

## **Жидкостно-сцинтилляционная спектроскопия**

**С начала 50-х гг. прошлого столетия началось быстрое развитие жидкостно-сцинтилляционного (ЖС) метода измерения радиоактивности, основанного на определении числа и яркости вспышек, возбужденных ионизирующим излучением в жидком сцинтилляторе (ЖС смеси).**

**При использовании этого метода появляется возможность вводить измеряемое вещество непосредственно в ЖС смесь путем растворения, эмульгирования или просто погружением фильтров отрезков хроматограмм и т.п. в жидкость. При этом измеряемое вещество находится в рабочем объеме детектора, значение коэффициентов ослабления, самоослабления и обратного рассеяния  $\beta$ -излучения в ЖС системах практически равны единице, геометрический коэффициент в гомогенных системах также равен единице, а при измерение осадков на фильтрах, отрезков хроматограмм и т.п. он равен 0,5.**

**ЖС детекторы обладают высокой эффективностью к корпускулярному излучению: даже для такого низкоэнергетического  $\beta$ -излучателя, как тритий ( $E_{\text{max}}=18,6\text{кэВ}$ ), эффективность регистрации достигает 60 %, для более высокоэнергетических  $\beta$ - и  $\alpha$ -излучателей она приближается к 100%. Сравнительно невысока их эффективность к  $\gamma$ -излучению высоких и средних энергий, однако с уменьшением энергии  $\gamma$ -квантов эффективность их регистрации существенно возрастает.**

**Пропорциональность яркости отдельных сцинтилляций энергетическим потерям частиц или квантов в объеме ЖС смеси позволяет выполнять спектрометрические измерения, т.е. определять энергии частиц или квантов и идентифицировать радионуклиды по энергиям излучения.**

## Процесс регистрации излучения. Передача энергии в ЖС системах

Основным по объему компонентом жидких сцинтилляторов является растворитель, в нем растворена небольшая в процентом отношении добавка органического вещества, молекулы которого содержат ароматические и гетероциклические кольца, например 2,5-дифинил-оксазол (PPO).

В качестве растворителей в большинстве ЖС «коктейлей» используются органические вещества, в молекулах которых имеются делокализованные  $\pi$ -электроны: бензол, толуол, изомеры ксилола, 1,2,4-триметилбензол и другие алкилбензолы.

**Для повышения квантового выхода флуоресценции к толуолу добавляется сцинтиллятор (РРО) 2,5-дифинилоксазол.**

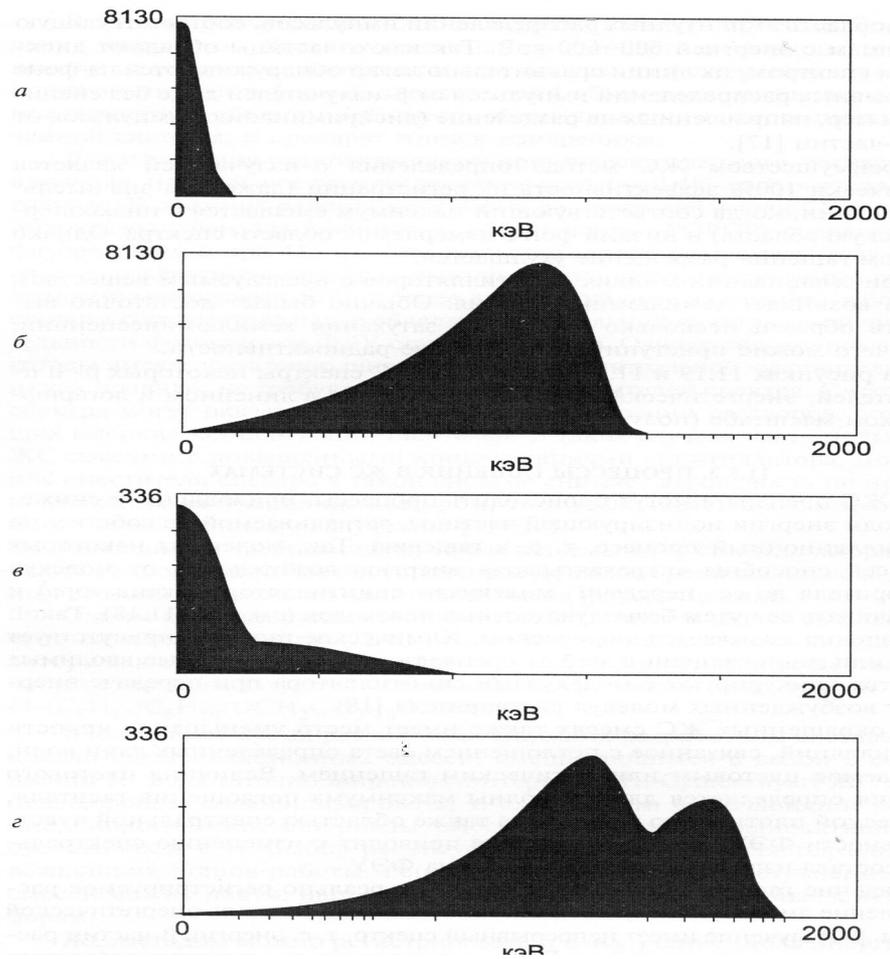
**Нижний уровень возбуждения  $\pi$ -состояний молекул сцинтиллятора по энергии должен быть ниже уровня возбуждения молекул растворителя.**

**Если в процессе тепловой миграции возбужденная молекула толуола оказывается в достаточной близости от молекулы сцинтиллятора, происходит процесс переноса энергии от молекулы толуола к молекуле сцинтиллятора.**

**Важным преимуществом ЖС измерений является простота приготовления препаратов.**

Для измерения радиоактивности органических веществ, растворимых в толуоле, наибольшее распространение получил 0.4% раствор РРО в толуоле.

**Основное требование, предъявляемое к сцинтилляторам, является высокая химическая устойчивость, малое время жизни возбужденных состояний, высокий квантовый выход флуоресценции.**



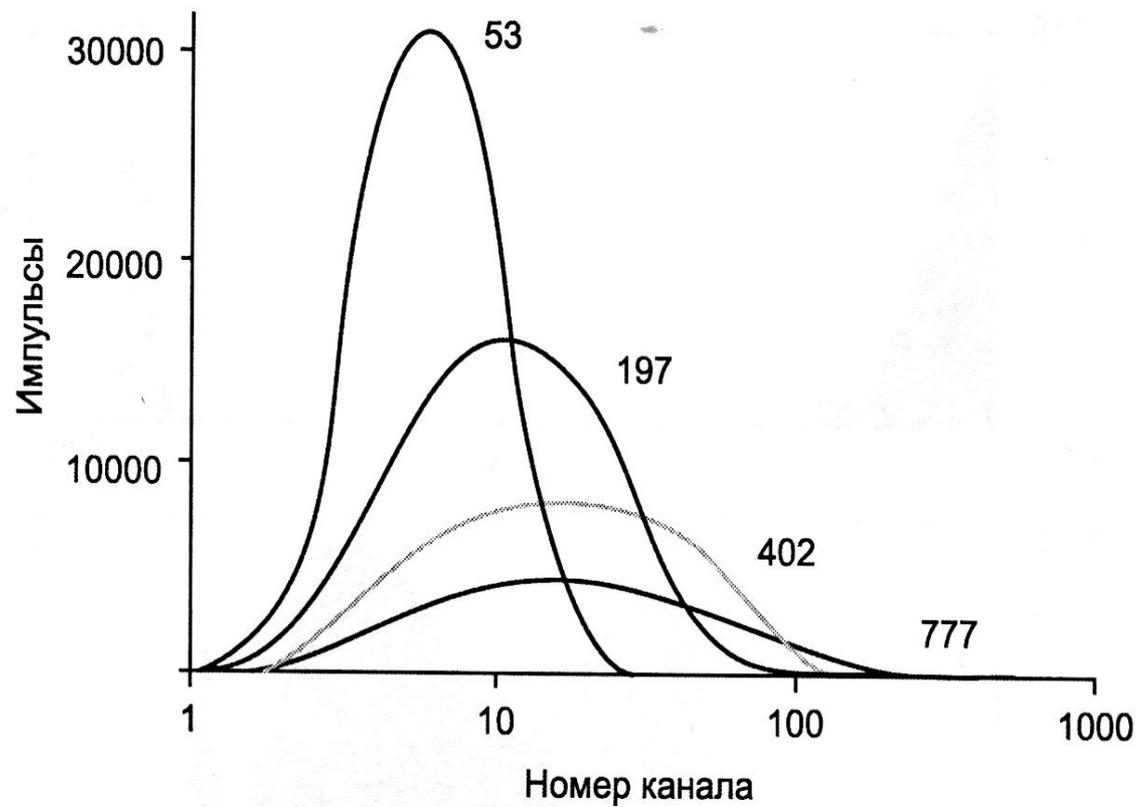
### Жидкостно-сцинтилляционные спектры $\beta$ -излучателей;

$^{14}\text{C}$  ( $E_{\beta} 156$  кэВ) в линейном (а) и логарифмическом (б) масштабе;  
 $^{90}\text{Sr}$  ( $E_{\beta} 546$  кэВ) в равновесии с  $^{90}\text{Y}$  ( $E_{\beta} 2,284$  кэВ) в линейном (в) и логарифмическом (г) масштабе.

## Процессы гашения в ЖС системах

В ЖС препарате могут происходить процессы, приводящие к снижению доли энергии ионизирующей частицы, затраченной на сцинтилляционный процесс, т.е. гашение.

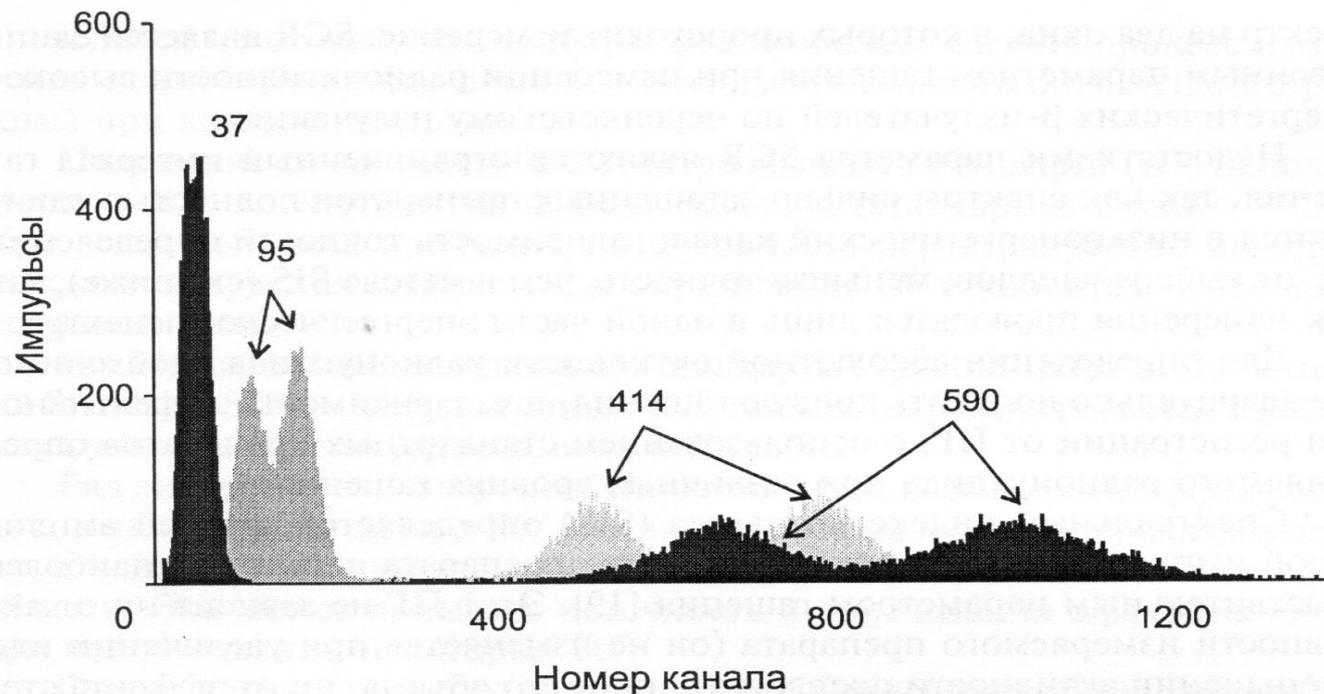
Молекулы некоторых примесей способны перехватывать энергию возбуждения от молекул растворителя до ее передачи молекулам сцинтиллятора (активатора) и растрчивать ее путем безизлучательных переходов. Такой вид гашения называется **ХИМИЧЕСКИМ**.



**Рис. 11.21.** Жидкостно-сцинтилляционные спектры препаратов  $^{14}\text{C}$  с различным уровнем гашения. По мере увеличения гашения, т. е. уменьшения величины параметра гашения  $t\text{SIE}$  (указан для каждой кривой), спектр смещается в низкоэнергетическую область.

Таким образом, с увеличением гашения снижается эффективность регистрации  $\beta$ -излучателей, и, следовательно, для определения абсолютной активности  $\beta$ -излучающих радионуклидов необходимо знать, как связана эффективность регистрации с гашением.

Эффективность регистрации  $\alpha$ -частиц уменьшается только при весьма значительном гашении. Однако по мере увеличения гашения происходит уменьшение разрешения пиков, что хорошо заметно на примере спектра  $^{221}\text{At}$  (искусственный радионуклид) с дочерним  $^{221}\text{Po}$ . По мере роста гашения два  $\alpha$ -пика, соответствующие этим нуклидам, сливаются в один.



**Рис. 11.22.** Смещение  $\alpha$ -пиков в ЖС спектре в зависимости от гашения.  
Спектры  $^{211}\text{At}$  (искусственный радионуклид) с дочерним  $^{211}\text{Po}$ .  
Значения tSIE указаны для каждого спектра

**Transformed Spectral Index of the External Standart (tSIE) - преобразованный спектральный индекс внешнего стандарта**

**( фирма Packard предложила в качестве ПГ).**

## Определение абсолютной активности. Параметры гашения.

Простейшим методом определения эффективности ЖС регистрации  $\beta$ -излучателей является метод внутреннего стандарта.

При внутренней стандартизации к препарату с неизвестным содержанием измеряемого радионуклида добавляют известное количество (А, Бк) того же радионуклида (внутренний стандарт) и сравнивают результаты измерения радиоактивности до ( $I_1$ , мп./с) и после ( $I_2$ , имп./с) введения внутреннего стандарта.

Это позволяет оценить эффективность регистрации  $\varepsilon$  данного радионуклида в исследуемой системе:

$$\varepsilon = I_2 - I_1 / A$$

**Метод внутренней стандартизации сравнительно трудоемок, так как требует выполнения ряда дополнительных химических и измерительных операций. Важно, чтобы введение внутреннего стандарта значимо не повлияло на гашение в ЖС смеси.**

**Для количественного описания зависимости эффективности регистрации  $\beta$ -излучателей от гашения в ЖС системах используют так называемые параметры гашения (ПГ). Их можно разделить на две основные группы.**

## **Параметры гашения, основанные на спектральных характеристиках внешнего стандарта.**

**Для внешней стандартизации непосредственно под флакон с препаратом на сравнительно короткое время подводится внешний источник  $\gamma$ -излучения (обычно это  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  или  $^{226}\text{Ra}$ ).**

**При взаимодействии  $\gamma$ -квантов средних и высоких энергий с ЖС смесью наблюдается спектр комптоновского рассеяния- основного вида взаимодействия таких  $\gamma$ -квантов с низким эффективным атомным номером  $Z_{\text{эфф}}$ .**

**С увеличением гашения комптоновский спектр смещается в низкоэнергетическую область, и его площадь уменьшается (как и в ЖС  $\beta$ -спектрах), что может быть использовано для определения гашения.**

**Все ПГ, основанные на внешней стандартизации, могут использоваться только в том случае, если регистрируемая активность препарата много меньше регистрируемой активности внешнего источника.**

**Важным преимуществом внешней стандартизации является высокая точность определения эффективности.**

