



МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ

Хроматография

ГАЗОЖИДКОСТНА Я ХРОМАТОГРАФИЯ



2

ГАЗОЖИДКОСТНАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ

- ▣ В этом методе компоненты газовой смеси разделяются за счет их многократного растворения в неподвижной жидкой фазе (НЖФ) и последующего извлечения новыми порциями газа-носителя. Таким образом реализуется **распределительный механизм ГЖХ**, родственный процессу экстракции.
- ▣ Метод ГЖХ используется для анализа смесей органических веществ. Самый распространенный из хроматографических методов.
- Метод ГЖХ предложен в 1952 г. А.Мartiном и А.Джеймсом.



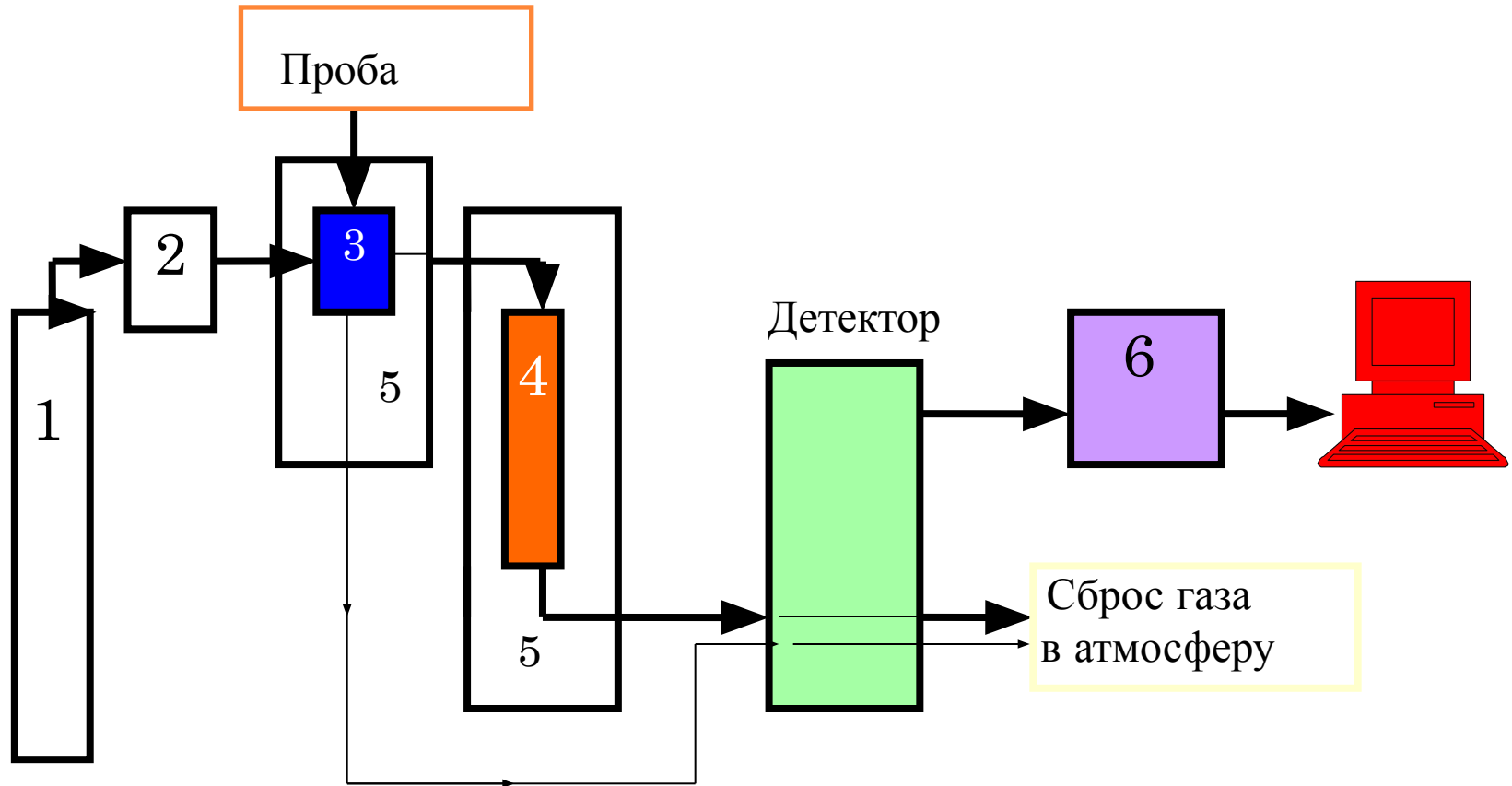
А.Мартин



Схема газового хроматографа

1 – баллон с газом-носителем (N_2 или He); 2 – блок подготовки газа-носителя; дозатор (испаритель); 4 – колонка; 5 – термостаты испарителя и колонки; самописец, интерфейс и т. п.

3 –
6 –



В качестве газа-носителя применяют азот, гелий, аргон.

Изредка применяют водород, углекислый газ и др.

Газ-носитель:

- не должен химически взаимодействовать с НЖФ, компонентами пробы, сорбентом или частями хроматографа;
- должен обеспечивать возможность детектирования компонентов смеси;
- должен иметь высокую чистоту. Поэтому его дополнительно очищают (фильтры, форколоники, охлаждаемые ловушки для примесей и др.).
- газ-носитель необходимо точно дозировать (давление, расход).



Газ-
носитель

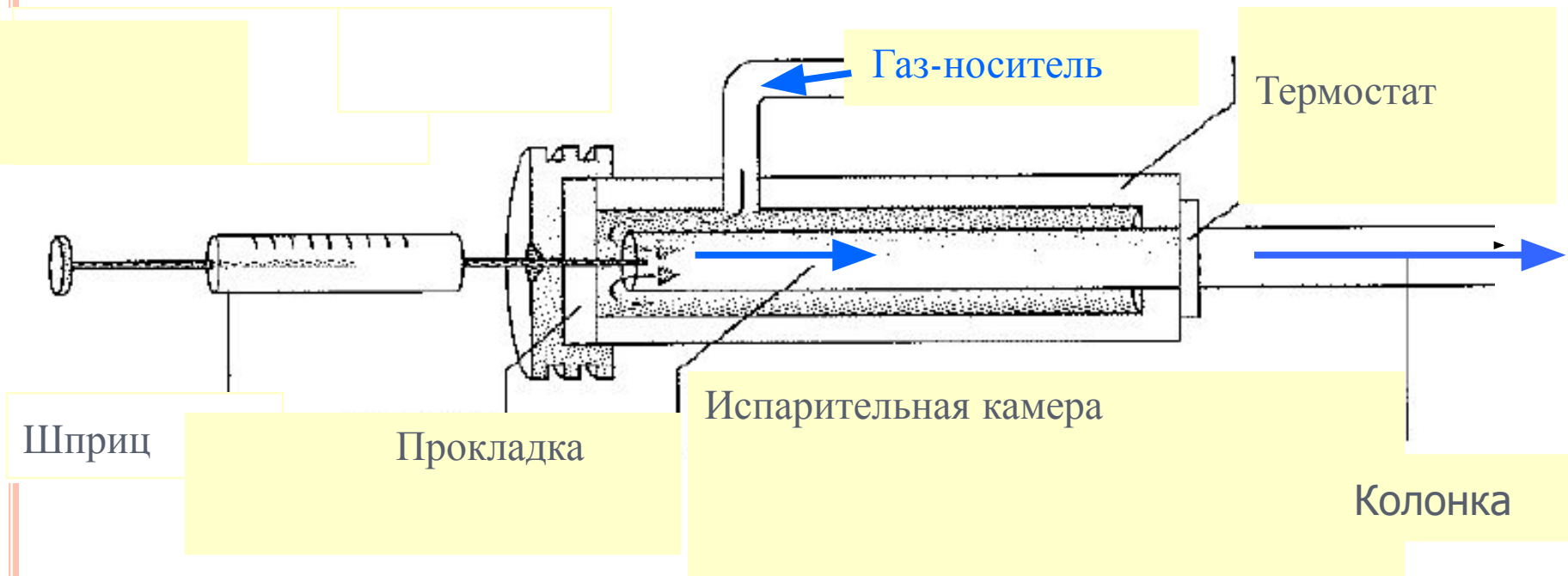
Характеристика свойств

**Газ-
носитель**

Характеристика свойств

Ввод пробы

Жидкие и твердые пробы заранее растворяют. Легкоиспаряемый растворитель не должен реагировать с компонентами пробы, НЖФ и газом-носителем.



Аликвоту полученного раствора с помощью шприца вводят в испаритель хроматографа, где она испаряется в потоке газа-носителя. Газообразные пробы вводят прямо в поток.

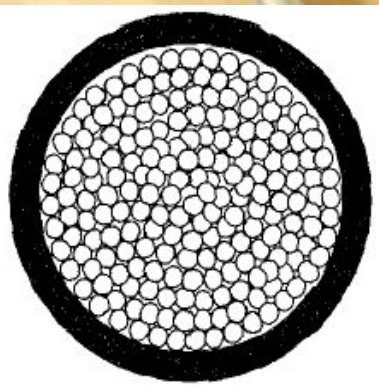
Для ввода пробы можно использовать краны-дозаторы, а также импульсные нагреватели для термодесорбции летучих веществ из твердых образцов.



КОЛОНКИ В ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

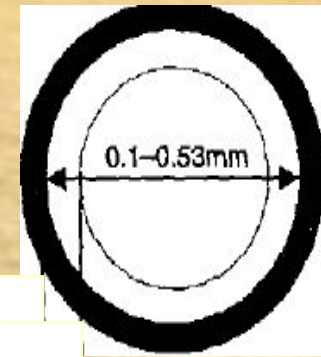
Набивные (насадочные)

—
внутренний диаметр 3-10
мм,
 $l < 10$ м. Колонку
заполняют
диатомидами, оксидом
алюминия,
силикагелем,
органическими
сорбентами.
Предварительно на
сорбенты наносят НЖФ.

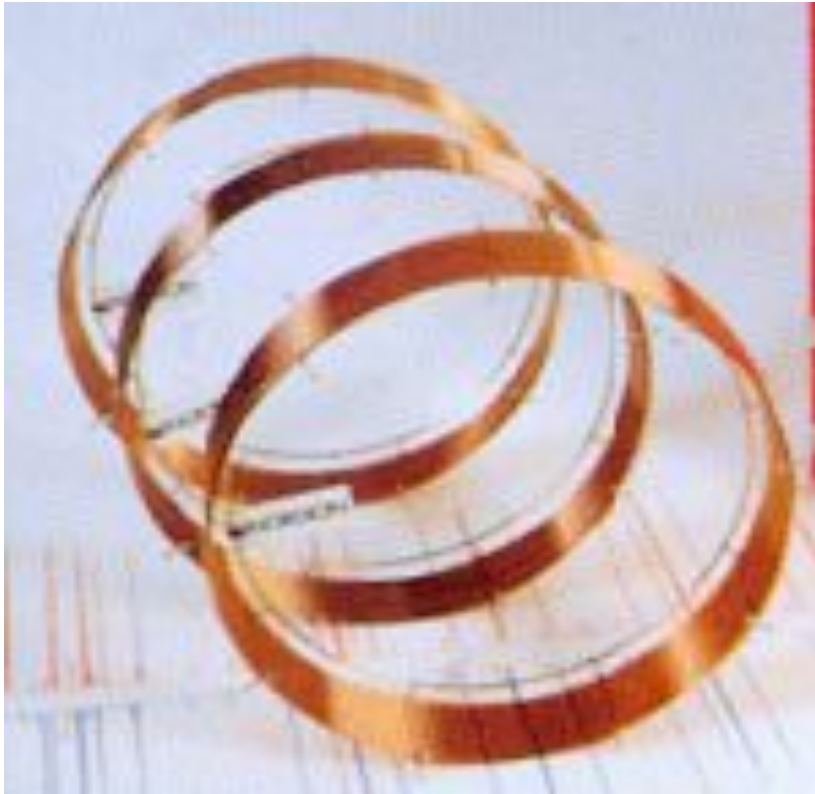


Капиллярные —

внутренний диаметр
0.25-0.5 мм,
 $l = 30-100$ м. На
внутреннюю
поверхность наносят
НЖФ. Капиллярные
колонки появились
несколько позже, чем
насадочные. Они
значительно дороже.



Капиллярные колонки



В основном из плавленного кварца, нанесение полиамидной пленки делает их гибкими. Легко крепятся к держателям, инжектору, детектору

Неподвижную фазу в принципе можно заменять. Высокая эффективность достигается при ламинарности потока газа-носителя



Насадочные колонки

Требования к сорбентам (носителям):

- достаточно малый размер зерна (20-40 мкм);
- монодисперсность;
- механическая прочность;
- термостойкость и химическая инертность

Природа носителей: диатомиты, а также алюмосиликаты, силикагель, полимеры (тефлон) и др.

Фирменные названия: хромосорб, цветохром, новосорб и др.

Требования к неподвижной жидкой фазе

- Малая летучесть ($T_{\text{кип}}$ на 100 - 200⁰ выше рабочей температуры);
- Устойчивость (инертность) при рабочих температурах;
- Высокая, но не одинаковая растворимость компонентов пробы;
- Способность смачивать носитель (образование пленки)

КАК ВЫБРАТЬ НЕПОДВИЖНУЮ ФАЗУ В ГЖХ

- Найти литературные данные по индексам удерживания (или коэффициентам распределения) компонентов смеси на разных НЖФ. Выбирают ту фазу, где индексы сильнее различаются!
- Если данные по индексам не найдены, следует учесть, что полярность НЖФ должна быть сходна с полярностью компонентов анализируемой смеси («подобное растворяется в подобном»);
- Учесть температуры кипения компонентов разделяемой смеси и степень их структурного сходства;
- Учесть температуры испарения и разложения разных НЖФ, доступность и стоимость этих НЖФ;
- Для выбора НЖФ следует использовать справочники, научную литературу, Интернет. Можно спросить у того, кто знает!

Факторы, улучшающие разрешение пиков

- правильный выбор ПФ и НЖФ;
- увеличение длины колонки, уменьшение внутреннего диаметра;
- однородность сорбента, сферичность его молекул;
- равномерность набивки колонки сорбентом;
- оптимальная скорость потока газа-носителя;
- уменьшение объема вводимой пробы;
- правильный выбор температуры колонки;
- использование программирования температуры.

ТРЕБОВАНИЯ К ДЕТЕКТОРАМ (В ЛЮБОМ ВАРИАНТЕ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА)

- Высокая чувствительность
- Малая инерционность
- Линейная зависимость «отклик-концентрация»
- Воспроизводимость отклика
- Простота в использовании, безопасность
и доступность

ДЕТЕКТОРЫ В ГЖХ

Универсальные:

- детектор по теплопроводности (катарометр),
- пламенно-ионизационный детектор (ДИП, ПИД).

Селективные:

- детектор электронного захвата (ДЭЗ),
- спектрофотометрический детектор (поглощение в ИК-области),
- масс-спектрометрический детектор,
- другие.

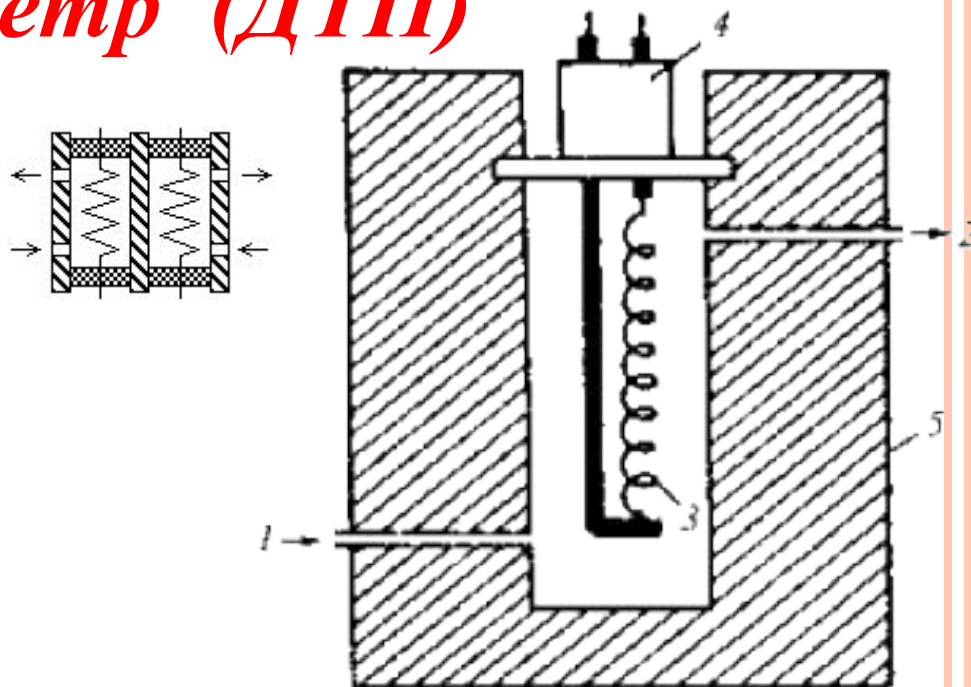
Детектор по теплопроводности (катарометр)

Основной принцип – непрерывное измерение теплопроводности газа, выходящего из колонки. При прохождении через детектор зоны вещества, элюирующегося с колонки, теплопроводность газа меняется и формируется аналитический сигнал

Возможности:

- универсальность (позволяет детектировать любые вещества);
- относительная простота, безопасность, низкая стоимость;
- линейность отклика;
- неодинаковая чувствительность по отношению к разным компонентам пробы;
- низкая чувствительность (микропримеси не детектируются).

Катарометр (ДТП)



- 1 – ввод газа из хроматографической колонки;
- 2 – вывод продуктов в атмосферу;
- 3 – нить сопротивления;
- 4 – изолятор;
- 5 – металлический блок катарометра

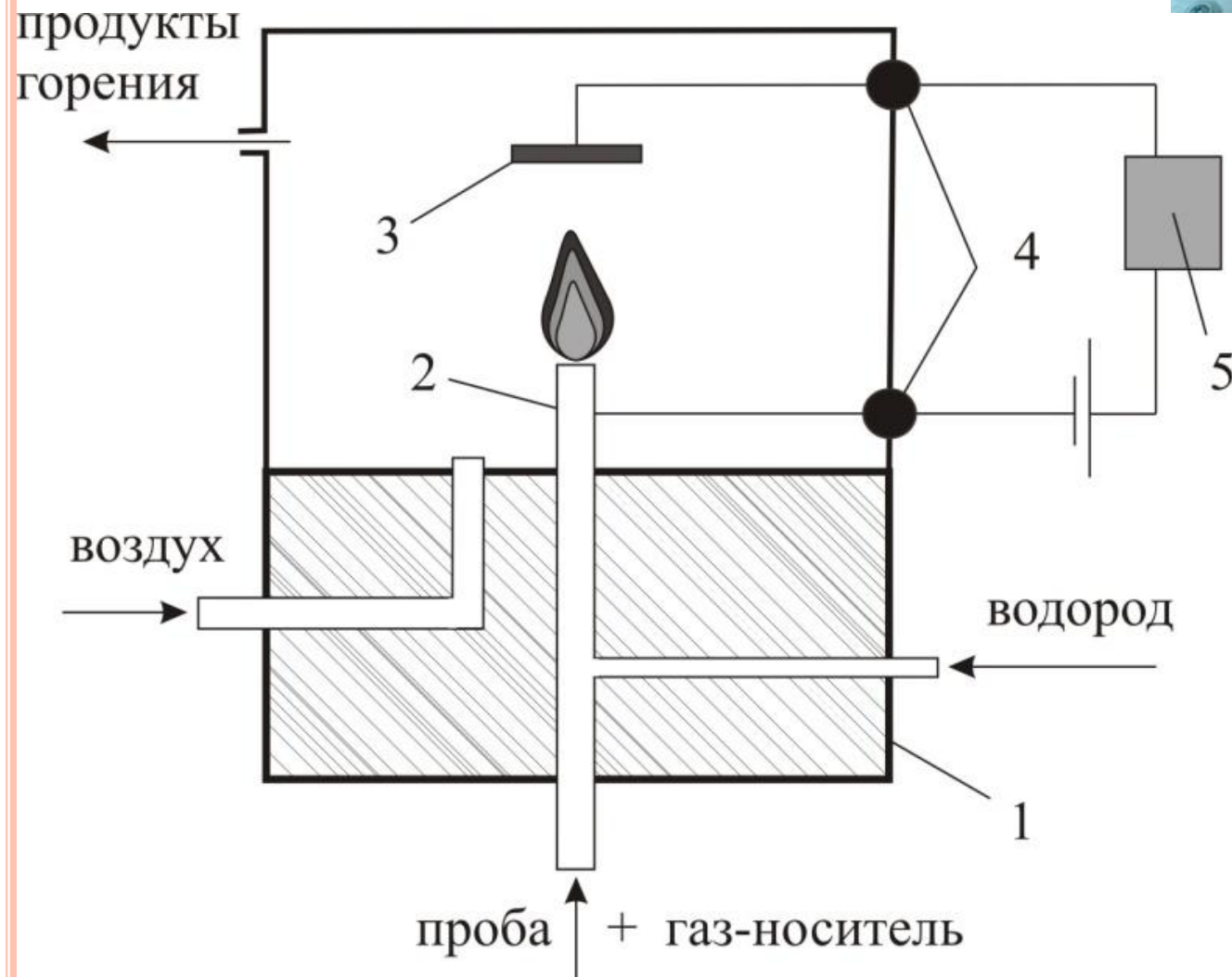
Пламенно-ионизационный детектор

Основной принцип – непрерывное измерение электропроводности пламени, через которое проходит газ-носитель. Высокотемпературное пламя (H_2 + воздух) ионизует компоненты пробы, элюирующиеся с колонки. Пламя становится более электропроводным, формируется аналитический сигнал. Для большей точности используется двухканальная схема

Возможности:

- универсальность. Отклик дают любые органические вещества;
- высокая чувствительность – детектируются даже нанограммовые количества, можно определять любые микропримеси;
- широкий диапазон линейности отклика (до 6 порядков по C_x);
- чувствительность детектора к разным органическим веществам примерно одинакова, к аминам и спиртам несколько снижена;
- детектор сложен, небезопасен и «капризен».

пламенно-ионизационный детектор



- 1 – ввод водорода;
- ввод газа из хроматографической колонки;
- ввод воздуха;
- 2 – горелка + катод;
- 3 – собирающий электрод;
- 4 –
- 5 –

Детектор по электронному захвату

Основной принцип: вещества, выходящие из колонки, ионизируются электронами (β -частицами). Поток активных β - частиц создается изотопом ^{63}Ni . Сигнал детектора пропорционален числу молекулярных ионов, образующихся при ионизации. Вероятность электронного захвата высока лишь для веществ, содержащих галогены, гораздо меньше для других гетероэлементов (O,P,S) и близка к нулю для углеводов:



Возможности:

- детектор используется в основном для пестицидов;
- детектор исключительно чувствителен (на уровне пикограммов);
- ограниченный диапазон линейности (менее 2 порядков по C_x);
- сложность конструкции, радиационная опасность.

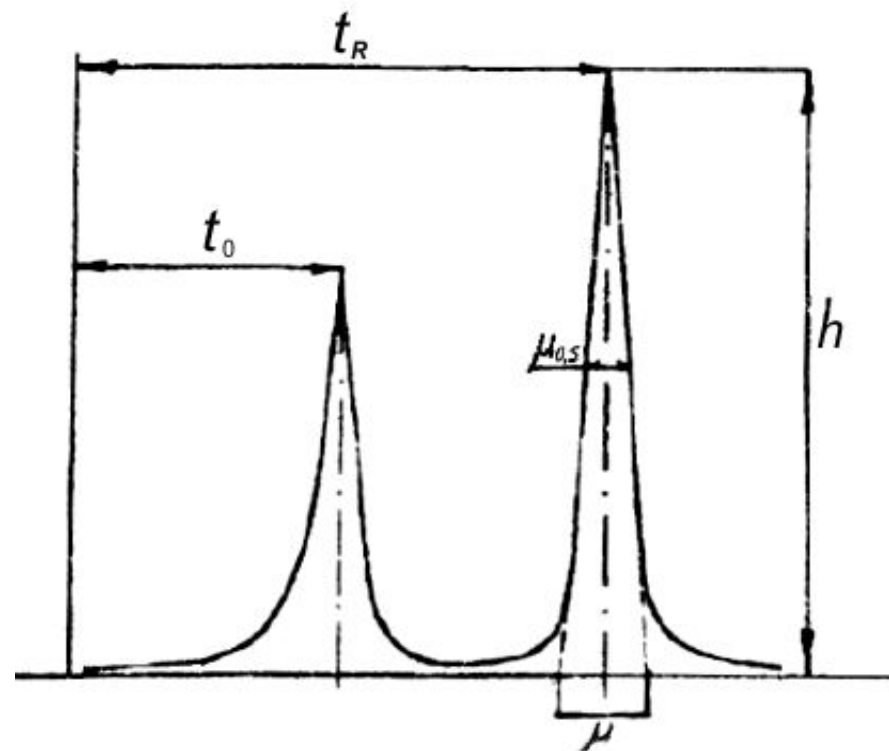
Параметры хроматографического пика

h – высота пика;

μ - ширина пика у основания;

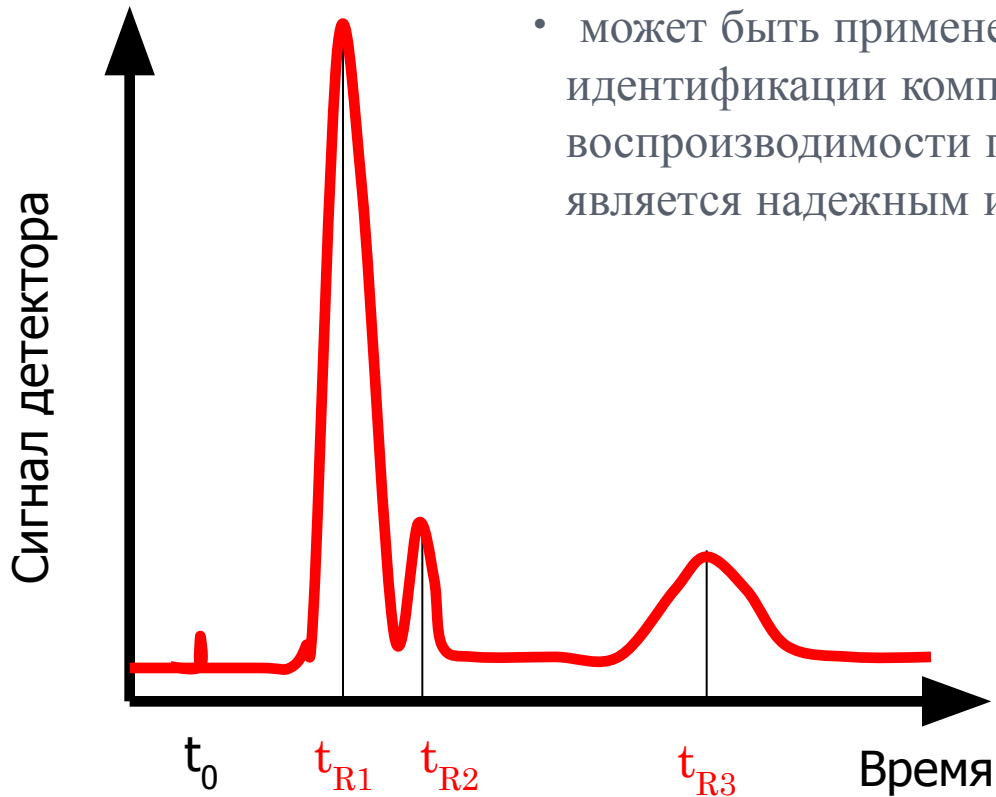
$\mu_{0,5}$ - полуширина пика (ширина на половине высоты);

t_R - время удерживания
(абсолютное)



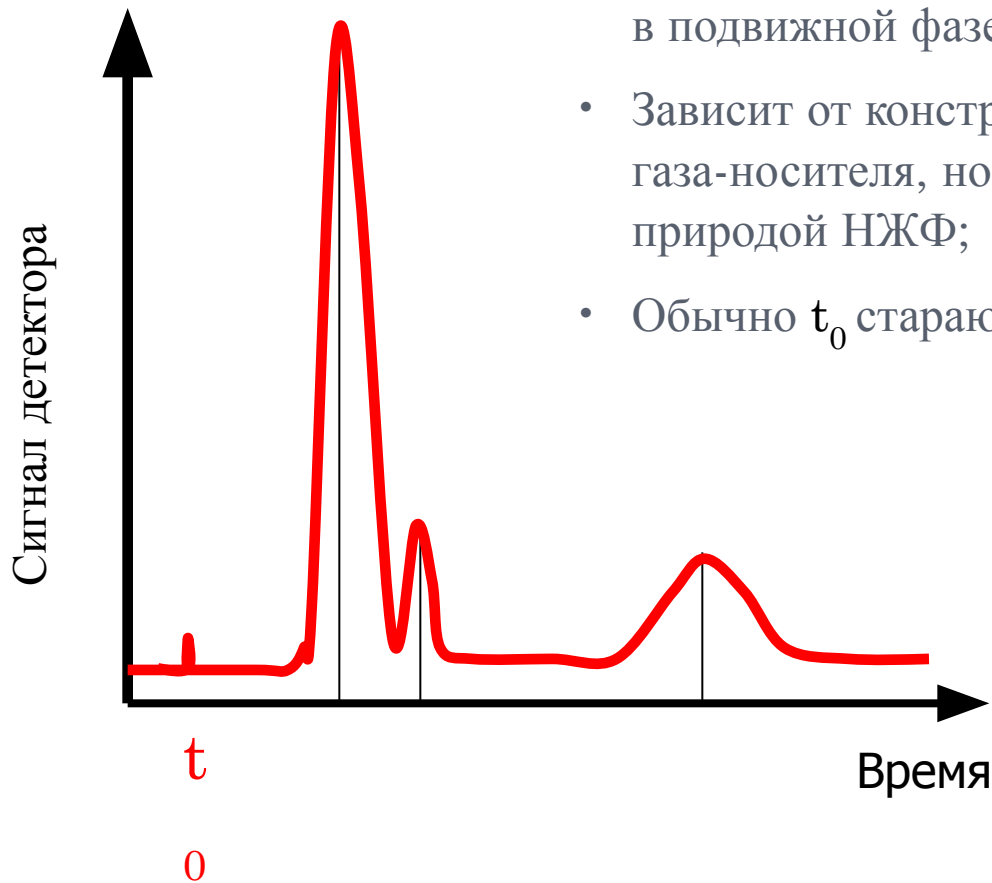
Время удерживания (t_R)

- Время от ввода пробы до выхода компонента. Величину t_R легко определить по хроматограмме. Она зависит не только от природы компонента, но и от конструкции прибора, типа колонки, давления газа, температуры и природы НЖФ,
- может быть применено для отнесения пиков и для идентификации компонентов. Из-за плохой воспроизводимости при повторном вводе пробы t_R не является надежным идентификационным признаком.



Мертвое время (t_0)

- Время от ввода пробы до выхода неудерживаемых компонентов;
- Для других компонентов – время их нахождения в подвижной фазе;
- Зависит от конструкции прибора, типа колонки и давления газа-носителя, но не связано с составом пробы или природой НЖФ;
- Обычно t_0 стараются минимизировать

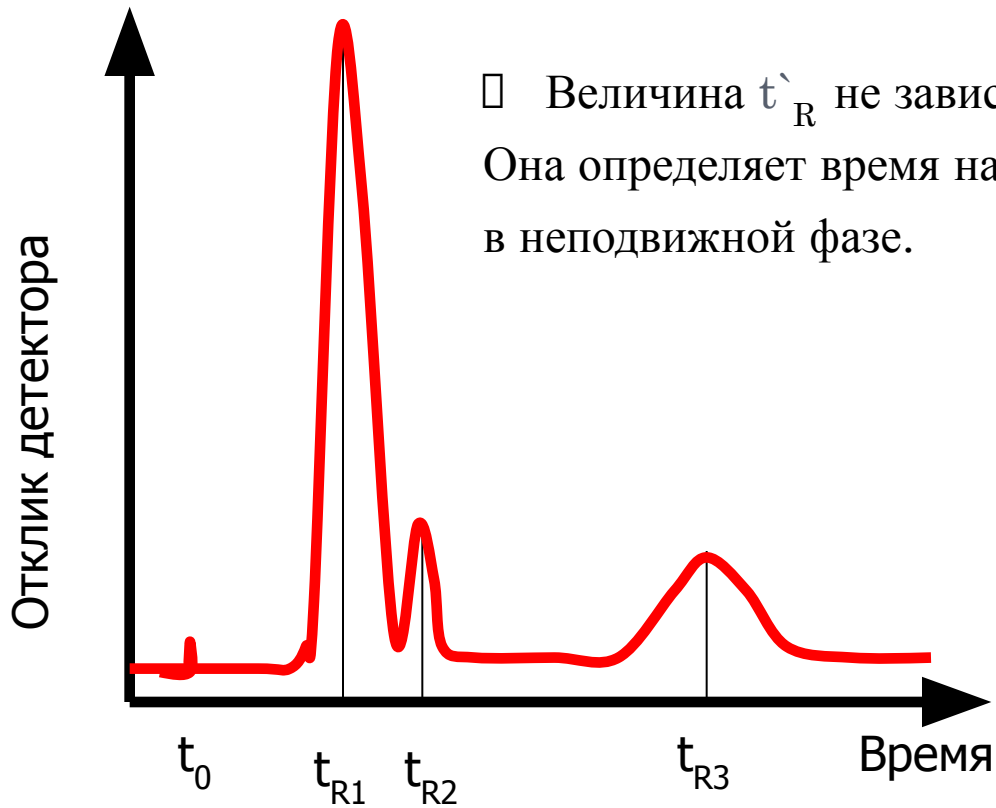


Исправленное время удерживания (t_R')

□ Внесем поправку на «мертвое время»:

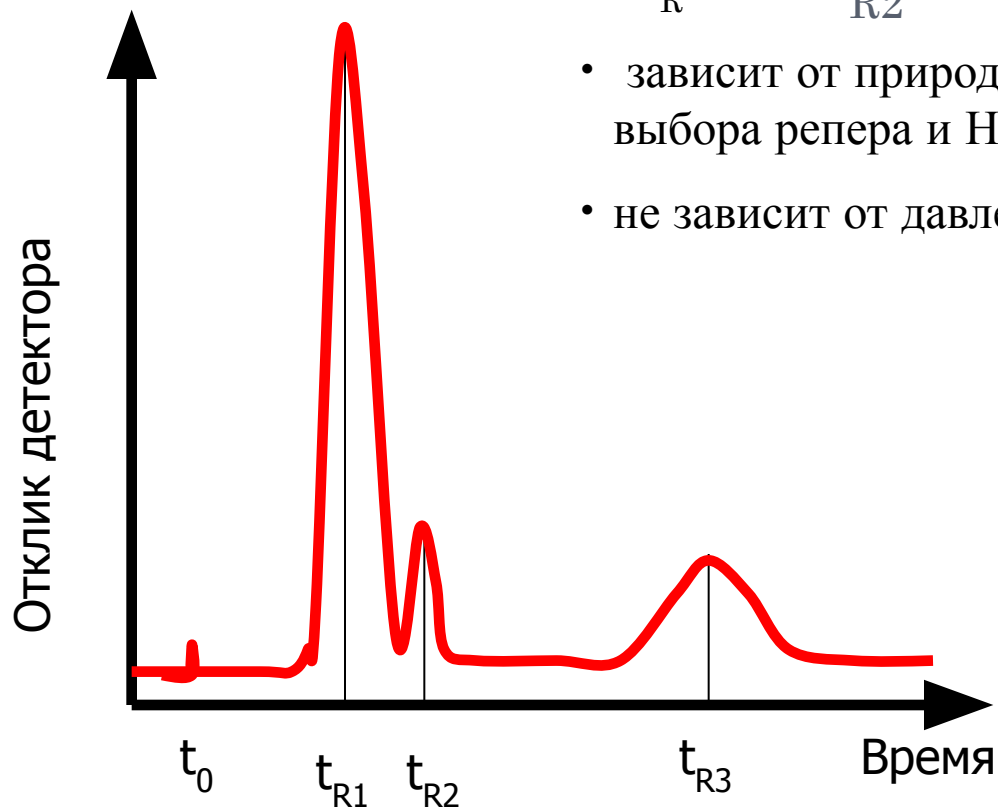
$$t_R' = t_R - t_0$$

□ Величина t_R' не зависит от конструкции прибора;
Она определяет время нахождения компонента
в неподвижной фазе.



Относительное исправленное время удерживания $(t_R')^{\text{отн}}$

- $t_R'^{\text{отн}} = t_{R2}' / t_{R1}'$
- зависит от природы компонента, а также от выбора репера и НЖФ;
- не зависит от давления и скорости движения газа-носителя



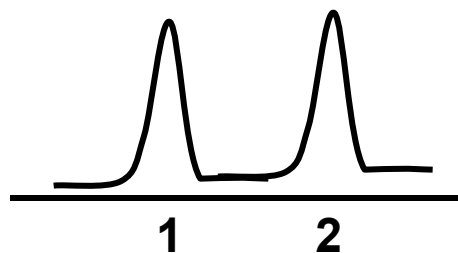
t_R' гораздо более воспроизводимая величина, чем абсолютное время удерживания, это более надежный идентификационный признак

Критерии хроматографического разделения веществ

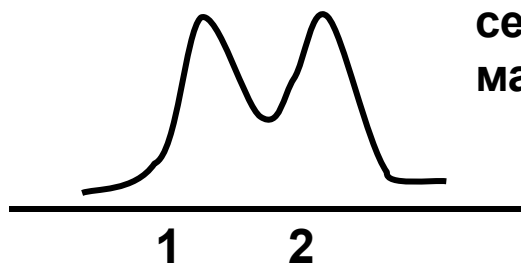
эффективность и селективность

Эффективность оценивают по ширине хроматографического пика:
Чем уже пик, тем лучше эффективность

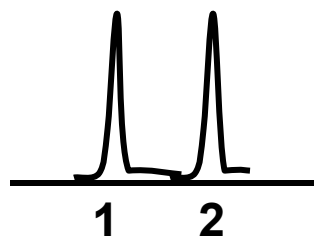
Селективность оценивают по расстоянию между двумя соседними пиками



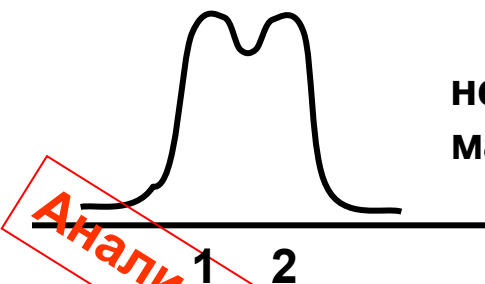
эффективно
селективно



селективно
мало эффективно

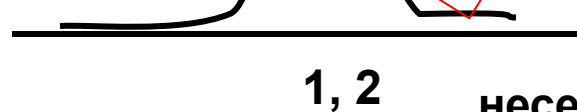


эффективность
лучше,
селективность
ухудшилась



неэффективно
малоселективно

Анализ невозможен



неселективно

□ Коэффициент селективности α

$$\alpha = \frac{t'_{R2}}{t'_{R1}} = \frac{V'_{R2}}{V'_{R1}} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{K'_2}{K'_1}$$

$$K'_2 = \frac{t'_{R2}}{t_m} = \frac{V'_{R2}}{V_m}; \quad K'_1 = \frac{t'_{R1}}{t_m} = \frac{V'_{R1}}{V_m}$$

□ разрешение R_S

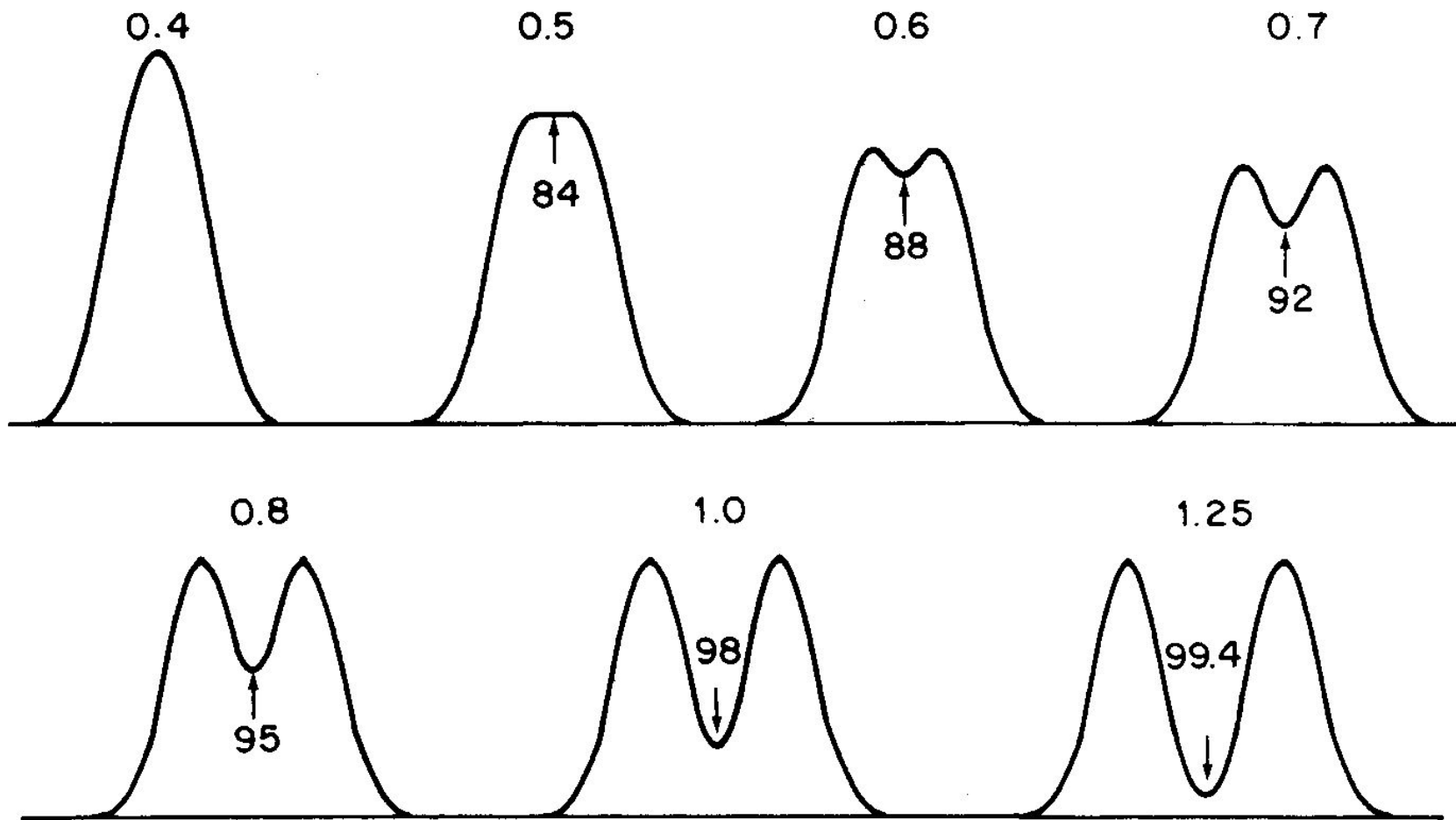
$$K = D \frac{V_S}{V_m}$$

$$R_S = \frac{t_{R2} - t_{R1}}{\omega_{0.5(2)} + \omega_{0.5(1)}} = 2 \frac{\Delta t_R}{W_1 + W_2}$$

$$R_S = 0.212 \frac{(D_2 - D_1)2}{(D_2 + D_1)} \sqrt{N} = \frac{\Delta D}{D_{cp}} \sqrt{N}$$

$$\psi = \frac{h_2 - h_{\min}}{h_2}$$

Критерии разделения



При 100% разрешении пиков $R_s > 1.5$



Качественный газо-хроматографический анализ

Задачи:

1. **индивидуальная идентификация, то есть полное определение состава;**
2. **групповая, то есть определение компонентов, относящихся к определенному классу;**
3. **определение 1-2-х компонентов в группе.**

- **прямой метод;**
- **Метод тестеров;**
- **Сравнение характеристик удерживания компонентов смеси с характеристиками удерживания эталона, эталоном смесей или табличными данными;**

$$t'_R = \frac{t'_{Ri}}{t'_{Rcm}}$$

- **Применение аналитических и графических зависимостей между характеристиками удерживания веществ и их M_r , $T_{кип}$ и строения.**

Логарифмический индекс удерживания

(индекс Ковача)

$$I_x = 100 \left[\frac{\lg t'_R(x) - \lg t'_R(n)}{\lg t'_R(n+1) - \lg t'_R(n)} + n \right]$$

где $t'_R(n)$ и $t'_R(n+1)$ — исправленные времена удерживания n -алканов с n и $n+1$ атомами углерода, выходящих из колонки до и после X , $t'_R(x)$ — исправленное время удерживания X .

Индекс Ковача определяется природой X и НЖФ, слабо зависит от температуры и практически не зависит от скорости газа-носителя, концентрации X и состава пробы.

Пример. На хроматограмме бензина исправленное время удерживания (t'_R) некоторого пика равно 189 с. Пик лежит между пиками n -гептана и n -октана, для которых значения t'_R равны 172 и 218 с. Предполагается, что опознаваемый пик принадлежит 2,2,4-триметилпентану, у которого $t'_R = 739,0$, для той же НЖФ и той же температуры. Верно ли это предположение?

Решение. Подстановка в формулу данных из условия дает:

$$I_x = 100 \left(\frac{\lg 189 - \lg 172}{\lg 218 - \lg 172} + 7 \right) = 739,2$$

Полученное значение I_x почти не отличается от табличного (погрешность измерения индексов обычно не превышает 0,5 единицы).

Следовательно, данный пик может принадлежать 2,2,4-триметилпентану.

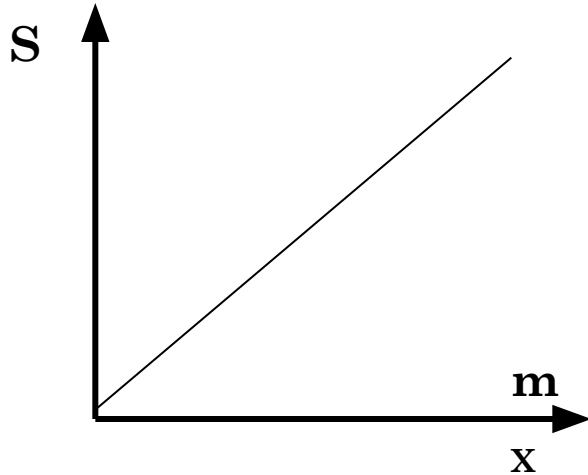
Количественный анализ в газожидкостной хроматографии

Наиболее распространенные методы количественного хроматографического анализа предполагают выполнение следующих условий:

- при вводе в хроматограф всех анализируемых проб (а также эталонов известного состава) режим работы хроматографа строго постоянен.
- при вводе и испарении пробы, а также при ее разделении в колонке вещество X не вступает в какие-либо химические реакции и полностью доходит до детектора;
- хроматограмма записывается с помощью дифференциального детектора, отклик которого прямо пропорционален концентрации X (обычно это бывает при достаточно малом содержании X);
- пик X не накладывается на пики других компонентов.

Метод абсолютной калибровки

В хроматограф вводят переменные содержания X , измеряют параметры пика, строят график зависимости $S = f(C_X)$ или (m_X)



Строго в тех же условиях измеряют параметр пика S_X на хроматограмме пробы

По графику находят содержание X в пробе

Можно рассчитать содержание X в пробе, сравнивая параметр пика X в пробе S_X и параметр пика градуировочного раствора S_{cp}

$$m_X = \frac{m_{cp} \cdot S_X}{S_{cp}}$$

Можно использовать метод добавок – измерить S_X на исходной хроматограмме пробы, и на хроматограмме после введения в пробу известной добавки $X_{доб}$ $S_{X+доб}$

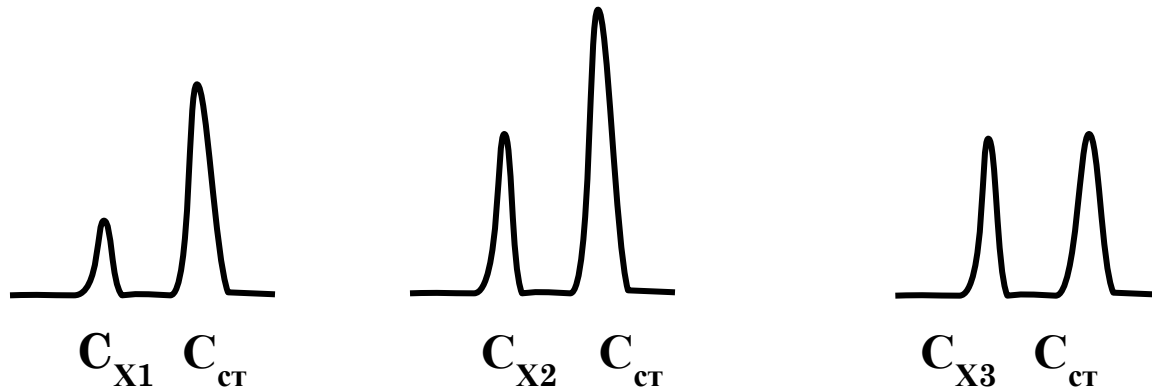
САМОЕ СЛАБОЕ МЕСТО: НЕПОСТОЯНСТВО ОБЪЕМА ВВОДИМОЙ ПРОБЫ.

Метод внутреннего стандарта

Используют относительные параметры хроматографических пиков (относительные площади или относительные высоты).

Площадь пика X делят на площадь пика вещества- внутреннего стандарта на той же хроматограмме.

Внутренний стандарт вводят в одинаковой концентрации во все модельные растворы с переменными содержаниями X



$$S_{отн} = \frac{S_X}{S_{ст}}$$

Строят график зависимости $S_{отн} = f(C_X)$ или (m_X)

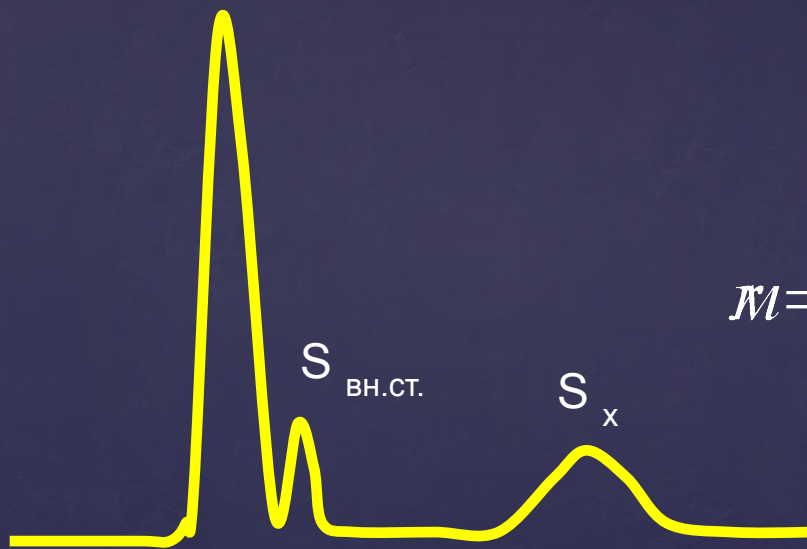
В пробу вводят вещество-стандарт в той же концентрации, измеряют $S_{Хотн}$, по графику находят содержание X в пробе.

Можно вычислить коэффициент k и вести расчеты без построения графика:

$$S_{отн} = kC_X$$

Способ внутреннего стандарта

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



$$k = \frac{m_{\text{вн.ст.}}}{m_{\text{пробы}}} \left(= \frac{m_{\text{вн.ст.}}}{m_{\text{пробы}}} \right)$$

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

Можно вести расчет методом сравнения со стандартом.

Пример

На хроматографе с ДИПом анализируют смесь, состоящую из бензола и этилбензола.

В качестве внутреннего стандарта в смесь ввели 200 мг толуола.

Площади хроматографических пиков равны соответственно:

бензола, 12 мм²

этилбензола 16 мм²

толуола 14 мм².

Рассчитайте содержание бензола и этилбензола в смеси (в мг)

содержание бензола:

$$m_{\text{бенз}} = \frac{S_{\text{бенз}} \cdot m_{\text{тол}}}{S_{\text{тол}}} = \frac{12 \cdot 200}{14} = 171 \text{ мг}$$

содержание этилбензола:

$$m_{\text{этилбенз}} = \frac{S_{\text{этилбенз}} \cdot m_{\text{тол}}}{S_{\text{тол}}} = \frac{16 \cdot 200}{14} = 229 \text{ мг}$$

Метод внутренней нормировки (метод нормализации)

Цель анализа – определение полного состава исследуемого объекта.

$$C_{i,\%} = \frac{k_i S_i \cdot 100\%}{\sum k_i S_i}$$

$C_{i,\%}$ - массовая доля i -го компонента пробы

S_i - площадь i -го пика на хроматограмме пробы,

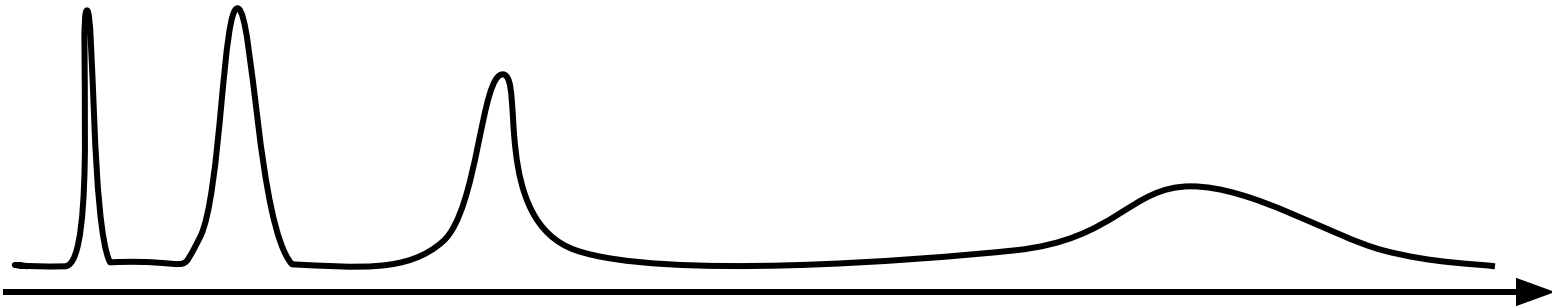
k_i – поправочный коэффициент детектора к i -му компоненту (если используют катарометр)

Метод нельзя применять, если:

1. Проба не полностью испаряется
2. В колонке идут химические превращения компонентов пробы
3. Не все компоненты пробы выходят из колонки
4. Нет полного разделения пиков на хроматограмме

Программирование температуры

Компоненты пробы сильно отличаются по $t_{\text{кип}}$



С целью сокращения времени анализа и улучшения качества хроматографического разделения используют программирование температуры

ЖИДКОСТНАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ

Варианты: - колоночная; - тонкослойная; - бумажная

Механизм – адсорбционный, распределительный, смешанный

Колоночная хроматография

Собирают отдельные фракции, каждую из которых анализируют отдельно (могут быть разные методы анализа каждой фракции)

Непрерывный анализ: собирают аликвоты элюата, в каждой измеряют какой-либо параметр, сигнал подают на самописец

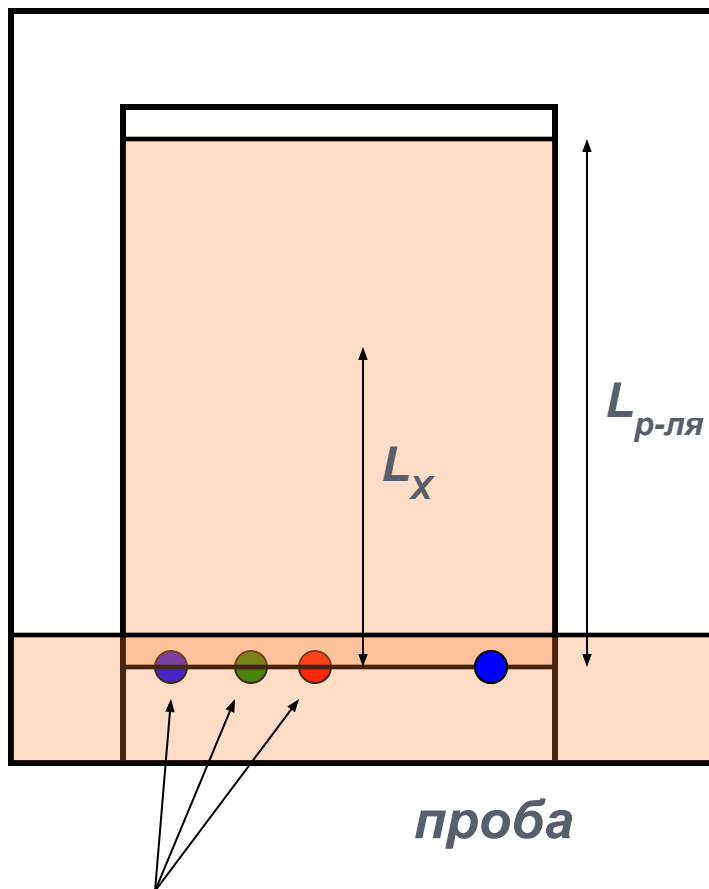
Большой недостаток – очень медленно!



Основное применение сейчас –
в препаративных целях:

- очистка,
- разделение продуктов реакции орг. синтеза,
- разделение соединений, больших групп, напр., полярных, неполярных

ТОНКОСЛОЙНАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ – ТСХ. ТЕХНИКА ПРОВЕДЕНИЯ ТСХ



Пластинка (стеклянная или из металлической фольги)

НФ - сорбент (закрепленный или незакрепленный)

ПФ- растворитель

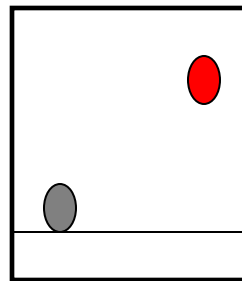
$$R_f = \frac{l_x}{l_{p-ля}}$$

R_f – подвижность, является качественной характеристикой вещества

Факторы, влияющие на R_f

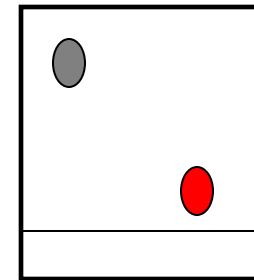
1. Толщина слоя сорбента
2. Размеры частиц сорбента
3. Температура
4. Природа НФ, ПФ и вещества

НФ-полярная
ПФ-неполярная



фенол бензол

НФ-неполярная
ПФ-полярная



фенол бензол

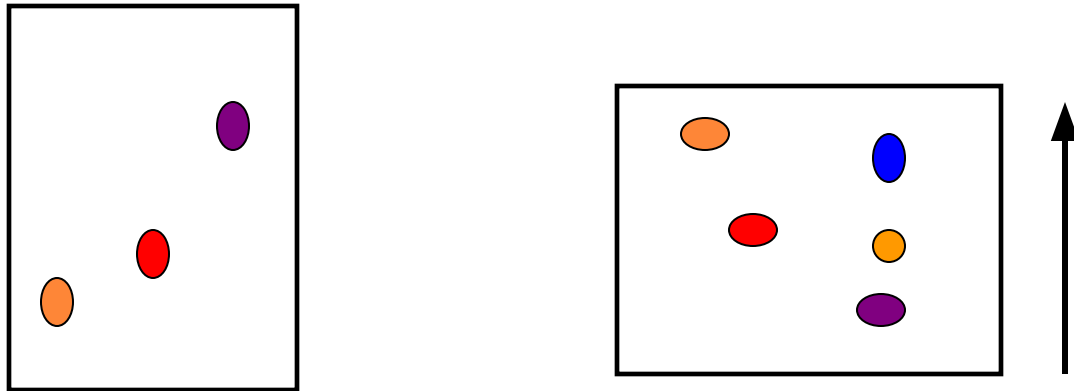
Вторая качественная характеристика - цвет пятна

Способы проявления ТС-хроматограмм

- камера с парами йода (органические соединения)
- просмотр в УФ-свете (органические соединения)
- орошение пластинки раствором красителя – вещества, дающего окрашенные соединения с компонентами пробы (неорганические)

Например, диметилглиоксим, дитизон, сульфид натрия

Двумерная ТС-хроматография



Количественный анализ

Каждое пятно обрабатывают подходящим растворителем, экстрагируя компонент, затем анализируют экстракт.

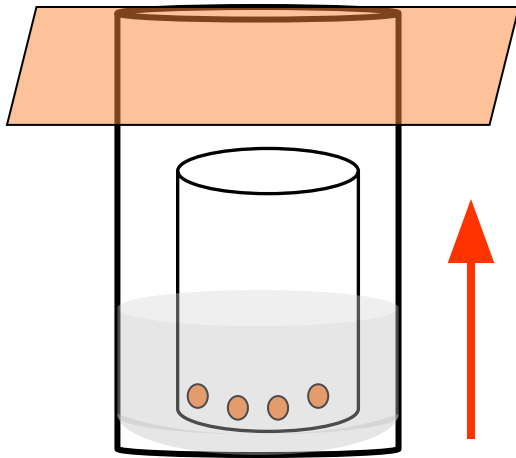
Аналитический сигнал – площадь пятна

Предварительно строят зависимость вида:
площадь пятна – содержание компонента

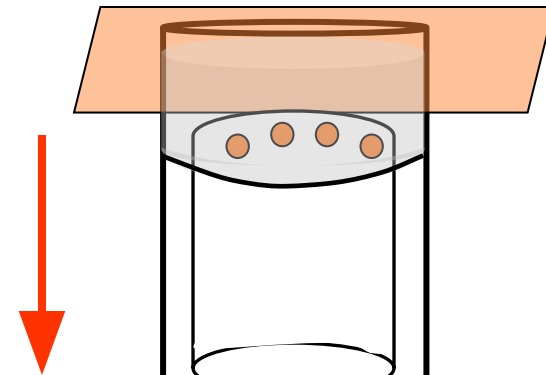
Бумажная хроматография

Механизм – распределительный. НФ – вода, ПФ – органический р-ль

По технике выполнения схожа с ТСХ.



Камера для выполнения
восходящей БХ



Камера для выполнения
нисходящей БХ

R_f – качественная характеристика вещества

площадь пятна – количественная характеристика

Достоинства ТСХ и БХ

- 1. Простота**
- 2. Экспрессность**
- 3. Универсальность**

Применение ТСХ и БХ

- 1. Экспресс-анализ на чистоту вещества**
- 2. Быстрое разделение компонентов пробы на фракции**

Ограничения:

- 1. Анализ не слишком сложных смесей.**
- 2. Определение - полуколичественное**

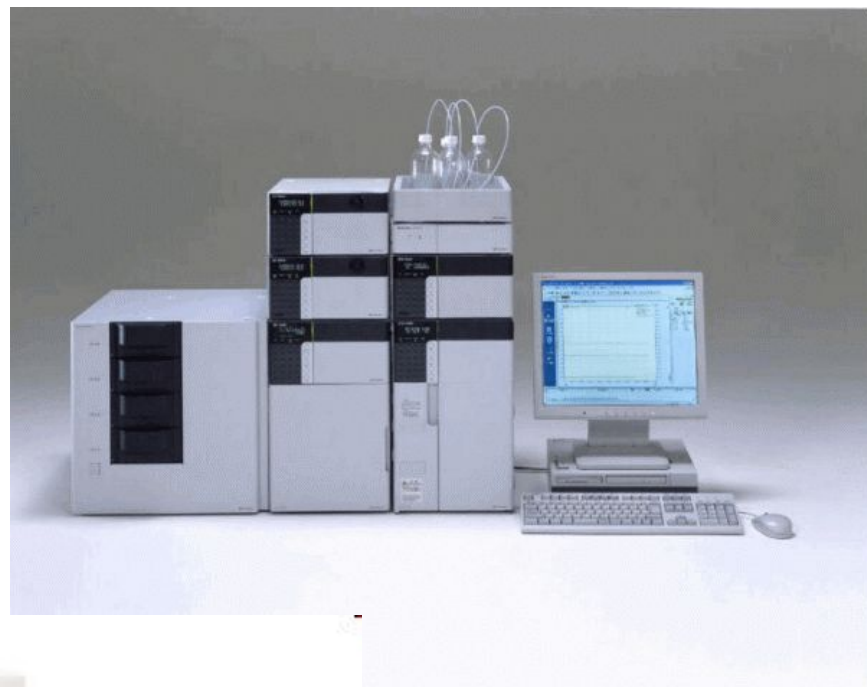
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ЖИДКОСТНАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ (ВЭЖХ)

Основной недостаток ЖХ – длительность- устраняется путем подачи ПФ под высоким давлением.

Преимущества:

- 1. Анализ ведут при комнатной т-ре**
- 2. Более широкий круг определяемых веществ (в т.ч. неустойчивых при высоких т-рах, имеющих высокие $t_{кип}$)**
- 3. Селективность разделения высокая, т.к. есть возможность варьировать состав ПФ**

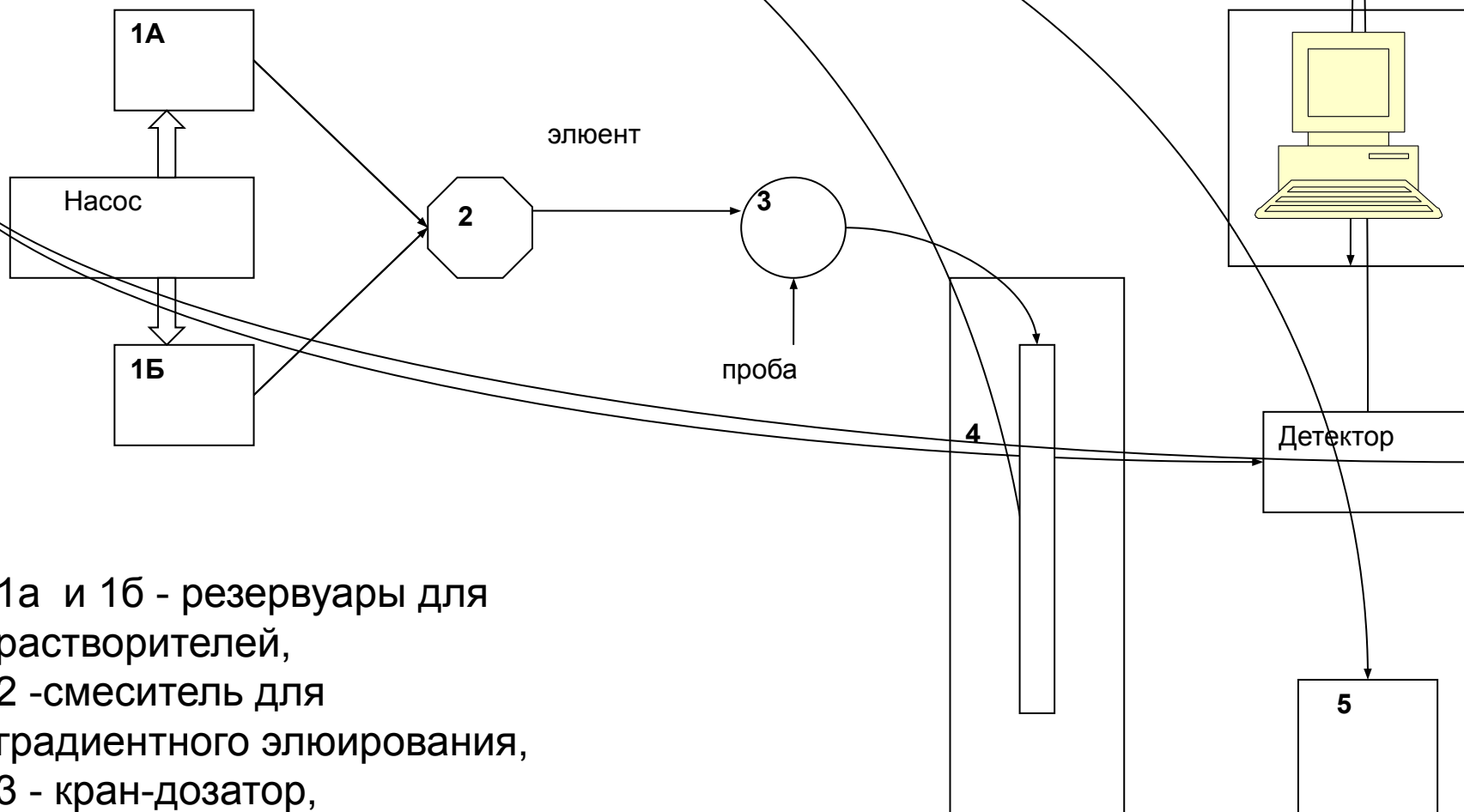
ЖИДКОСТНЫЕ ХРОМАТОГРАФЫ



Устройство жидкостных хроматографов более сложное по сравнению с газовыми.

Система подачи элюента включает дополнительные узлы – дегазатор, насосы, измерители давления, устройства для создания градиента.

Принципиальная схема хроматографа для ВЭЖХ



1а и 1б - резервуары для растворителей,
2 -смеситель для градиентного элюирования,
3 - кран-дозатор,
4 – термостат с колонкой,
5 –устройство для сбора фракций.

Колонка из стали длиной 10-30 см, диаметром 3-6 мм

**Сорбент – почти пылевидный (размер частиц 3-5 мкм, в ГЖХ – до 100 мкм)
часто сорбент наносят на стенки колонки.**

Объем вводимой пробы – доли мкл

Детекторы в ВЭЖХ

-рефрактометрический

-УФ-детектор

-люминесцентный

-электрохимический

Чувствительность детекторов – 10^{-9} – 10^{-10} г

ПРИМЕНЕНИЕ ВЭЖХ

Анализ:

-агрохимикатов

-лекарственных и витаминных препаратов

-полимеров

-экотоксикантов: ПАУ, диоксины, пестициды

-углеводороды

-наркотики

и др.

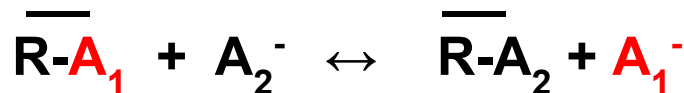
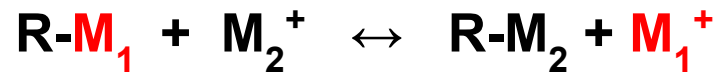
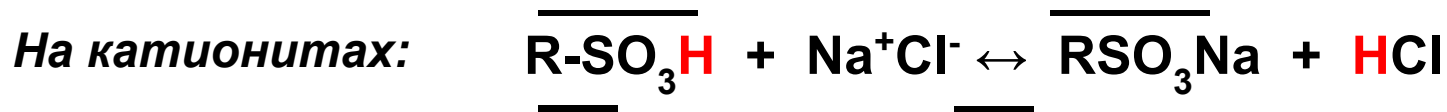
ИОННЫЙ ОБМЕН

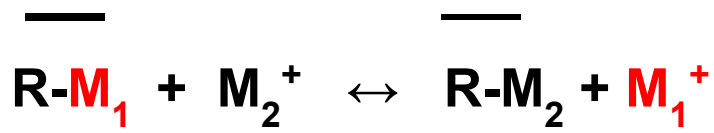
Иониты — полимеры, на поверхности которых привиты функциональные группы атомов.

На **катионитах** - кислотные группы (-SO₃H, -COOH, -OH и др.)

На **анионитах** - основные (-NH₃⁺Cl, =NH₂⁺OH и др.)

Ионообменное равновесие



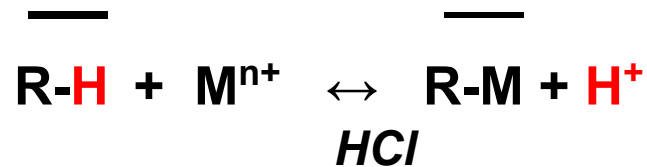
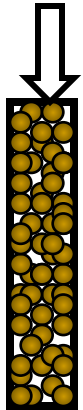


Константа обмена ионов

$$K = \frac{[M_1] \cdot [RM_2]}{[M_2] \cdot [RM_1]} = \frac{k_2}{k_1}$$

коэффициенты распределения k_1 и k_2 – отношения равновесных концентраций соответствующих ионов в фазе ионита (НФ) и в растворе (ПФ).

для сильнокислотных катионитов: $\text{Al}^{3+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{H}^+ > \text{Li}^+$.

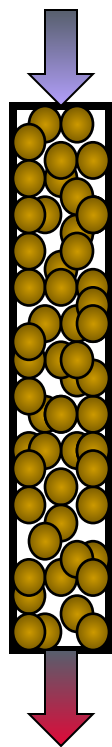


HCl



Обменная емкость ионита

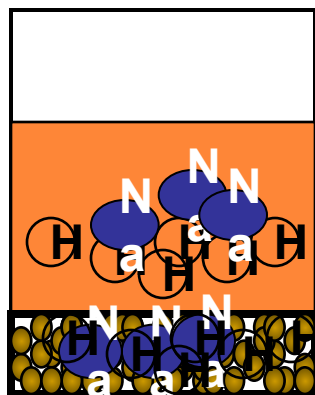
NaCl



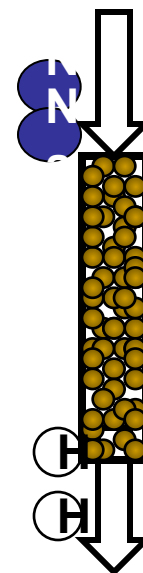
HCl

Количество моль-экв обмениваемого иона, приходящееся на 1 г сухого ионита в H^+ -форме (для катионитов) или Cl^- или OH^- - форме (для анионитов)

Статическая обменная
Емкость (СОЕ)

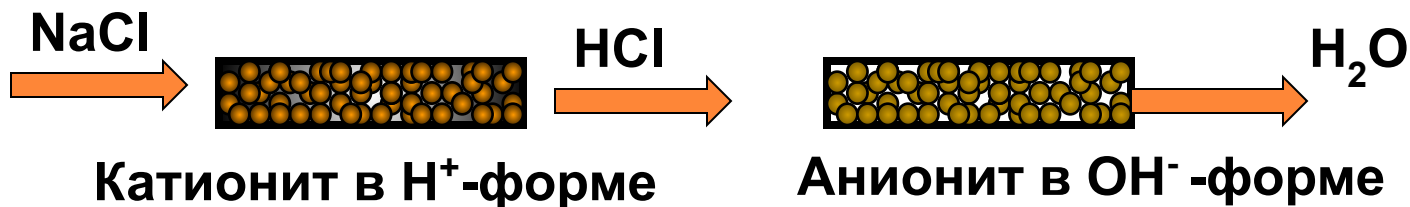


Динамическая обменная
Емкость (ДОЕ)



Применение ионитов

а) Получение деионизованной воды. Опреснение воды.

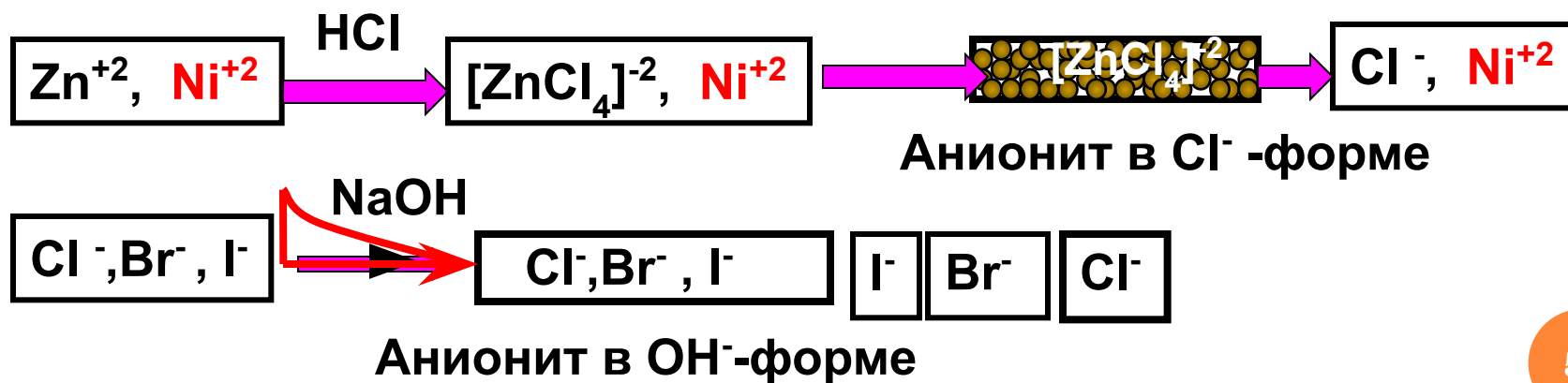


б) Отделение электролитов от неэлектролитов.

в) Определение общей минерализации.

г) Концентрирование.

д) Разделение смесей ионов



Ионная хроматография

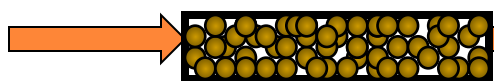
Ионная хроматография (ИХ) - это вариант ионообменной хроматографии, включающий высокоэффективное разделение ионов и автоматическое детектирование разделенных частиц.

Детектор - кондуктометрический

Двухколоночная схема ионного хроматографа

Разделяющая колонка:
катионит в H^+ -форме

Al^{3+} Mg^{2+} Na^+

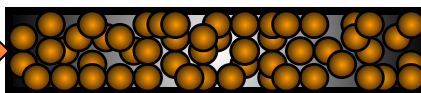


HCl

Al^{3+} Mg^{2+} Na^+

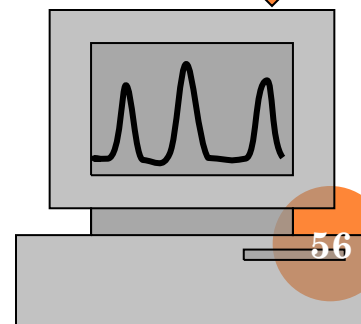
Подавляющая колонка
анионит в OH^- -форме

$ROH + HCl = R-Cl + H_2O$



Al^{3+} Mg^{2+} Na^+

детектор



Al^{3+} Mg^{2+} Na^+

ИХ позволяет быстро и селективно определять органические и неорганические ионы.

Достоинства:

- 1. Низкий предел обнаружения (без концентрирования - 10^{-3} мкг/мл, с концентрированием - 10^{-6} мкг/мл);**
- 2 высокая селективность определения ионов в сложных смесях**
- 3. быстрота определения - за 20 мин из одной пробы можно определить до 10 ионов;**
- 4. малый объем пробы (0,1 - 0,5 мл);**
- 5. простота подготовки пробы к анализу.**



Спасибо за внимание!