

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 β -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 β -излучателя, как тритий ($E_{\beta\max}=18,6\text{кэВ}$), эффективность регистрации достигает 60 %, для более высокоэнергетических β - и α -излучателей она приближается к 100%. Сравнительно невысока их эффективность к γ -излучению высоких и средних энергий, однако с уменьшением энергии γ -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 π - 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.

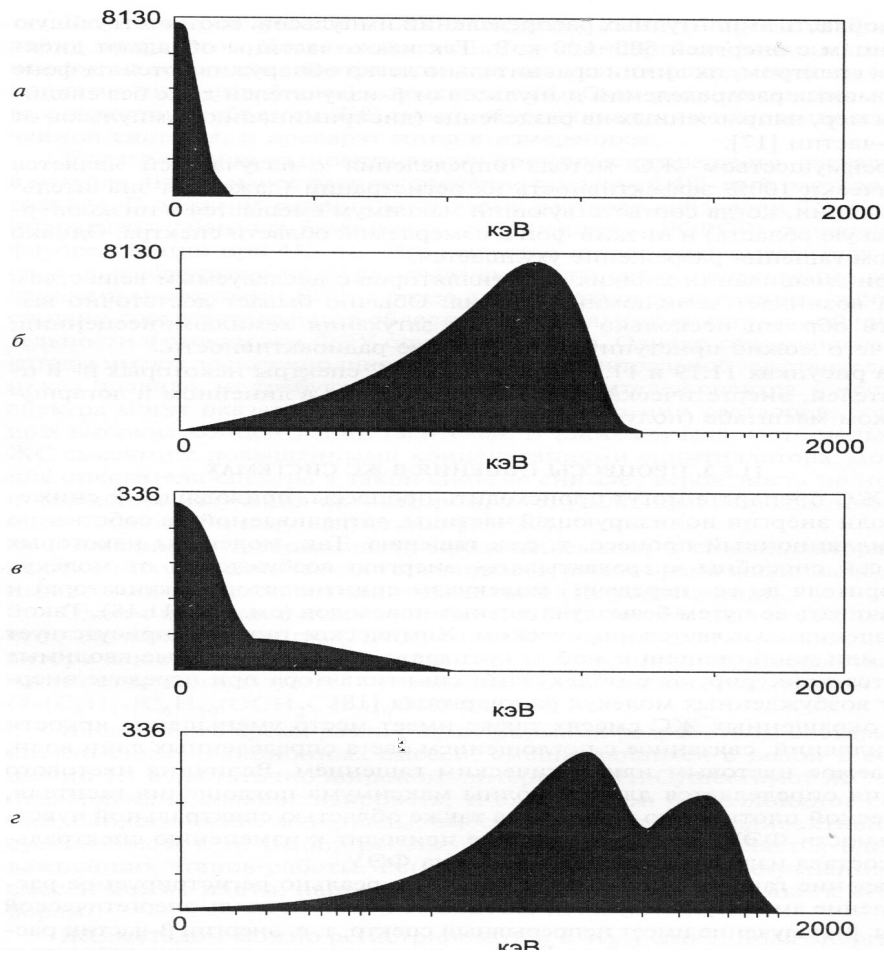
Нижний уровень возбуждения π -состояний молекул сцинтиллятора по энергии должен быть ниже уровня возбуждения молекул растворителя.

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 PPO в толуоле.

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



Жидкостно-сцинтилляционные спектры β -излучателей;

^{14}C (E_{β} 156 кэВ) в линейном (а) и логарифмическом (б) масштабе;
 ^{90}Sr (E_{β} 546 кэВ) в равновесии с ^{90}Y (E_{β} 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**.

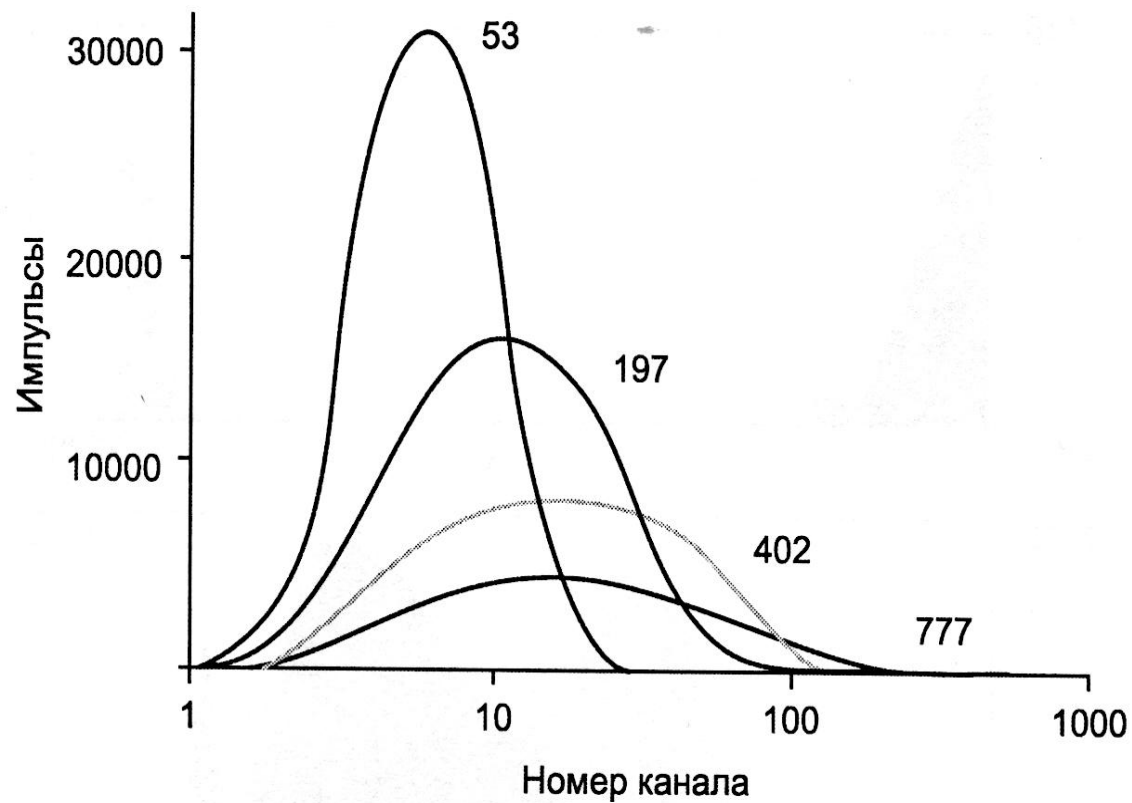


Рис. 11.21. Жидкостно-сцинтилляционные спектры препаратов ^{14}C с различным уровнем гашения. По мере увеличения гашения, т. е. уменьшения величины параметра гашения $t\text{SIE}$ (указан для каждой кривой), спектр смещается в низкоэнергетическую область.

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

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

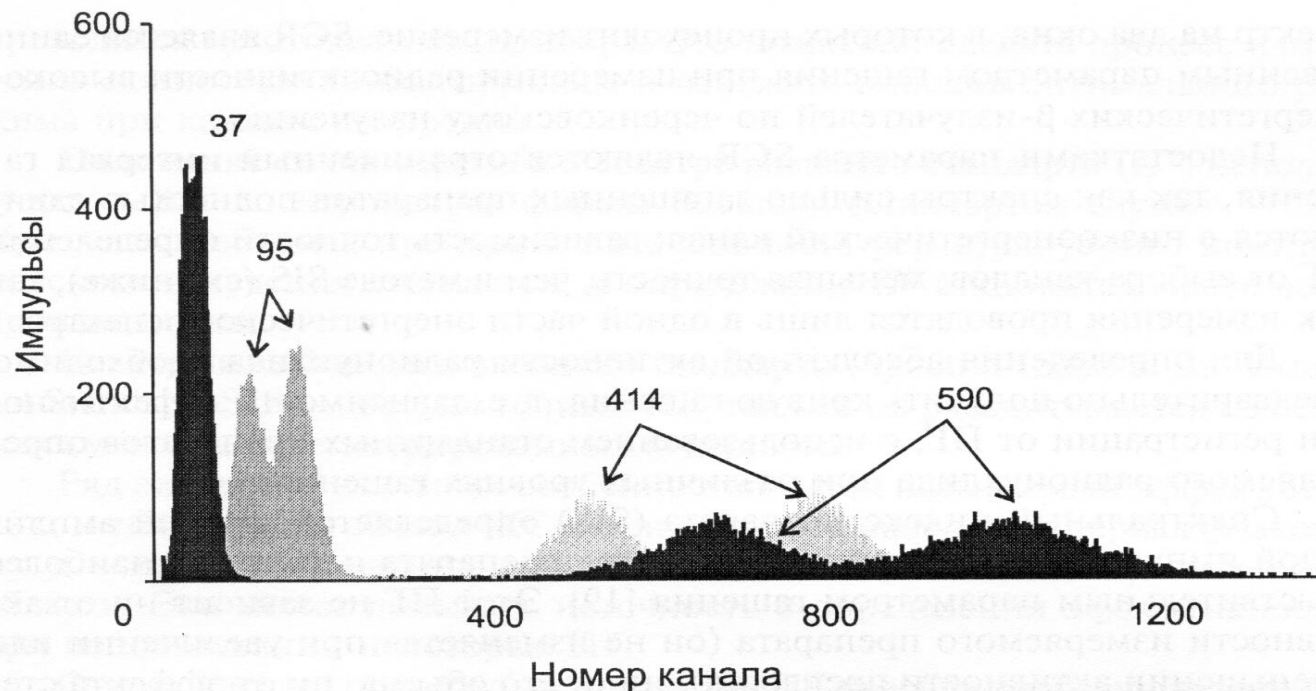


Рис. 11.22. Смещение α -пиков в ЖС спектре в зависимости от гашения.
Спектры ^{211}At (искусственный радионуклид) с дочерним ^{211}Po .
Значения tSIE указаны для каждого спектра

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 β -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 ε 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 β -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 γ -излучения (обычно это ^{133}Ba , ^{137}Cs или ^{226}Ra).

При взаимодействии γ -квантов средних и высоких энергий с ЖС смесью наблюдается спектр комптоновского рассеяния- основного вида взаимодействия таких γ -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 β -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.

