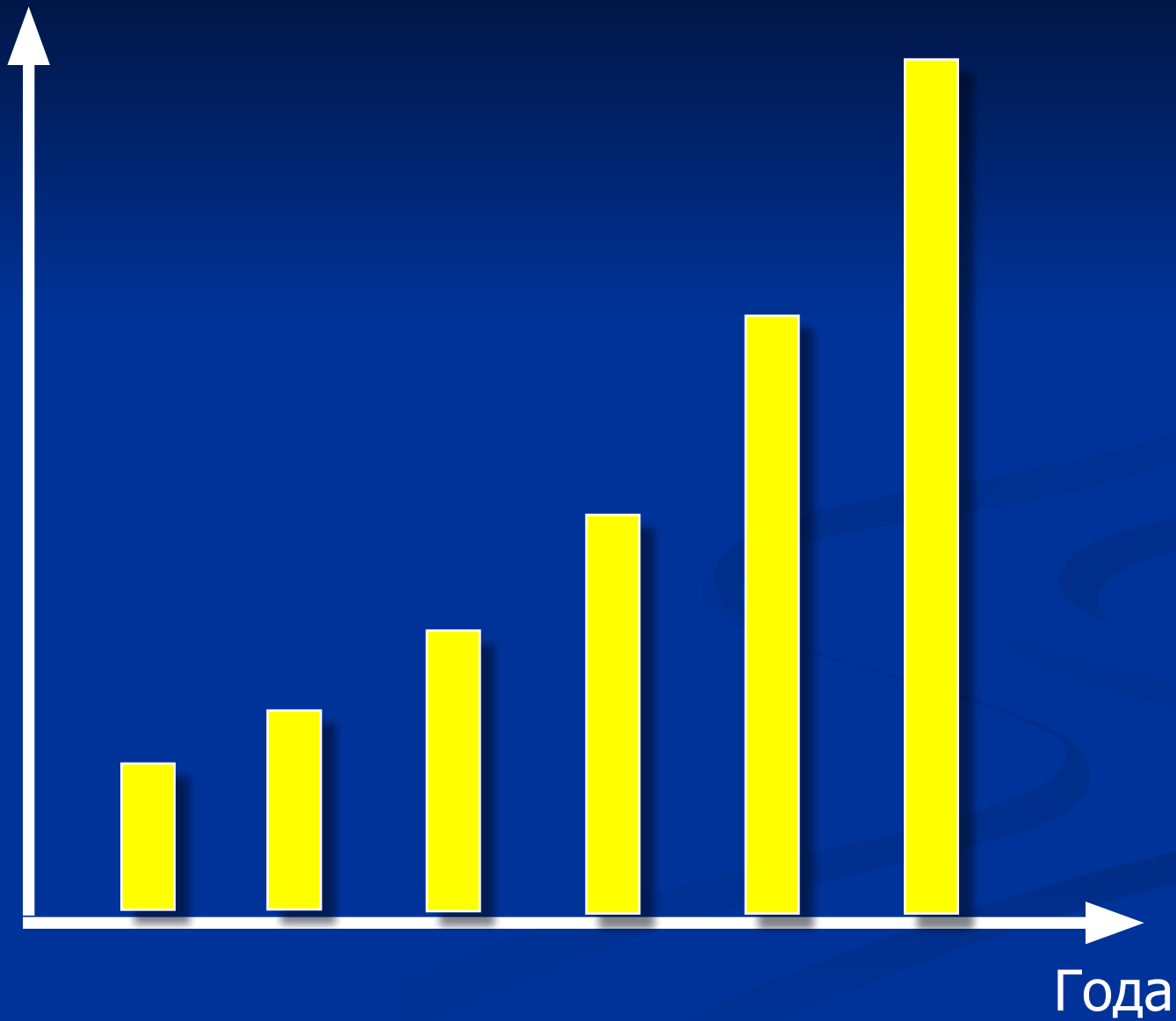
- Определение хроматографии и история метода
- Причины широкого распространения хроматографии в современной аналитической химии
- Основные понятия и параметры
- Классификация хроматографических методов

Интенсивность публикаций статей по различным методам анализа



По данным А. Гуланицкого (1998 г.)

Число
публикаций



В чем причины?

- Создание новых веществ, типов лекарств, красителей и т.п.
- Расширение списка контролируемых соединений
- Снижение ПДК вредных веществ
- Развитие науки и техники

Синтез потенциально биологически активного вещества

Контроль
примесей

Неклинические
исследование
(животные)

Клинические
испытания
(люди)

Стандартизация

Производство

Оптовая торговля

Розничная
торговля

Выявление
долговременных
факторов воздействия

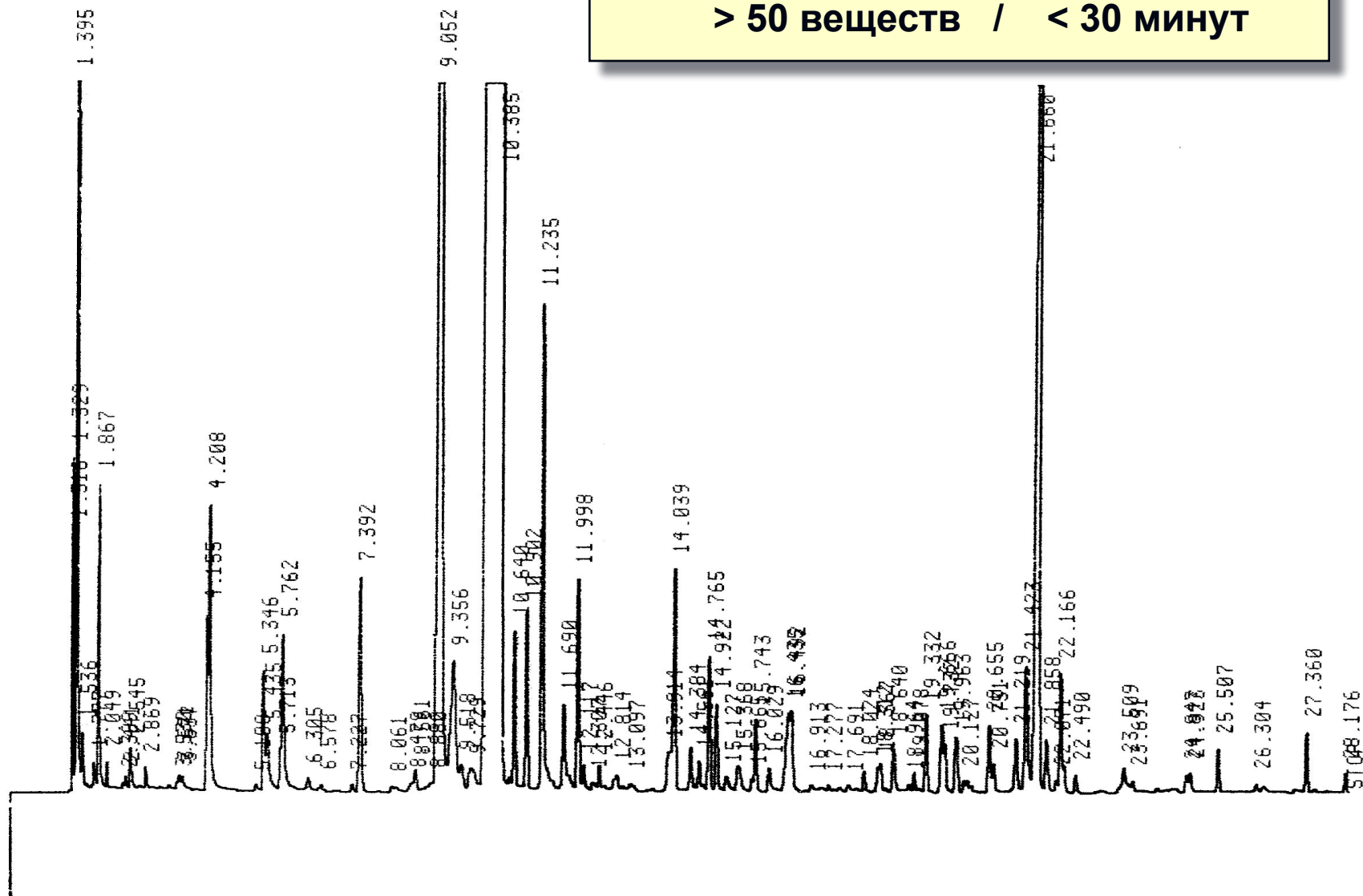


Решаемые с помощью хроматографии фундаментальные задачи

- Изучение термодинамики и кинетики распределения неорганических веществ в двухфазной системе
- Исследование спектральных и электрохимических свойств органических и неорганических веществ
- Выявление биохимических процессов в организме (метаболизм, фармакокинетика и т.п.)

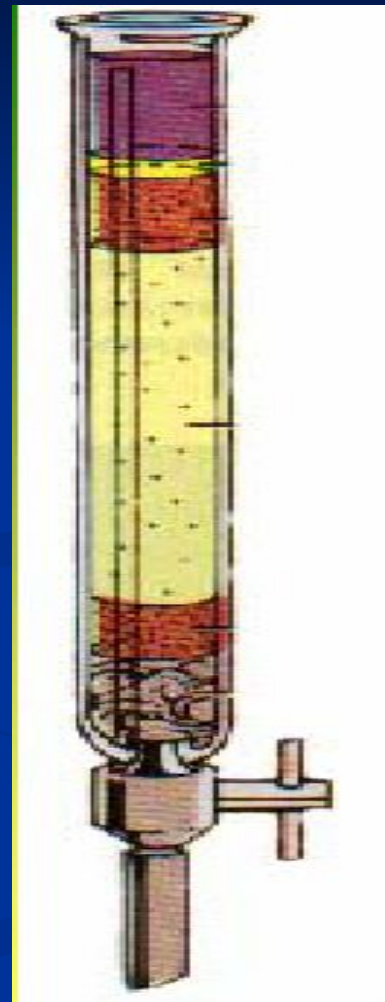
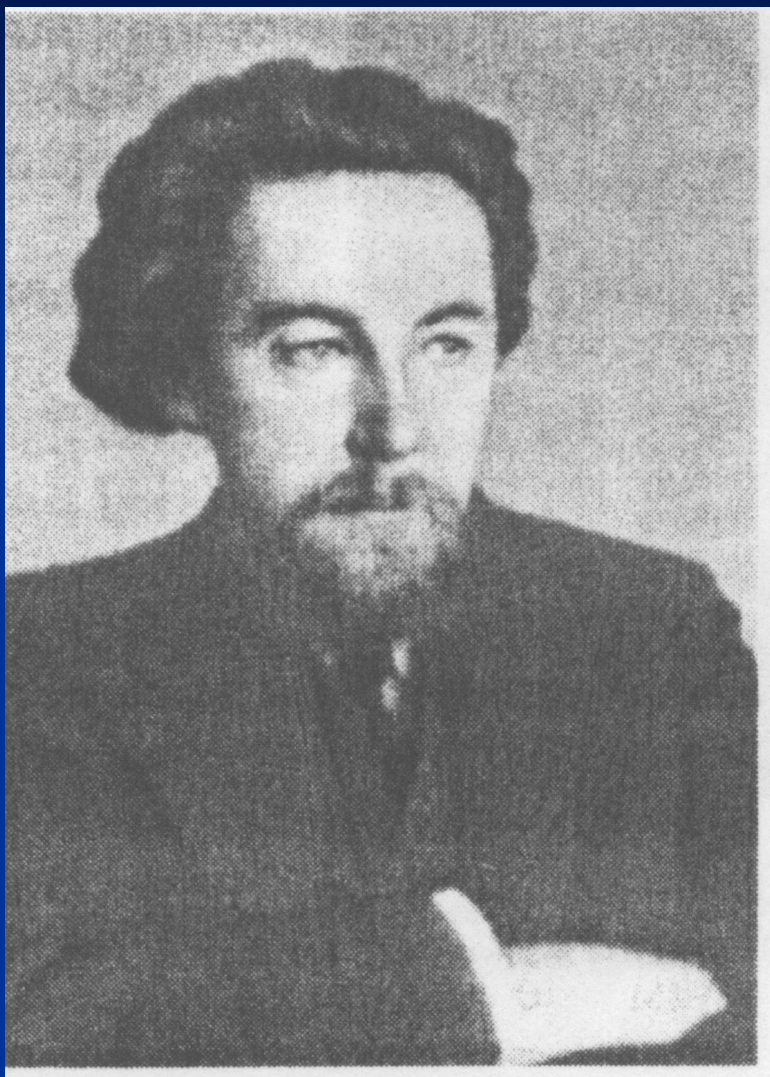
Хроматограмма апельсинового сока

* RUN # 176 AUG 1, 2001 23:25:55
START



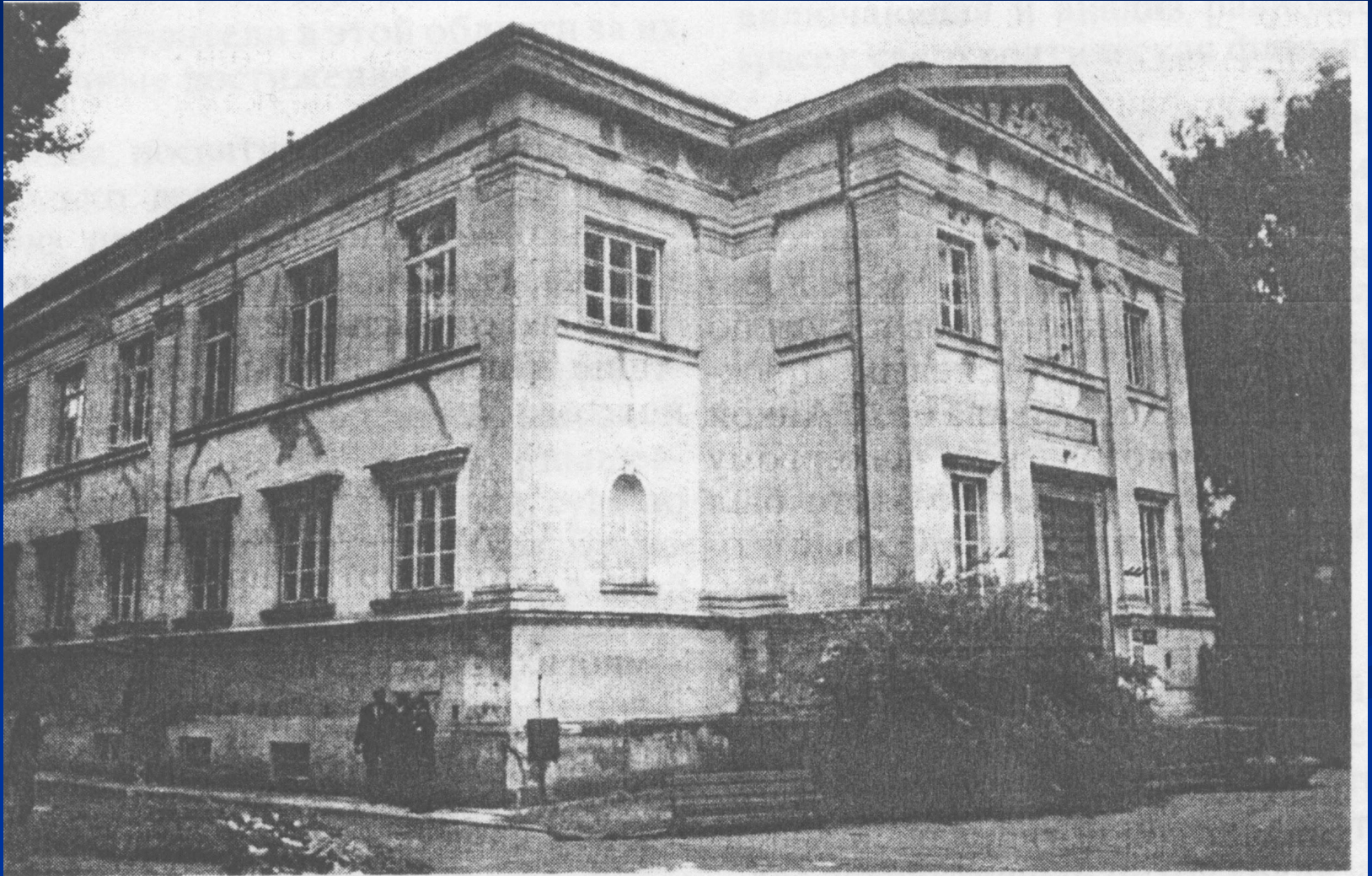
> 50 веществ / < 30 минут

Михаил Семенович Цвет



1903 г

Здесь была открыта хроматография



Этапы развития хроматографии

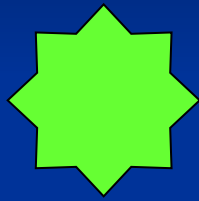
- 1903 г. **Открытие хроматографии** (Цвет М.С.)
- 1931 г. **Повторение опытов Цвета** (Кун Р.)
- 1938 г. **Тонкослойная или планарная хр-фия**
(Измайлов Н.А., Шрайберг М.С.)
- 1941 г. **Жидкостная распределительная хр-фия**
(Martin A.D.P., Synge R.L.M.)
- 1948 г. **Осадочная хроматография**
(Гапон Е.Н., Гапон Т.Б.)
- 1952 г. **Газовая распределительная хр-фия**
(Martin A.D.P., James A.)

Этапы развития хроматографии (продолжение)

- 1956 г. Капиллярная газовая хр-фия (Golay M.)
- 1960е гг. Высокоэффективная жидкостная хр-фия
- 1960е гг. Хромато-масс-спектрометрия
- 1961 г. Лигандообменная хроматография (Гельферих Ф.)
- 1975 г. Ионная хроматография
(Small H., Stevens T.S., Bauman W.W.)
- 1990+ Хромато-масс-спектрометрия
- 2004 г. Ультра-ВЭЖХ

Процесс разделения

Учитывает природу вещества,
фаз,
условия распределения

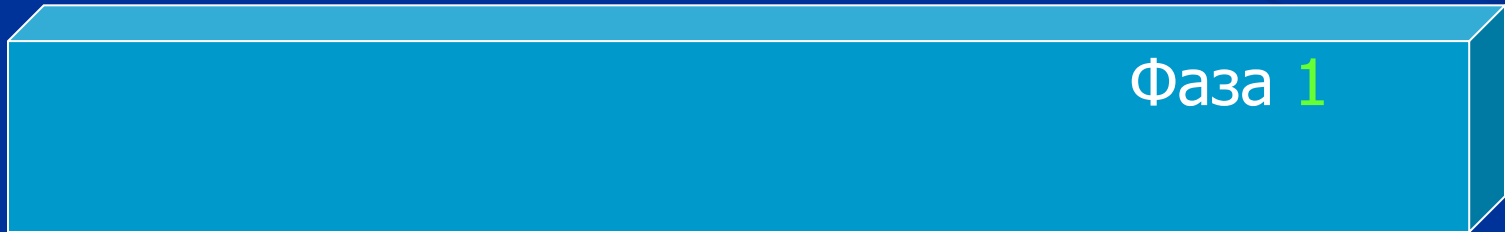


Коэффициент
распределения

$$K(D) = C_1 / C_2$$

Фаза 2

Фаза 1



Динамический процесс разделения



ХРОМАТОГРАФИЯ

Определение

(Научный совет по хроматографии и адсорбции РАН)

НАУКА

О межмолекулярных взаимодействиях и переносе молекул или частиц в системе несмешивающихся и движущихся относительно друг друга фаз

МЕТОД

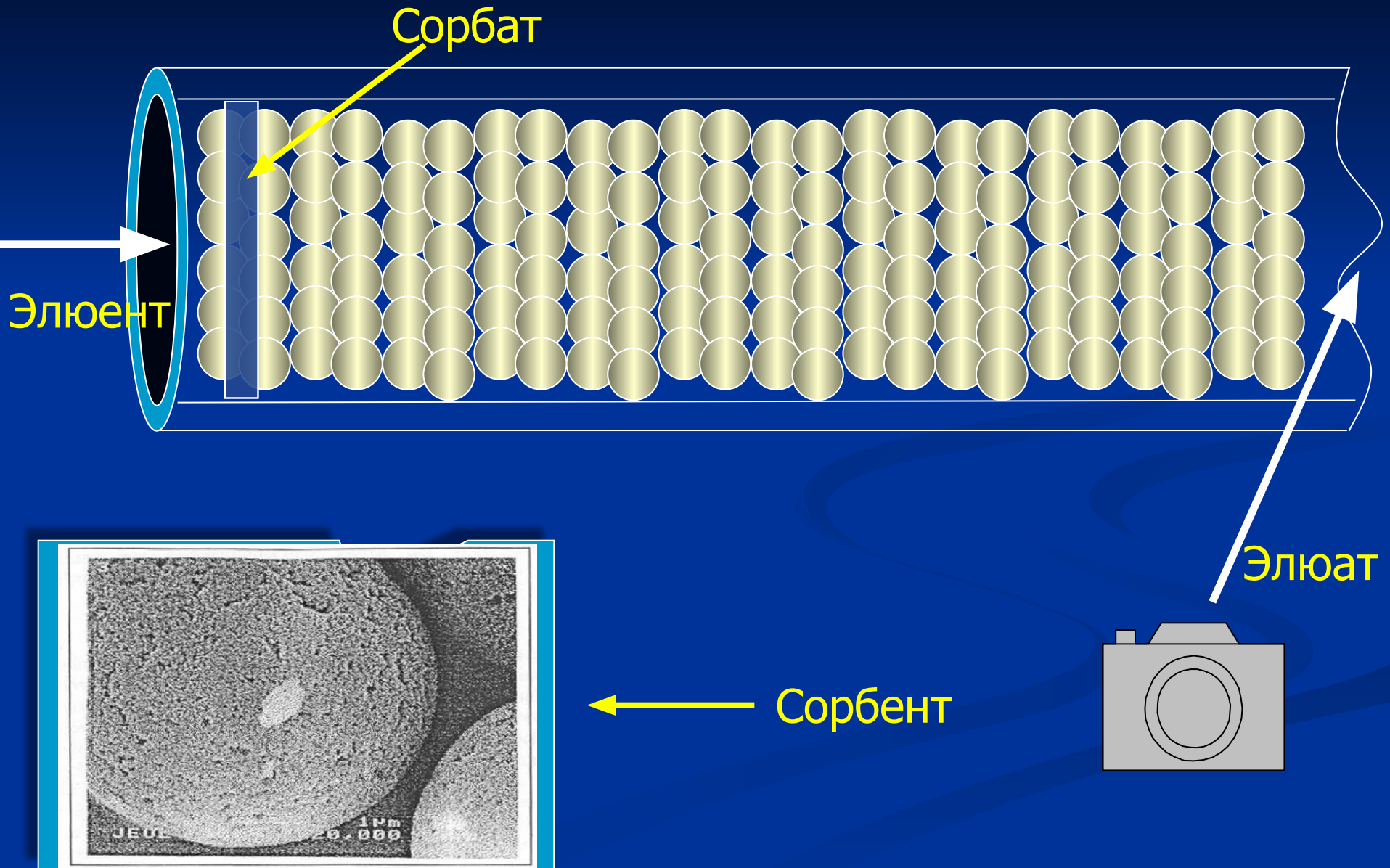
Разделения смесей веществ или частиц, основанный на различии в скорости их перемещения в системе несмешивающихся и движущихся относительно друг друга фаз

ПРОЦЕСС

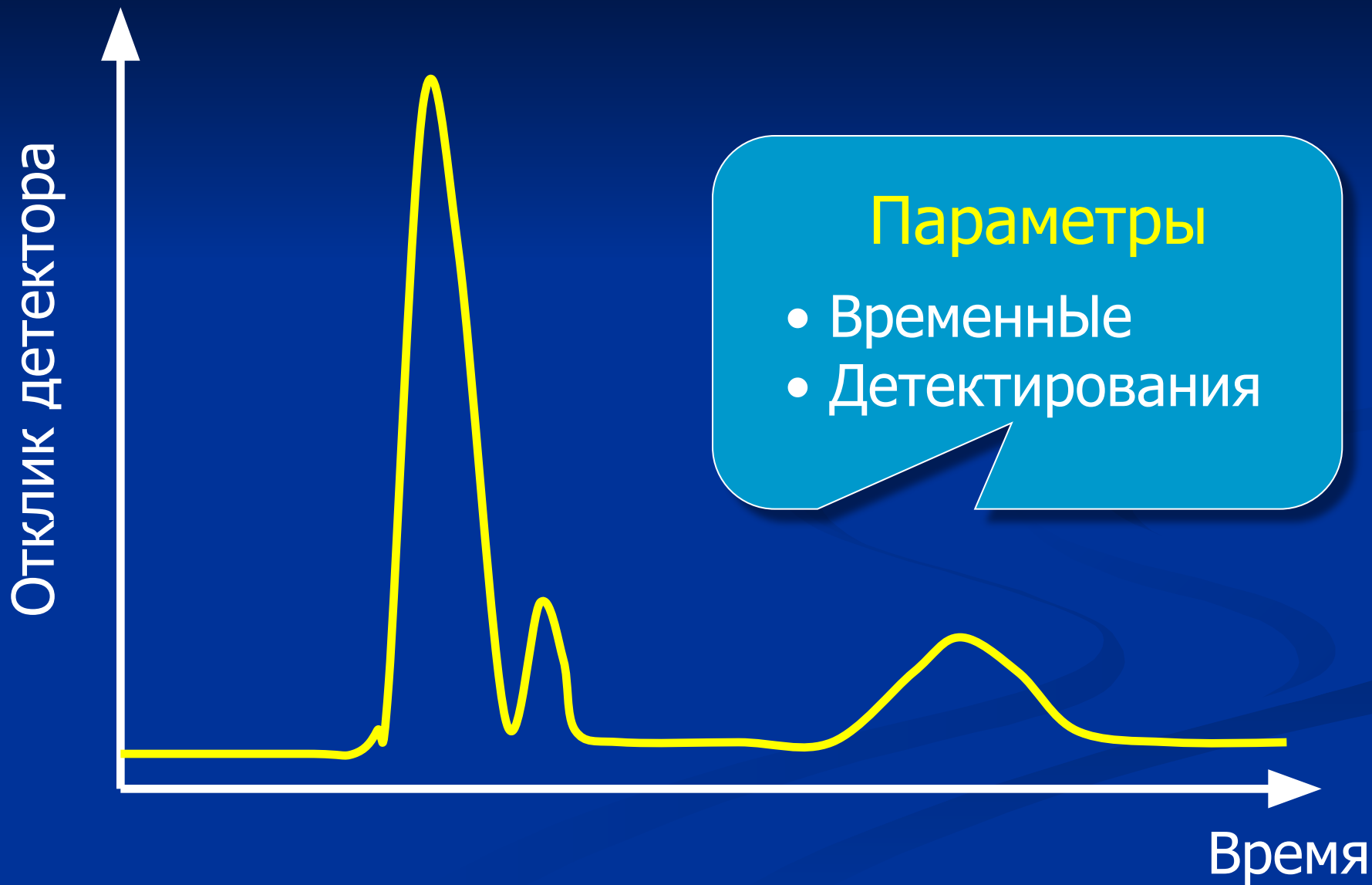
Дифференцированного многократного перераспределения веществ или частиц между несмешивающимися и движущимися относительно друг друга фазами, приводящий к обособлению концентрационных зон индивидуальных компонентов исходных смесей этих веществ или частиц

Гибридный аналитический метод, основанный на дифференцированном многократном распределении компонентов в динамической системе состоящей из двух фаз — подвижной и неподвижной — и последующем их детектировании

Процесс разделения

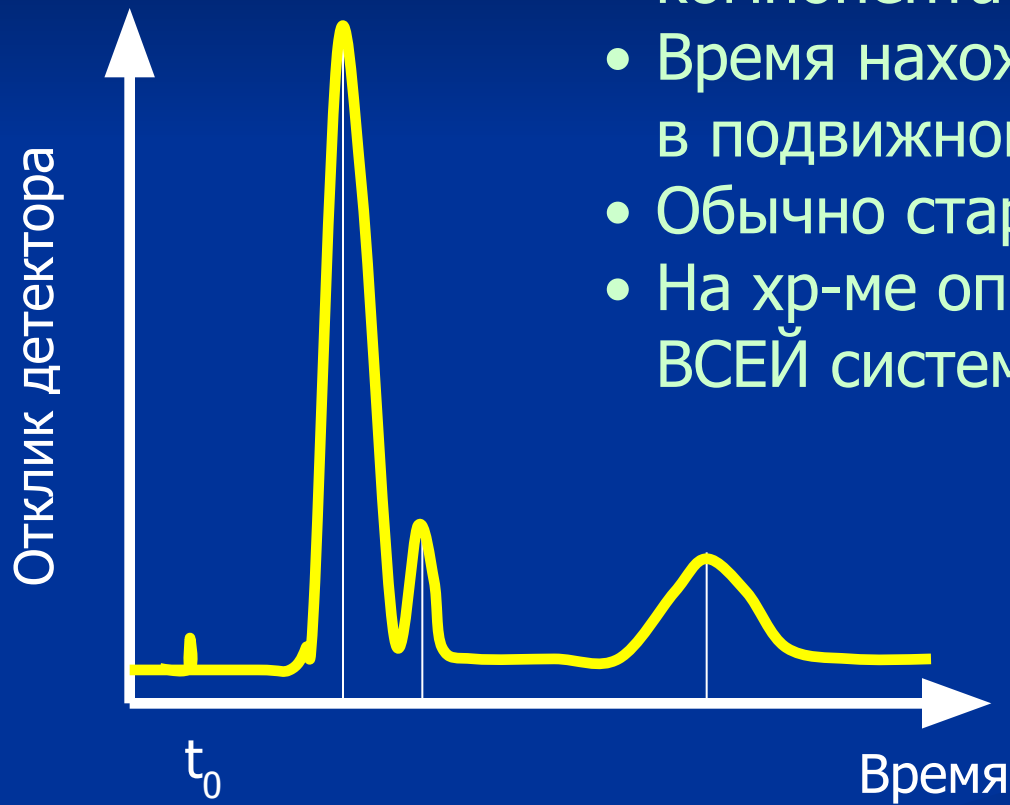


Хроматограмма



Мертвое время (t_0)

- Время выхода неудерживаемого компонента
- Время нахождения компонентов в подвижной фазе
- Обычно стараются минимизировать
- На хр-ме определяется мертвое время ВСЕЙ системы, а не колонки



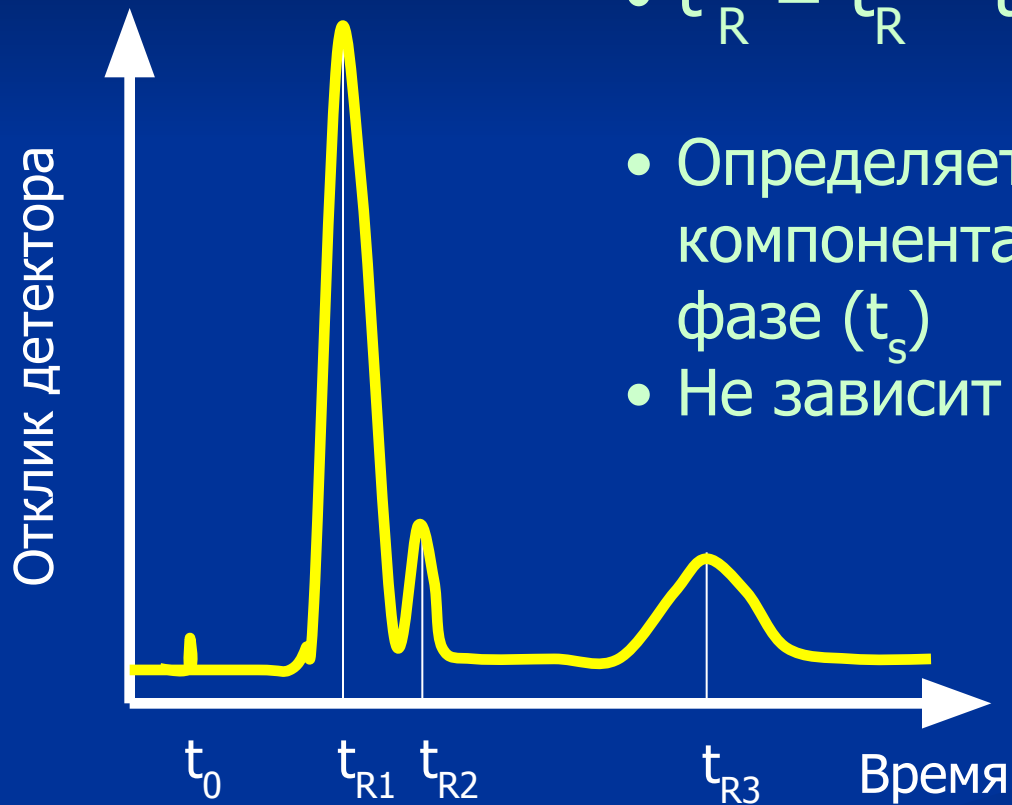
Время удерживания (t_R) (retention time)

- Легко определяется из хроматограммы
- Интуитивно понятно



- Зависит от конструкции системы и скорости потока элюента
- Не может быть адекватной характеристикой при сравнении хроматограмм

Исправленное время удерживания (t_R')



- $t_R' = t_R - t_0$
- Определяет время нахождения компонента в НЕПОДВИЖНОЙ фазе (t_s)
- Не зависит от конструкции системы

Удерживаемый объем (V_x)

Объём подвижной фазы, который нужно пропустить через колонку с определённой объёмной скоростью F (мл/мин), чтобы элюировать в-во

$$V_R = t_R * F$$

! Не зависит от скорости потока подвижной фазы

1 хроматограмма: $F = 1$ мл/мин $t_0 = 2$ мин $t_{R1} = 5$

2 хроматограмма: $F = 0.5$ мл/мин $t_0 = 4$ мин $t_{R1} = 10$ мин

$$V_R = 5 \text{ мл} = \text{const}$$

Исправленный удерживаемый объём (V'_x)

- $V'_R = t'_{Rx} * F$
- $V'_R = V_R - V_0$

Фактор удерживания К (коэффициент емкости)

Коэффициент емкости

$$K = (t_{Rx} - t_0) / t_0$$

- отношение исправленного времени удерживания
к мертвому времени

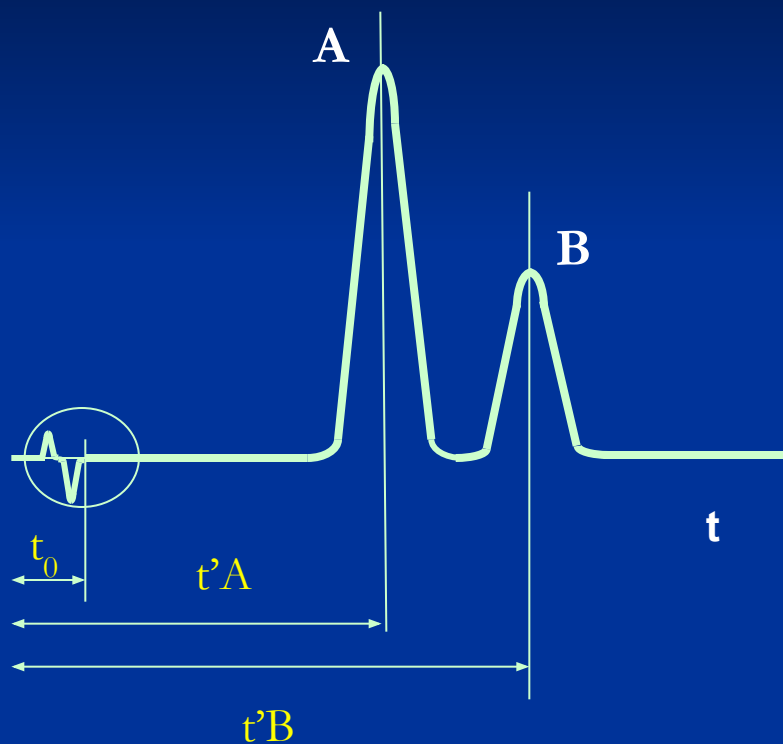
Этот параметр не зависит от размеров колонки,
и широко используется в хроматографической литературе и
расчетах.

Индекс удерживания I (индекс Ковача)

$$I_i = 100n + 100 \frac{\lg(t'_{Rx}) - \lg(t'_{Rn})}{\lg(t'_{Rn+1}) - \lg(t'_{Rn})}$$

где t_{Rn-1} и t_{Rn+1} — время удерживания n -алканов с n и $n+1$ атомами углерода, выходящих из колонки до и после рассматриваемого соединения с временем удерживания t_{Rx} .

Относительное удерживание (или селективность) α

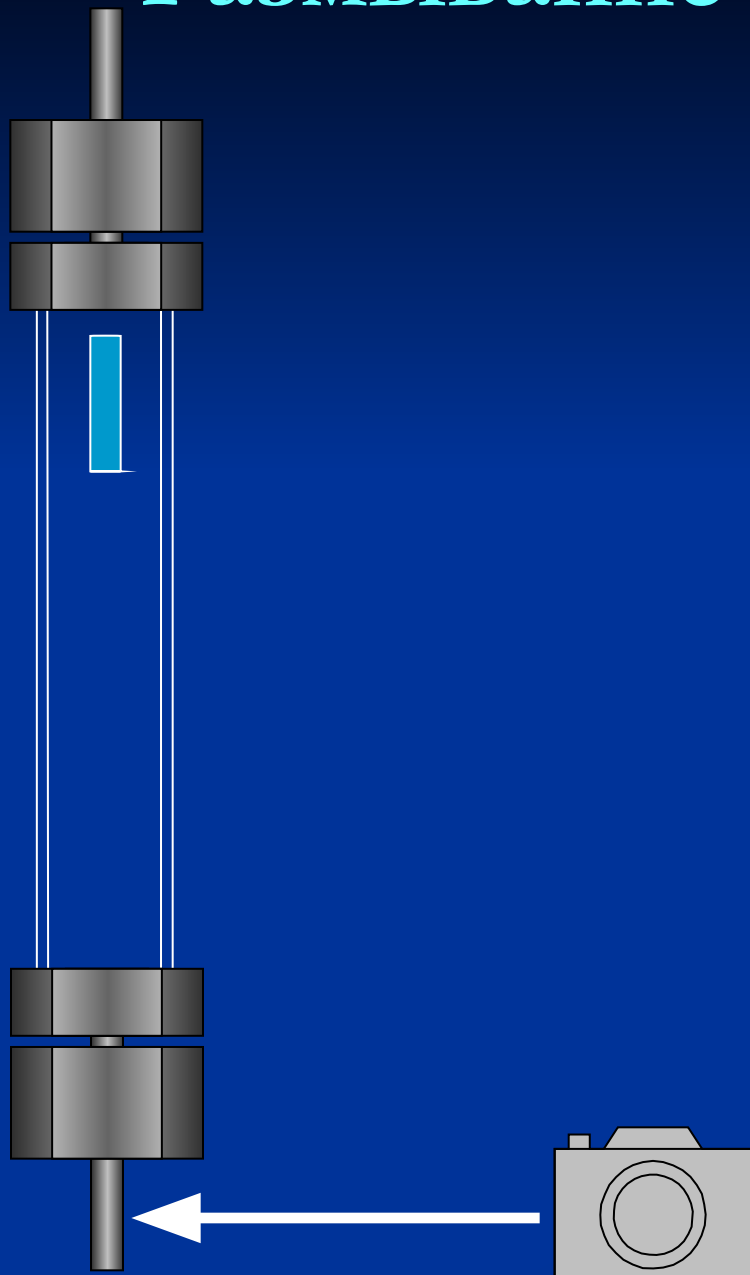


$$\alpha^B_A = t'_B / t'_A$$

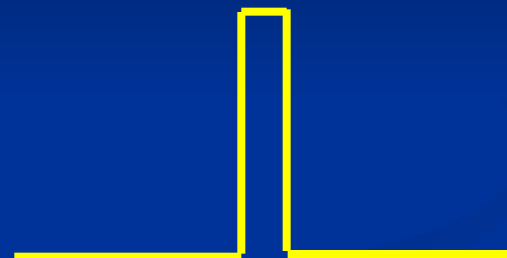
$$\alpha^B_A > 1$$

Селективность — это **способность** хроматографической системы **разделять** данную пару веществ A и B.

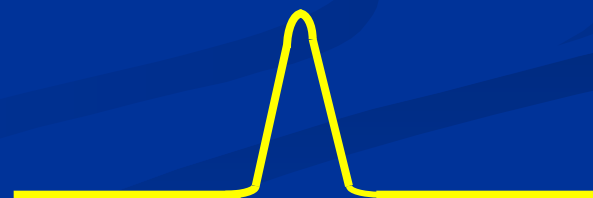
Размывание зоны компонента



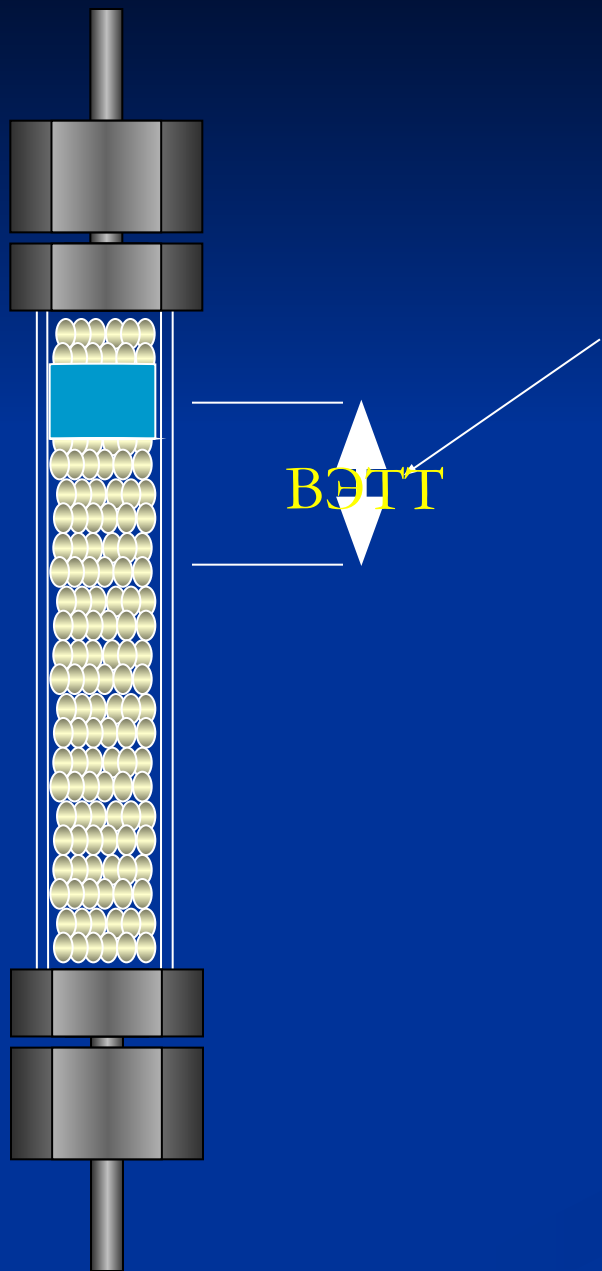
Теоретическая форма пика



Реальная форма пика



Теория теоретических тарелок



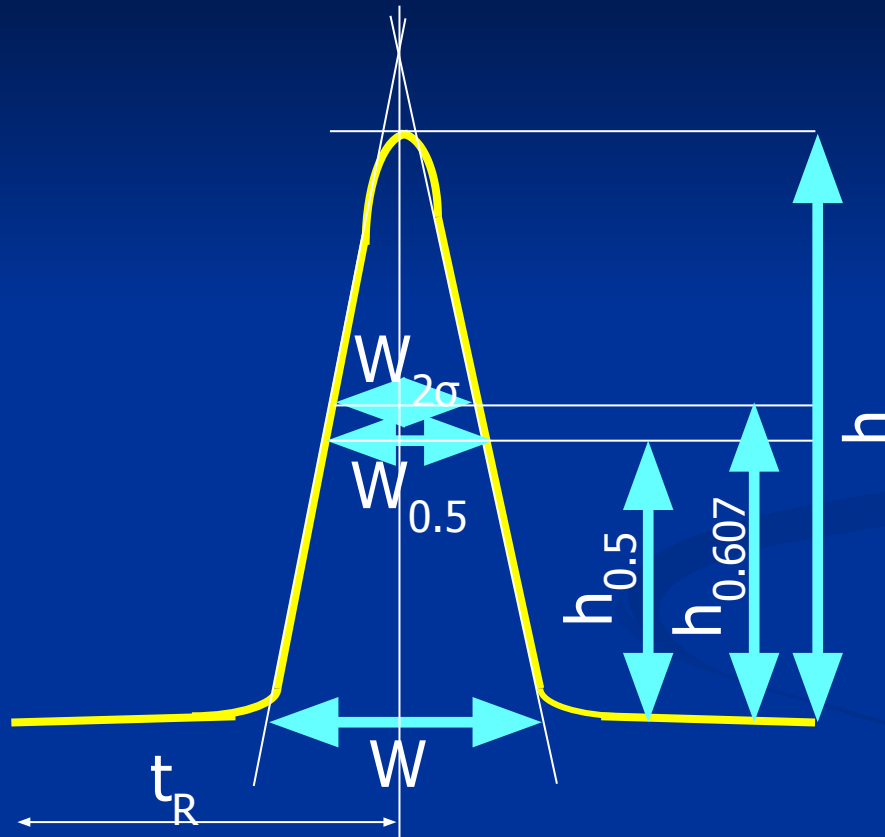
Высота эквивалентная теоретической тарелке (ВЭТТ)

Соответствует высоте слоя сорбента, при прохождении которой акт сорбции—десорбции успевает совершиться в среднем один раз.

$$N = L / H_{\text{ВЭТТ}}$$

Отражает качество использованного сорбента и заполнения колонки.

Эффективность колонки и ширина пика



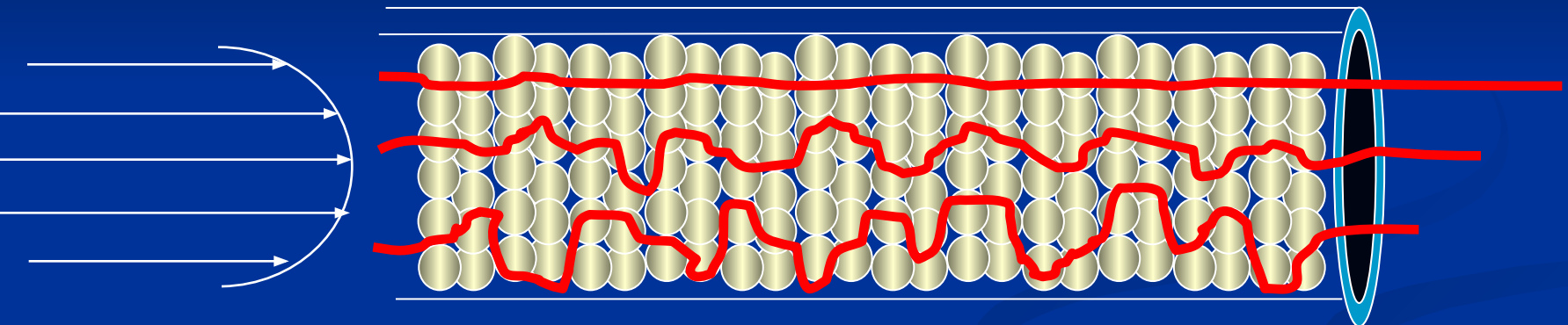
$$N = 16 \cdot \left(\frac{t_R}{W} \right)^2 = 5.54 \cdot \left(\frac{t_R}{W_{0.5}} \right)^2 = 4 \cdot \left(\frac{t_R}{W_{2\sigma}} \right)^2$$

Допущения теории теоретических тарелок

- Колонка состоит из ступеней (тарелок),
на которых происходит разделение
- Равновесие на каждой тарелке устанавливается
мгновенно
- Количество веществ в пробе существенно меньше,
чем возможных мест для адсорбции
- Скорость потока элюента не учитывается (не влияет)

Кинетическая теория размывания

Скорость перемещения по колонке отдельных молекул отличается от средней скорости, характерной для данного соединения



- Неоднородность потока подвижной фазы.
- Продольная диффузия в неподвижной и подвижной фазах
- Кинетика массопередачи в неподвижной и подвижной фазах
- Неравновесность процесса внутри застойных зон

Кинетическая теория размывания

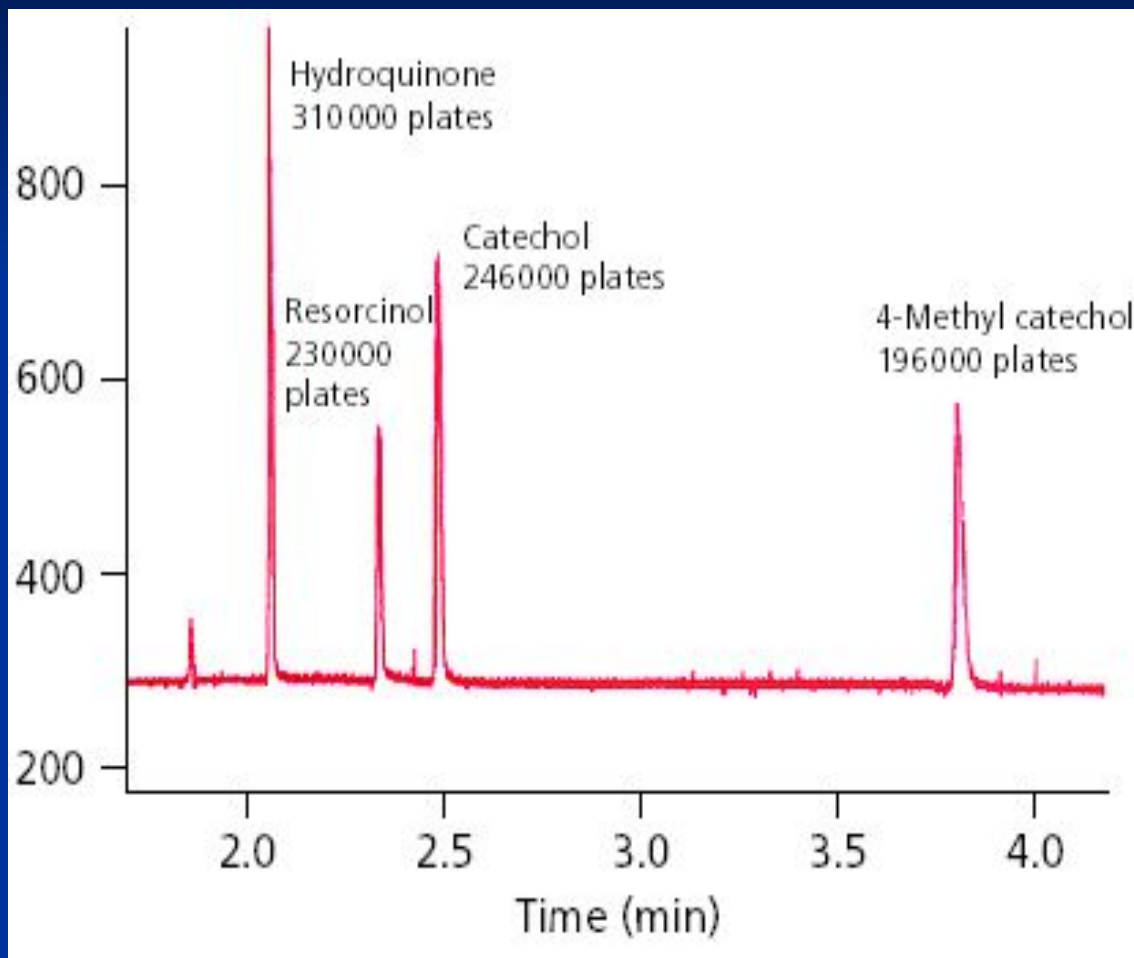
Эффективность зависит от:

- Диаметра зерен сорбента, их геометрии и монодисперсности
- Качества набивки колонки
- Мертвого объема системы
- Скорости потока элюента

Зависимость эффективности в ВЭЖХ от размера частиц сорбента

	Диаметр зерна, мкм	Эффективность, тг/м
1965	30	10 000
1971	10	30 000
1975	5	60 000
1978	3	100 000
1990	1.5	360 000

Хроматография при ультравысоких давлениях



Колонка: 43 см x 30 мкм

Сорбент: 1 мкм

Давление: 7100 атм

Максимальная
эффективность: 625000
теор.т./м

Вес установки ~ 7 тонн

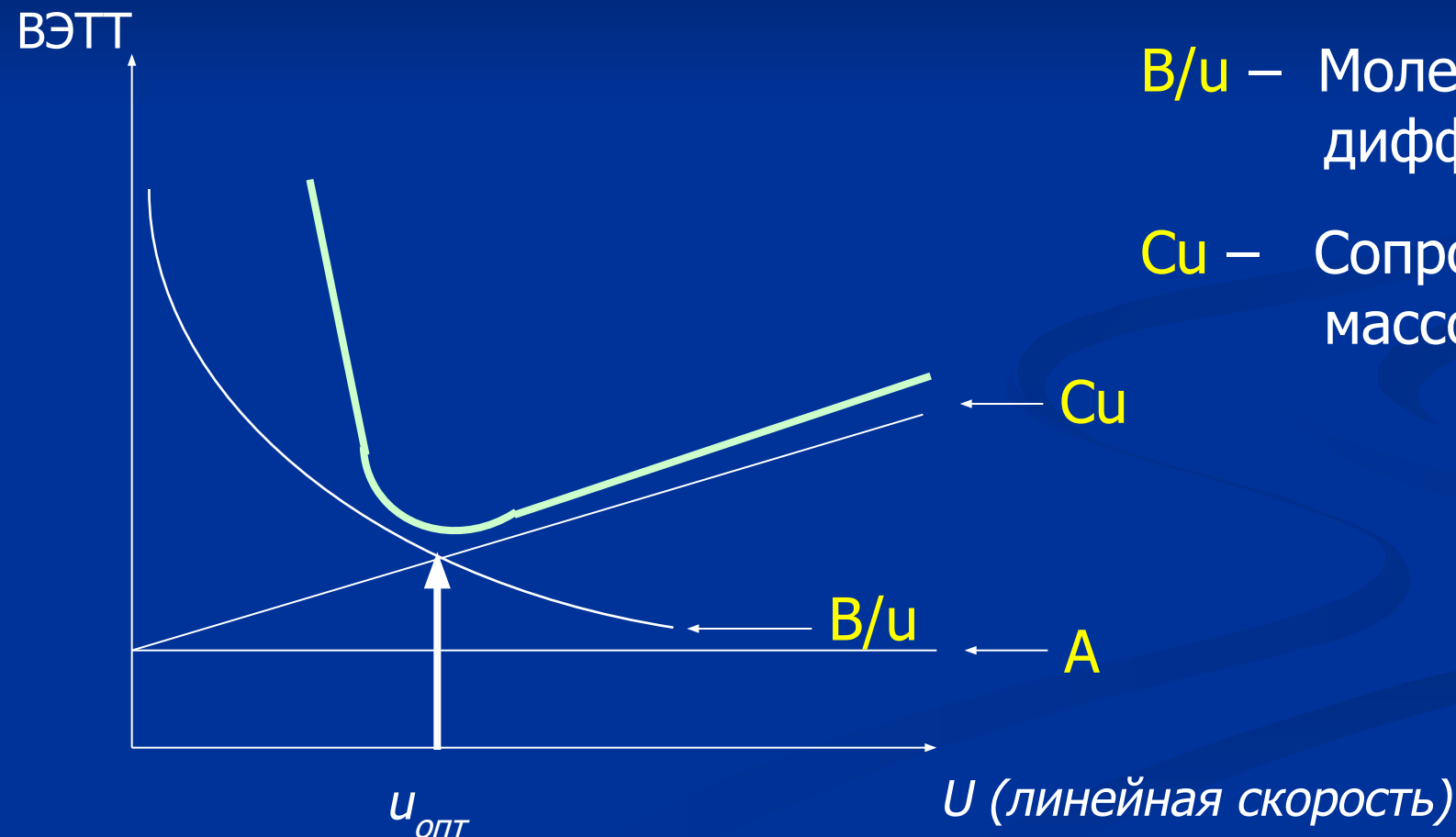
Уравнение Ван-Деемтера

$$\text{ВЭТТ} = A + B/u + Cu$$

A — Вихревая
диффузия

B/u — Молекулярная
диффузия

Cu — Сопротивление
массопереносу



Что есть что в уравнении Ван-Деемтера

$$ВЭТТ = A + B/u + Cu$$

Вихревая диффузия: $A = 2\lambda d_r$

λ – коэффициент гомогенности упаковки колонки (0.1-0.8)

d_r – диаметр зерна сорбента

(влияние различных траекторий движения)

Молекулярная диффузия: $B =$

$2\gamma D_m$
 γ – коэффициент (< 1)

D_m – коэффициент диффузии пробы в подвижной фазе

(размывание пробы в результате диффузии)

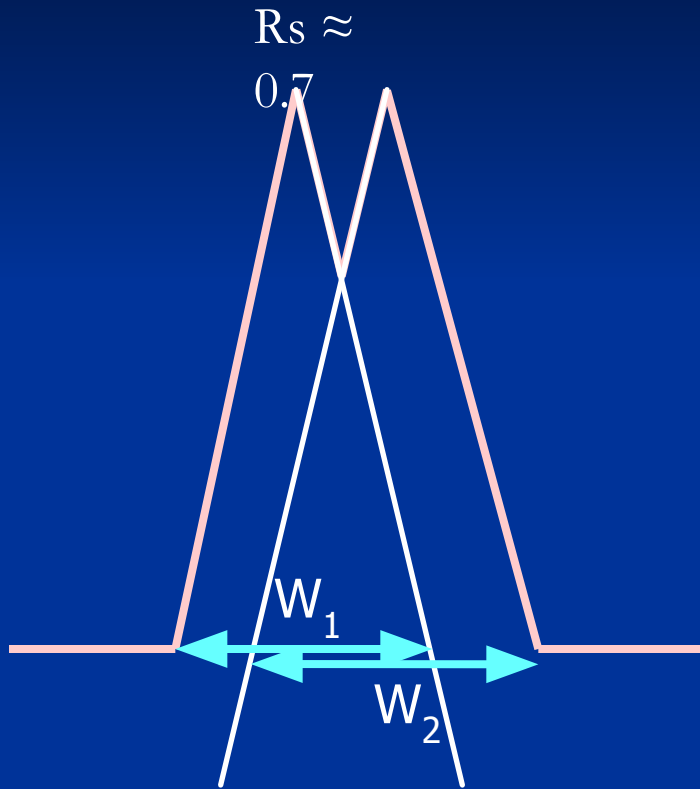
Сопротивление массопереносу: $C \sim \phi d_r^2 / D_m$

ϕ – функция коэффициента емкости k'

d_r^2 – толщина пленки неподвижной фазы (величина диффузионного пути)

(изменение кинетики сорбции-десорбции)

Критерий разделения R_s

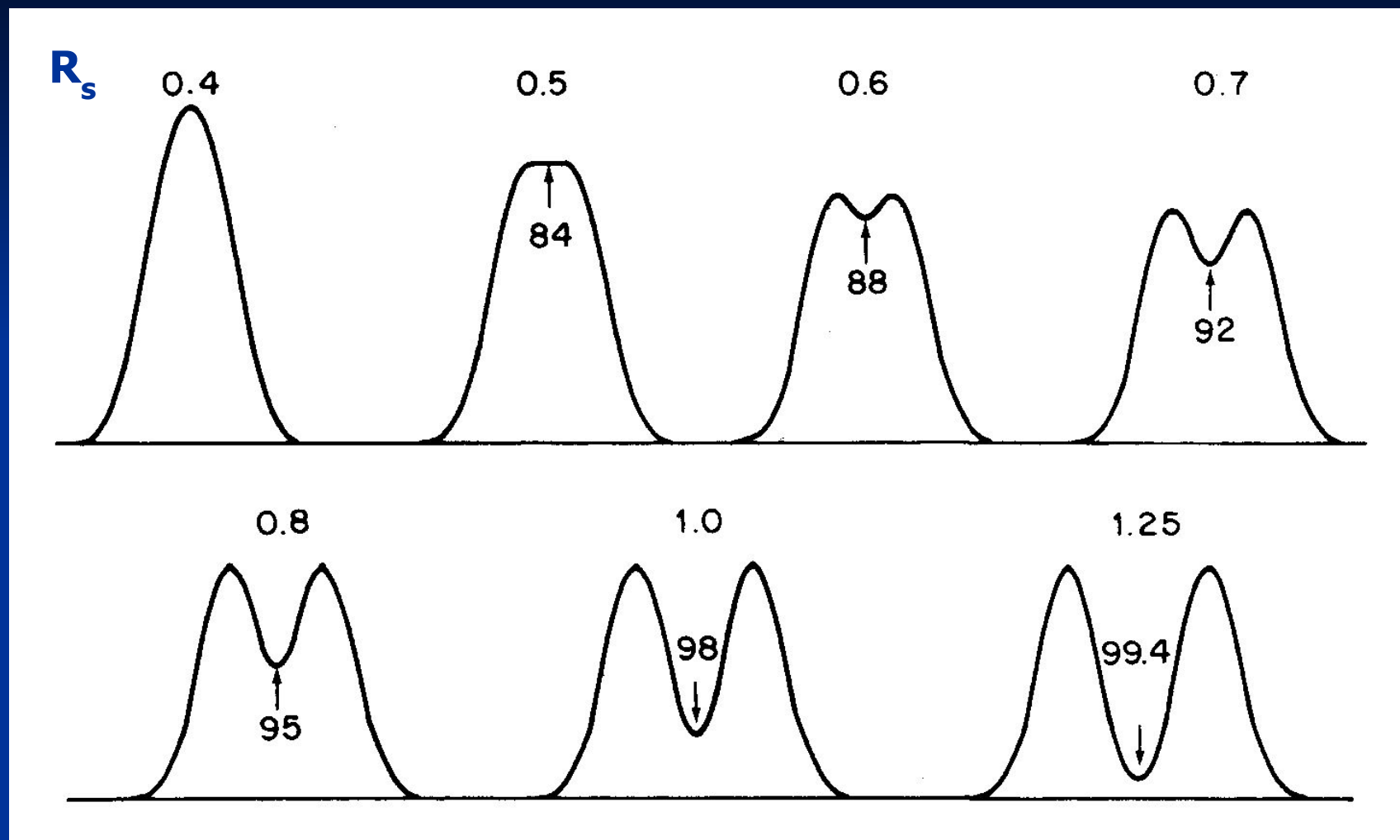


$$R_s = \frac{2 \cdot (t_{R2} - t_{R1})}{W_1 + W_2}$$

$$R_s = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{\alpha - 1}{\alpha} \right) \cdot \left(\frac{\bar{K}'}{1 + \bar{K}'} \right) \cdot \sqrt{N}$$

- Продолжает увеличиваться при увеличении времени второго пика и уже полном разрешении

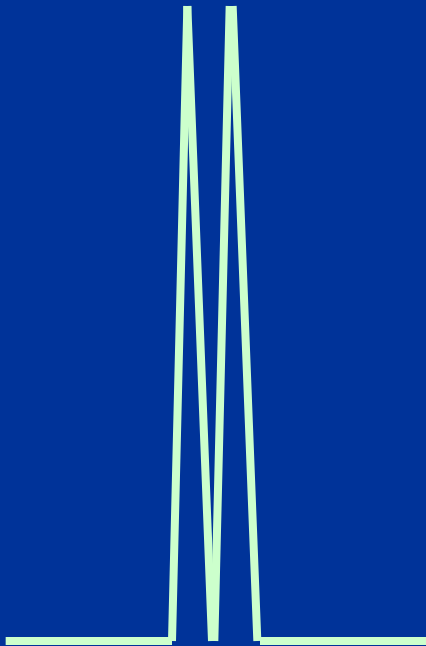
Связь разрешения и перекрывания пиков



При количественном (100%) разрешении пиков $R_s = 1.5$

Влияние удерживания (K), селективности (α) и эффективности (N) на разделение

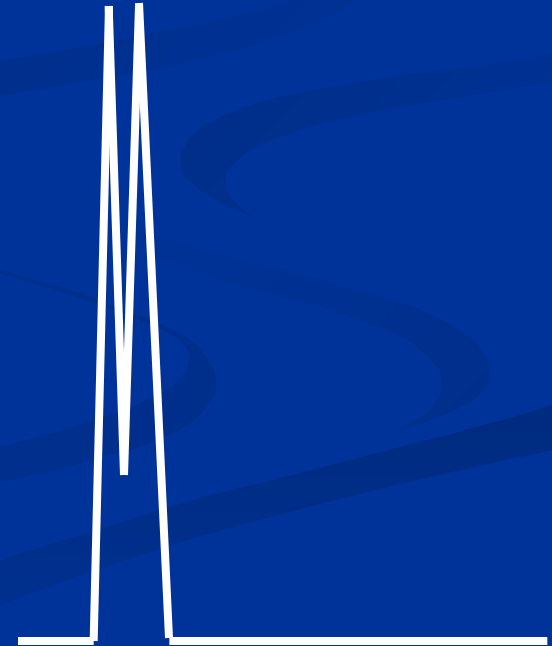
$K = 5$
 $\alpha = 1.2$
 $N = 10\ 000$



$K = 5$
 $\alpha = 1.7$
 $N = 400$



$K = 0.5$
 $\alpha = 1.4$
 $N = 15\ 000$

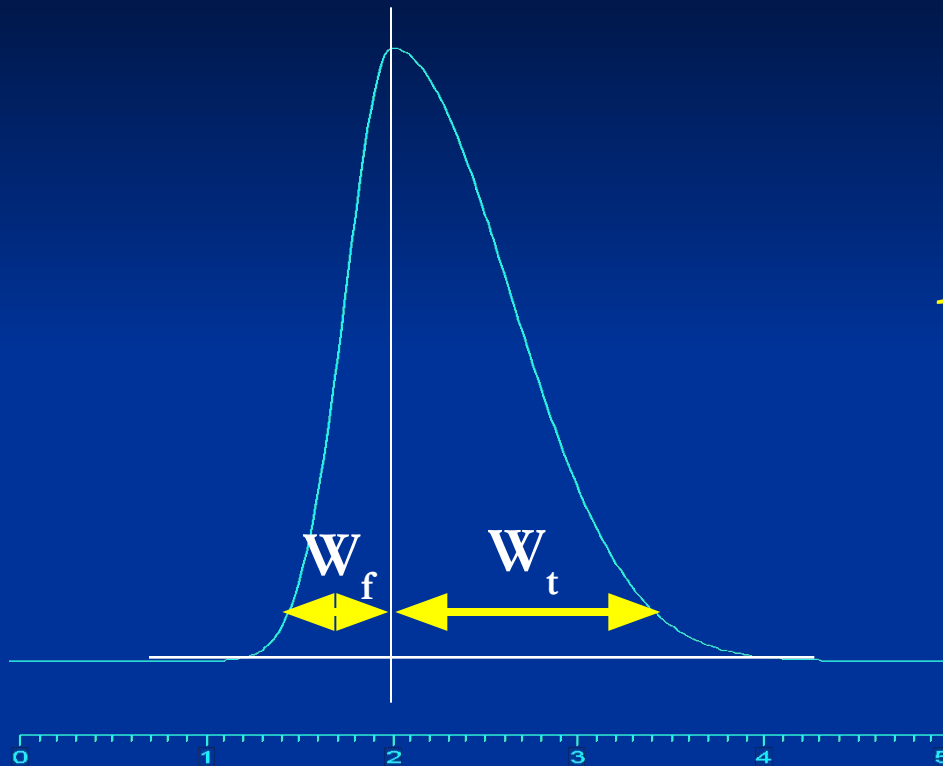


Необходимая эффективность при заданной селективности

Селективность, α	Эффективность, тт/м	
	$R_s = 1.0$	$R_s = 1.5$
1.005	650 000	1 450 000
1.05	7 100	16 000
1.15	940	2 100
1.25	400	900
1.50	140	320
2.00	65	145

Пороговая селективность – около 1.1

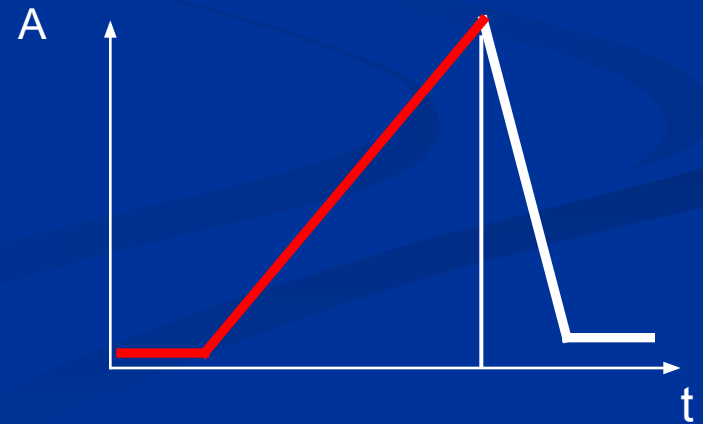
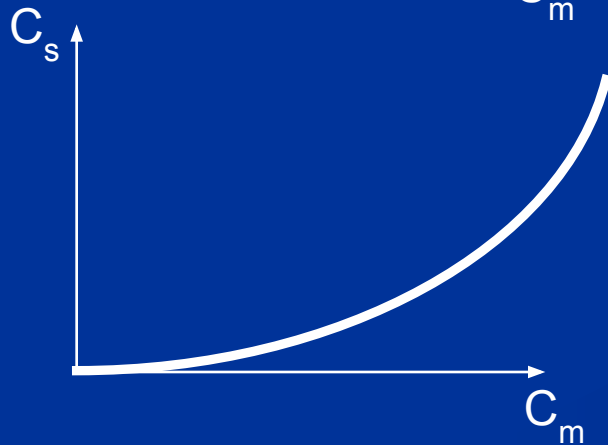
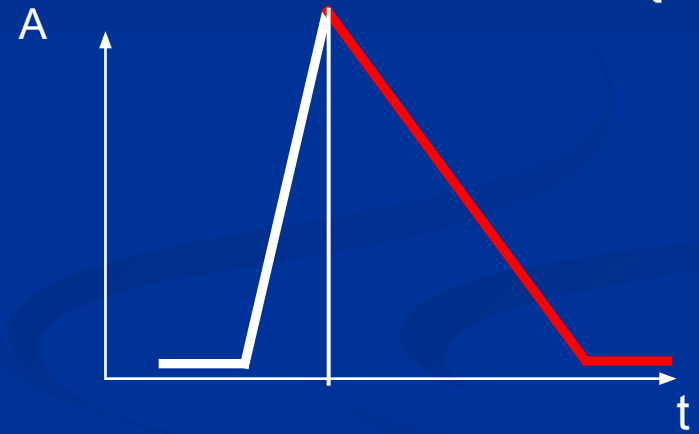
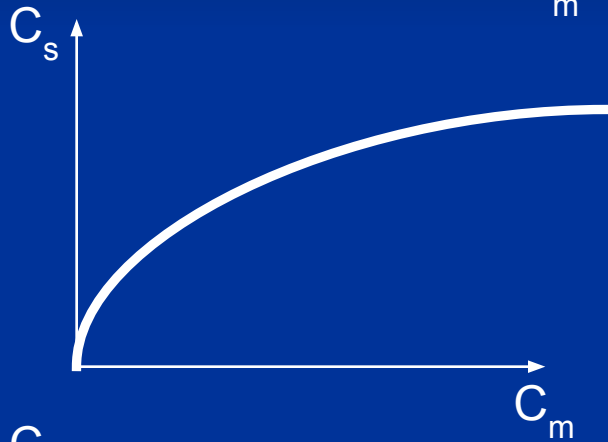
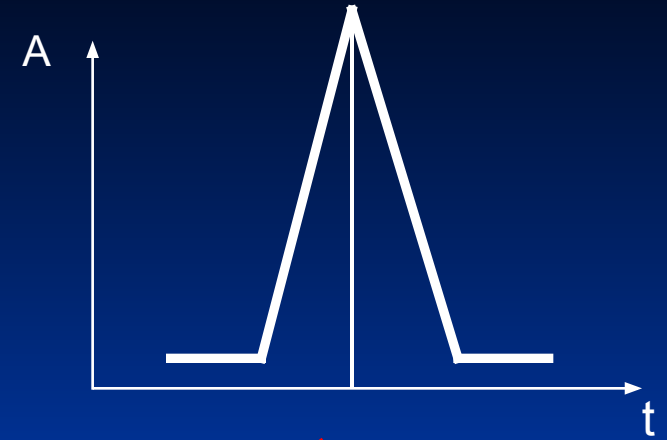
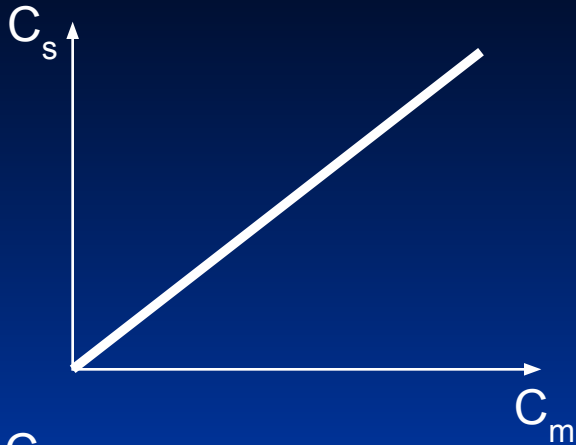
Коэффициент асимметрии, A_s



$$A_s = W_{t(0.1)} / W_{f(0.1)}$$

- Взаимодействие образца с силанольными группами сорбента
- Неоднородность сорбента (мелкая фракция, несферичность)
- Отравление колонки тяжелыми металлами (в ионной хр-фии)
- Образование полости в слое сорбента (или его проседание)

Связь изотермы и формы пика



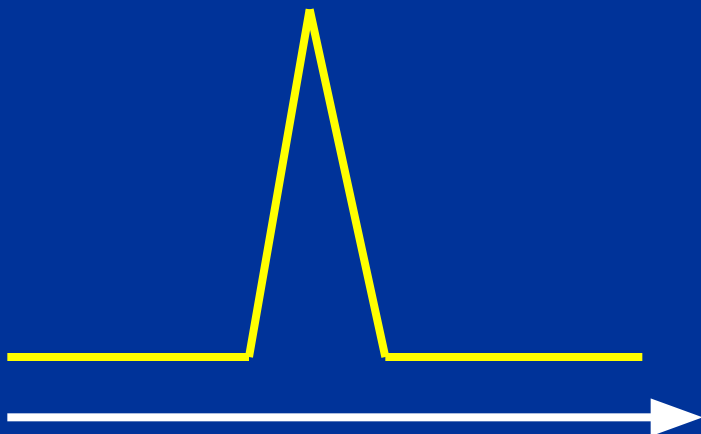
Факторы, улучшающие разрешение пиков

- Увеличение длины колонки
- Уменьшение внутреннего диаметра колонки
- Оптимальная скорость потока элюента
- Однородность сорбента, его сферичность
- Однородность набивки колонки
- Уменьшение объема вводимой пробы
- Правильный выбор подвижной фазы
- Использование *градиентного элюирования*
- Правильный выбор неподвижной фазы

Принципы прямого и косвенного детектирования

Прямое

Аналитический сигнал дает определяемое вещество,
сигнал элюента
принимается нулевым

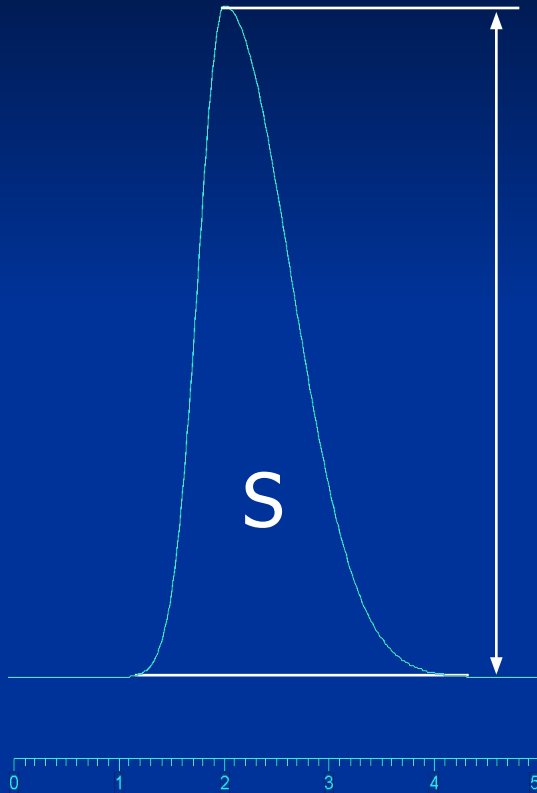


Косвенное

Аналитический сигнал дает элюент,
сигнал определяемого в-ва
значительно меньше



Количественный анализ в хроматографии

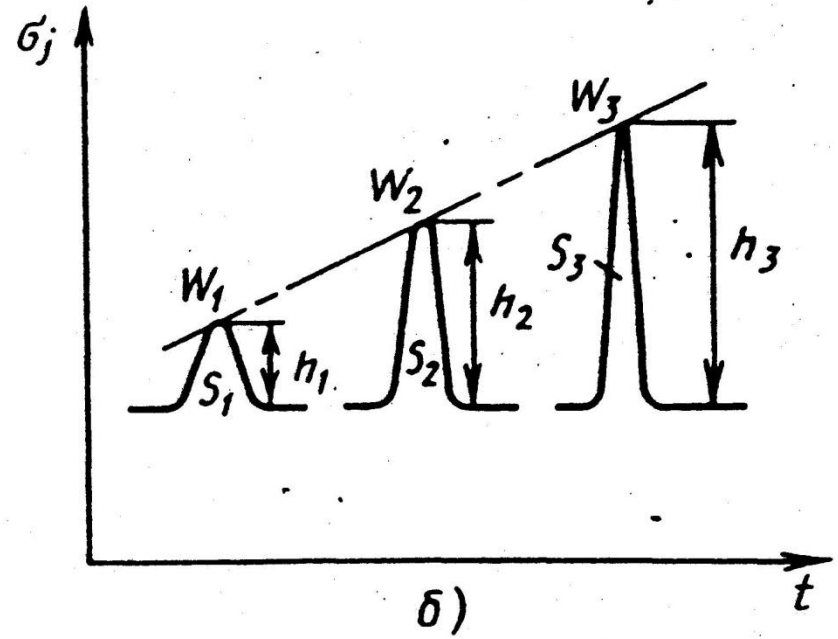
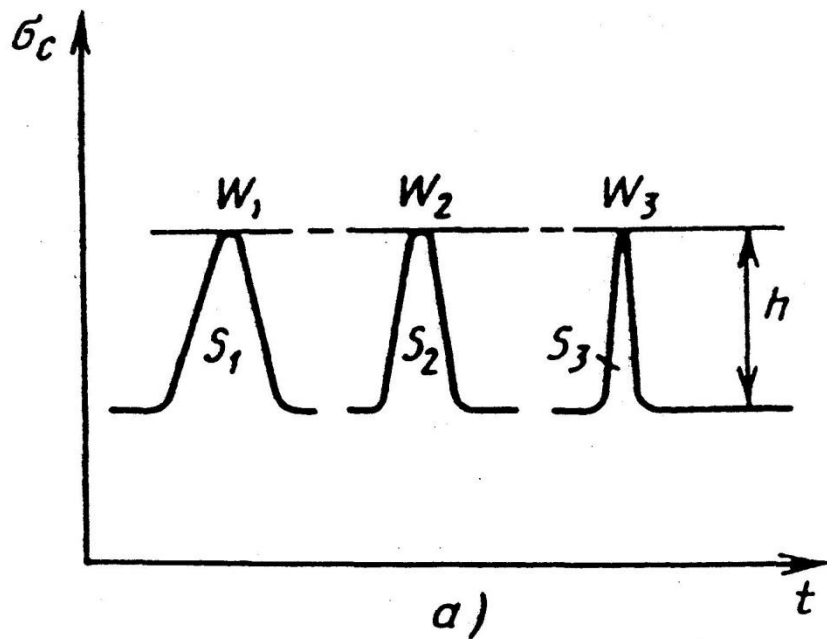


- Количественной характеристикой является **высота** или **площадь** пика
- При наличии маленьких или несимметричных пиков **предпочтительнее** использовать **расчет по площадям** пиков

Концентрационные и потоковые детекторы в хроматографии

- В концентрационном детекторе его сигнал пропорционален **концентрации** определяемого вещества
- В потоковом детекторе - его **количеством**, попадающем в детектор в единицу времени.

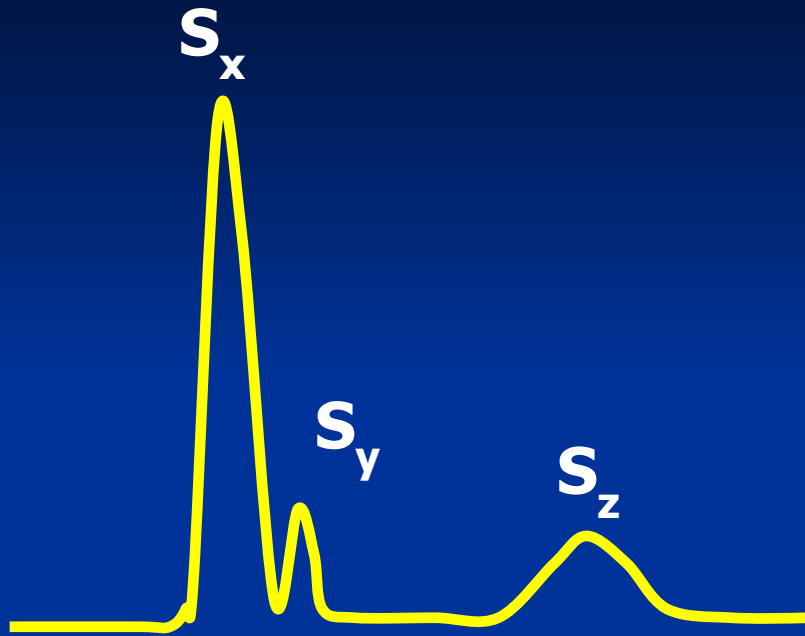
Зависимость показаний детекторов от расхода подв. фазы



Методы количественного анализа в хроматографии

- Метод нормировки
- Метод внешнего стандарта
- Метод добавок
- Метод внутреннего стандарта

Метод внутренней нормализации

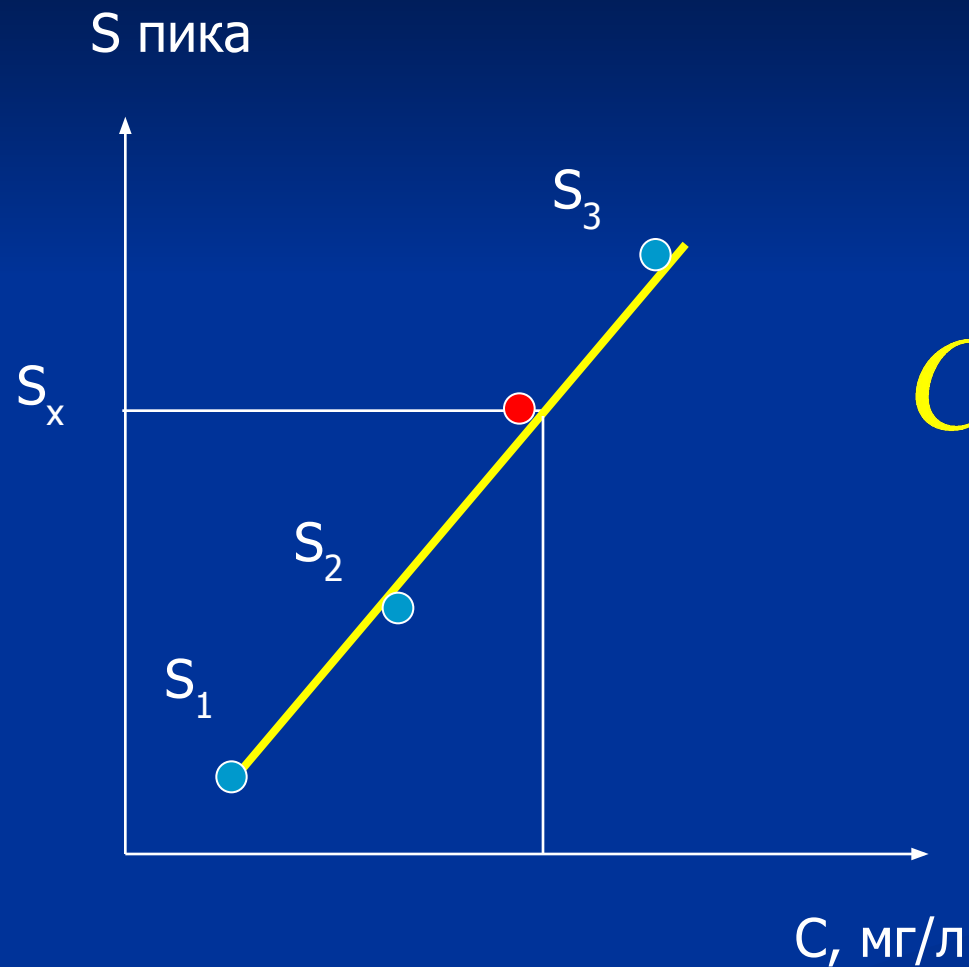


$$X, \% = \frac{S_x}{S_x + S_y + S_z} \cdot 100$$

$$X, \% = \frac{S_x f_x}{\sum_{i=1}^n S_n f_n} \cdot 100$$

$$f_{xm} = \frac{S_{cm}}{S_{xm}} \frac{C_x}{C} f$$

Метод внешнего стандарта



$$C_x = A \cdot S_x + B$$

Метод добавок

S пика

S_2

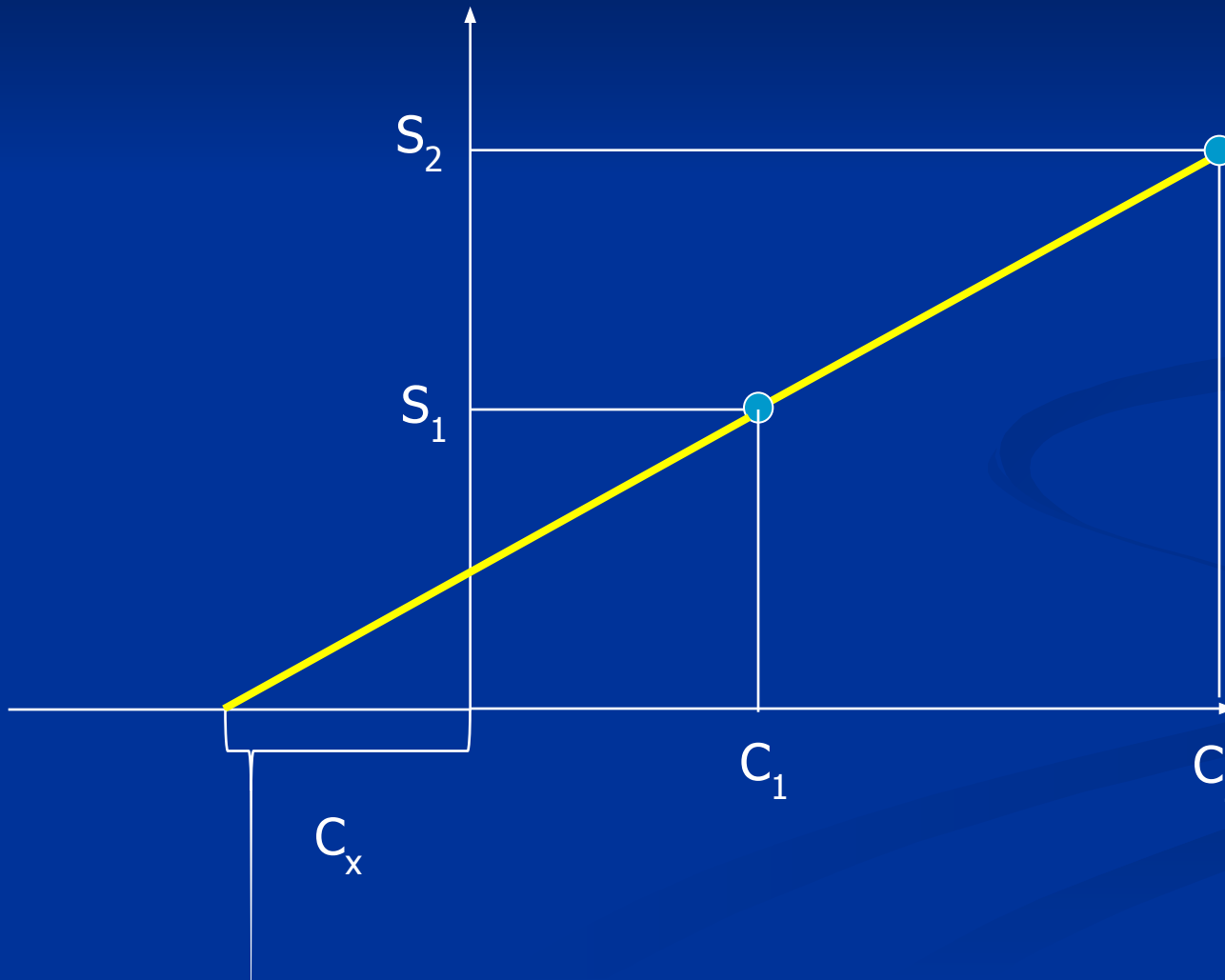
S_1

C_1

C_2

C_x

C добавки



Метод внутреннего стандарта

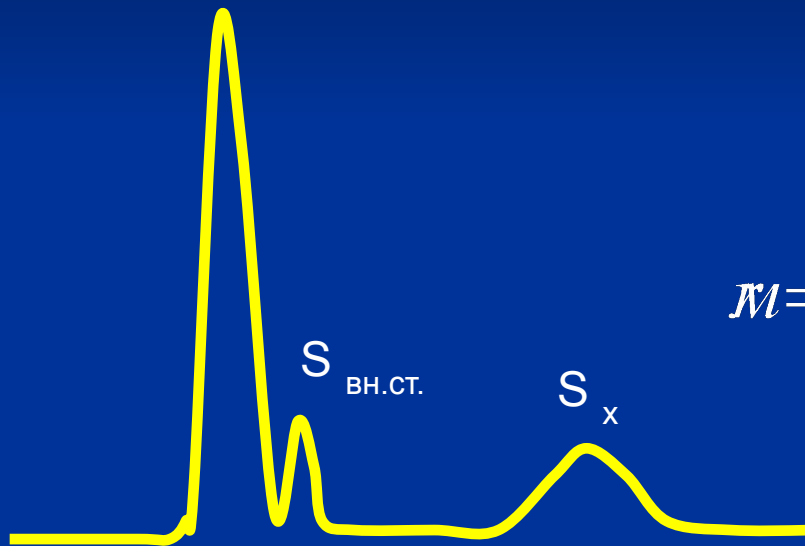
Основан на введении в анализируемую смесь определенного количества постороннего вещества
(внутреннего стандарта)

Требования к внутреннему стандарту

- отсутствовать в анализируемой пробе
- иметь структуру, близкую к определяемому веществу (ОВ)
- иметь время удерживания, близкое к ОВ
- иметь концентрацию, близкую к ОВ
- давать отклик, сходный с ОВ
- полностью отделяться от ОВ и др. компонентов пробы
- быть химически инертным

Метод внутреннего стандарта (продолжение)

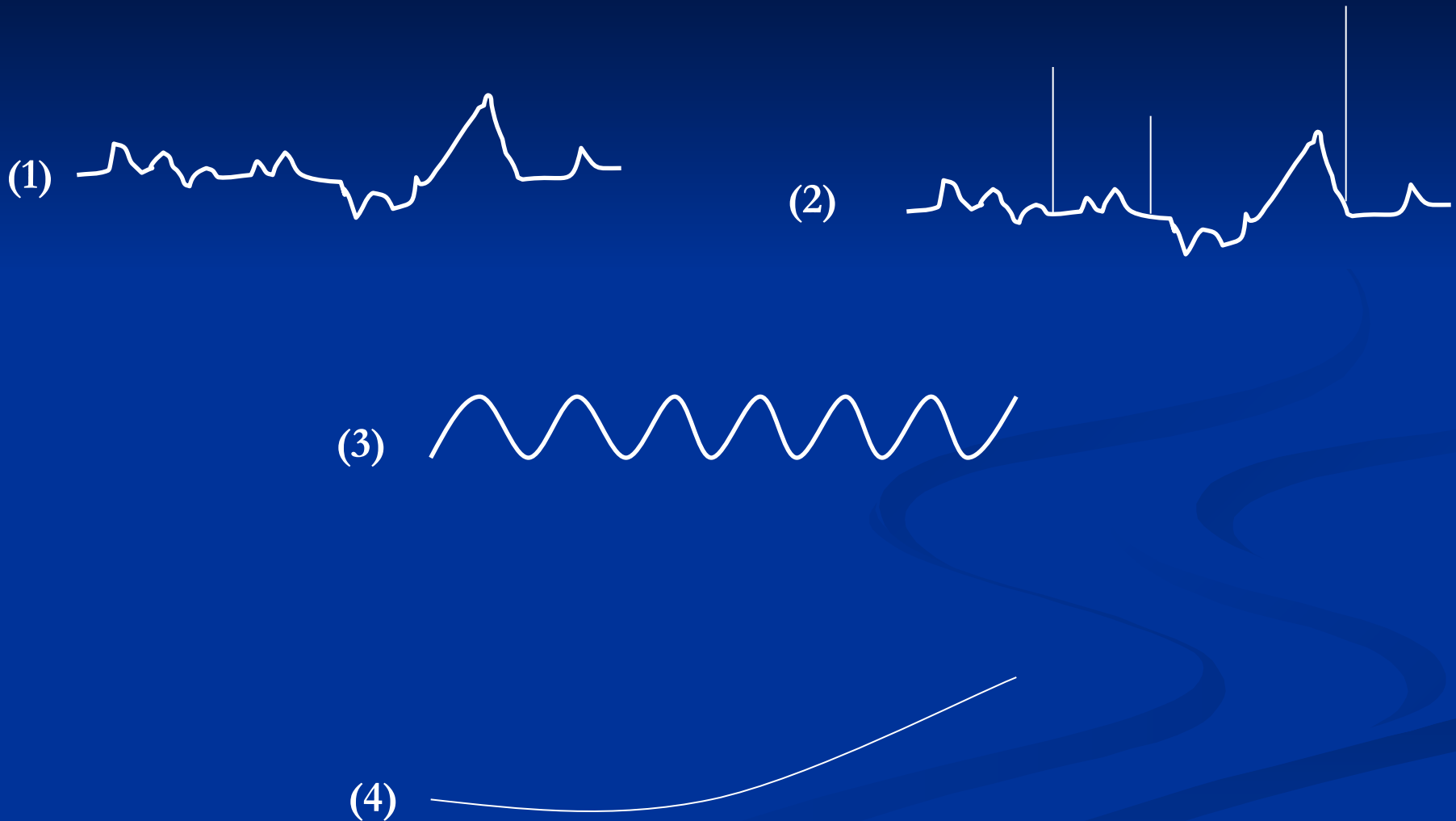
$$k = \frac{S_{\text{вн.ст.}}}{S_{\text{вн.ст.}}} \frac{C_x}{C}$$



$$m = \frac{m_{\text{вн.ст.}}}{m_{\text{пробы}}} \quad (= ,)$$

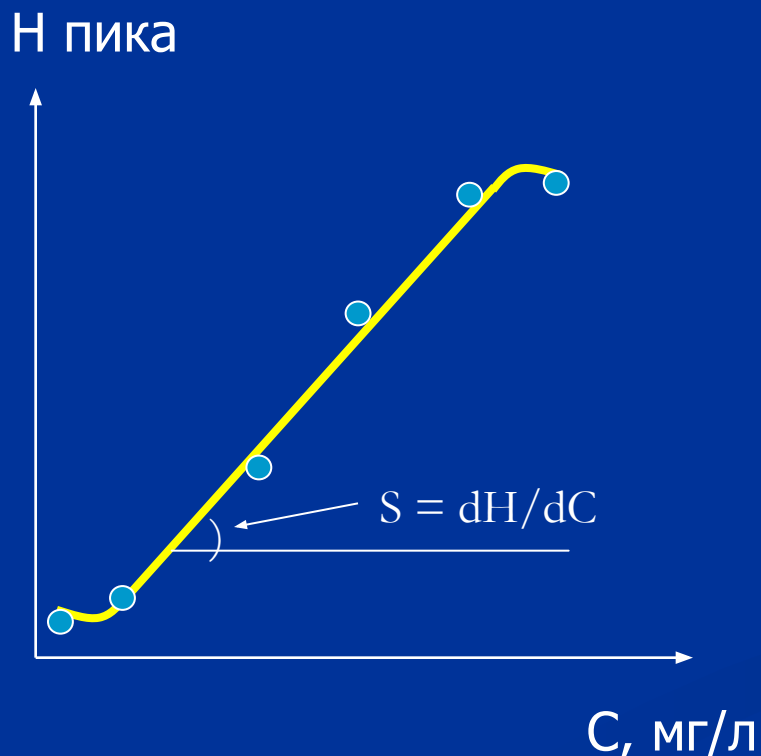
$$x, \% = kr \frac{S_x}{S_{\text{вн.ст.}}} \cdot 100$$

Флуктуации базовой линии в хроматографии

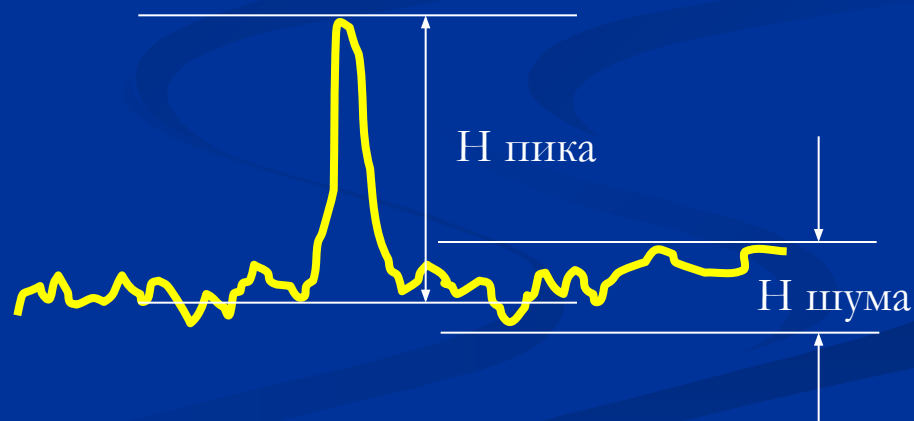


Чувствительность и предел обнаружения

Чувствительность – определяется наклоном градуировочного графика



Предел обнаружения – наименьшее содержание, при котором компонент можно обнаружить с заданной вероятностью по данной методике



$$H \text{ пика} = 3 * H \text{ шума}$$

Российское хроматографическое приборостроение

- **АКВИЛОН**, *Москва* (жидкостная и ионная)
- **ХИМАВТОМАТИКА**, *Москва* (жидкостная, газовая, детекторы)
- **ЛЕНХРОМ**, *Санкт-Петербург* (тонкослойная)
- **ЛЮМЭКС**, *Санкт-Петербург* (жидкостная и газовая, электрофорез)
- **СОРЕПОЛИМЕР**, *Краснодар* (тонкослойная)
- **МЕТА-ХРОМ**, *Йошкар-Ола* (газовая)
- **ХРОМАТЭК**, *Йошкар-Ола* (газовая)
- **ЭКОНОВА**, *Новосибирск* (жидкостная)

Мировое хроматографическое приборостроение

- **AGILENT** (жидкостная, газовая, детекторы, электрофорез)
- **THERMO** (жидкостная, газовая, детекторы)
- **WATERS** (жидкостная)
- **PERKIN-ELMER** (жидкостная)
- **SHIMADZU** (жидкостная)
- **DIONEX** (ионная)
- **METROHM** (ионная, жидкостная)
- **VARIAN** (жидкостная, детекторы, спектральные приборы)
- **KNAUER** (препаративная жидкостная)
- **САМАК** (тонкослойная)

Основные журналы по хроматографии

- Журнал аналитической химии
- Журнал физической химии
- Заводская лаборатория
- Analytical Chemistry
- Journal of Chromatography A, B
- Chromatographia
- Journal of High Resolution Chromatography
- Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies
- Analytical Science
- Analytical Biochemistry
- Ion exchange and Membranes

Дополнительная литература по хроматографии

- *Сакодынский К.И., Бражников В.В. и др. Аналитическая хроматография.* М.: Химия. 1993, 464 с.
- *Киселев А.В., Яшин Я.И. Адсорбционная газовая и жидкостная хроматография.* М.: Химия. 1979, 288 с.
- *Стыскин Е.Л., Ициксон Л.Б., Брауде Е.В. Практическая высокоэффективная жидкостная хроматография* М.: Химия. 1986, 172 с.
- *Шпигун О.А., Золотов Ю.А. Ионная хроматография.* М.: Изд-во Моск. Ун-та. 1990. 198с.
- *Схунмакерс П. Оптимизация селективности в хроматографии* М.: Мир. 1989. 399 с.
- *Даванков В.А., Навратил Дж., Уолтон Х. Лигандообменная хроматография.* М.: Мир. 1989. 294 с.
- *Руководство по современной тонкослойной хроматографии / Под ред. О.Г.Ларионова.* - М. : Научный Совет по хроматографии РАН, 1994. - 312 с.

Классификации хроматографических методов

Классификация хроматографических методов анализа

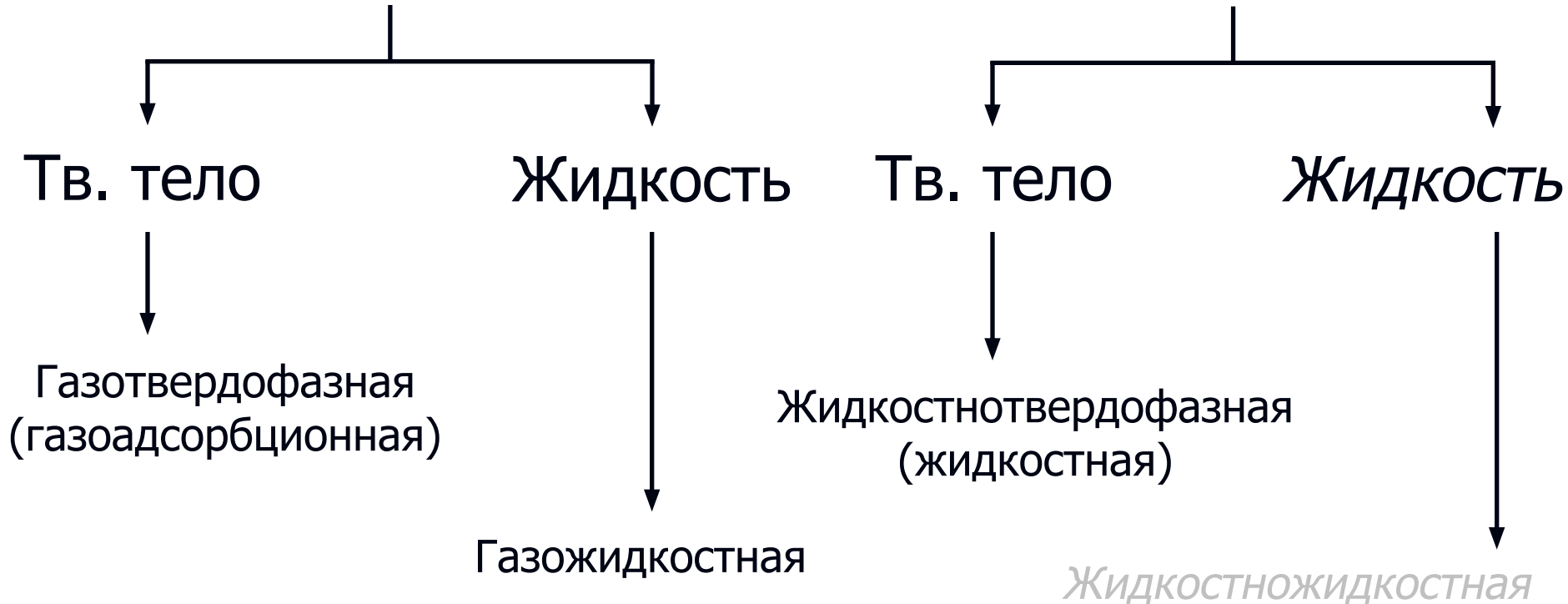
- По агрегатному состоянию подв. фазы (газовая, жидкостная)
- По механизму разделения (распределительная, адсорбционная, ионообменная, эксклюзионная и др.)
- По технике исполнения (колоночная, планарная и др.)
- По целям и задачам (аналитическая, препаративная)
- По способу перемещения сорбата (элюентная, вытеснительная, фронтальная)
- По способу детектирования (прямой, косвенный)

Классификация по агрегатному состоянию фаз

1. Сначала классифицируют подвижную фазу



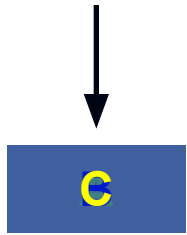
2. Затем классифицируют неподвижную фазу



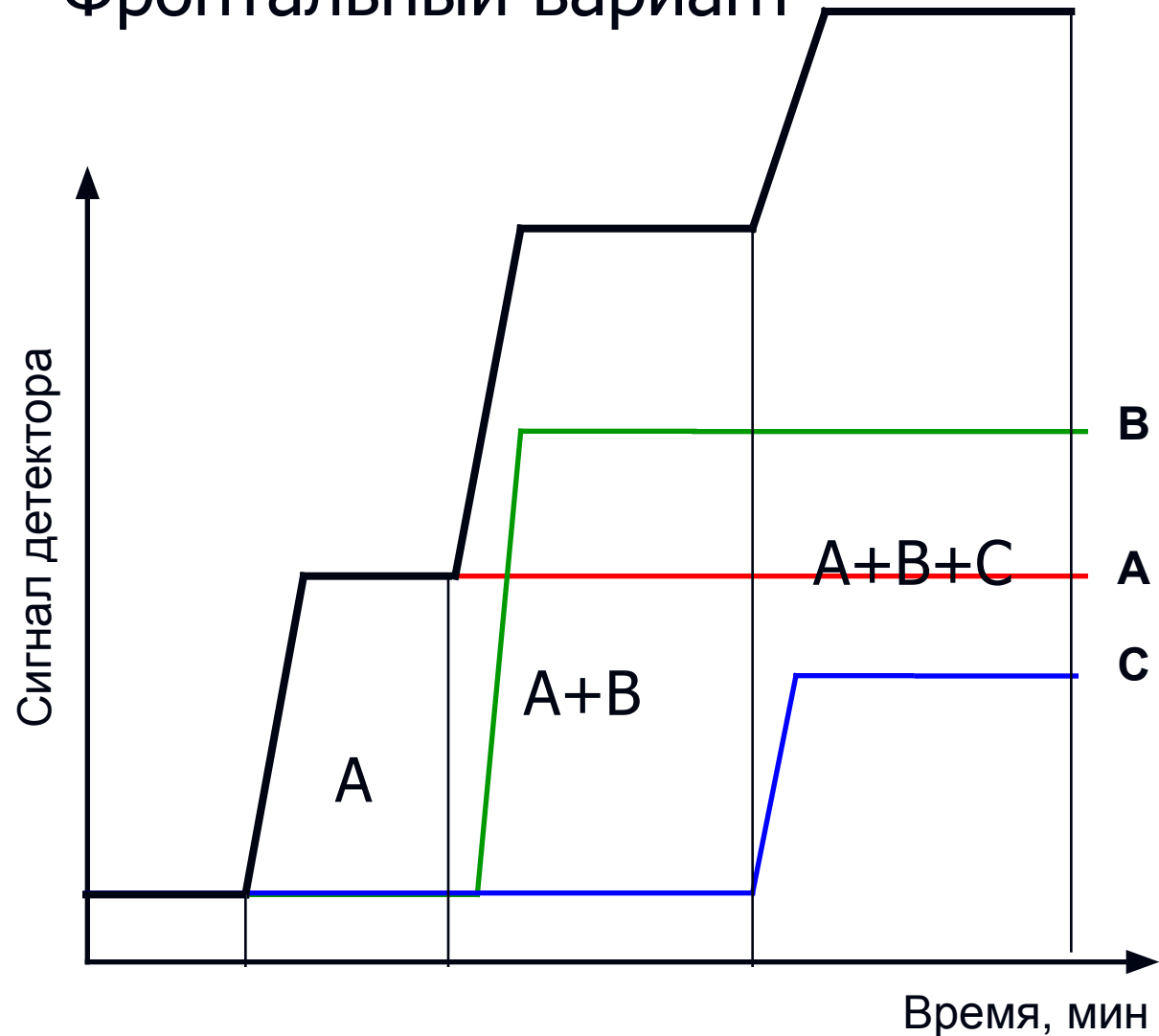
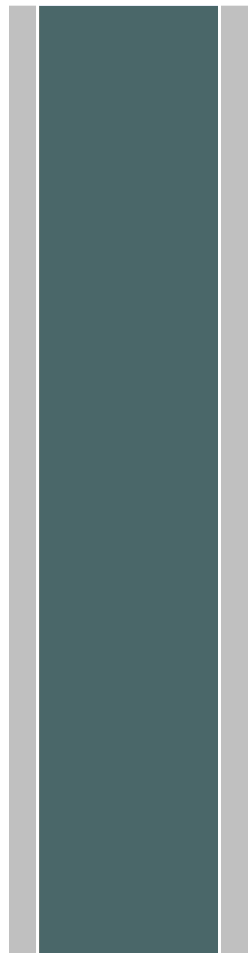
Классификация по механизму взаимодействия

- Распределительная
- Адсорбционная
- Ионообменная
- Комплексообразовательная
- Лигандообменная
- Эксклюзионная
- Аффинная

Классификация по способу перемещения сорбата

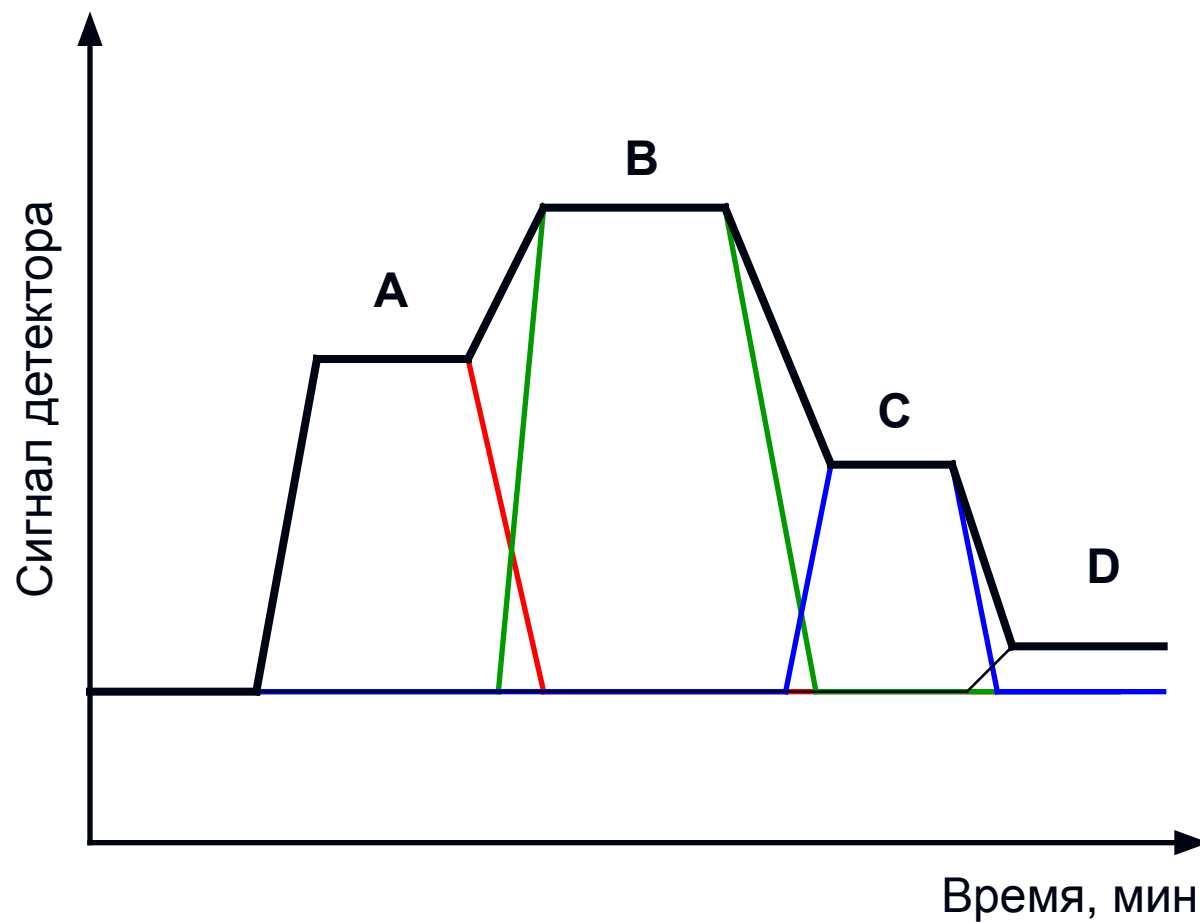
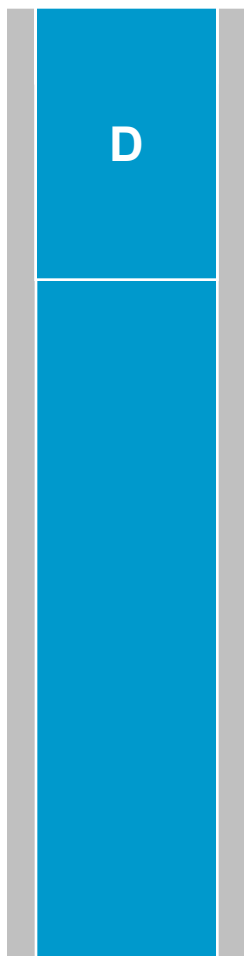


Фронтальный вариант



Классификация по способу перемещения сорбата

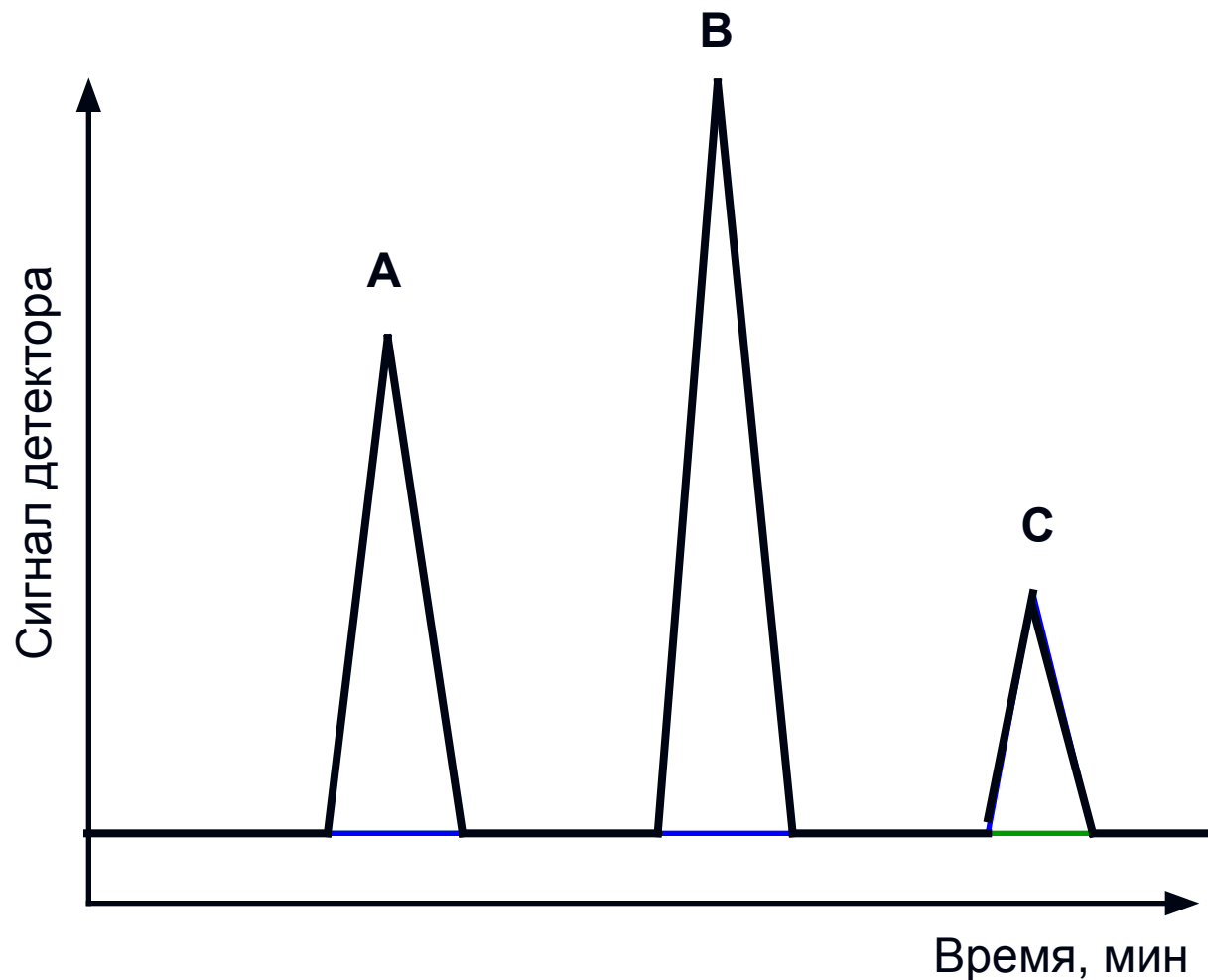
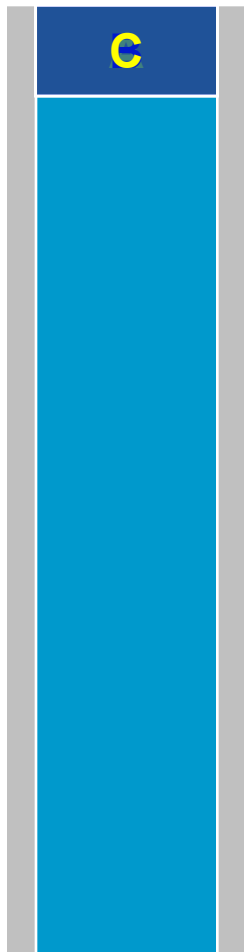
Вытеснительный вариант



Классификация по способу перемещения сорбата

Элюент ↓

Элюентный вариант



Классификация по целям и задачам

Аналитическая

Задача разделения
и определения веществ
(малых количеств)

↓
Малый объем вводимой пробы,
Элюентный вариант хр-фии
и т.д.

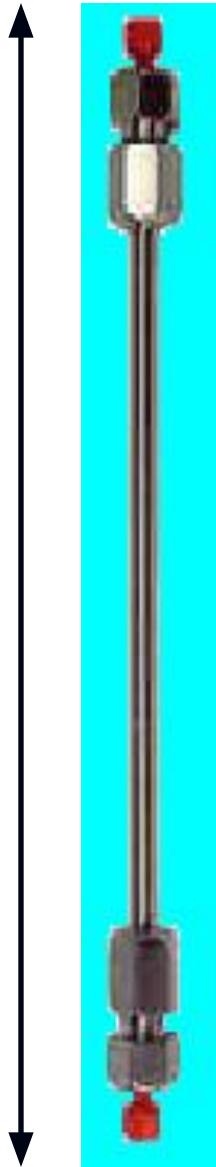
Препаративная

Задача выделения
веществ
(больших количеств)

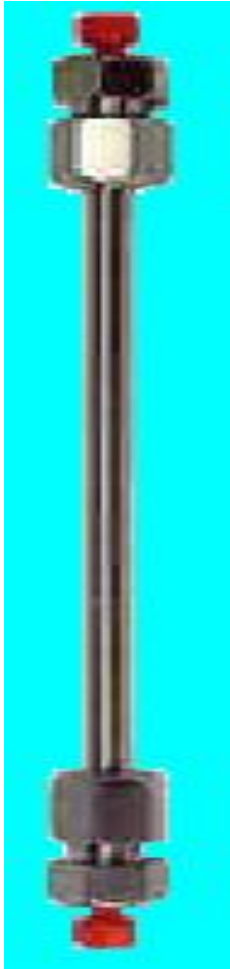
↓
Большой объем вводимой пробы,
Вытеснительный или
фронтальный варианты хр-фии
и т.д.

Аналитические и препаративные колонки

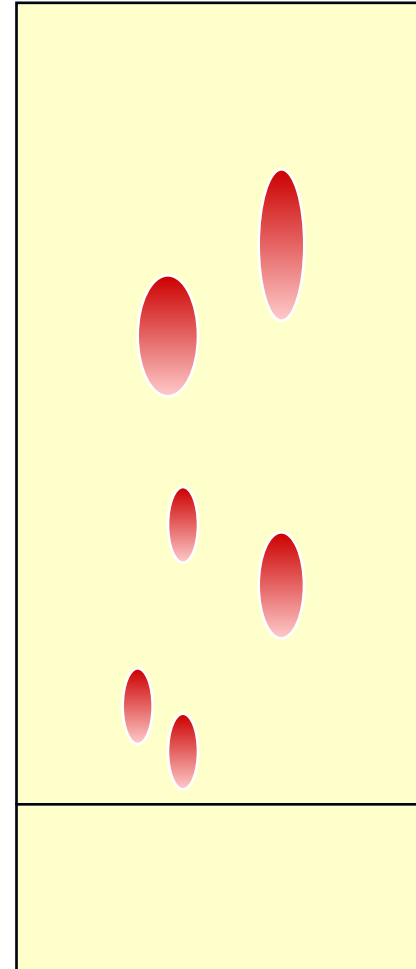
5-25 см



Классификация по технике исполнения



Колоночная

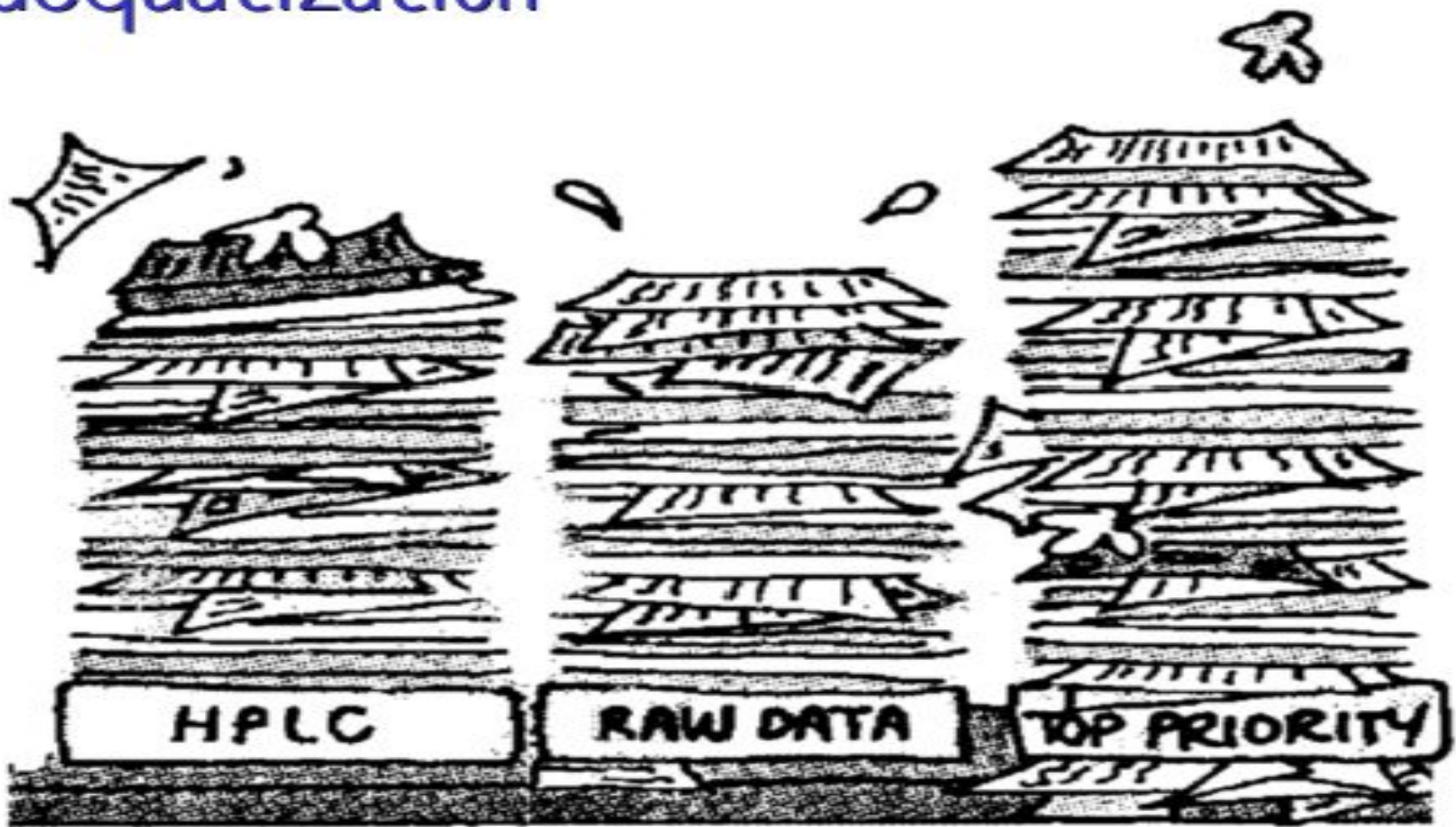


Планарная (плоскостная)

Подходы к поиску оптимальных условий хроматографического анализа

~~Optimization~~ of HPLC Separations

Adequatization



Поиск условий, которые годны для целей анализа...

... и ВСЁ!!!

1. Установить требования



2. Составить план действий



Не пренебрегайте поиском литературы,
информации в Интернете, чтобы не «изобретать колесо»

Выбор варианта хроматографии в зависимости от задачи

Определяемое
вещество

М.м. < 2000

М.м. > 2000

М.м. ?

Летучее в-во?

Варианты
эксклюзивной
хроматографии

Да

Нет

Неорган. газы?

Можно ли перевести
в летучее ?

Нет

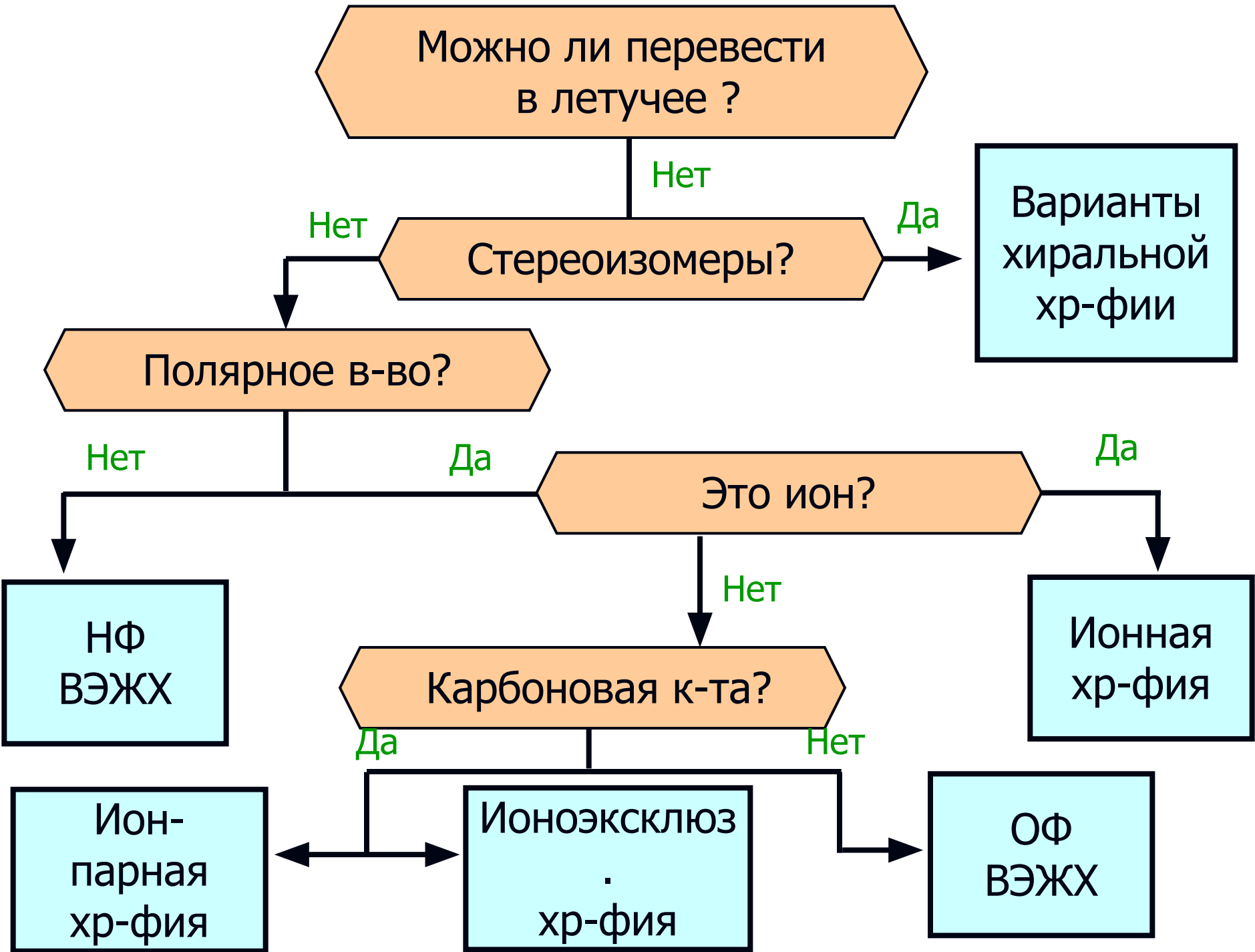
Да

ГАЗ

Нет

ГЖХ

Да



Изменение параметров

Physics
(kinetics)

Chemistry
(thermodynamics)

$$R_s \approx \frac{1}{4} N^{1/2} (\alpha - 1) [k' / (k' + 1)]$$

efficiency

selectivity

retention

При поиске условий анализа больше уделяйте внимания
«химическим» нежели «физическим» параметрам

Наиболее важны данные об удерживании веществ.
Сильно зависят от композиции элюента
и от параметров градиента.
Должны определяться в первую очередь.

Параметры, обычно варьируемые в ВЭЖХ

Частота использования



- Содержание ацетонитрила (метанола)
- pH
- Содержание специальных добавок
- Время и скорость изменения градиента
- Тройная композиция органич. модификаторов
- Температура
- Ионная сила

Зависимость времени анализа, давления и эффективности от некоторых параметров

	Длина колонки, L	Скорость потока элюента, F	Температура, T	Концентрация органич. растворителя, C	Размер частиц, d
Время анализа	+	-	-	-	0
Давление	+	+	-	±	- -
Эффективность	+	±	+	+	-

+

- возрастает

-

- уменьшается

±

- не

однозначно

0

- не зависит

Непрерывно и дискретно изменяемые параметры

Непрерывно изменяемые

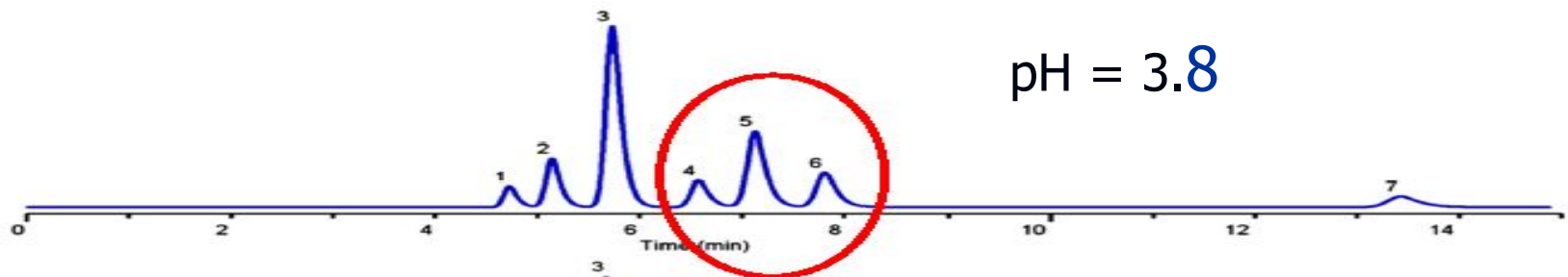
- Концентрация элюента
- Температура
- Скорость потока элюента

Дискретно изменяемые

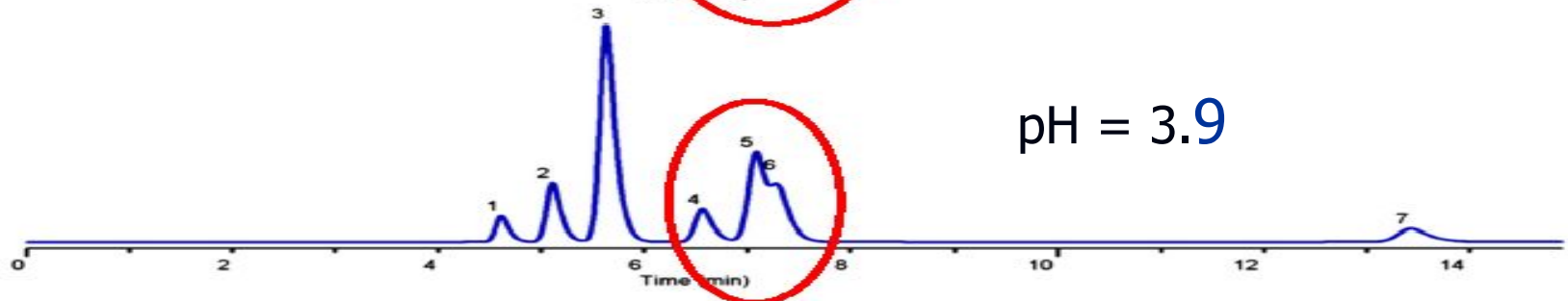
- Геометрия колонки
- Хроматограф

«Квази-непрерывно» изменяемые

- pH
- Добавки в элюент

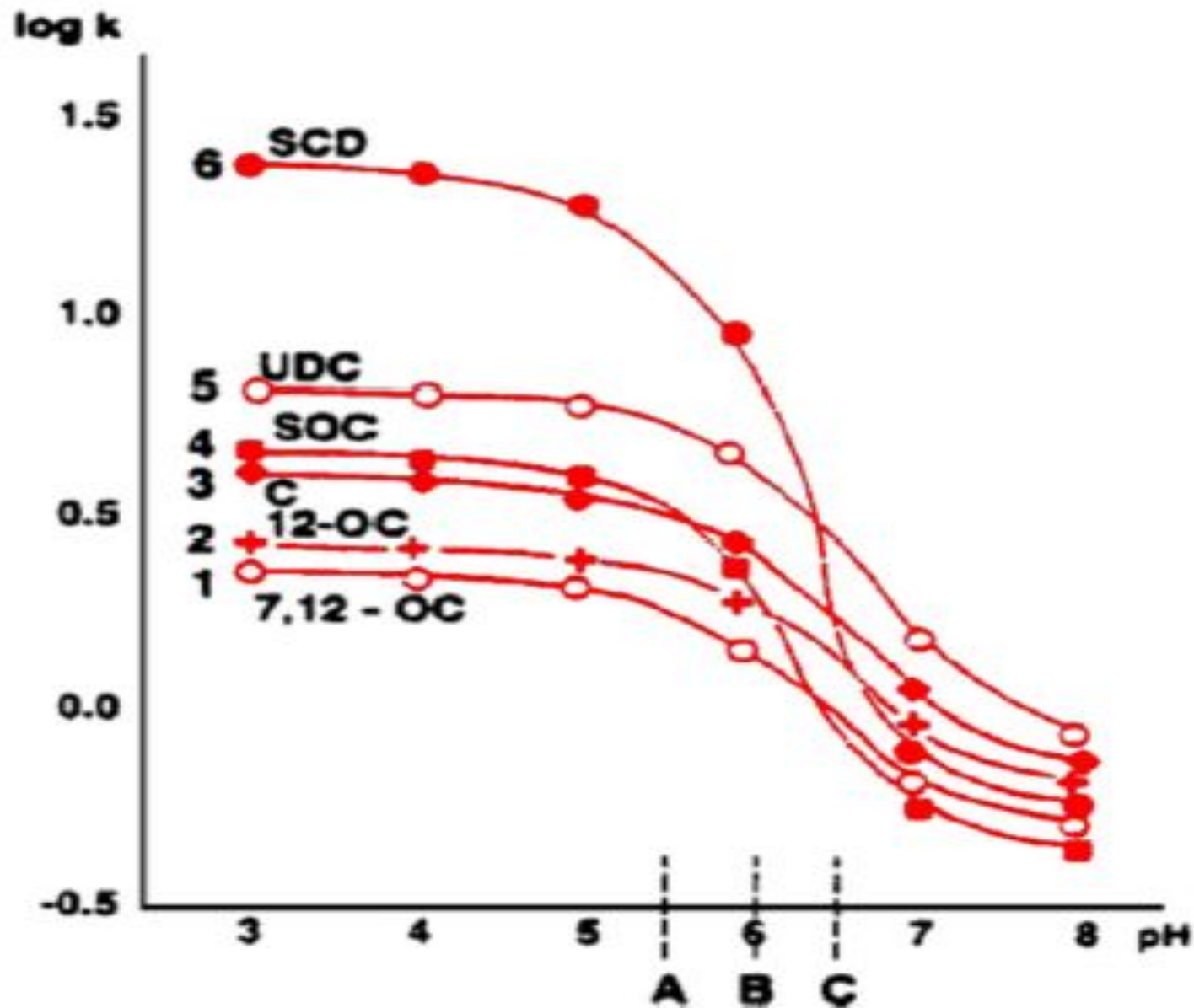


pH = 3.8



pH = 3.9

Эффект pH на удерживание желчных кислот в ВЭЖХ



Подходы к выбору условий

Одна переменная за раз

Преимущества

- Легко контролируется, автоматизируется
- Число экспериментов минимально

Недостатки

- Можно не достичь результата

Несколько переменных за раз

Преимущества

- Выгоден для сложных систем
- Большая вероятность нахождения оптимума

Недостатки

- Необходимо большое число экспериментов
- Часто трудно интерпретировать результаты

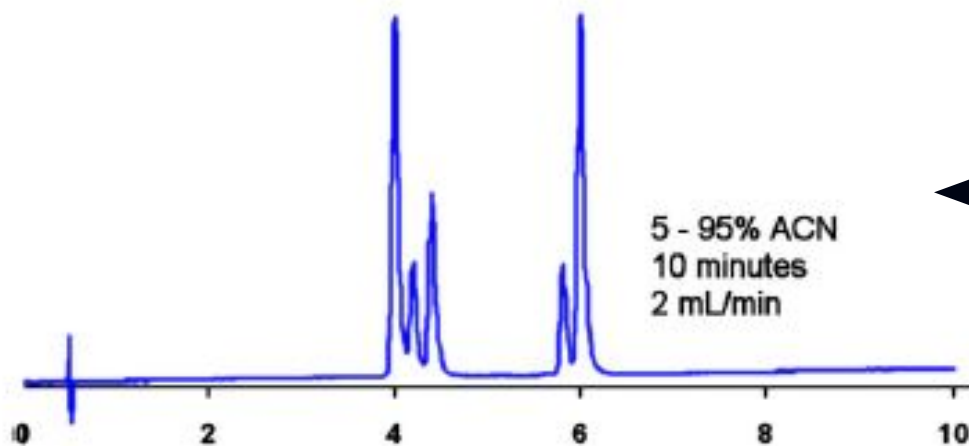
«Однопараметрические» подходы к поиску условий анализа

- Начните с ОФ варианта ВЭЖХ
- Проведите начальный градиент ацетонитрила (от 0 до 95 %)
- Определите удерживание веществ
- Введите индивидуальные растворы веществ
- ПРИКИНЬТЕ, возможно ли провести разделение
в изократических условиях так, чтобы ($1 < K < 10$)
и при каком проценте ацетонитрила
- Далее можно менять другие параметры

Неполярные соединения: % ацетонитрила, добавки, температура

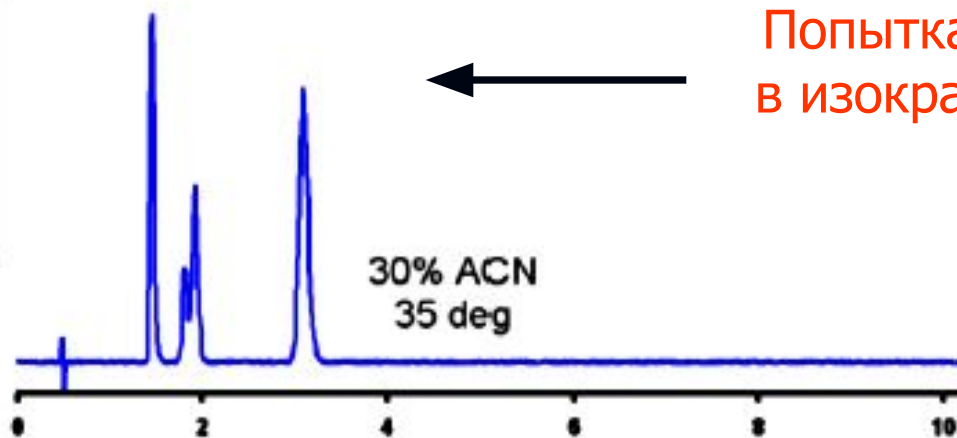
Полярные соединения: рН, тип органического растворителя, температура

Иллюстрации к однопараметрическому подходу к поиску оптимума



Начальный градиент
ацетонитрила

1. benzyl alcohol
2. 1,3 dihydroxy naphthalene
3. phenol
4. 3-phenyl propanol
5. 2,3 dihydroxy-naphthalene



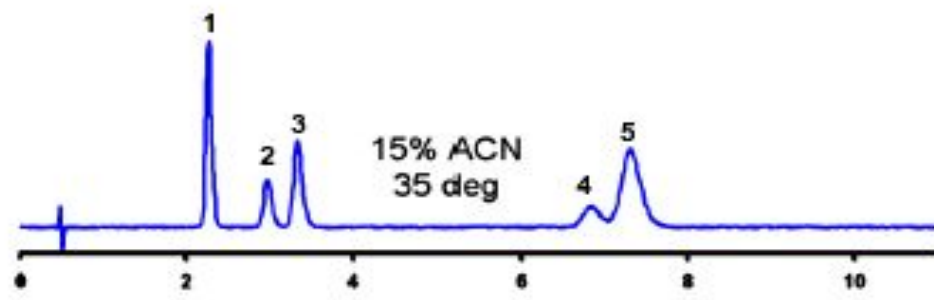
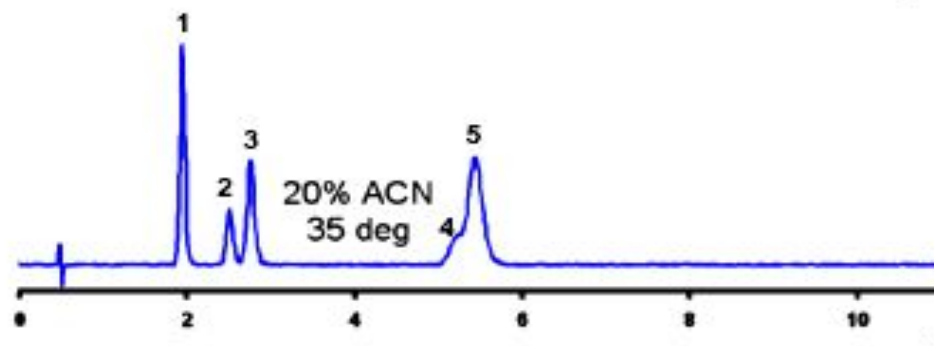
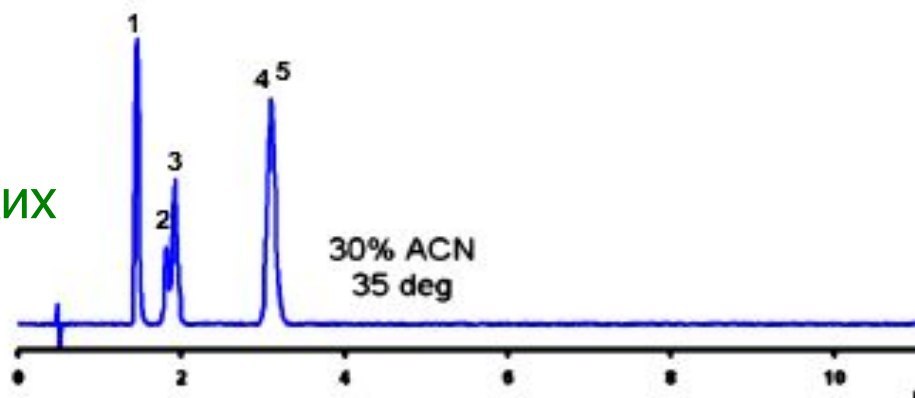
Попытка провести анализ
в изократических условиях

100 x 4.6 mm
3.5 μ m C18

Иллюстрации к однопараметрическому подходу к поиску оптимума (продолжение)

Изменяем концентрацию ацетонитрила в изократических условиях анализа

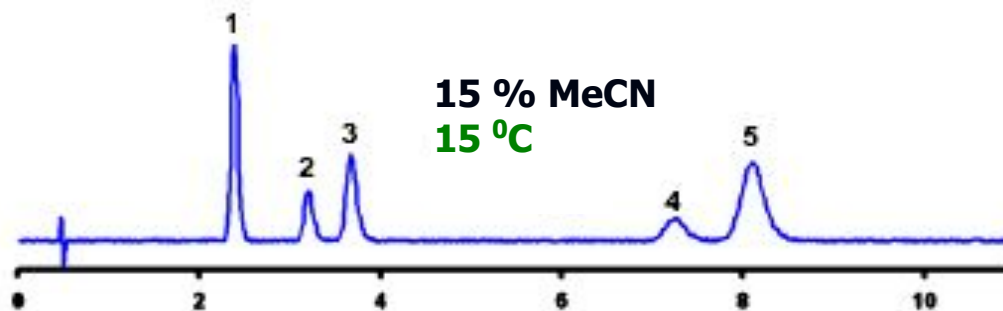
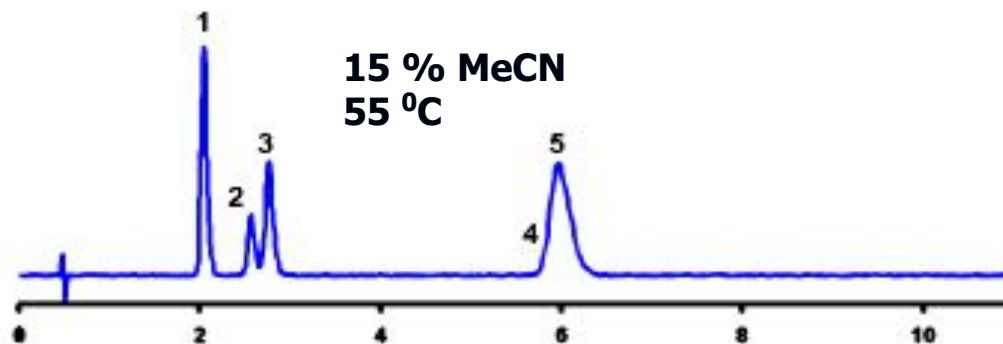
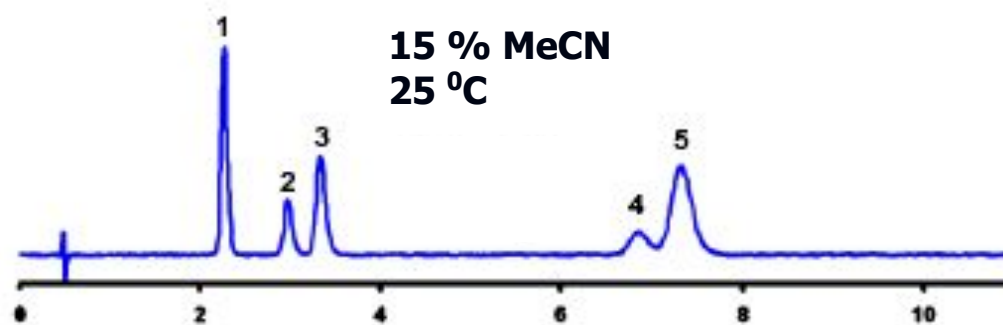
100 x 4.6 mm
3.5 μ m C18



- | |
|------------------------------|
| 1. benzyl alcohol |
| 2. 1,3 dihydroxy naphthalene |
| 3. phenol |
| 4. 3-phenyl propanol |
| 5. 2,3 dihydroxy-naphthalene |

Иллюстрации к однопараметрическому подходу к поиску оптимума (продолжение)

100 x 4.6 mm
3.5 μ m C18



1. benzyl alcohol
2. 1,3 dihydroxy naphthalene
3. phenol
4. 3-phenyl propanol
5. 2,3 dihydroxy-naphthalene

«Многopараметрические» подходы к поиску условий анализа

Обычно совместно варьируемые параметры

Температура и элюирующая сила

- легко автоматизировать
- эффект относительно независим
- обычно приводит к положительным результатам

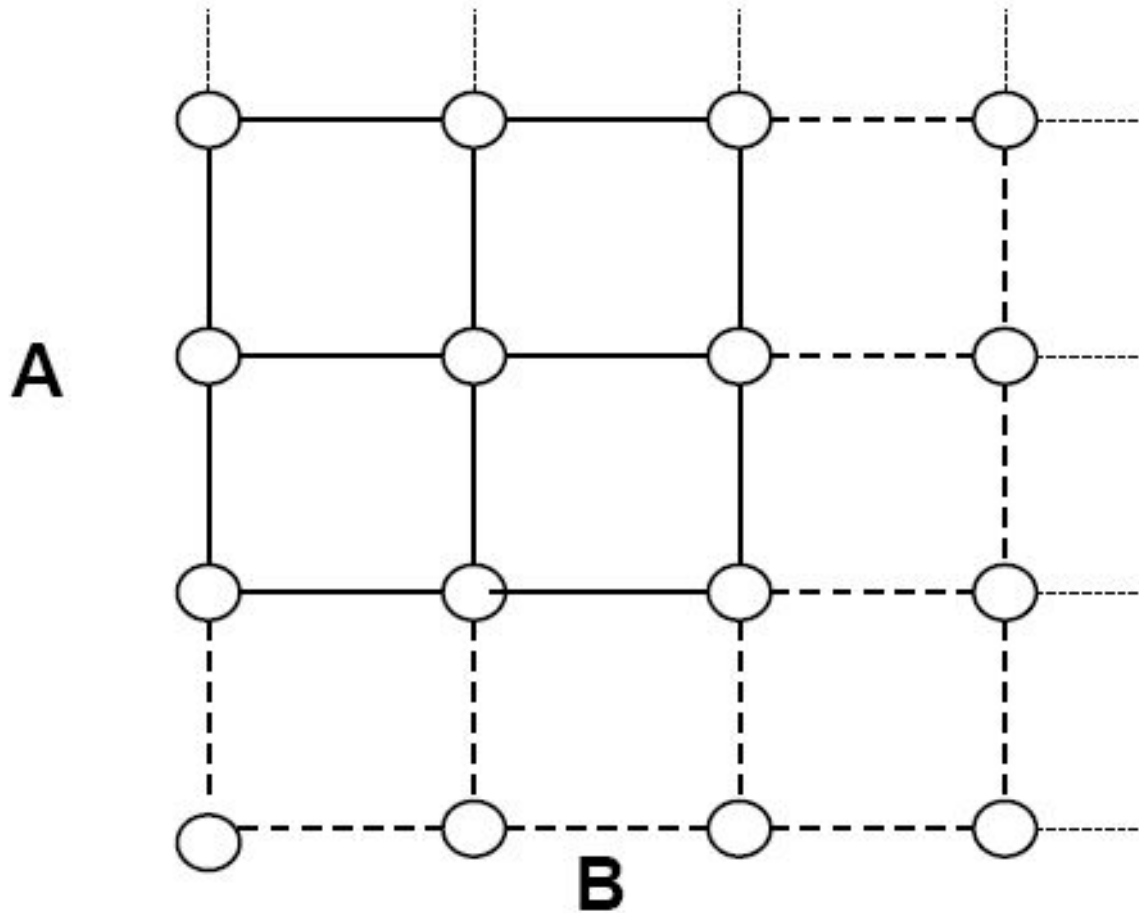
Тип растворителя и элюирующая сила

- классический треугольник Снайдера
- хорош для смесей «разнополярных» веществ

pH и элюирующая сила

- для слабых кислот/оснований и амфолитов
- в ион-парной и ионной хроматографии

Любые два параметра (A, B)



Получаем много информации о системе
(зависимости удерживания и т.п.)

Необходимо очень большое число экспериментов

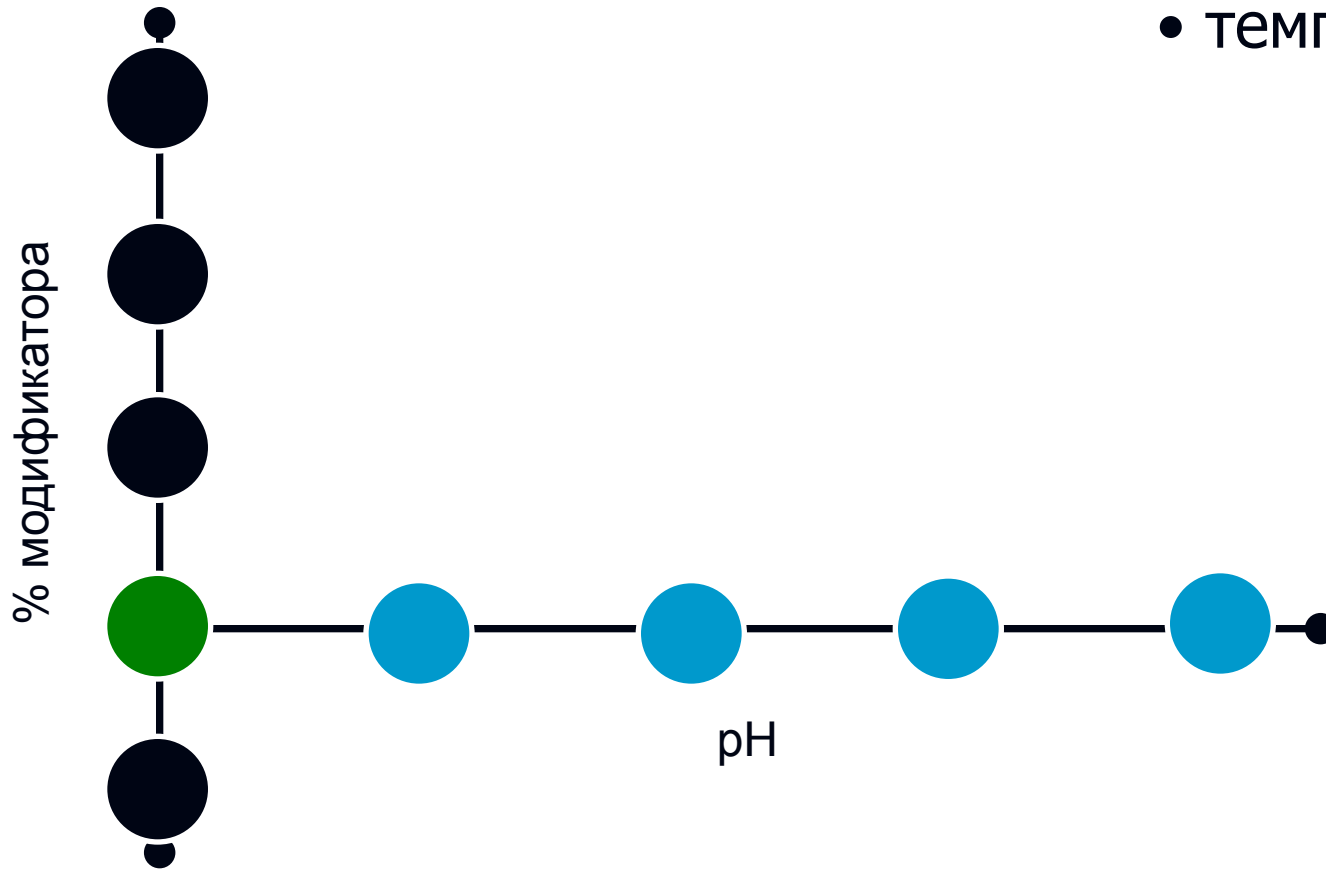
Подход к поиску оптимальных условий изменяя один параметр и фиксируя остальные



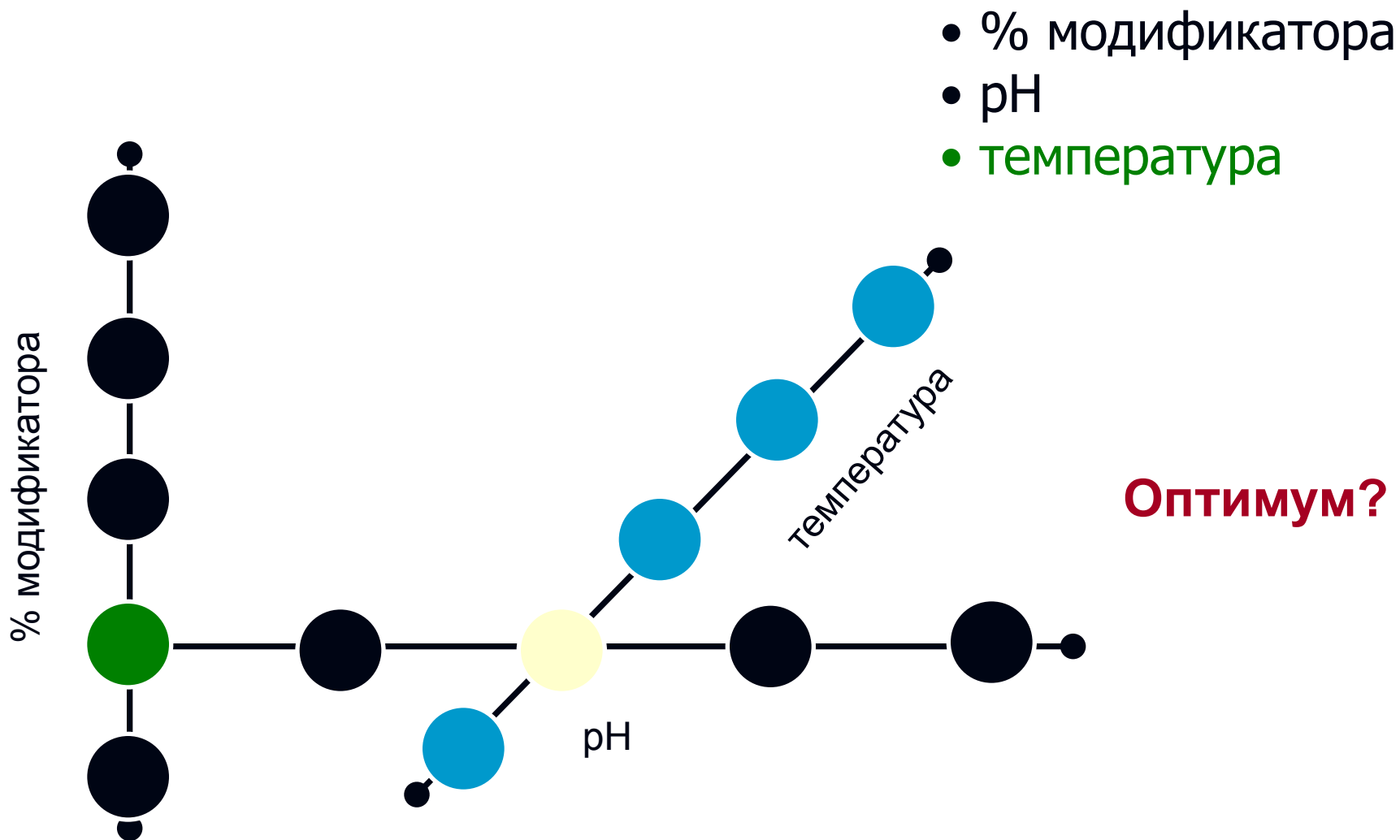
- % модификатора
- pH
- температура

Стадия 2

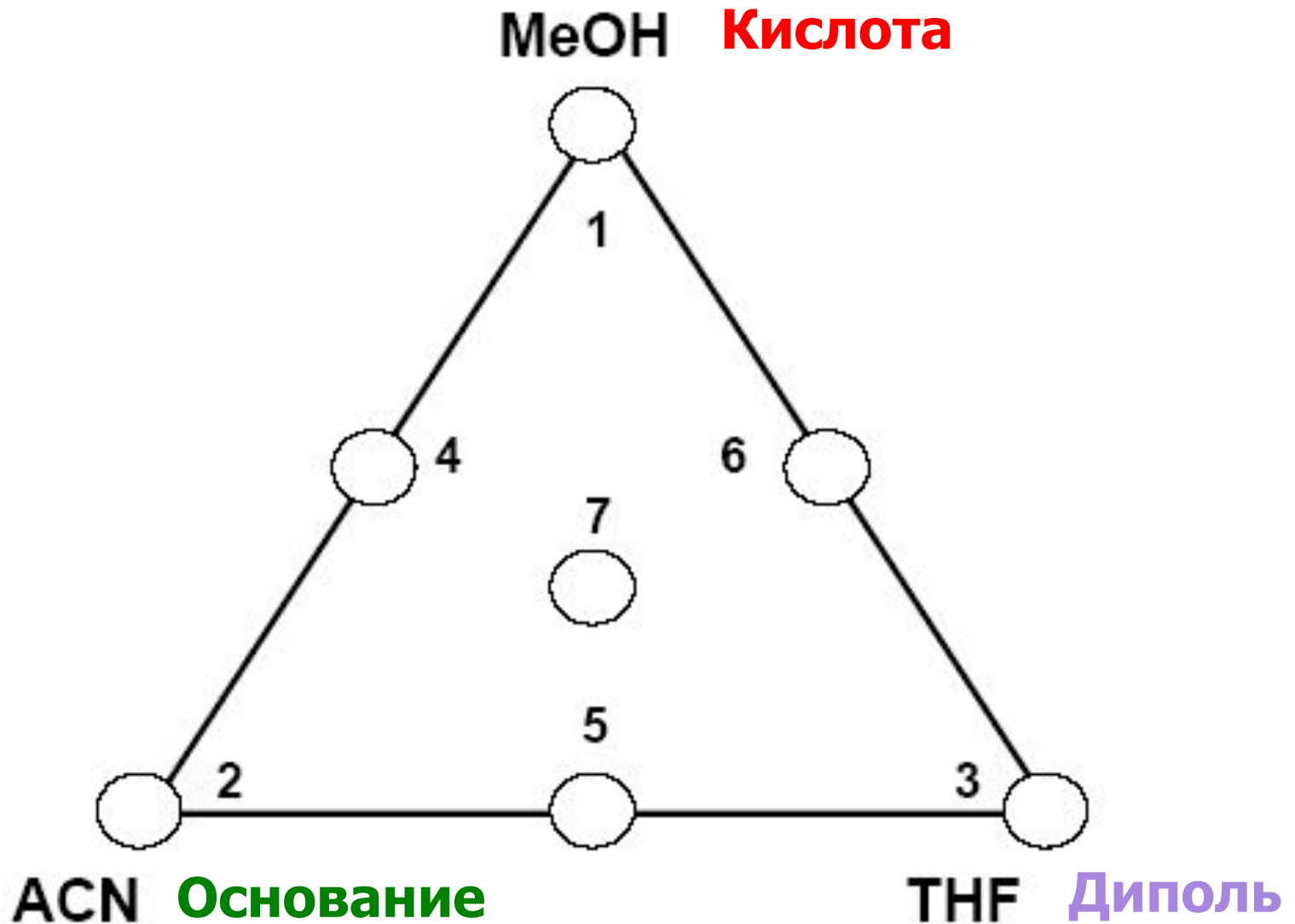
- % модификатора
- pH
- температура



Стадия 3



Классификация растворителей (треугольник Снайдера)



Компьютеризированные подходы к поиску оптимальных условий анализа

Сущность подходов

Применить математические методы поиска максимума функции нескольких переменных

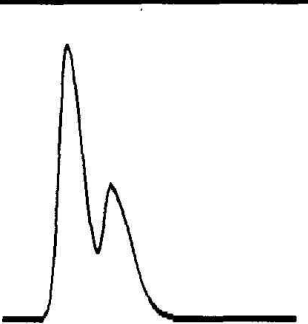
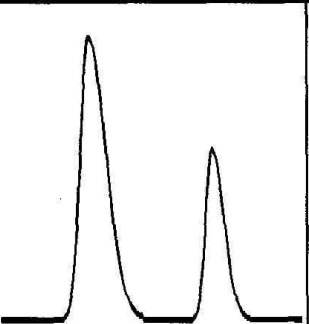
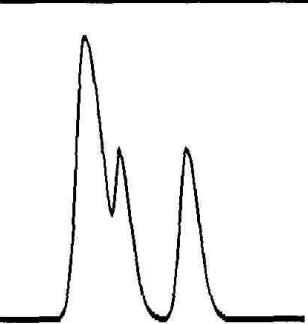
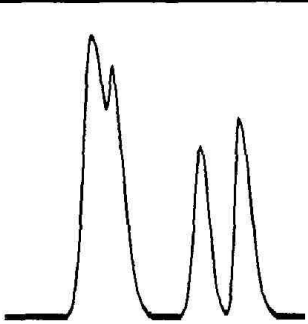
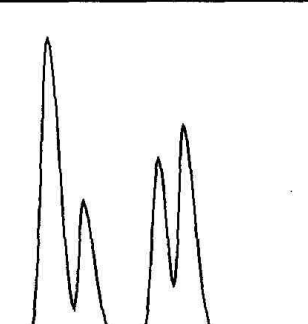
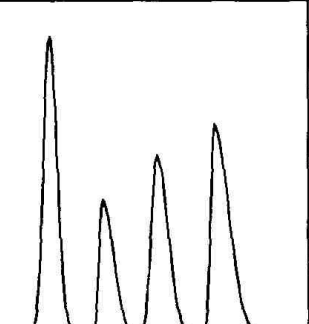
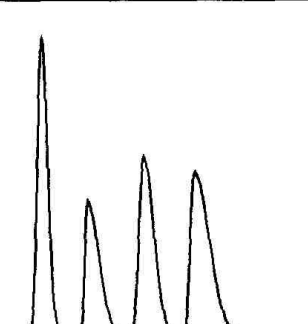
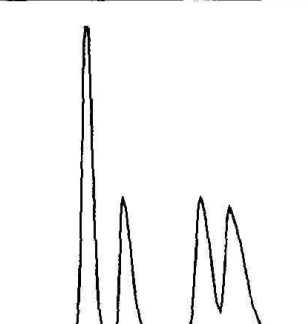
При этом варьируемые параметры называют

параметрами оптимизации,
а максимизируемую функцию -
критерием оптимизации

Возникающие проблемы

- Вид функции невозможно определить алгебраически
- Значения функции можно лишь определять экспериментально в точках
(одна точка – один эксперимент)
- Ошибки эксперимента вносят помехи
- Не совсем понятно что максимизировать

Хроматограммы и их экспертная оценка

Chromatogram	 3 min	 5 min	 5 min	 5 min
Estimate	1.9*	1.5	4.0	5.6*
Chromatogram	 10 min	 10 min	 10 min	 3 min
Estimate	7.3	8.6	8.7	8.5

Критерий оптимизации должен учитывать количество пиков на хроматограмме, их разрешение и общее время анализа

Оконные диаграммы

Принцип – предсказать хроматограмму, не проводя эксперимент

Ограниченный
набор
экспериментов



Компьютерная
модель
(интерполяция)

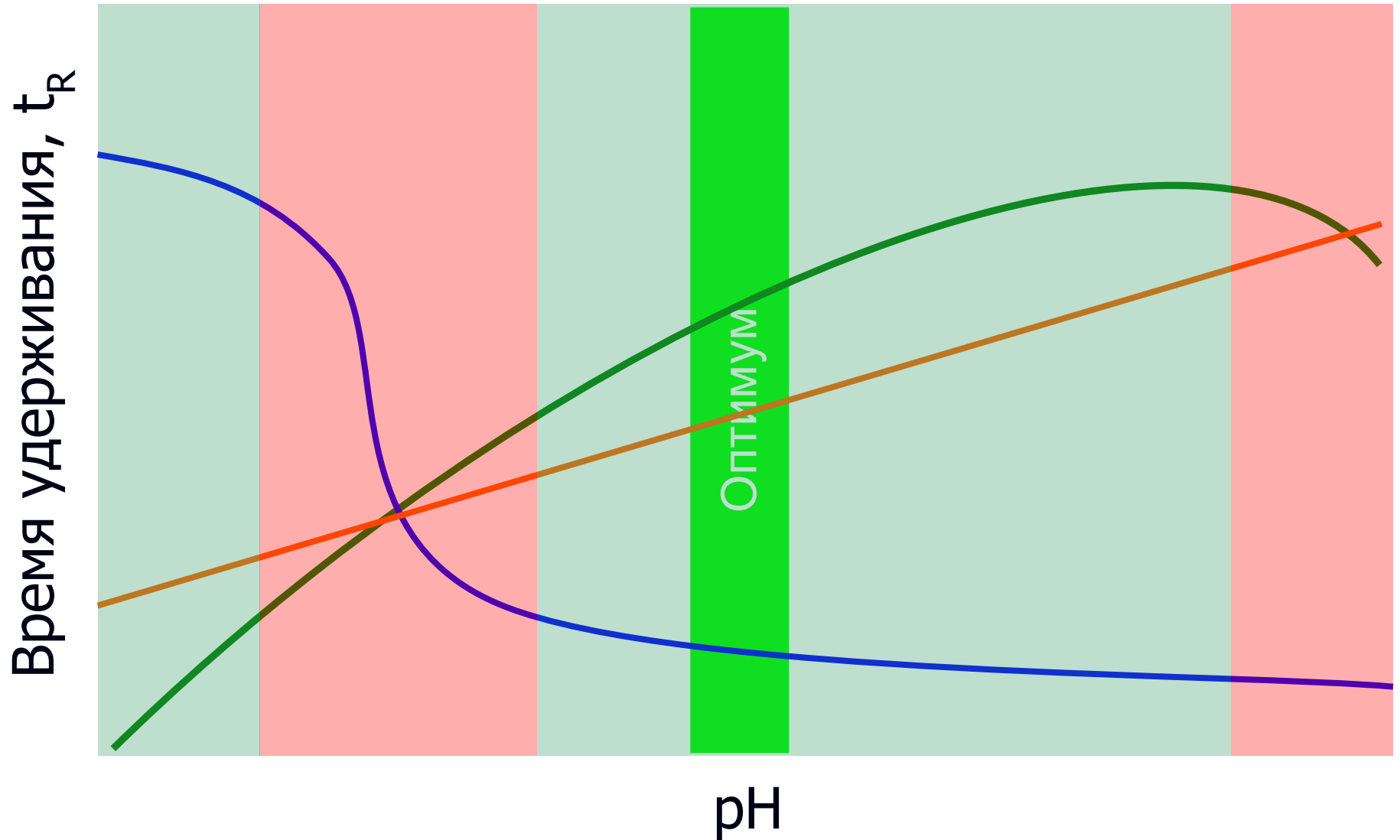


Предсказание
(R_s , T_R , α)

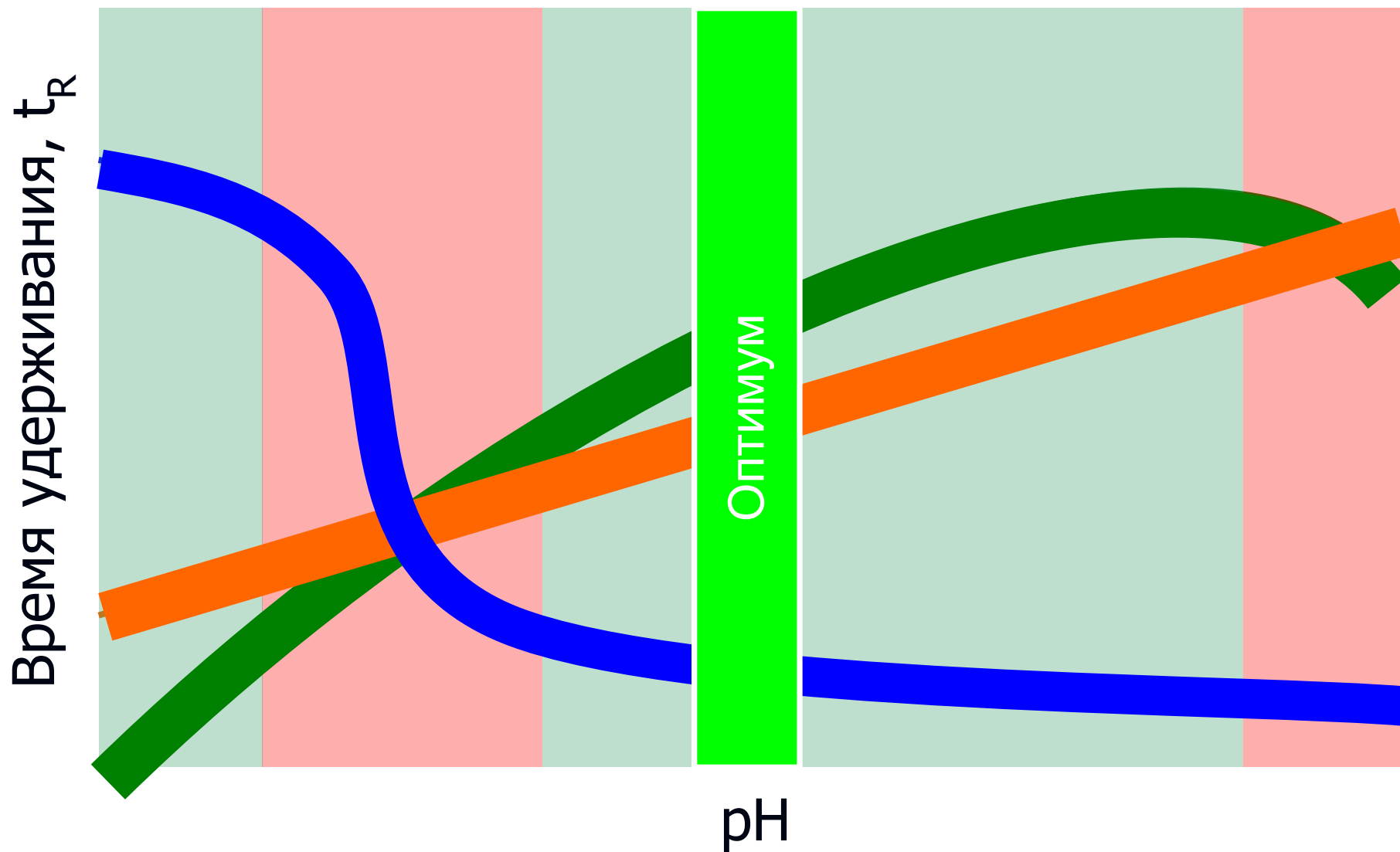


Выбор
оптимальных
условий

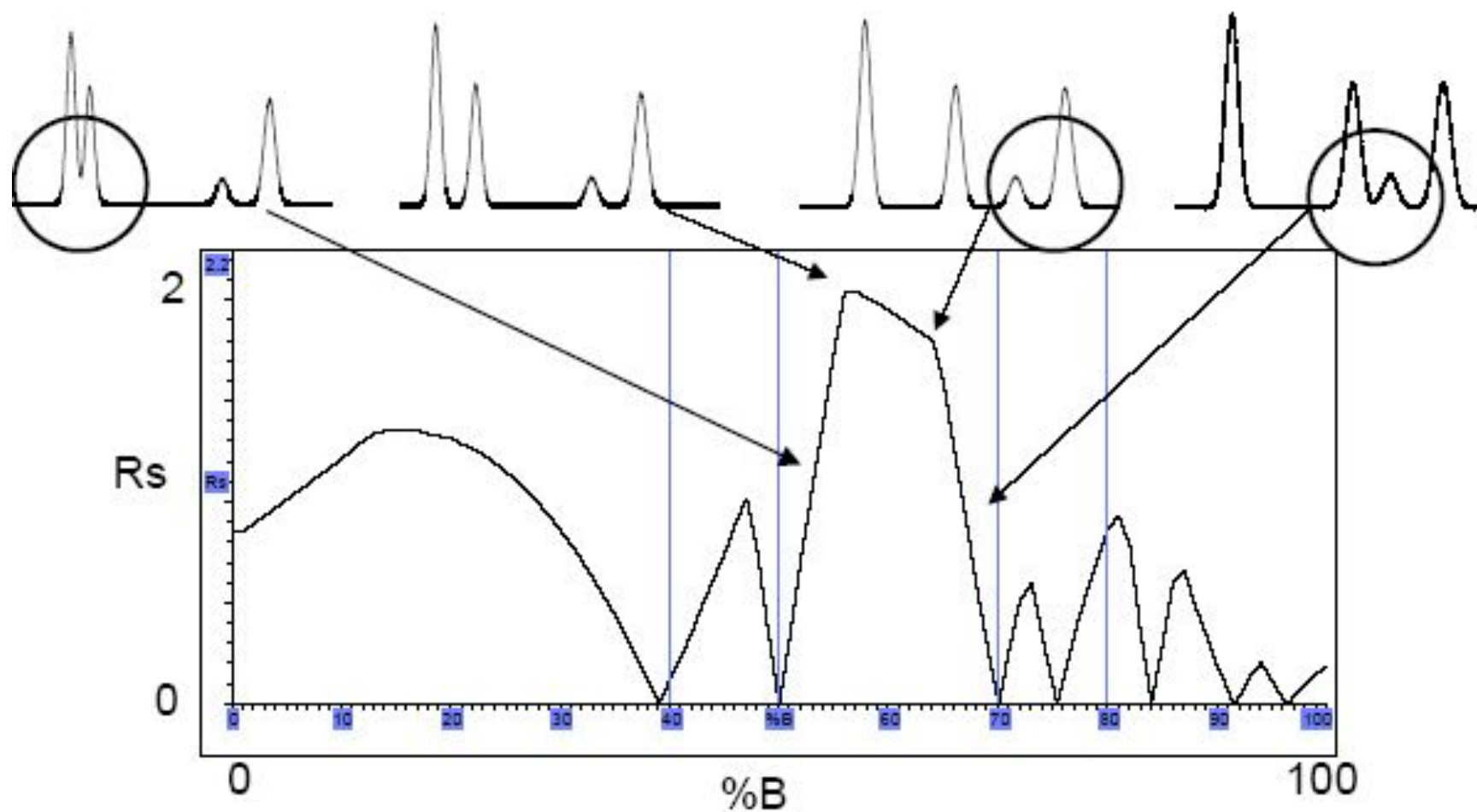
Оконные диаграммы Лауба и Пурнелля



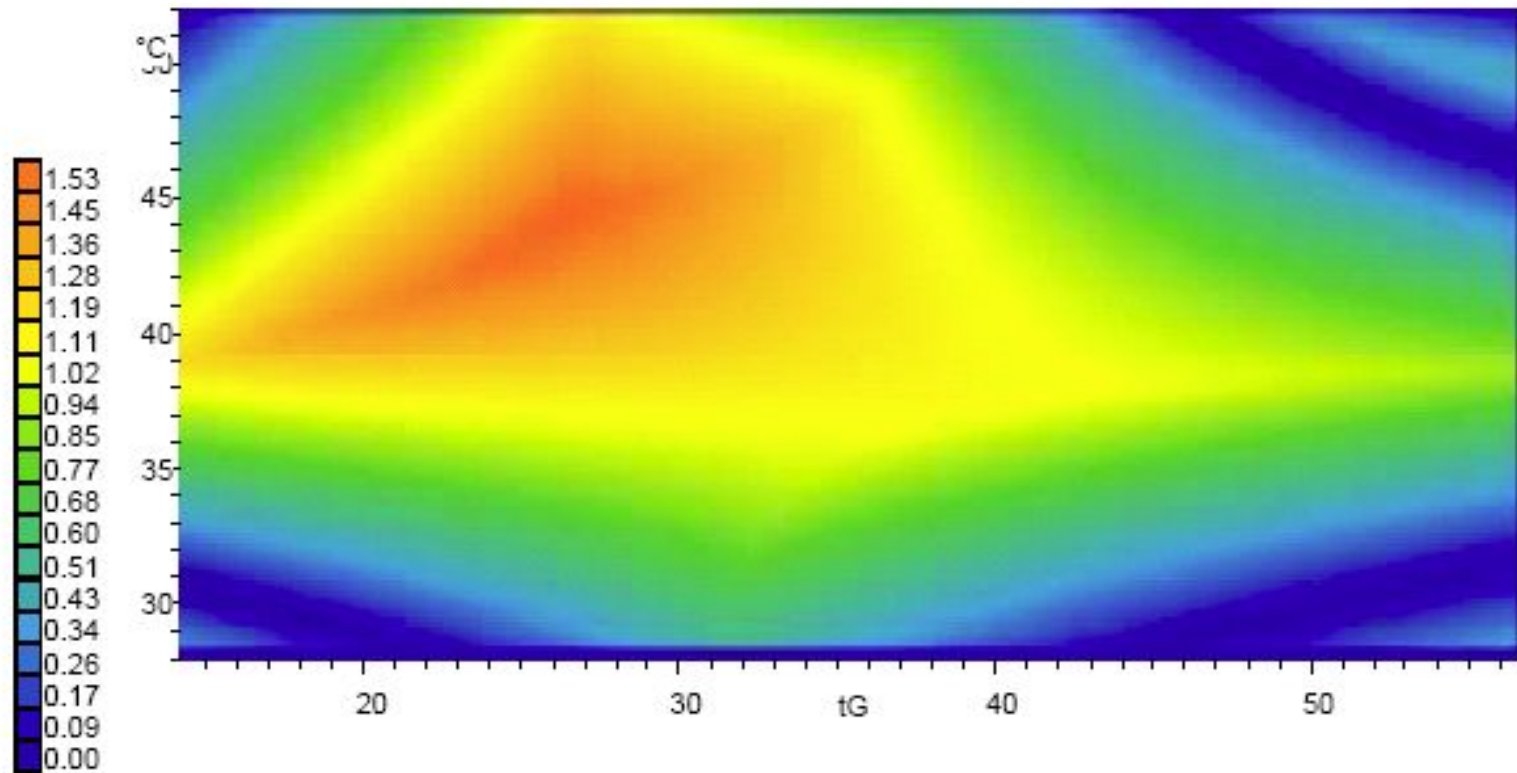
Метод критических зон



Resolution Map



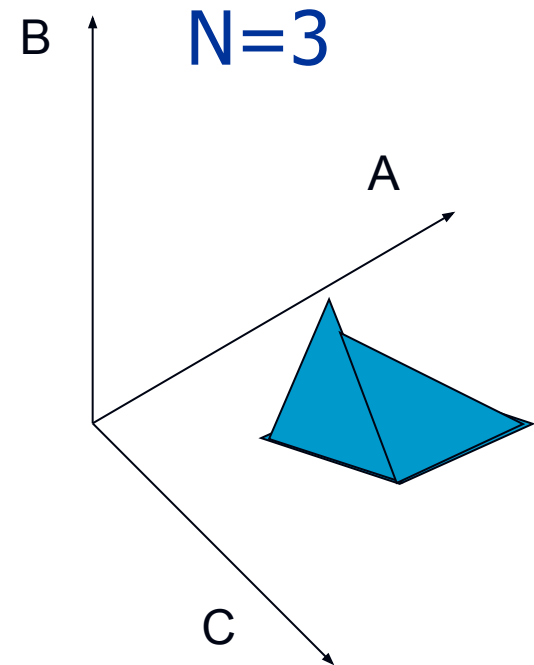
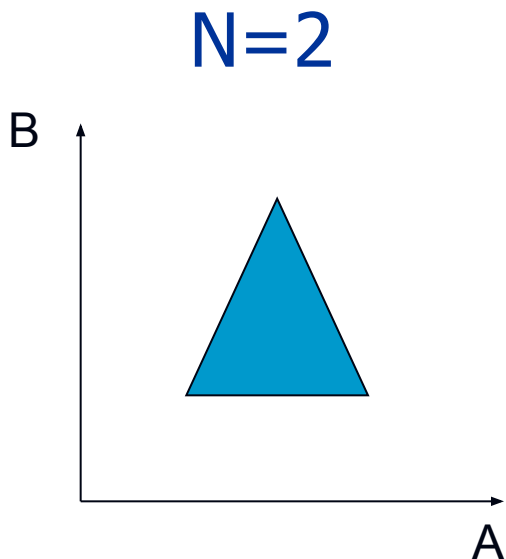
Testosterone Resolution Map



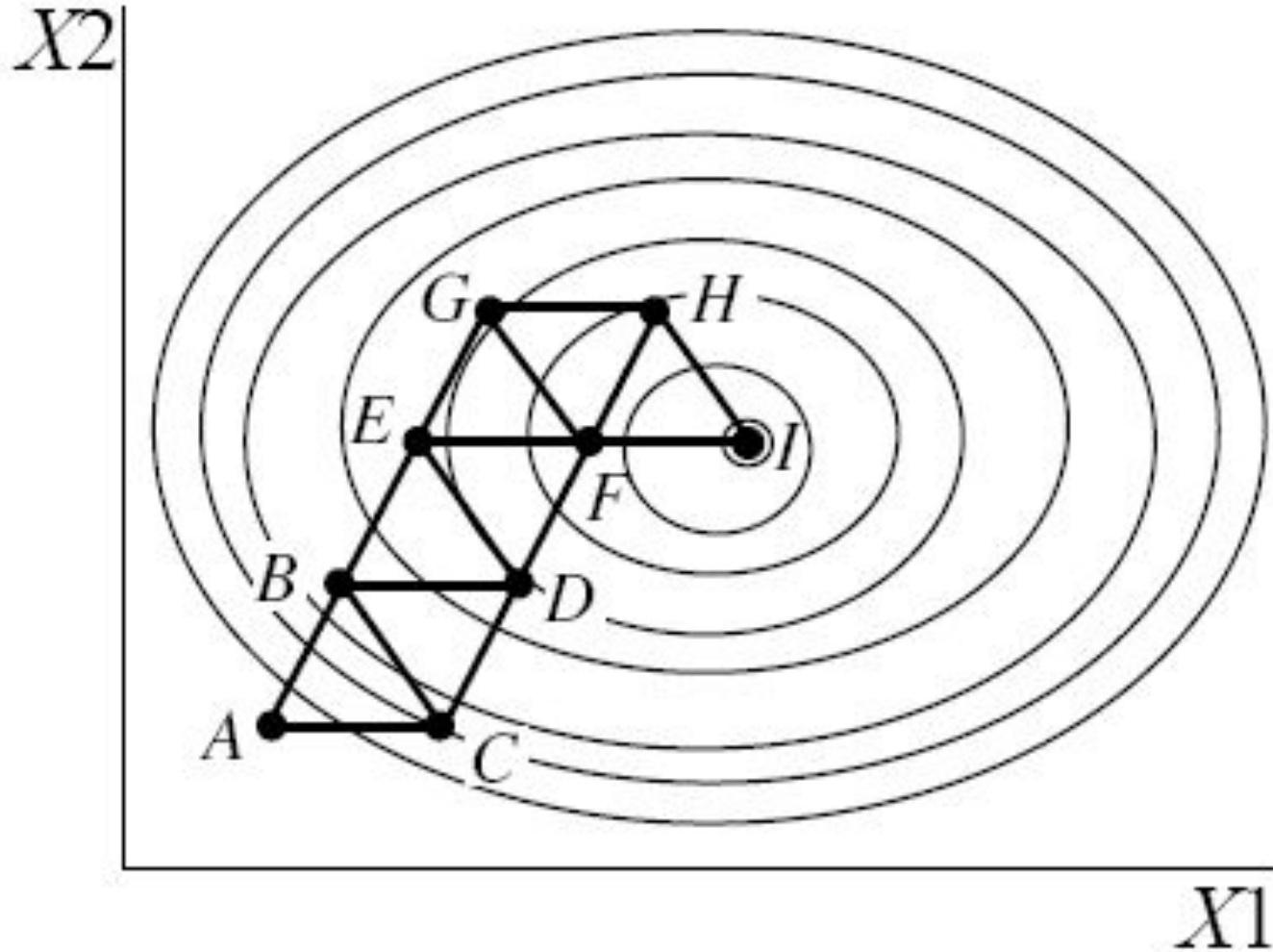
Симплексный метод

Симплексный метод

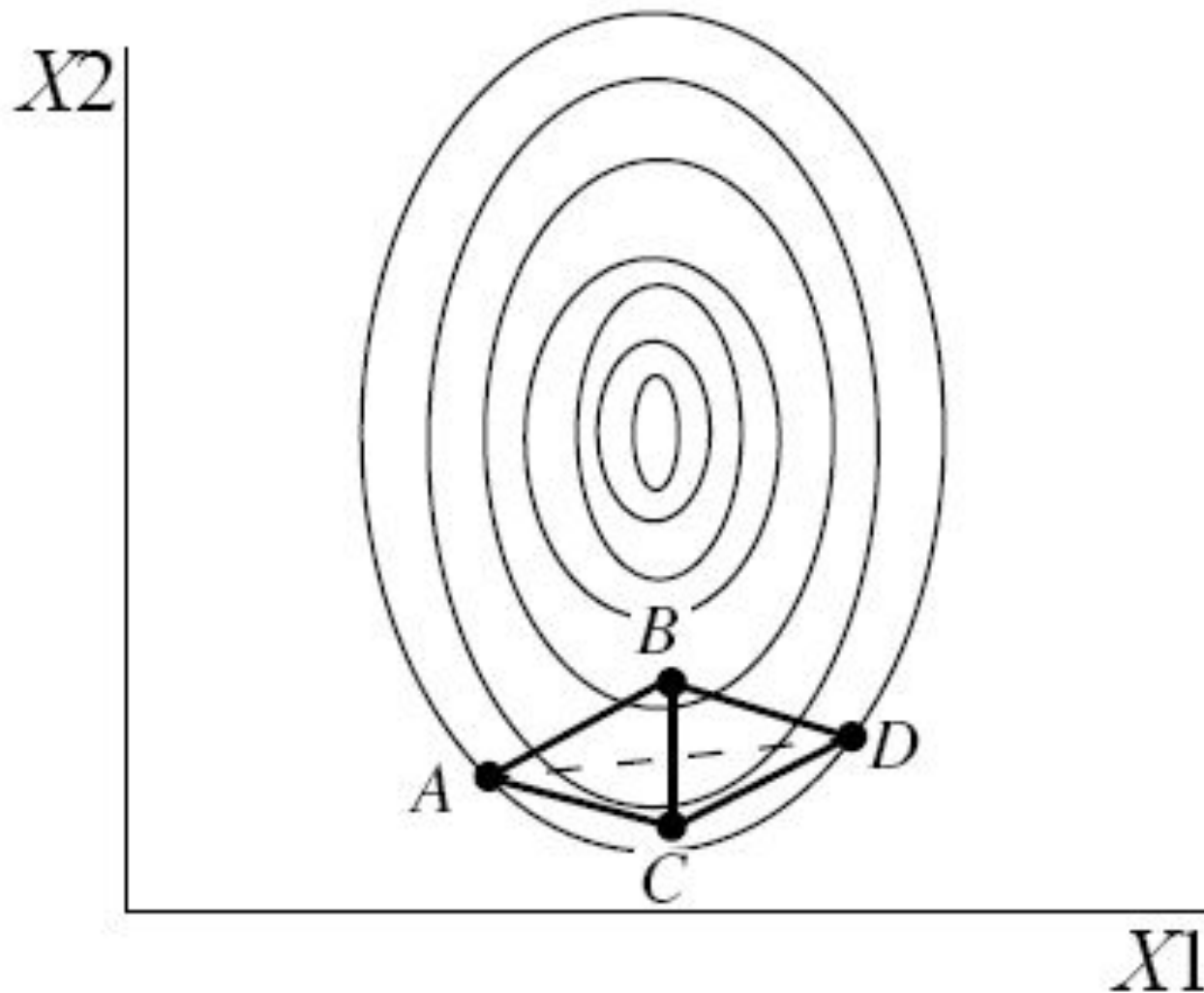
Симплекс представляет собой геометрическую фигуру в $N+1$ мерном пространстве, где N -количество параметров оптимизации



Движение симплекса к оптимальным условиям

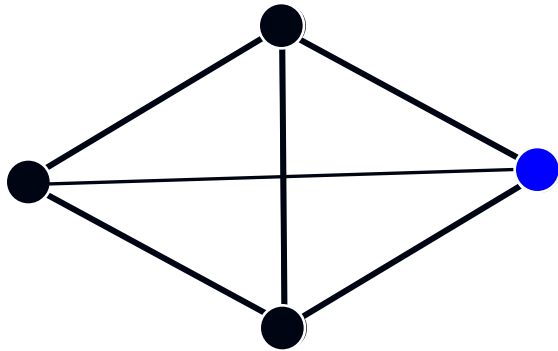


Возможная «осцилляция» симплекса

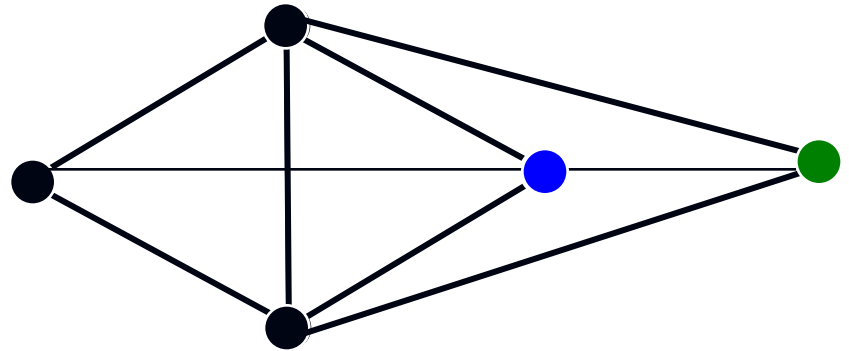


Алгоритм Нелдера-Мида

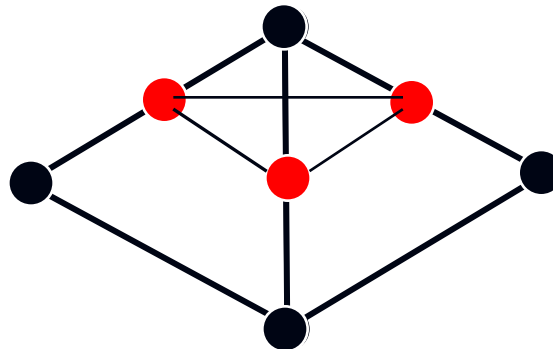
Отражение



Расширение



Массивное сжатие



Примеры использования симплексного метода в ВЭЖХ

Определяемые компоненты	Параметры оптимизации
Фенол, 3-гидроксибензальдегид, пропилгидроксибензоат, бутилгидроксибензоат, диэтилфталат, толуол	Концентрация метанола и тетрагидрофурана в подвижной фазе
Примеси в органических соединениях	Скорость потока элюента, объем вводимой пробы
8 ароматических соединений	Концентрация метанола в подвижной фазе, скорость потока элюента
Гликозиды	Концентрация метанола, ацетонитрила и тетрагидрофурана в элюенте
Лактоны	Скорость изменения профиля градиента, температура элюента
Карбоновые кислоты в вине	pH, скорость потока элюента, температура
Алифатические амины	Концентрации ацетонитрила и ионов калия в элюенте
Органические амиды	Концентрация ацетонитрила в элюенте
Эфиры	Концентрация гексана и изопропанола в элюенте
Гентамицин	Концентрация трифторуксусной кислоты и метанола в элюенте

Достоинства и недостатки симплексного метода

Достоинства

- Понятен, легко программируется
- Эффективен на реальных «хроматографических» поверхностях
- Может быть применен к системе «черного ящика»

Недостатки

- Мало получаемой информации о зависимостях качества хроматограммы от параметров оптимизации
- Число шагов к оптимуму может быть достаточно велико и резко возрастает при увеличении числа параметров

Общие выводы

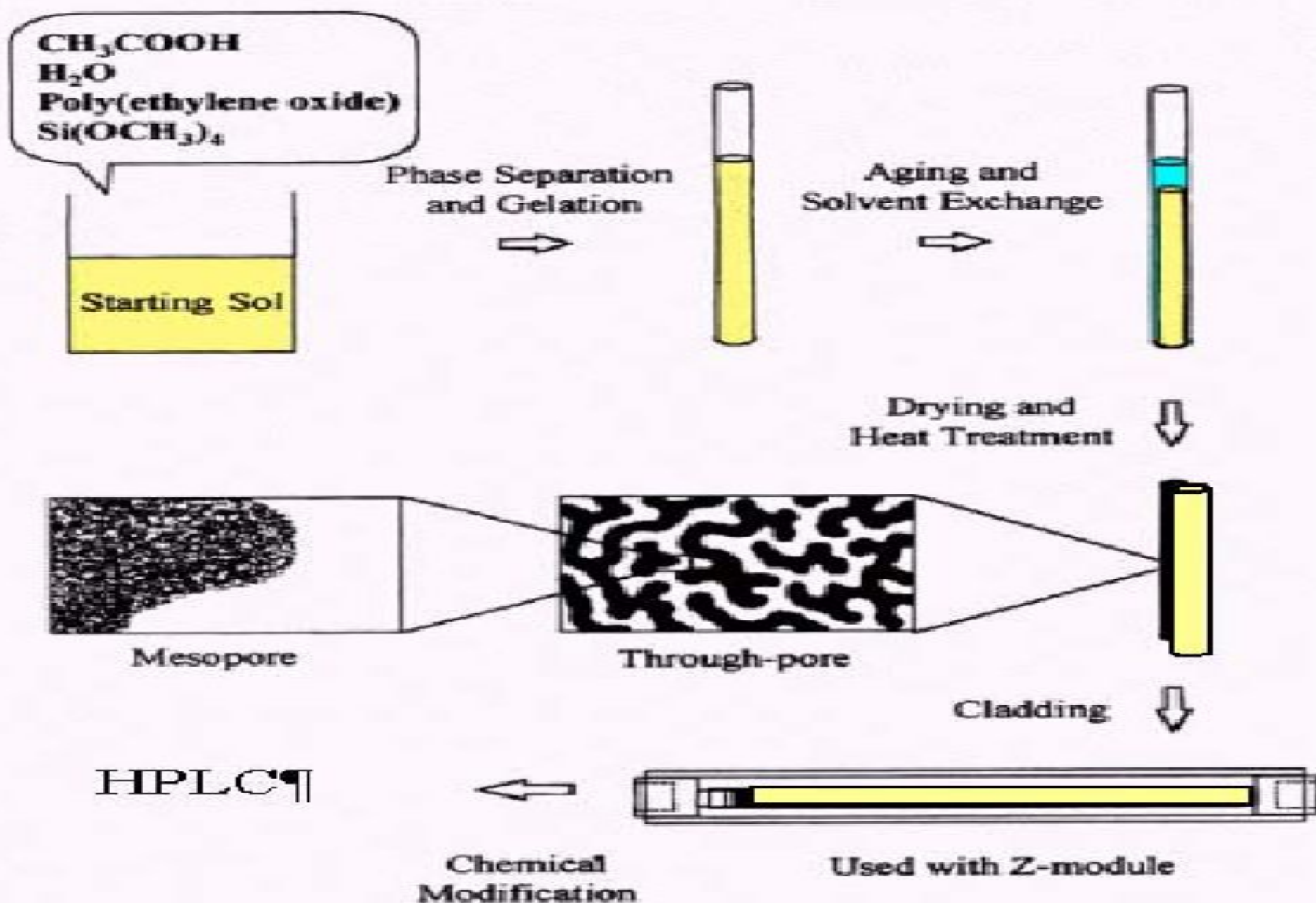
- Многие проблемы разделения веществ в ВЭЖХ можно решить с помощью варьирования **ОДНОГО** параметра
- Практически все остальные проблемы решаются варьированием **ДВУХ** параметров
- При варьировании **ТРЕХ и БОЛЕЕ** параметров необходимы компьютерные методы оптимизации
- Компьютер все еще не заменяет опыт специалиста-хроматографиста

Программное обеспечения для моделирования хроматограмм и/или поиска оптимальных условий ВЭЖХ анализа

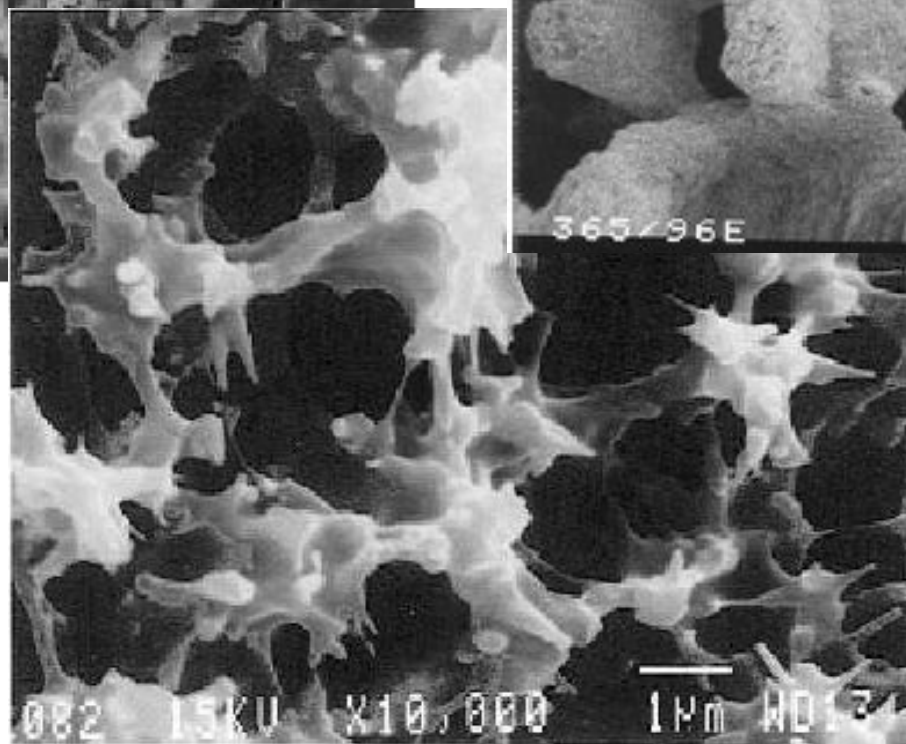
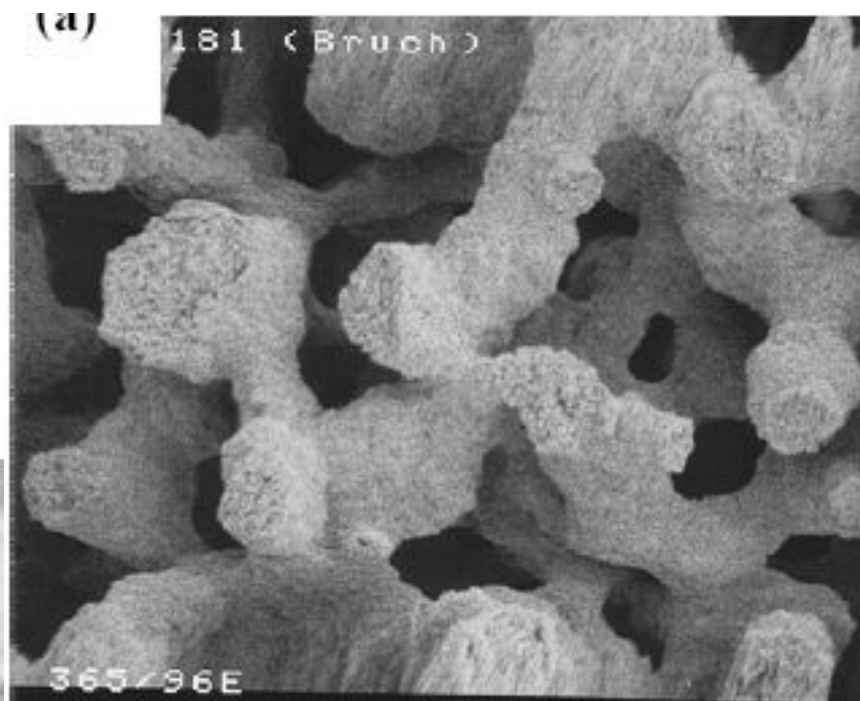
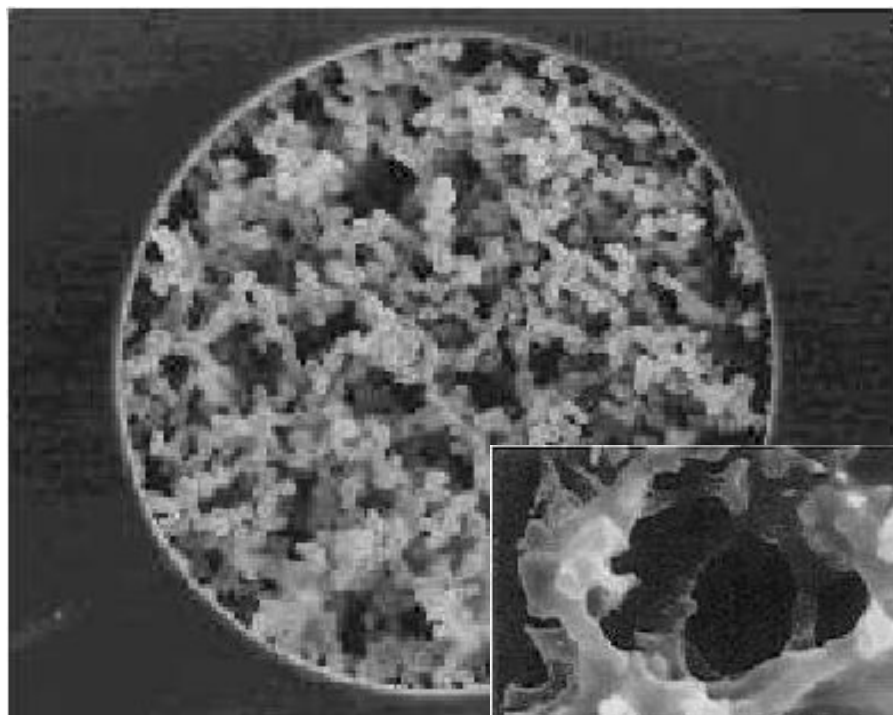
- **DryLab[®]** (www.rheodyne.com)
- **ACD LC Simulator[™]** (www.acdlabs.com)
- **ChromSword[®]**
(www.iris technologies.net)
- **Osiris** (www.datalys.net)
- **Fusion AE[™]** (www.smatrix.com)

Монолитные колонки,
как альтернатива традиционным

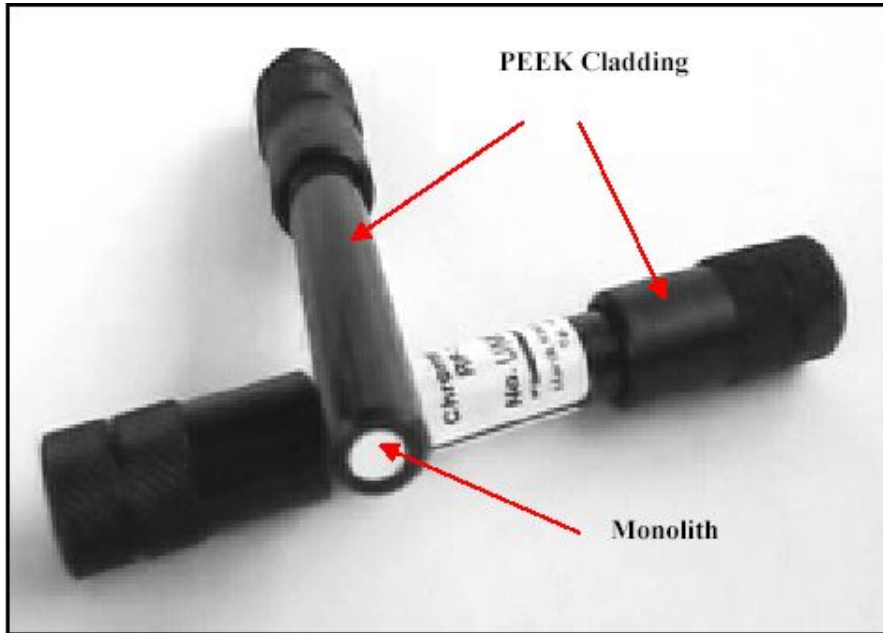
Схема синтеза монолитных колонок



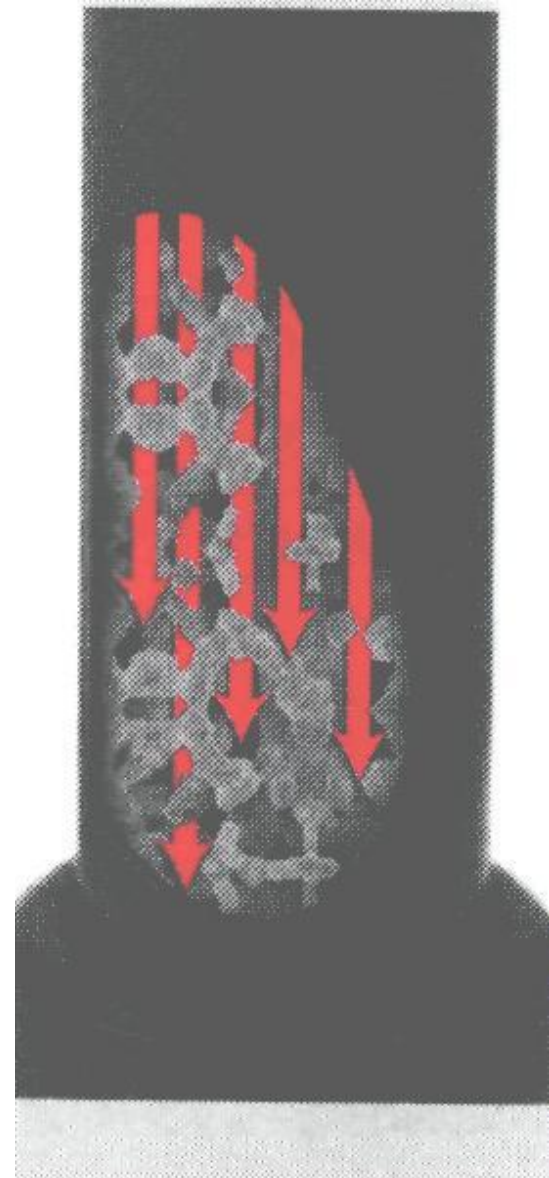
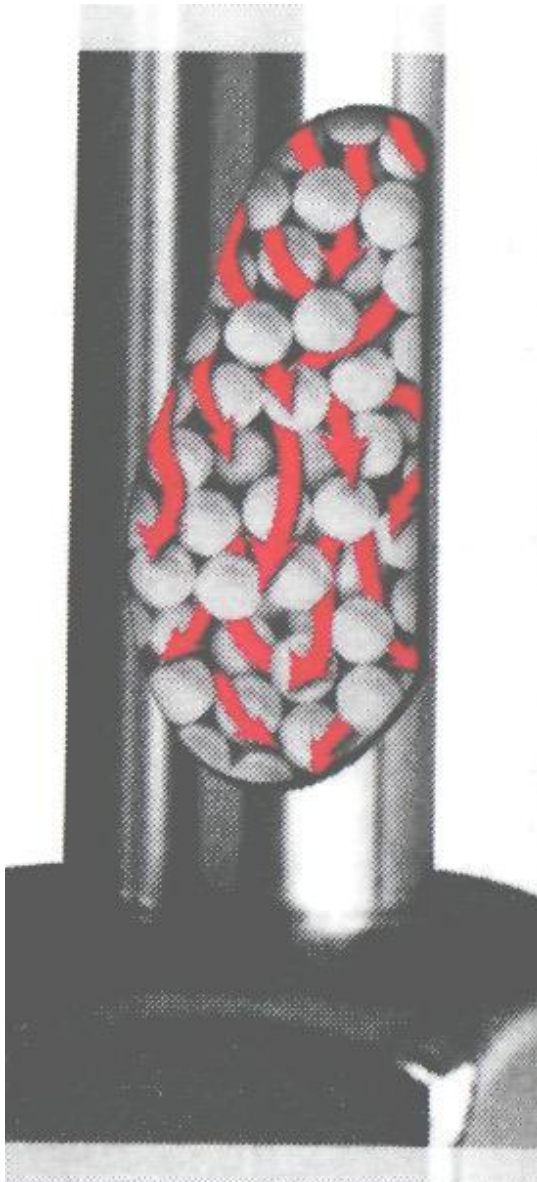
Микрофотографии монолитных колонок



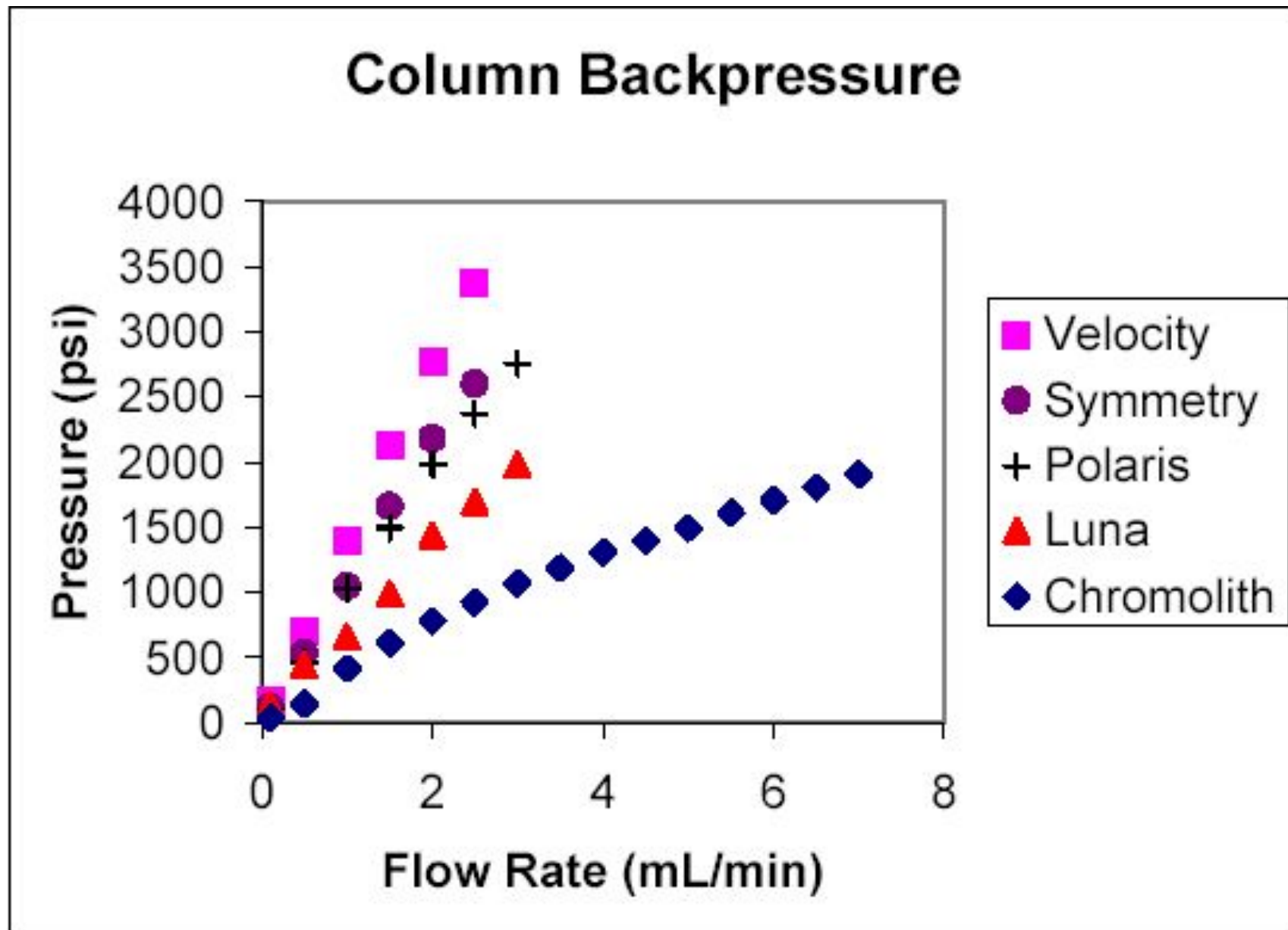
Различные форматы монолитных колонок



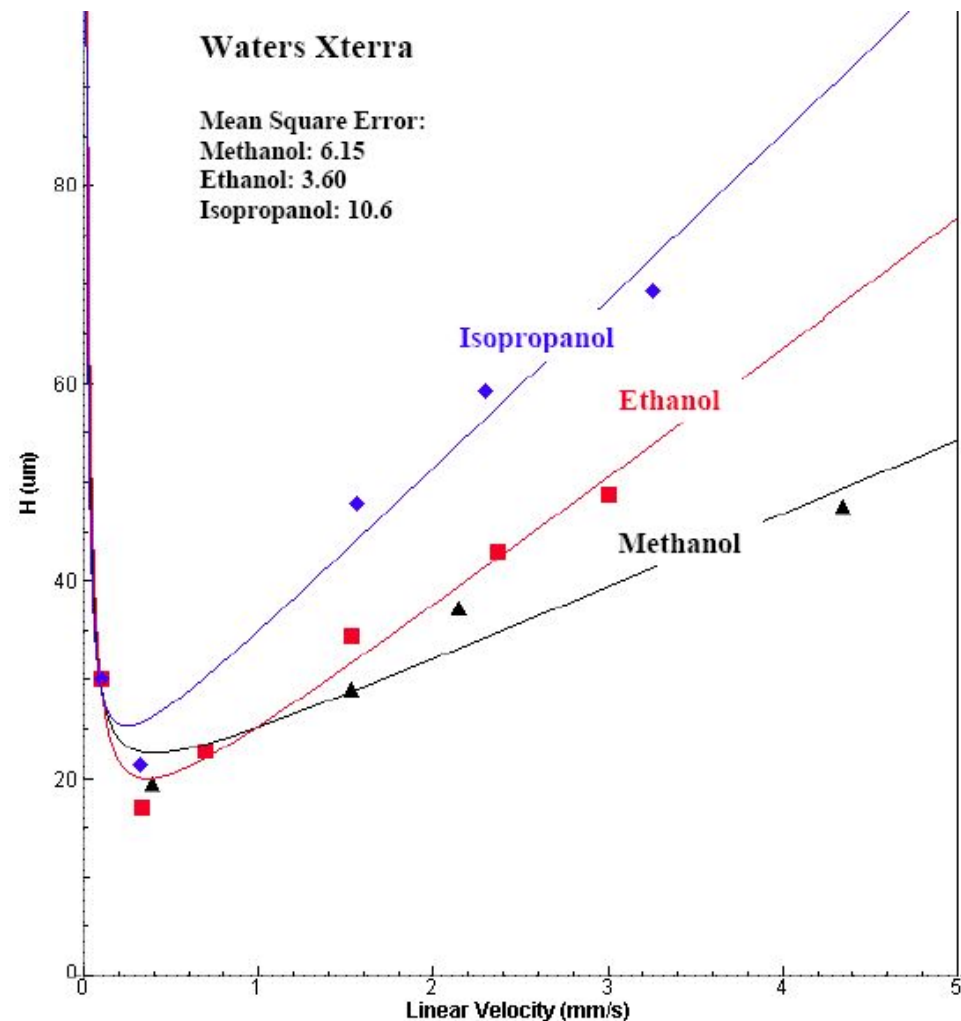
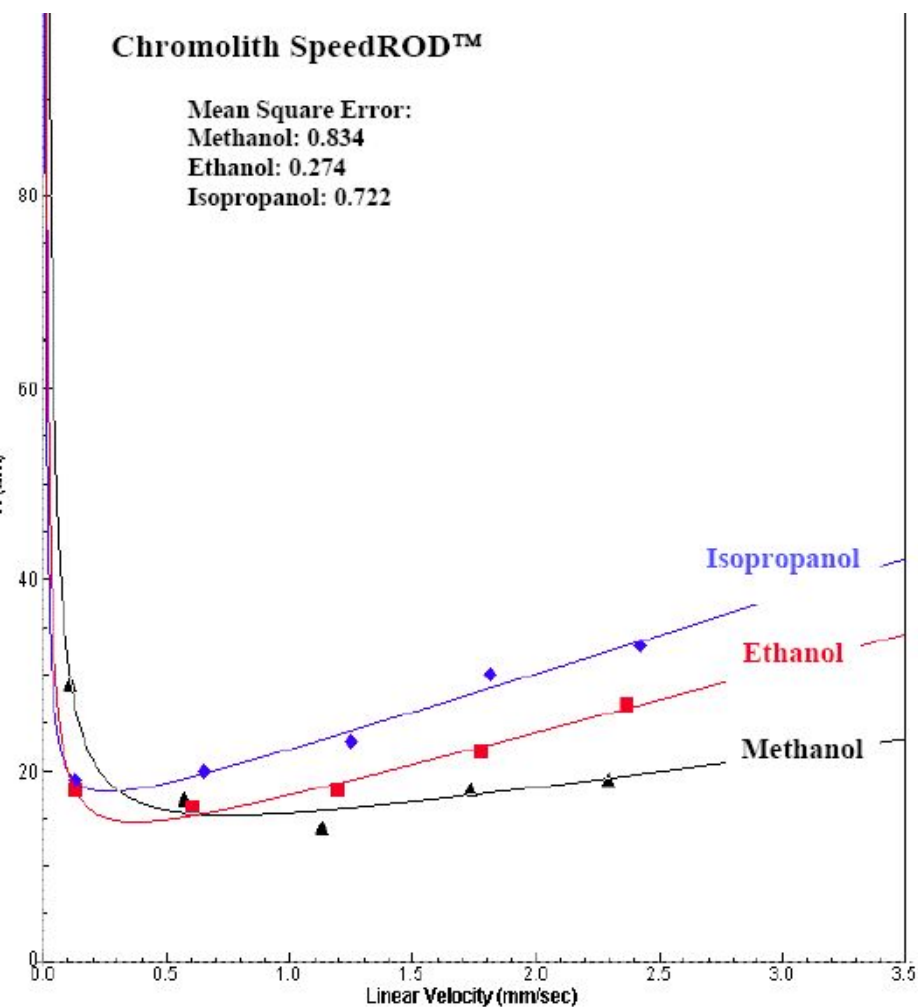
Поток подвижной фазы в традиционной и монолитной колонке



Зависимость давления от скорости потока элюента в традиционных и моноклитных колонках



Кривая Ван-Деемпера для монолитной и традиционной колонок



Пример быстрого разделения органических веществ на монолитной колонке

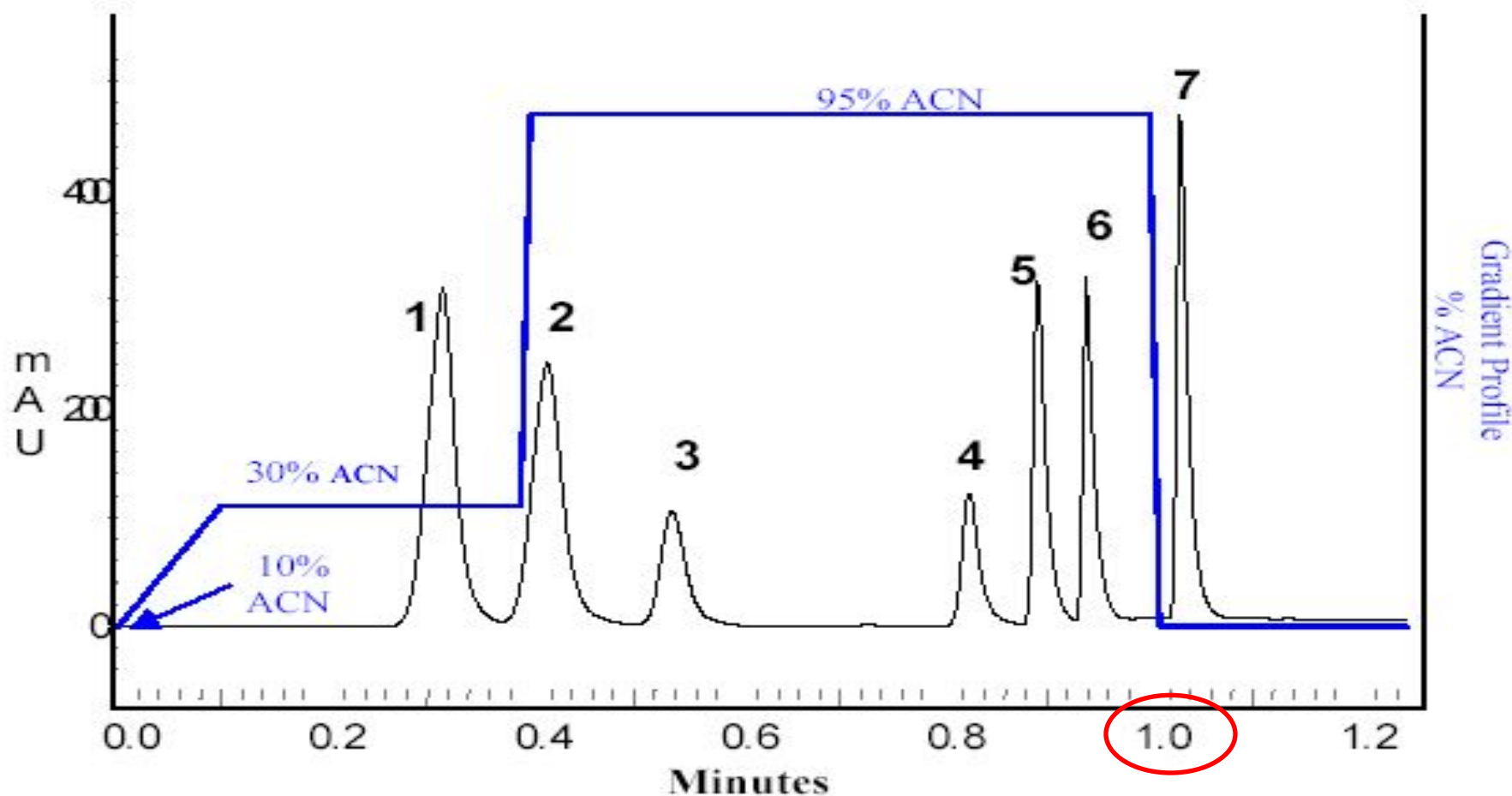


Figure 35: Chromatogram of a seven-component mixture analyzed under fast gradient conditions. Peaks as shown above: (1) benzamide, (2) N-methyl benzamide, (3) benzyl alcohol, (4) acetophenone, (5) ethyl paraben, (6) propyl paraben, (7) biphenyl, each approximately 70 ppm. Flow Rate, 8.0 mL/min, 10 μ L injection (manual). UV detection at 220 nm. Ambient temperature. Gradient conditions: 10/90 ACN/Water to 30/70 ACN/Water linearly in 0.10 minutes, hold at 30/70 for 0.30 minutes; step to 95/5 ACN/Water at 0.40 minutes hold for 0.60 minutes; then step to 10/90ACN/Water (initial conditions) at 1.01 minute

FINISH FIRST WITH MONOLITHIC SILICA HPLC COLUMNS

Material Characteristics

Packing Material	Macropore Size (µm)	Mesopore Size (Å)	Pore Volume (mL/g)	Surface Area (m²/g)	Carbon Load %	Calculated Bonded Phase Coverage (µmole/m²)	End Capping
Onyx Silica	2	130	1.0	300	0	0	No
Onyx C8	2	130	1.0	300	11	—	Yes
Onyx C18	2	130	1.0	300	18	3.6	Yes

Maximum Pressure: 200 Bar; pH Range: 2.0-7.5