

Раздел курса:  
**ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ**

**Тема лекции:**

**ХРОМАТОГРАФИЯ:**

**адсорбционная и жидкостная**

## **План лекции:**

- 1. Адсорбенты и требования к ним.**
- 2. Влияние адсорбционных характеристик на время удерживания и форму пика.**
- 3. Преимущества и недостатки адсорбционной хроматографии по сравнению с другими вариантами хроматографического анализа.**
- 4. Тонкослойная хроматография.**
- 5. Метод ВЭЖХ и его возможности.**
- 6. Газоадсорбционная хроматография.**

**Адсорбционная хроматография** - метод, основанный на многократном перераспределении молекул определяемого компонента (сорбата) между подвижной фазой (элюентом) и поверхностью твердого сорбента вследствие адсорбции и десорбции этих молекул. Если адсорбционные свойства компонентов смеси различны, то при движении элюента через сорбент компоненты разделяются.

**Метод предложен М.С.Цветом (1903)**



## **Требования к адсорбенту**

- 1. Порошкообразное состояние (размер частиц до 1 мм)**
- 2. Монодисперсность (например, фракция 10-15 мкм)**
- 3. Высокая удельная поверхность (свыше 50 м<sup>2</sup>/г)**
- 4. Механическая прочность частиц**
- 5. Химическая инертность**
- 6. Термостойкость**
- 7. Наличие активных центров на поверхности**

# Адсорбенты для жидкостной хроматографии

## Неорганические

оксид алюминия, силикагель, алюмосиликаты, графит и сажа, мел, тальк и др.

## Органические

целлюлоза и ее производные, крахмал, тефлон, другие синтетические полимеры

## На этих адсорбентах разделяют:

Малополярные органические вещества (углеводороды, их галоидопроизводные, углеводы)

Неорганические и сильнополярные органические вещества (соли, аминокислоты, карбоновые кислоты и др.)

## В качестве элюентов при этом используют:

Органические растворители (гексан, хлороформ и др.)

Водные и водно-органические растворы, ацетонитрил и др.

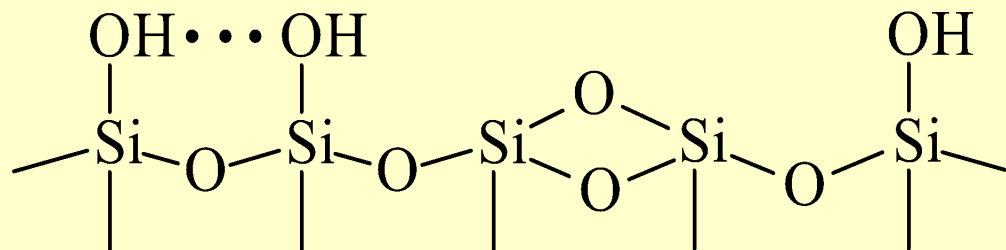
## Соответствующие варианты ЖХ называют:

нормально-фазовая  
хроматография

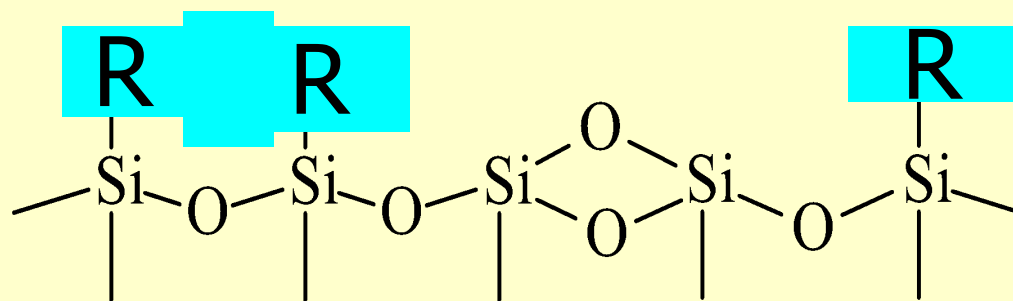
обращенно-фазовая  
хроматография

# Активные центры

На поверхности адсорбента одновременно существуют разные активные центры, адсорбирующие из ПФ разные частицы.



Силанольные группы (кислотные центры) для нормально-фазовой хроматографии

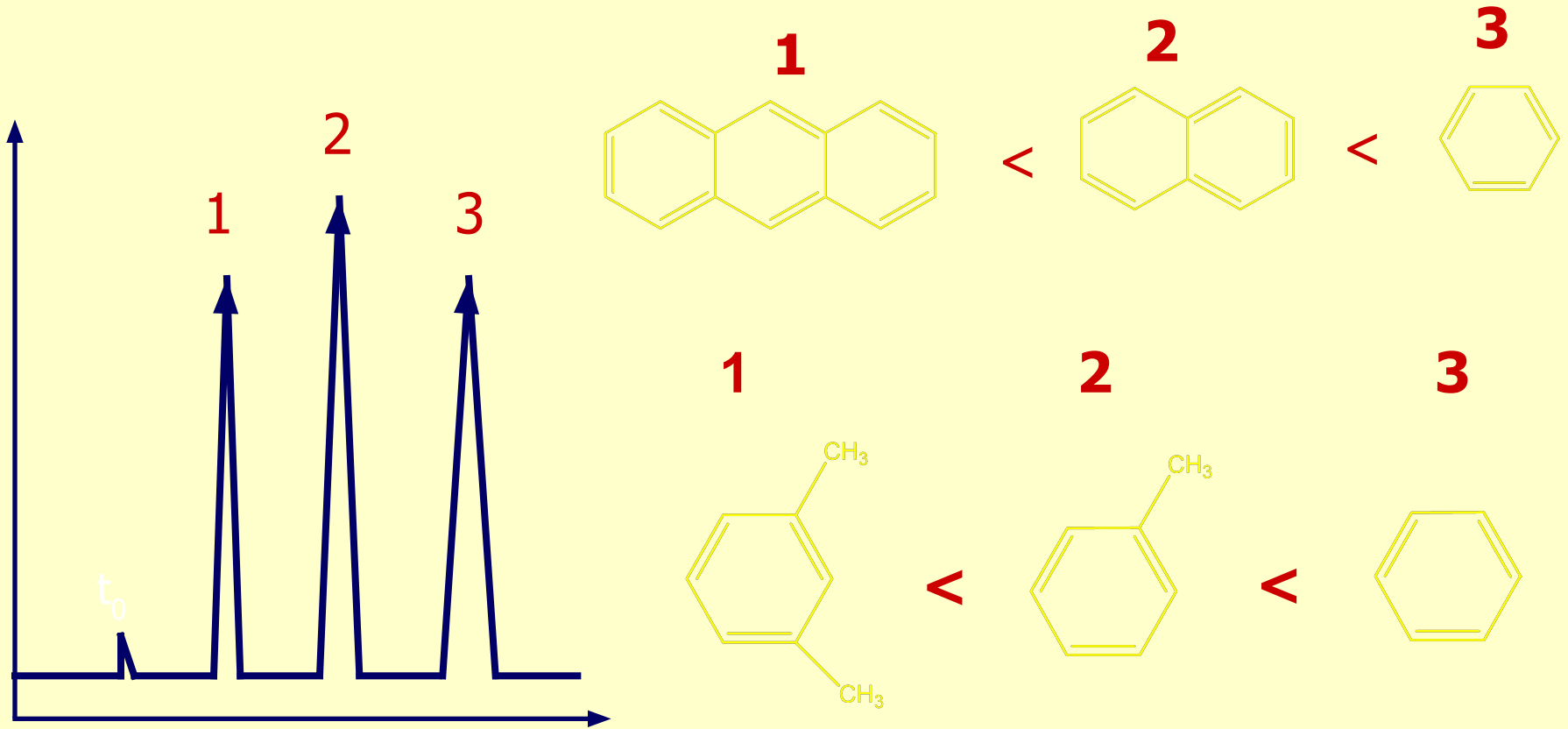


Алкильные группы (гидрофобные центры для обращенно-фазовой хроматографии)

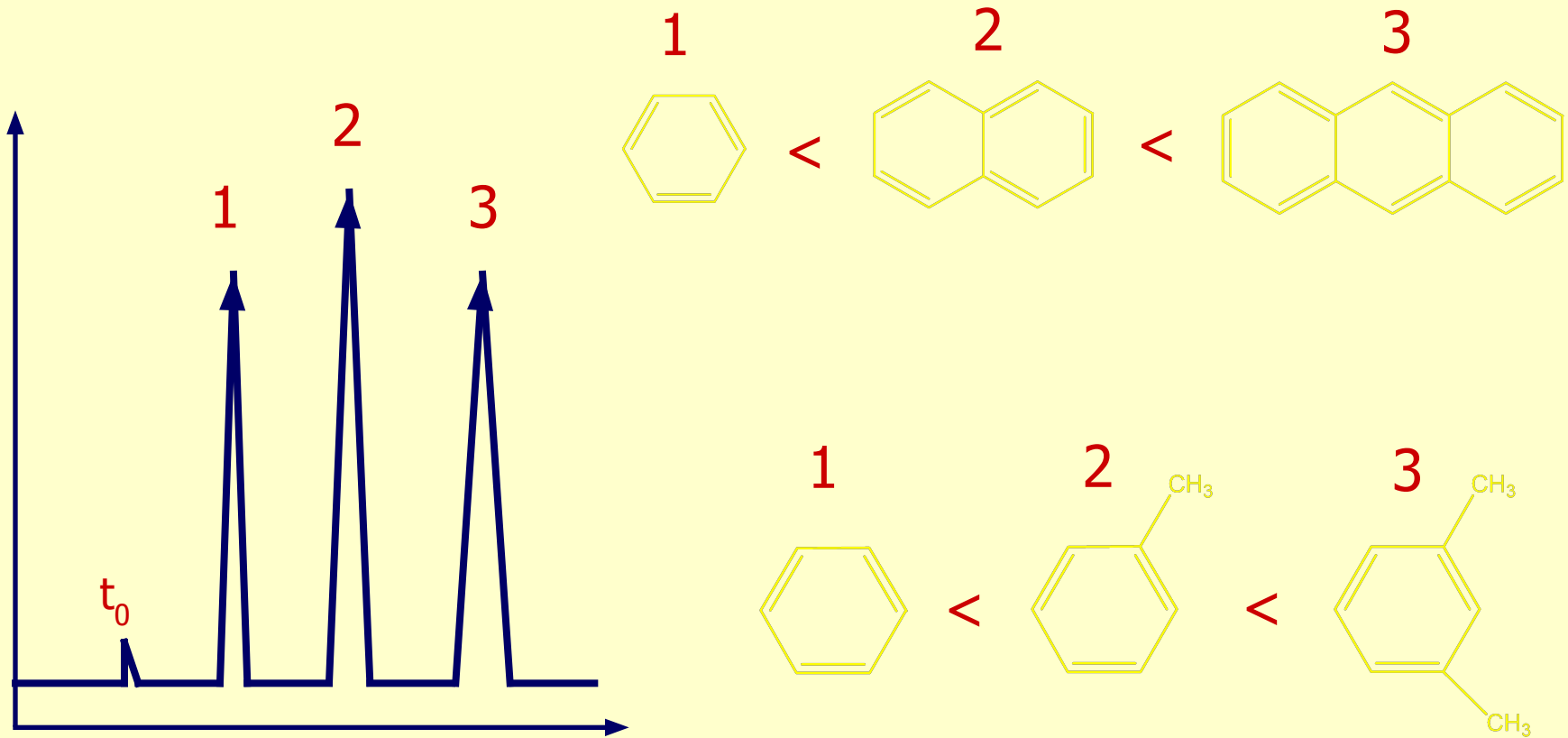
R = C<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>, C<sub>8</sub>, C<sub>18</sub>, C<sub>30</sub>

**Предварительная обработка адсорбента (прокаливание, промывка реагентами, радиационная прививка и др.) приводит к доминированию тех или иных центров, то есть к получению адсорбента с заданными свойствами**

# Порядок элюирования в нормально-фазовой хроматографии



# Порядок элюирования в обращенно-фазовой хроматографии





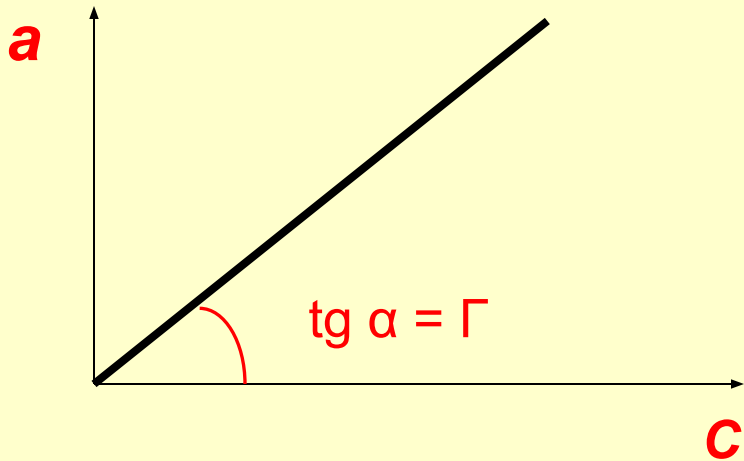
# Скорости движения компонентов смеси в адсорбционной хроматографии зависят от их коэффициентов адсорбционного распределения (коэффициентов Генри)

$$\Gamma = da / dC = f(C, T)$$

При низких  $C$        $\Gamma = \text{Const}$ ,  
 $a = \Gamma C$

При  $V_{\text{нф}} \approx V_{\text{пф}}$  и  $\Gamma \gg 1$ :

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{t_2}{t_1} \approx \frac{\Gamma_2}{\Gamma_1}$$



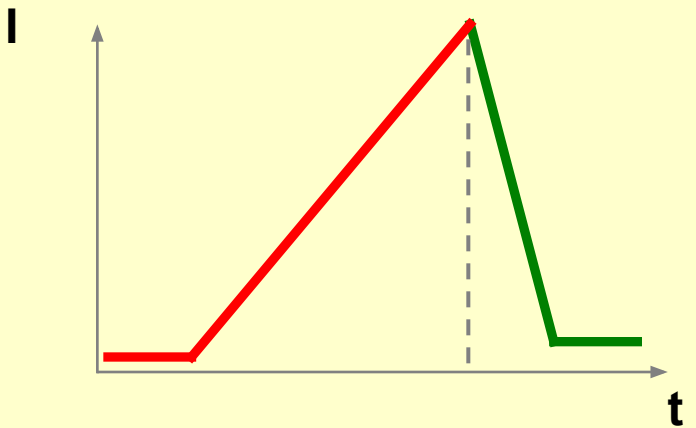
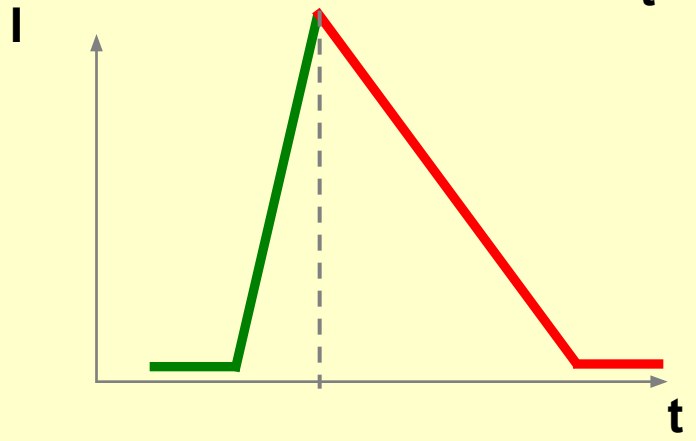
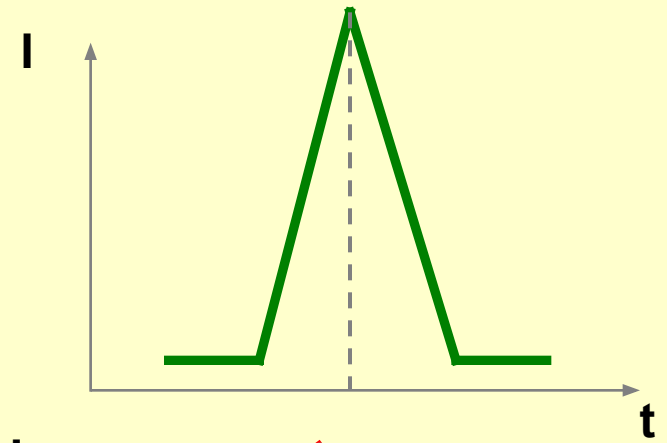
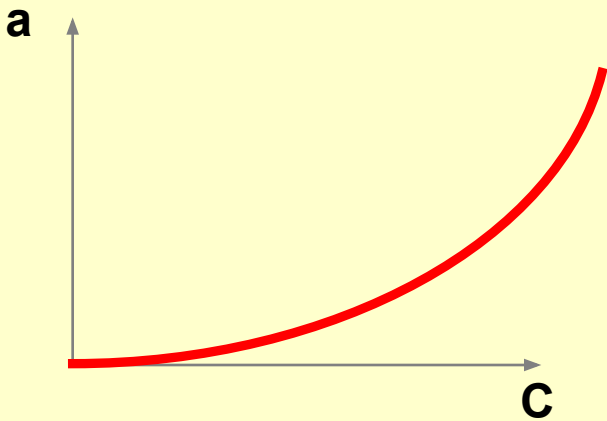
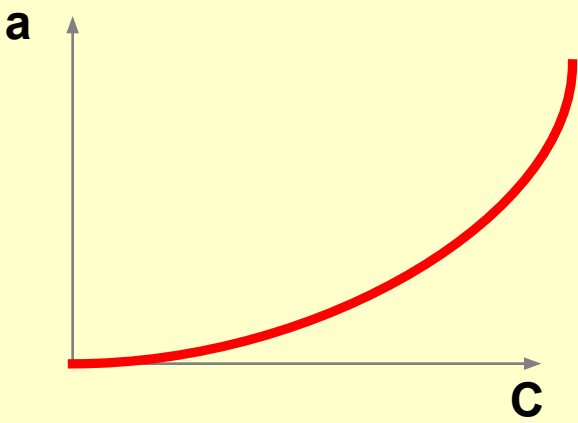
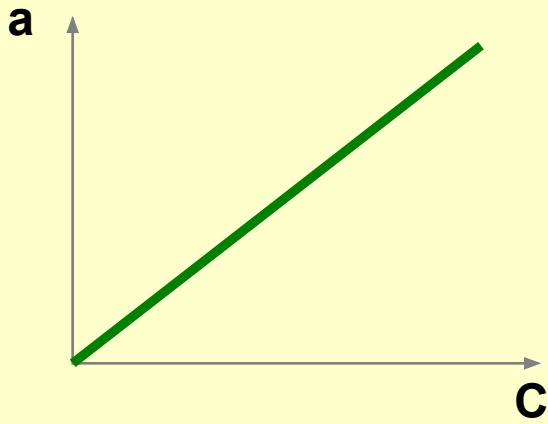
$$w \approx \frac{u}{1 + \Gamma \frac{V_{\text{НФ}}}{V_{\text{ПФ}}}}$$

При  $\Gamma_1 = \Gamma_2$  компоненты выходят из колонки одновременно, не разделяясь

**Скорости движения компонентов в адсорбционной хроматографии теоретически не должны зависеть ни от концентрации сорбата, ни от состава пробы.**

**На практике эти положения иногда не выполняются, особенно при высокой концентрации компонентов и вводе большой пробы. Это ведет к ошибочным результатам анализа.**

# Связь изотермы и формы пика



# Преимущества и ограничения адсорбционной хроматографии

- Возможность работы при высоких температурах и давлениях;
  - возможность направленной модификации свойств адсорбента;
  - селективность адсорбции (вплоть до разделения изотопов и оптических изомеров);
  - проявление дополнительного эффекта – разделение молекул по размерам.
- 
- Выбор адсорбентов ограничен, а их свойства при повторном приготовлении колонки плохо воспроизводимы и теоретически не предсказуемы;
  - возможность необратимой сорбции и химических превращений компонентов пробы на активных центрах;
  - нелинейность изотерм адсорбции, ведущая к искажению формы пиков и неполному разделению компонентов.

# Основные варианты адсорбционной хроматографии

- ◆ Классическая жидкостная хроматография (ЖХ)
- ◆ Тонкослойная жидкостная хроматография (ТСХ)
- ◆ Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ, ЖХВД)
- ◆ Газоадсорбционная хроматография (ГАХ)

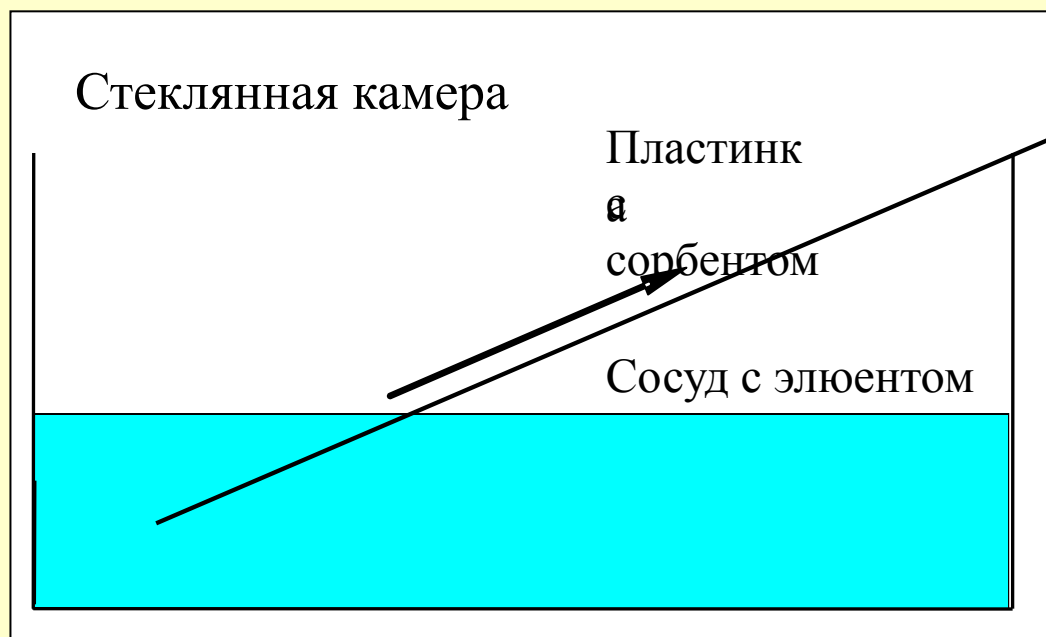
# **Тонкослойная хроматография (ТСХ)**

**Метод ТСХ предложен в 1938 г. Измайловым и Шрайбер.**

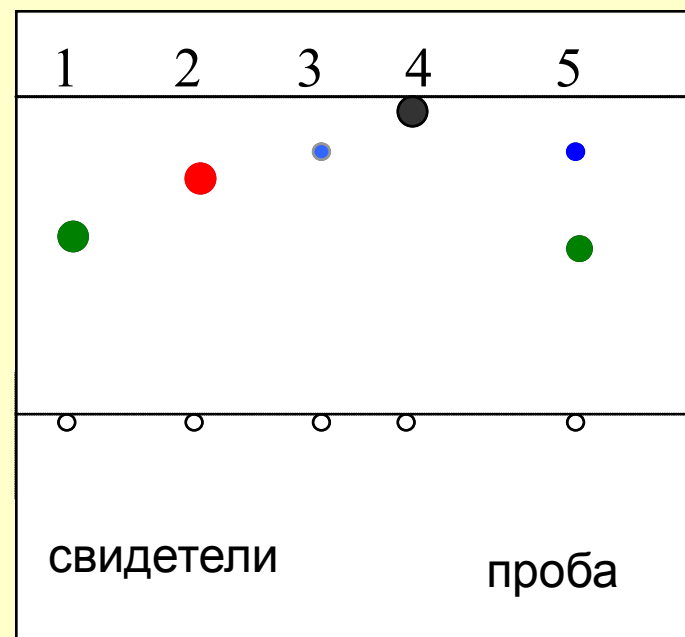
**Используется для экспрессного полуколичественного и качественного анализа жидкостей (органический синтез, биохимические исследования, криминалистическая экспертиза, контроль качества пищевых продуктов, лекарств и других товаров.**

# Схема выполнения (А) и результат разделения (Б) двухкомпонентной смеси методом ТСХ

**А**



**Б**

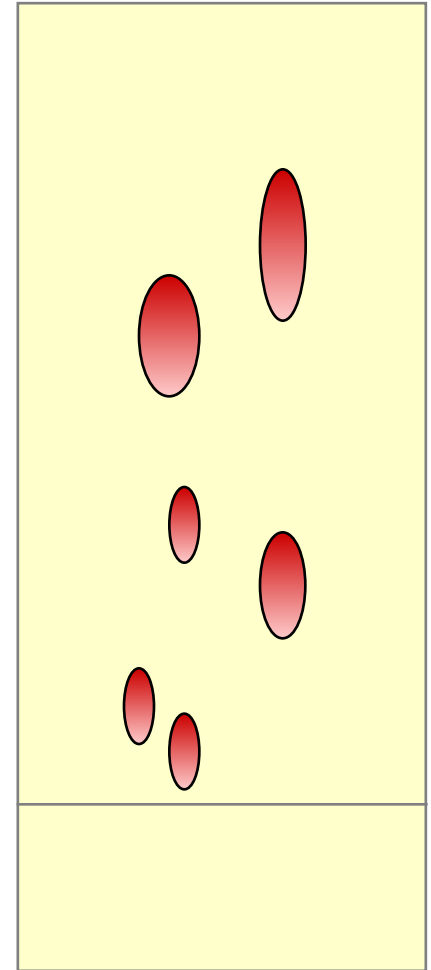


## Сорбенты для ТСХ:

оксид алюминия, силикагель, мел, целлюлоза, а также композиции этих материалов со связующими (силуфол)

Толщина слоя – не более 1 мм.

## Подвижные фазы: смеси органических растворителей



Нередко сорбент заранее пропитывают растворителем 1, а используют в качестве элюента растворитель 2. Это меняет механизм разделения – молекулы X распределяются между двумя жидкими фазами (не адсорбционная, а распределительная ТСХ).



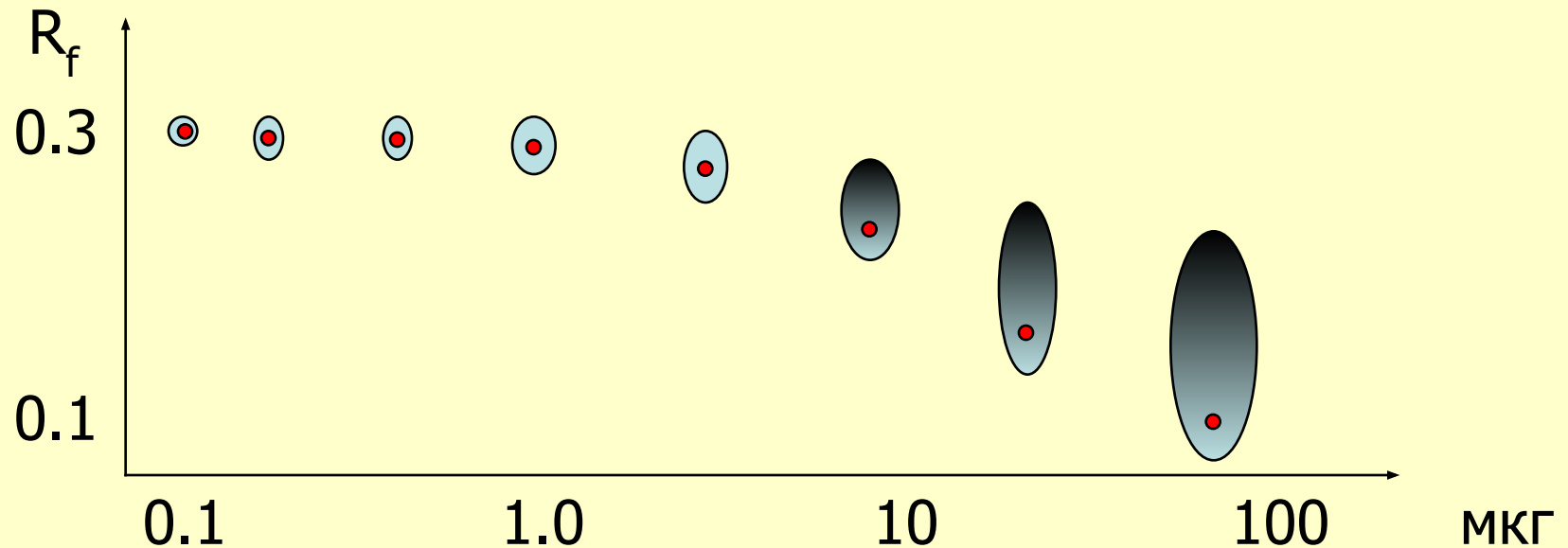
## Требования к подвижной фазе

- Смачивать сорбент, но не взаимодействовать с ним;
- Растворять все компоненты пробы (но не одинаково!);
- Не затруднять детектирование компонентов;
- Легко и количественно удаляться после разделения;
- Низкая вязкость, доступность, безвредность.

# Проявление хроматограммы в методе ТСХ

- Опрыскивание пластины раствором реагента (дитизон, нингидрин и др.), обработка парами иода.
- Спектроскопические методы (УФ, люминесценция).
- Радиохимические методы

Объем пробы должен быть минимальным (около 0,01 мл), чтобы не изменить  $R_f$  и правильно опознать компонент.

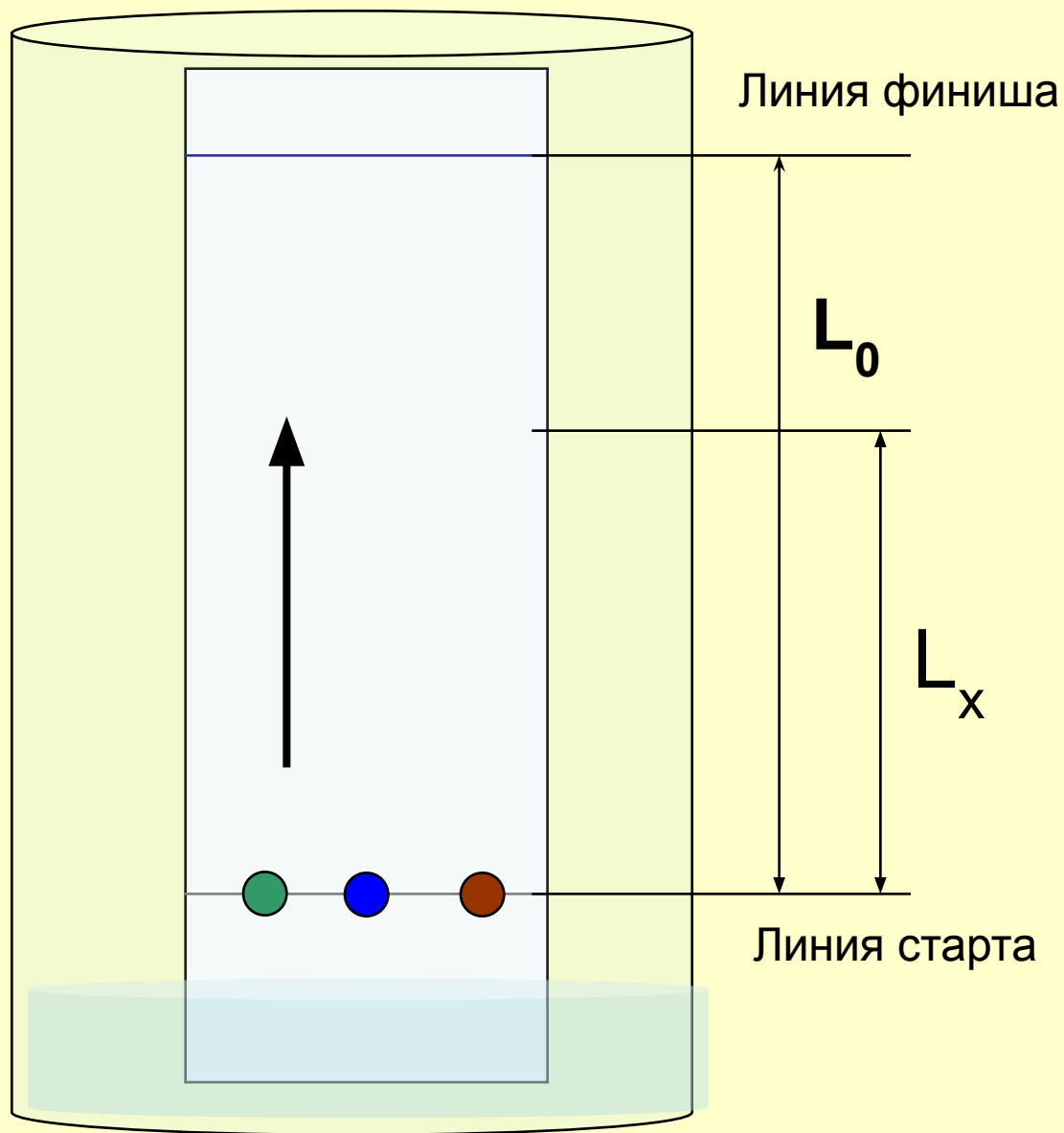


# Индивидуальная характеристика каждого компонента смеси в методе ТСХ – его подвижность $R_f$

$$R_f = L_x / L_0$$

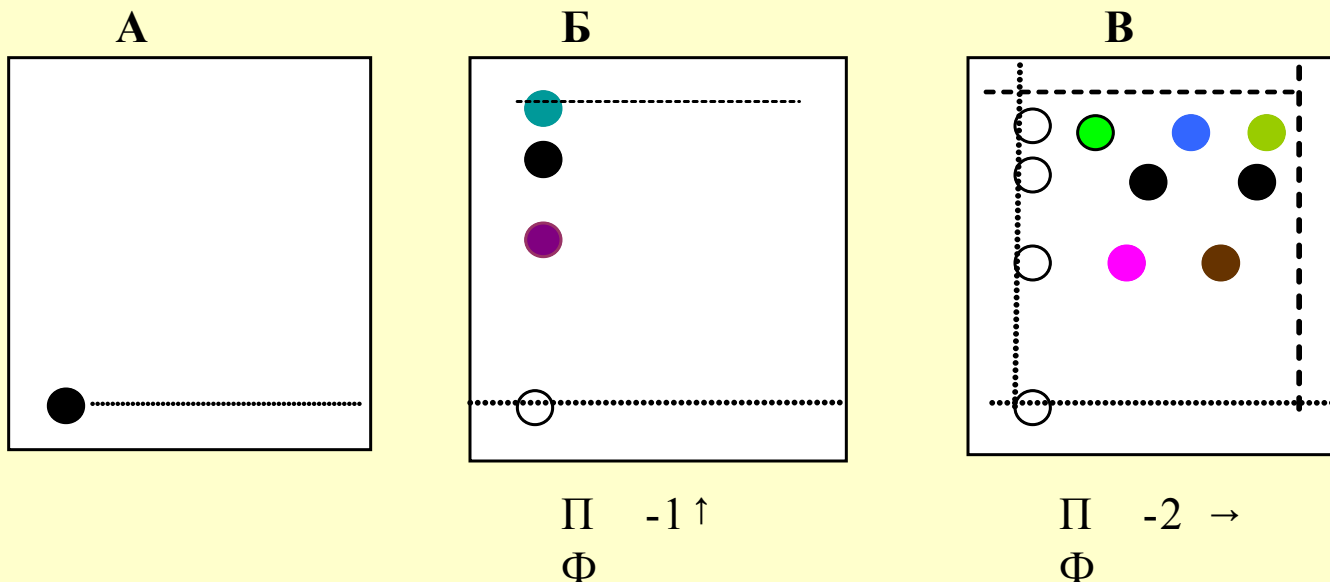
$$0 < R_f < 1$$

Величина  $R_f$  зависит от природы сорбата, сорбента и элюента, но от концентрации сорбата и присутствия примесей не зависит.



# Метод ТСХ.

## Двумерная хроматография смеси красителей



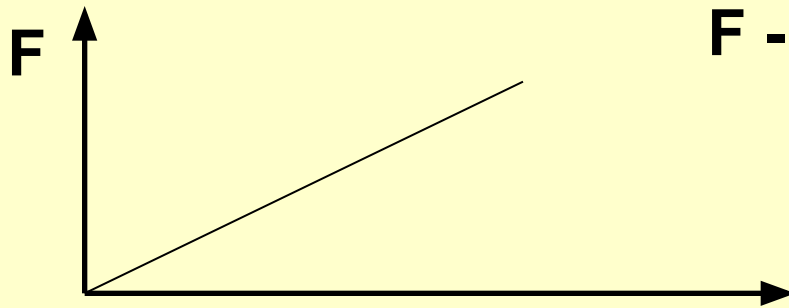
**А** — ввод пробы;

**Б** — после обработки первым элюентом;

**В** — после обработки вторым элюентом  $\square$ .

# Измерение сигнала в методе ТСХ

- Визуально - по величине и интенсивности пятен;
- спектроскопия диффузного отражения;



**F** - функция Кубелки-Мунка

- радиометрические методы;
- экстрагируют компонент из пятна и измеряют аналитический сигнал в полученном экстракте (фотометрия, флуориметрия, кинетические методы и др.)

# Прибор для ТСХ



# Особенности метода ТСХ

## Достоинства

- Простота и дешевизна оборудования,
- Возможность внелабораторного применения (тест-метод),
- Нередко - низкие пределы обнаружения,
- Возможность разделения веществ с сильно различными свойствами.

## Недостатки

- Плохая сходимость и очень плохая межлабораторная воспроизводимость результатов;
- Невозможность разделения веществ с близкими свойствами
- Низкая эффективность (размывание пятен).

# **Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ, ЖХВД, HPLC)**

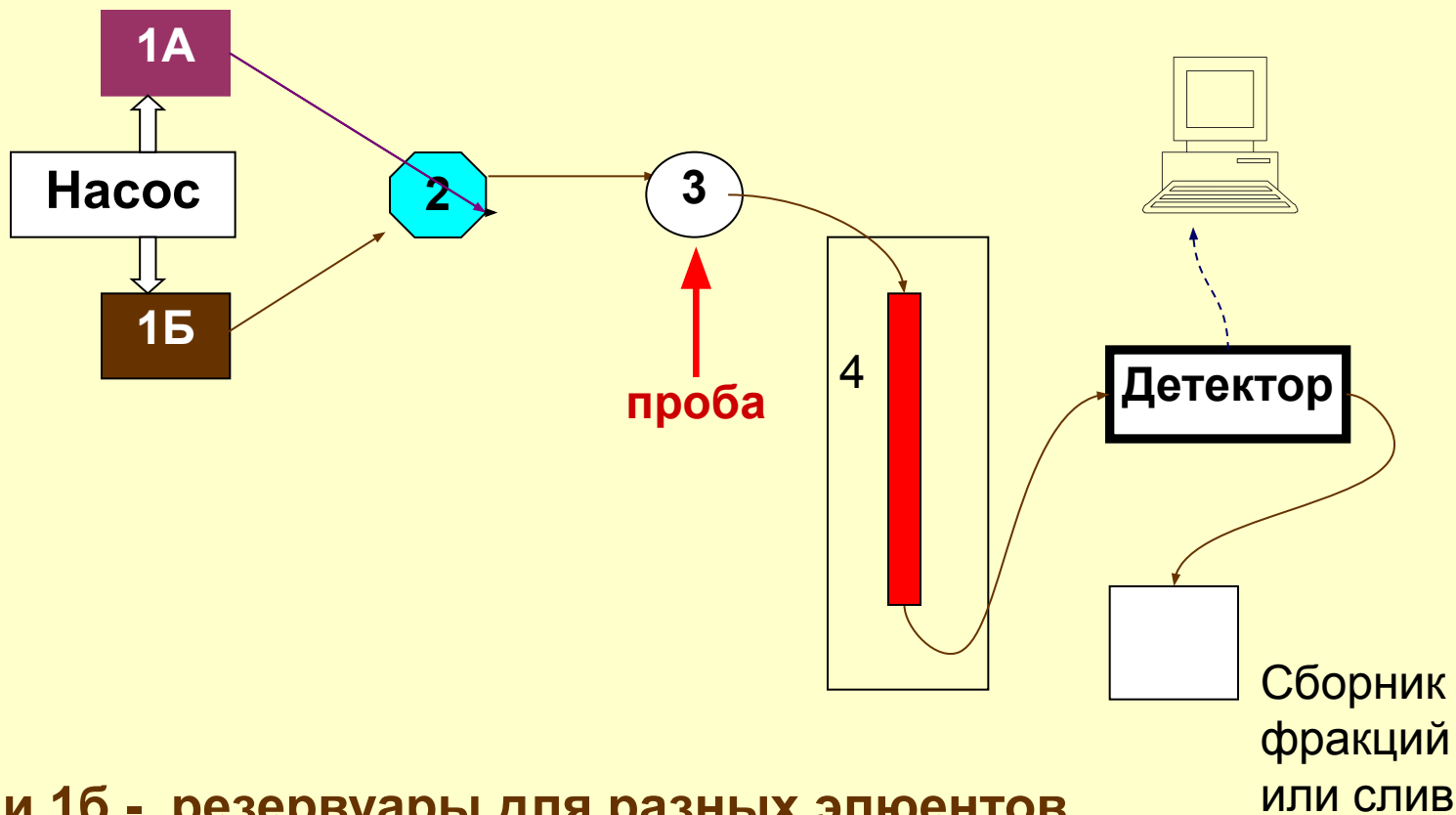
**Метод ВЭЖХ разработан в 1960-х гг. Ш.Хорватом (США) и, независимо от него, Г.Киркландом (Англия).**

**Используется для качественного и количественного анализа смесей органических веществ в следующих областях:**

- химическая технология и нефтехимия,**
- производство лекарственных препаратов,**
- биохимические исследования и клинический анализ,**
- криминалистическая экспертиза,**
- контроль качества пищевых продуктов, лекарств и др.**
- мониторинг состояния окружающей среды.**

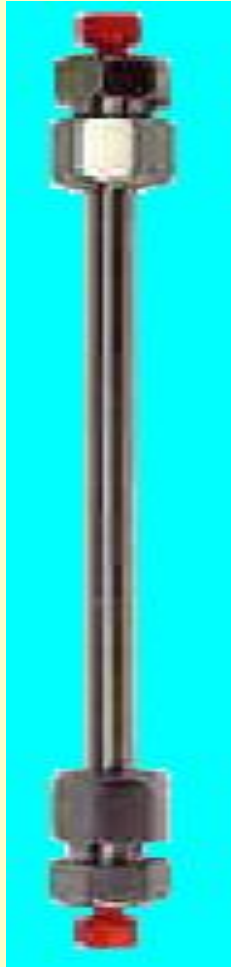


# Принципиальная схема хроматографа для ВЭЖХ



1а и 1б - резервуары для разных элюентов,  
2 - смеситель для градиентного элюирования,  
3 - кран-дозатор,  
4 – микроколонка с сорбентом

## Колонки для ВЭЖХ

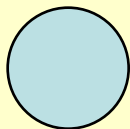


Длина колонки – до 25 см, внутренний диаметр – до 5 мм, внешний – 1-2 см. Материал – сталь + стекло. Некоторые колонки выдерживают давление до 1000 атм.

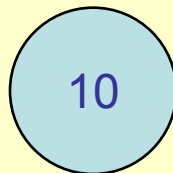
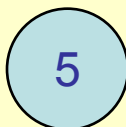
Набивка – модифицированный силикагель или оксид алюминия, сферические частицы диаметром 5 – 10 мкм.

# Основной тип матриц в ВЭЖХ – силикагель

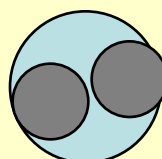
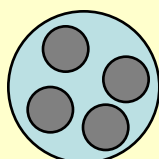
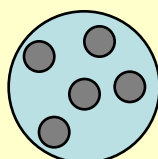
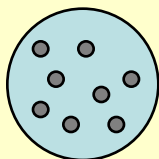
## Сферичность



## Размер частиц, мкм



## Размер пор, А



## Достоинства

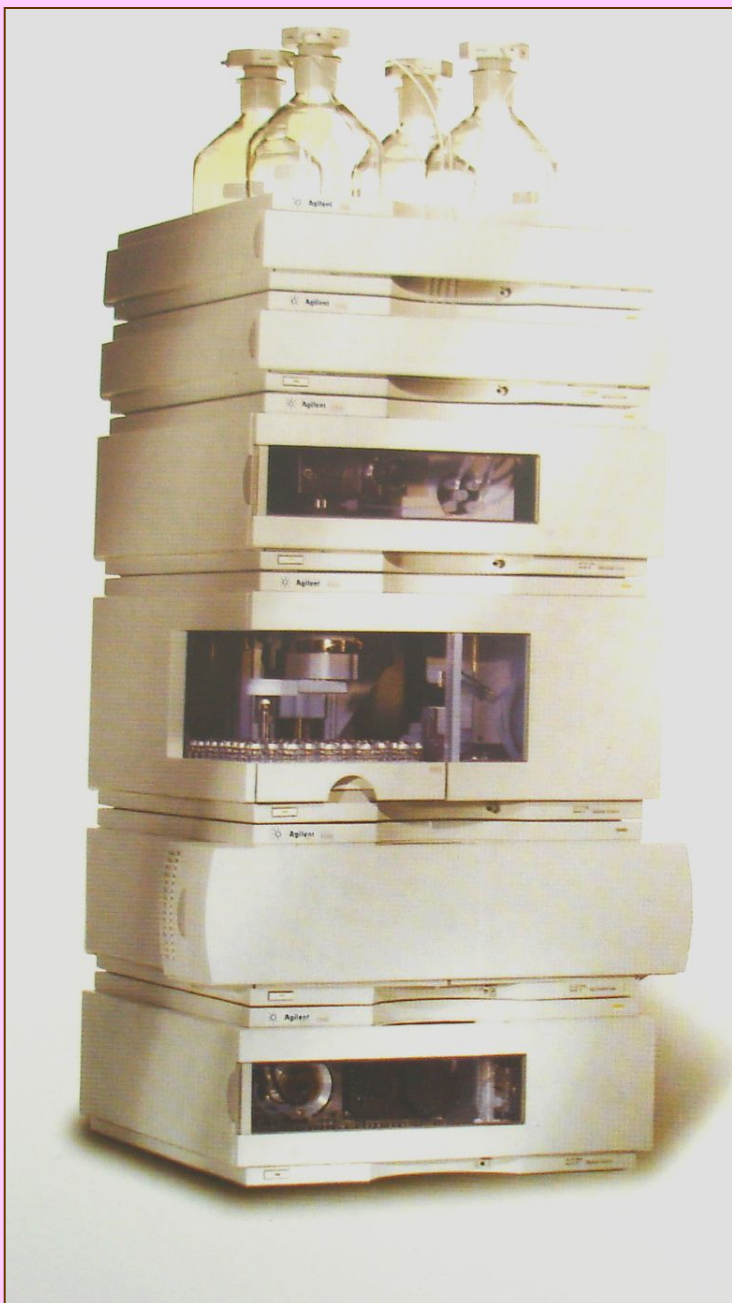
- Отработанная технология синтеза
- Доступность и относительно низкая цена
- Большой диапазон свойств
- Механическая прочность

## Недостатки

- Химическая активность ОН-групп на поверхности
- рН стабильность (2-9)
- Адсорбированная вода



**Один из наиболее распространенных и современных жидкостных хроматографов фирмы Shimadzu**



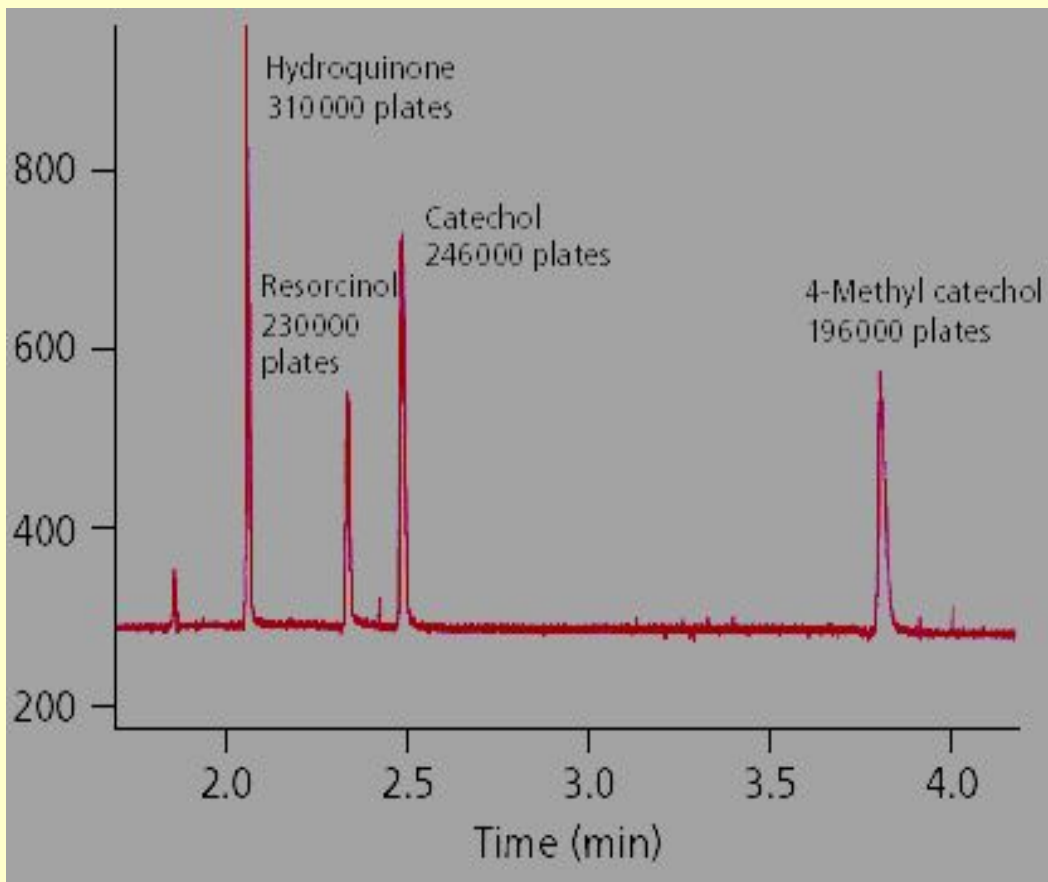
**Блочный  
жидкостной  
хроматограф  
Agilent 1100**

# Детекторы для ВЭЖХ

Тип детектора	Предел обнаружения, г/мл	Диапазон линейности сигнала	Селективность
Флуориметр	$10^{-9}$ - $10^{-11}$	$10^5$	Да
Кондуктометр	$10^{-8}$ - $10^{-9}$	$10^5$	Да
Спектрофотометр	$10^{-7}$ - $10^{-8}$	$10^4$	Да/Нет
Масс-спектрометр	$10^{-6}$ - $10^{-7}$	$10^5$	Нет
Рефрактометр	$10^{-5}$ - $10^{-6}$	$10^3$	Нет



# Хроматография при ультравысоких давлениях



**Колонка: 43 см x 30 мкм**

**Сорбент: 1 мкм**

**Давление: 7100 атм**

**Максимальная  
эффективность: 625000  
теор.тарелок / метр**

**Вес установки ~ 7 тонн**

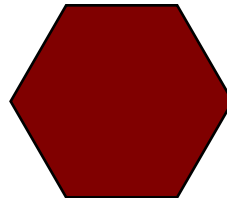
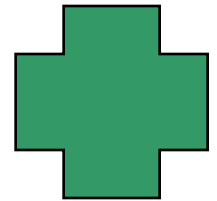
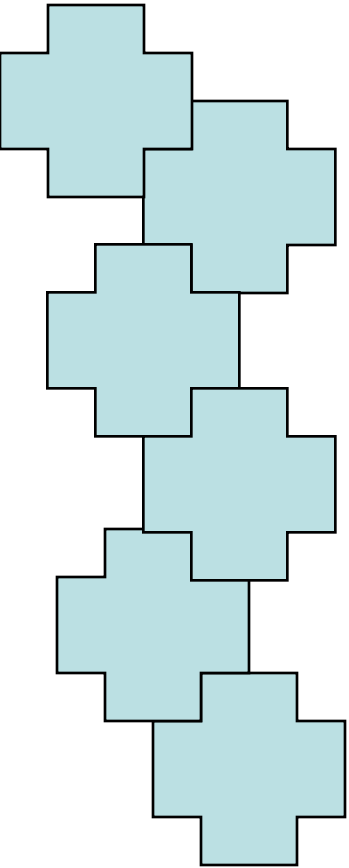


# Факторы, улучшающие разрешение пиков в методе ВЭЖХ

- Правильный выбор неподвижной фазы;
- однородность сорбента, его сферичность;
- однородность набивки колонки;
- увеличение длины колонки;
- уменьшение внутреннего диаметра колонки;
- правильный выбор подвижной фазы;
- использование градиентного элюирования;
- оптимальная скорость потока элюента;

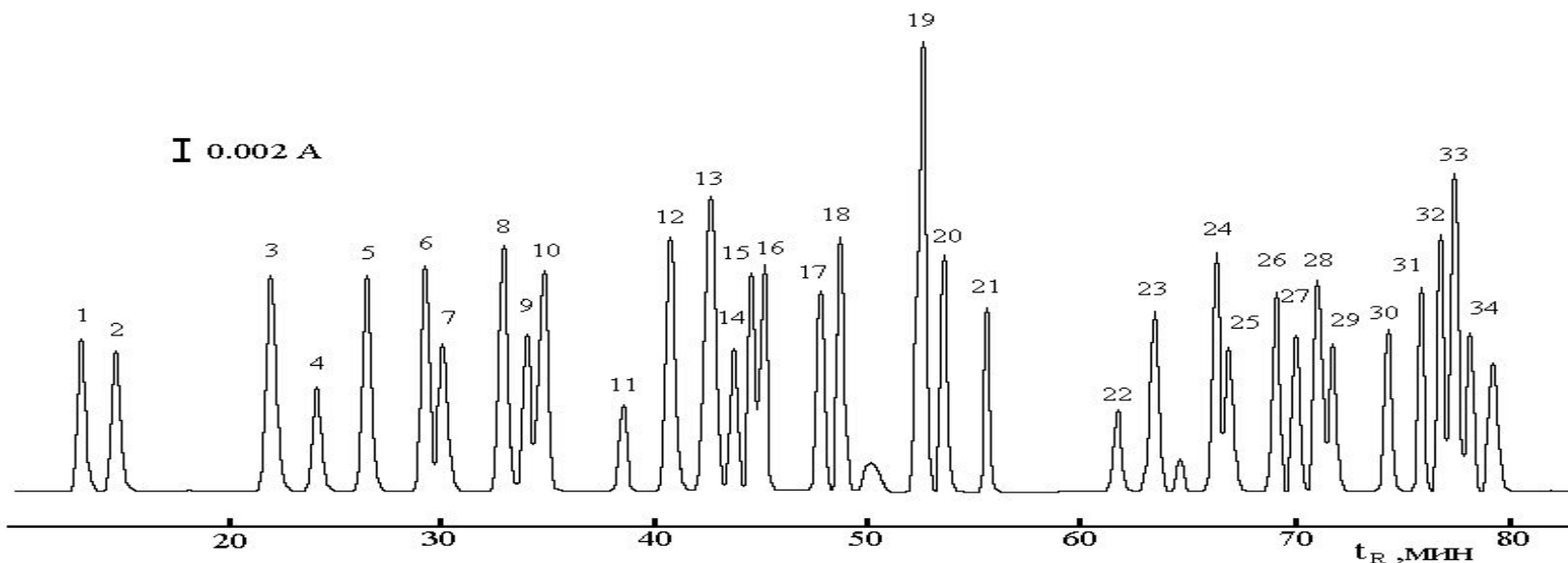
# Хиральная хроматография

(Разделение стереоизомеров в методе ВЭЖХ)



Неподвижная фаза для  
разделения стереоизомеров

# Разделение оптических изомеров аминокислот



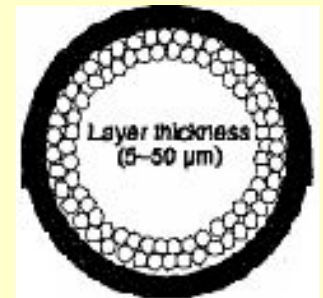
Column, Mightysil RP-18 (150x4.6 I.D.); mobile phase: methanol-0.01 M Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, pH 6.0, gradient elution flow-rate, 0,5 ml/min. Detection: DAD,  $\lambda=340$  nm.

Peaks: 1=L-Asp, 2=D-Asp, 3=L-Glu, 4=D-Glu, 5=L-Asn, 6=D-Asn, 7=L-Ser, 8=L-Gln, 9=D-Ser, 10=D-Gln, 11=D-His, 12=L-Thr, 13=Gly+L-His, 14=D-Thr, 15=D-Arg, 16=L-Arg, 17= $\beta$ -Ala, 18=L-Ala, 19=L-Tyr+GABA, 20=D-Ala, 21=D-Tyr, 22=L-Met+L-Trp, 23=L-Val, 24=L-Phe, 25=D-Met, 26=D-Trp, 27=D-Val, 28=D-Phe, 29=L-Ile, 30=L-Leu, 31=L-Lys, 32=D-Ile, 33=D-Lys, 34=D-Leu.

# Газоадсорбционная хроматография (ГАХ)

Метод ГАХ предложен в 1945-1948 гг. Эрикой Кремер (Австрия)

Сейчас в основном используется для быстрого анализа атмосферного воздуха и легких газовых смесей (в химической технологии). Определяют  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $H_2S$ ,  $SO_x$ ,  $NO_x$ ,  $CH_4$ . Тем же методом анализируют высококипящие органические жидкости. В остальных случаях возможности метода ГАХ уступают возможностям ГЖХ. Метод ГАХ реализуют на насадочных (набивных), а также на капиллярных колонках (тонкий слой пористого адсорбента фиксируется на внутренних стенках колонки).



# Пример разделения газовой смеси методом ГАХ

