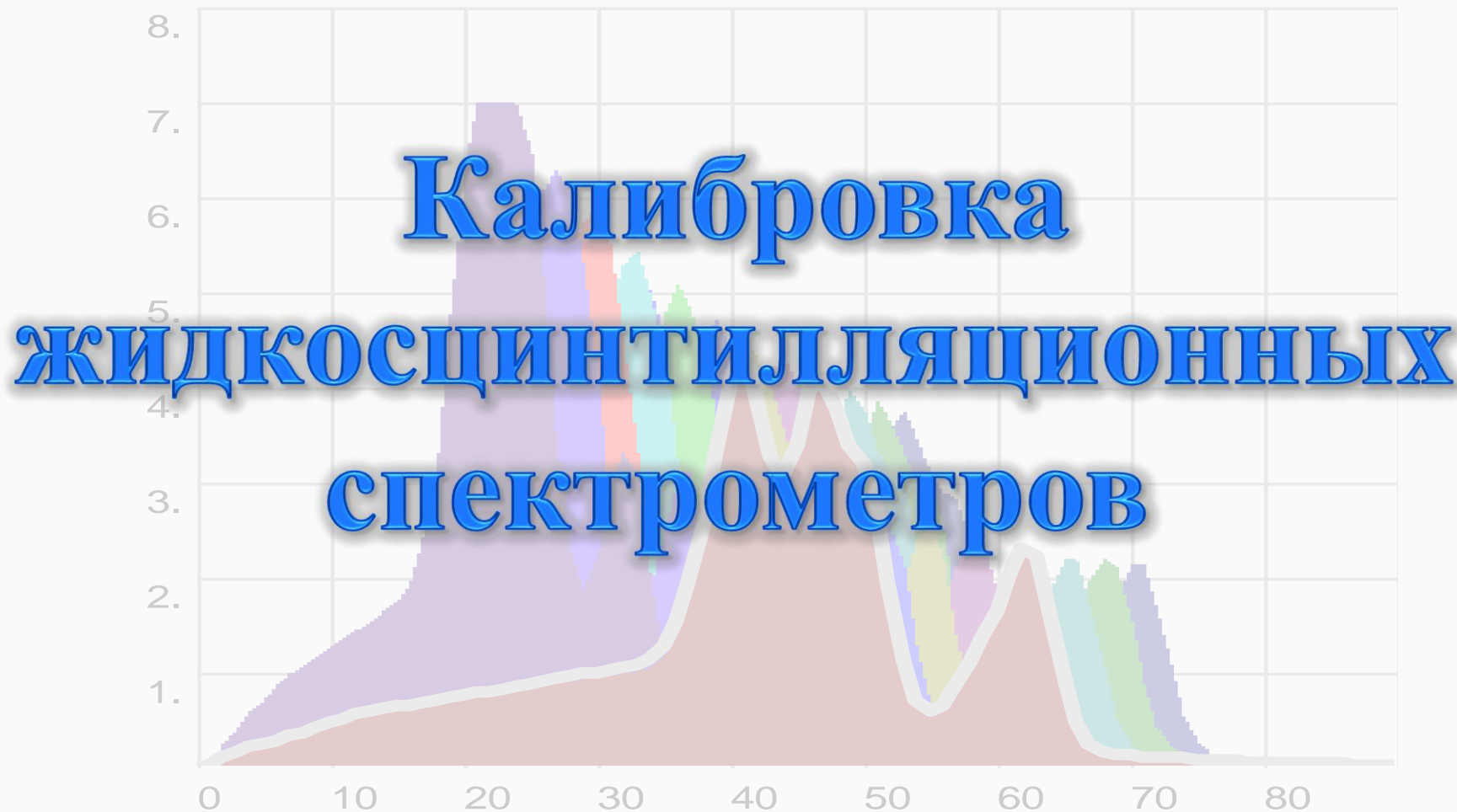




XV Юбилейное Международное совещание
«Проблемы прикладной спектрометрии и радиометрии»
Казань 7 - 11 октября 2019 г.



Малиновский С.В., Каширин И.А

E-mail: SpectraDec@gmail.com Тел.: +7(903)768-24-41

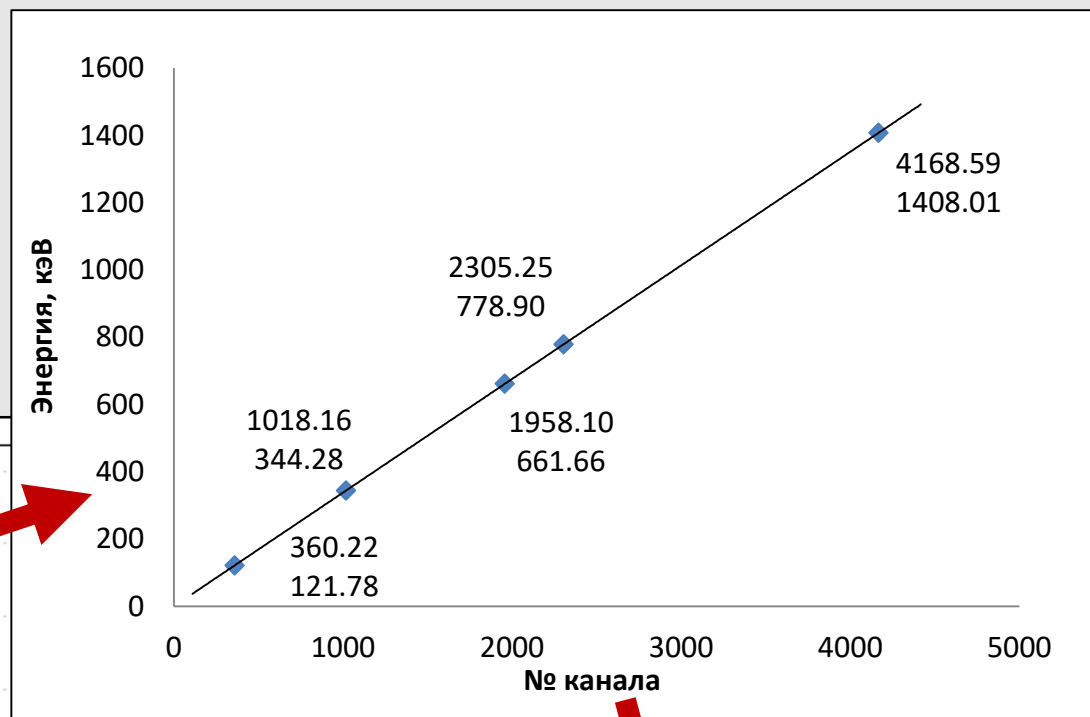
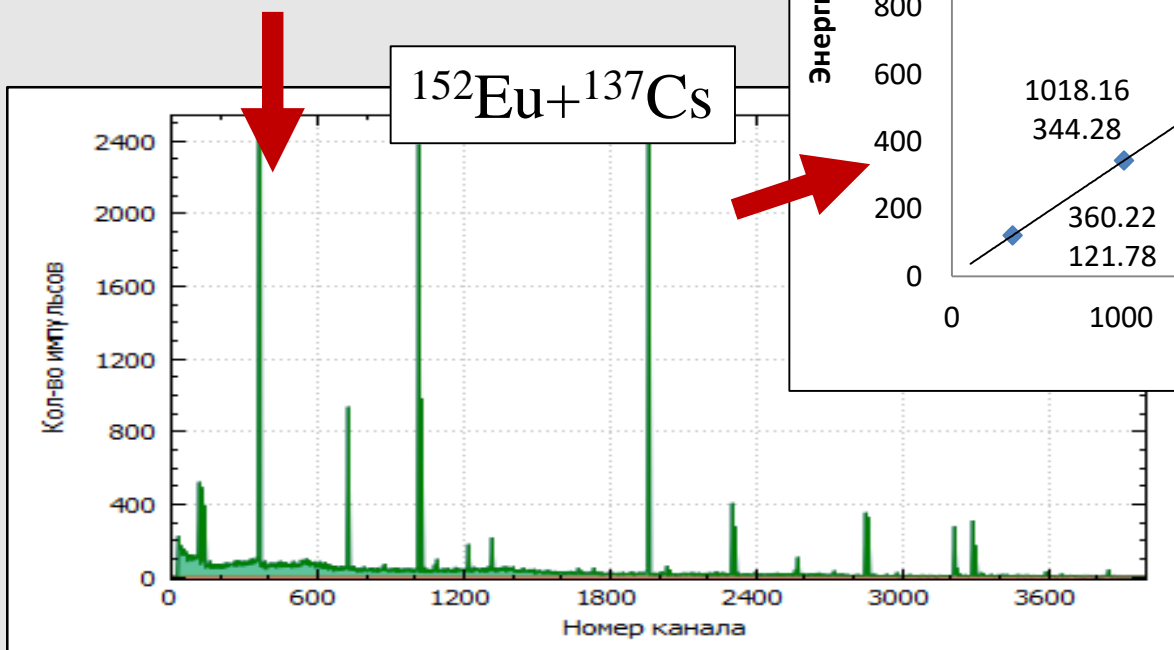
Калибровка спектрометров:

- энергетическая
- эффективности регистрации
- по форме спектра

• Калибровка по энергии

γ , α - спектрометры

Для конкретной геометрии проводим измерение 1-2-х образцовых источников (ОСГИ, ОСАИ, насыпные ...)



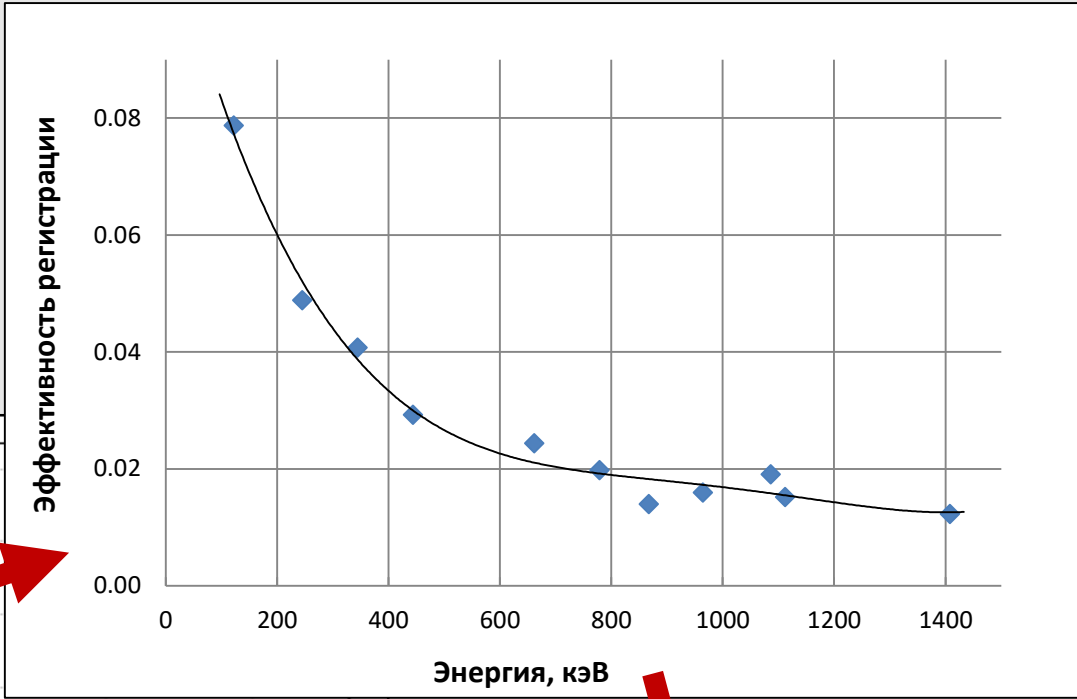
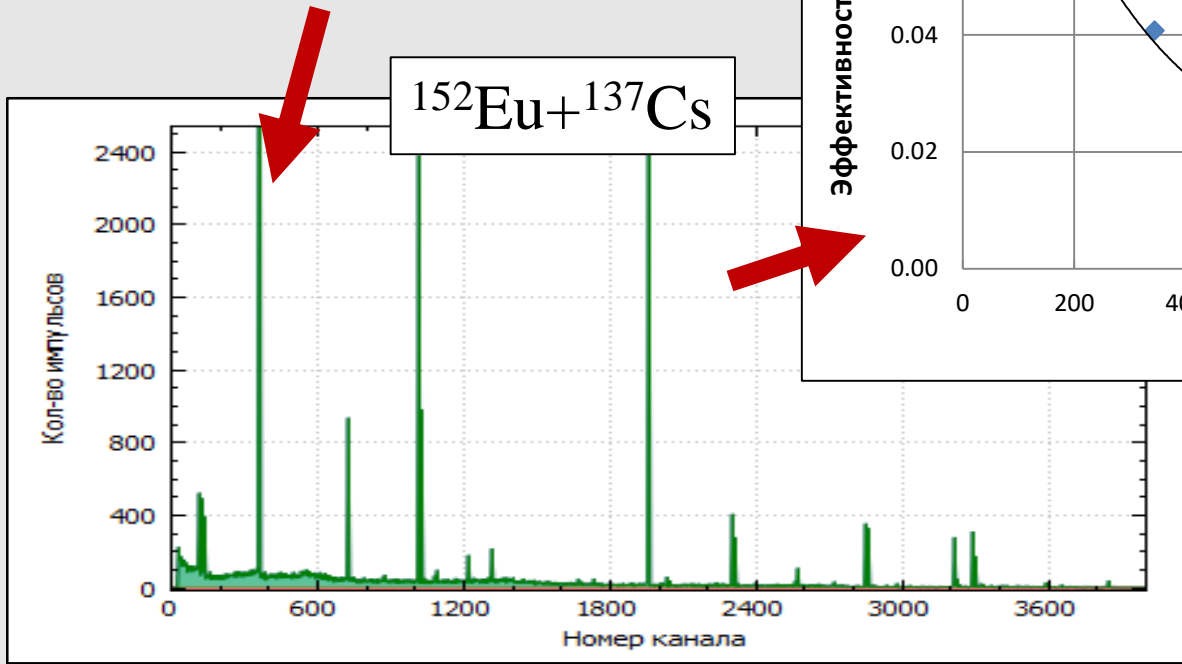
$$E = f(N)$$

Зная значения энергетических линий радионуклидов получаем однозначное соответствие энергии номеру канала, которое не меняется в последующих измерениях и для любых радионуклидов.

• Калибровка по эффективности регистрации

γ , α - спектрометры

Используется то же измерение



$$\varepsilon = f(E(N))$$

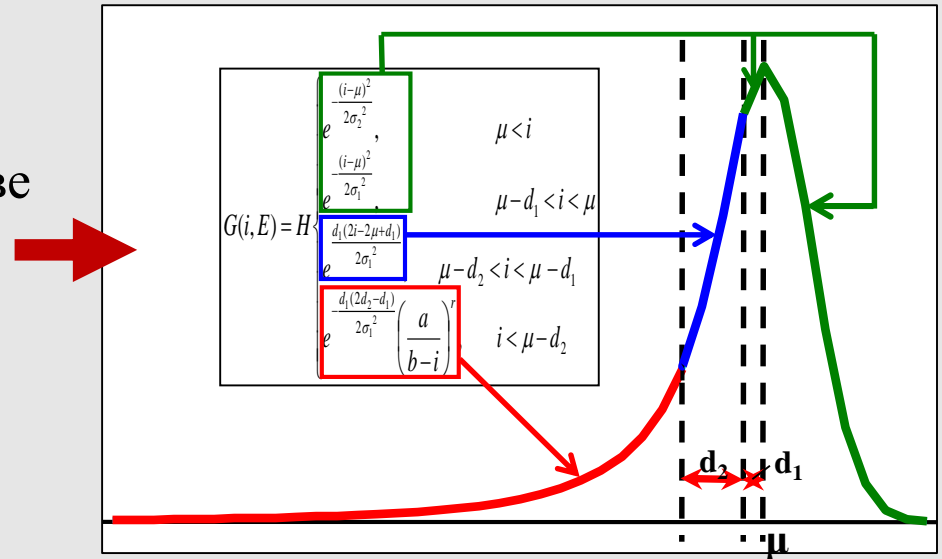
Зная интенсивность энергетических линий получаем однозначную зависимость эффективности регистрации от энергии и, соответственно, номера канала, которое также не меняется в последующих измерениях и для любых радионуклидов.

• Калибровка по форме спектра

γ, α - спектрометры

Описание формы пиков с использованием:

- пика образа (*SpectraLine*)
- математической функции на основе распределения Гаусса (*SpectraDecAlpha*)
- ...



Форма пиков зависит как от разрешения спектрометра, так и от параметров самой пробы (геометрия, состав, ...).

Т.о. форма пика:

- может быть разной для различных проб, но
- не зависит от конкретного радионуклида.

- **Калибровка**

γ , α - спектрометры

- Энергетическая
- Эффективности
регистрации



Проводится 1 раз при настройке прибора
Измерение 1-2-х образцовых источников

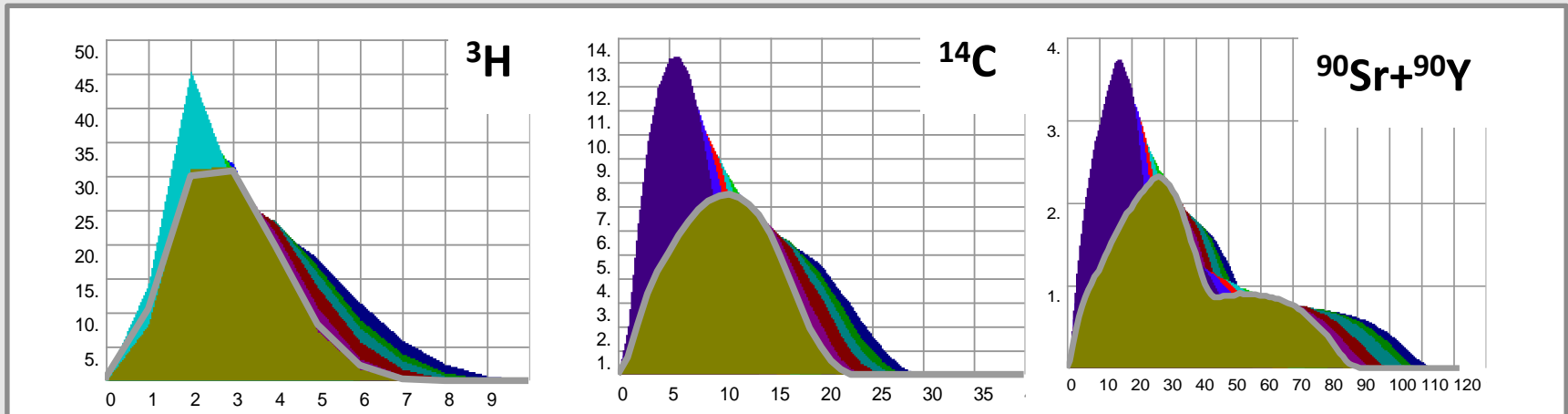
- По форме спектра



По форме линии
При каждом измерении

• Калибровка по энергии

- β -излучение – непрерывное, поэтому:
 - характерная точка - только граничная энергия \Rightarrow
 - для калибровки нет смысла использовать смеси радионуклидов;
- наличие эффекта «гашения» («тушения»), из за которого изменяется форма спектра (и, соответственно, сдвигается граничная энергия) в зависимости от качества подготовки пробы.



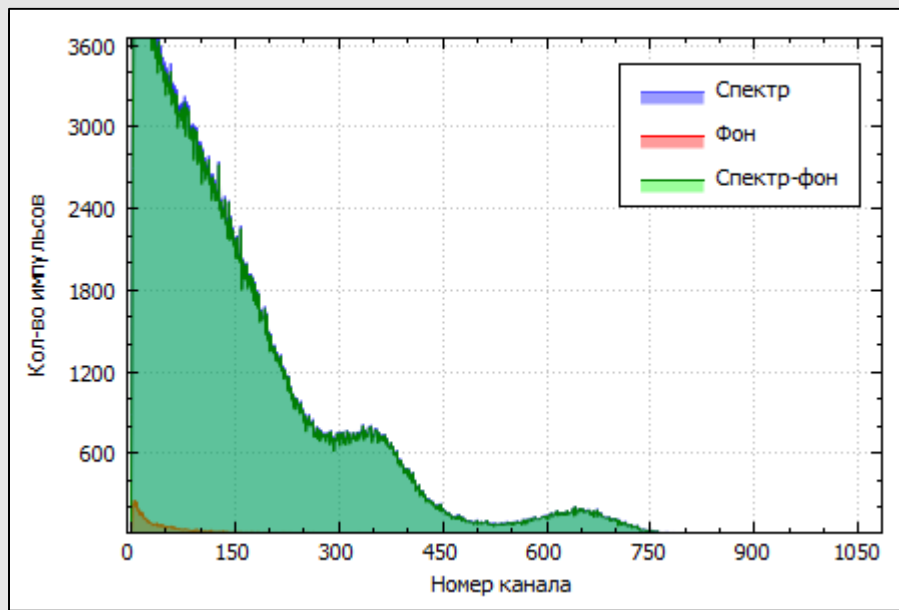
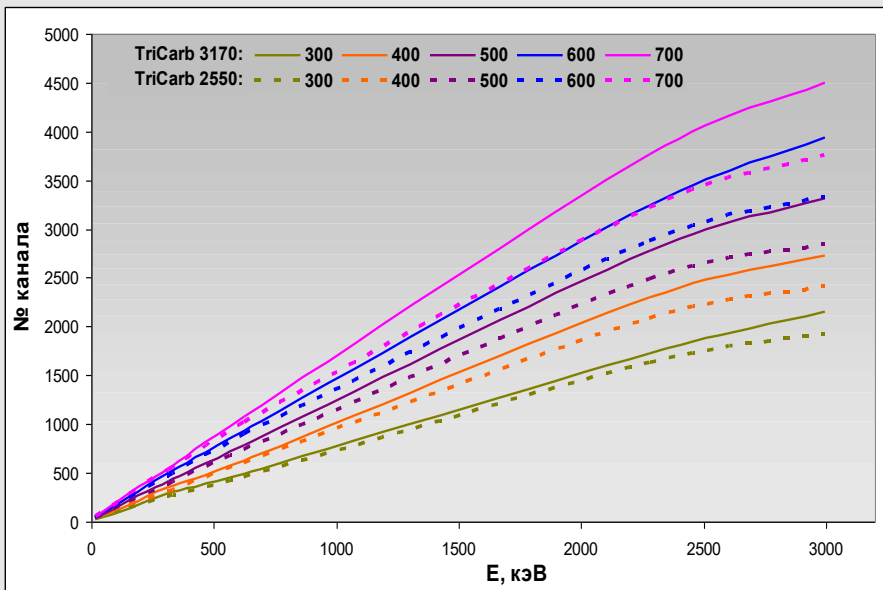
Энергетическая калибровка ЖСС зависит не только от характеристик спектрометра, но и от параметров измеряемой пробы ($N=f(E, T)$) и для её получения необходимо провести несколько десятков измерений.

• Калибровка по энергии

Изотоп	E_{max} , кэВ	Изотоп	E_{max} , кэВ
^3H	18.6	^{90}Y	2280
^{63}Ni	66.9	^{214}Bi	3270
^{14}C	156.5	^{106}Rh	3541
^{137}Cs	624		

~ 70 измерений

Практически проведение энергетической калибровки ЖС-спектрометров не имеет никакого смысла, т.к. не способно дать информацию об изотопном составе пробы.



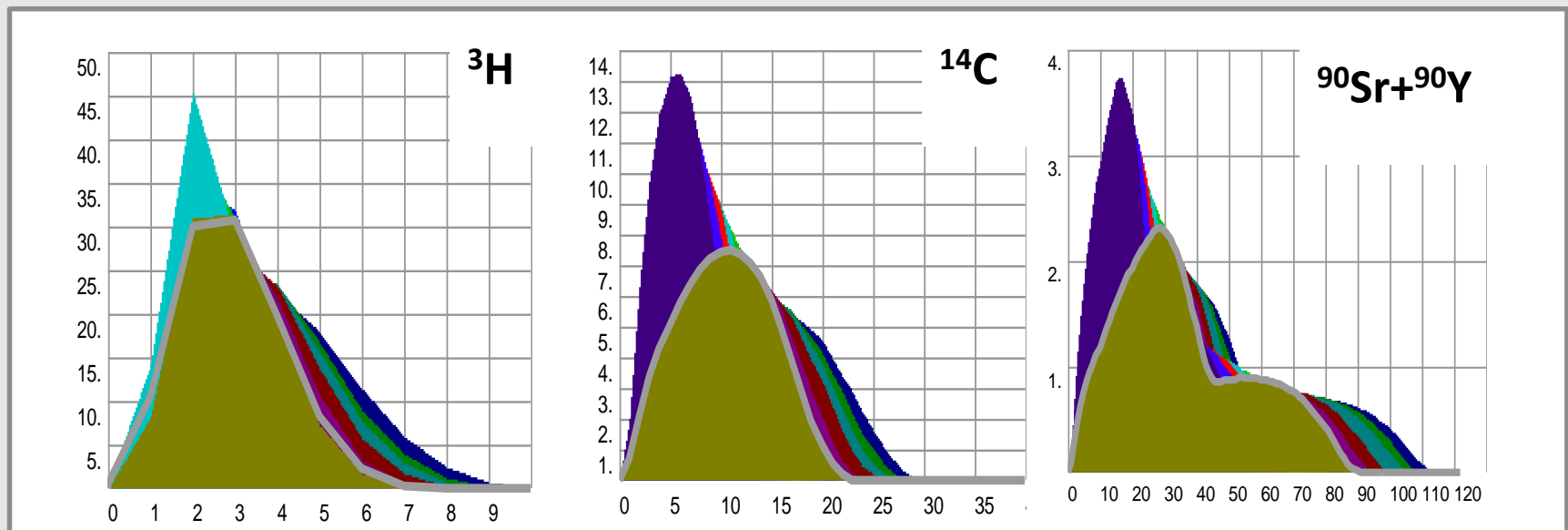
• Калибровка по форме спектра

Единственный метод, позволяющий использовать ЖС-счётчики в качестве спектрометров, способных определять радионуклидный состав — использование предварительно измеренных спектров калибровочных мононуклидных источников.

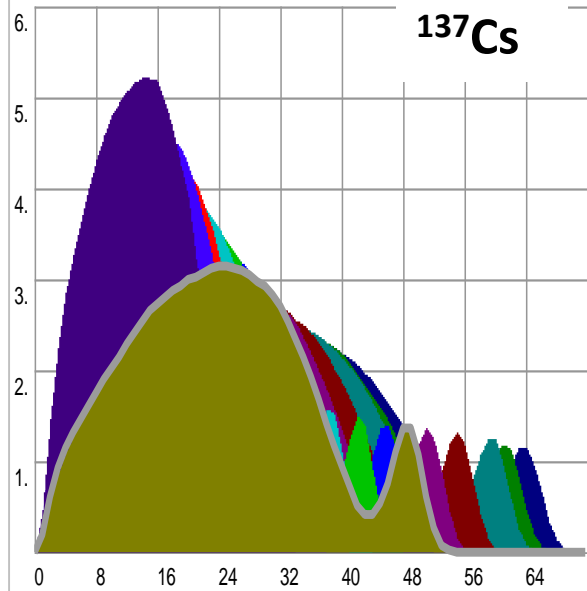
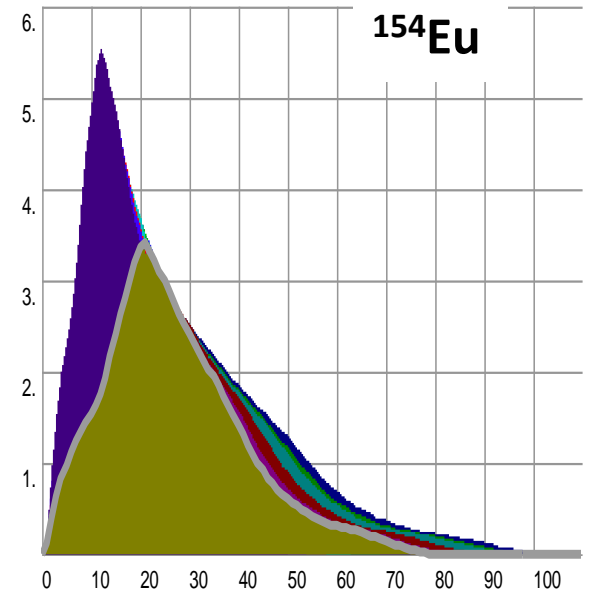
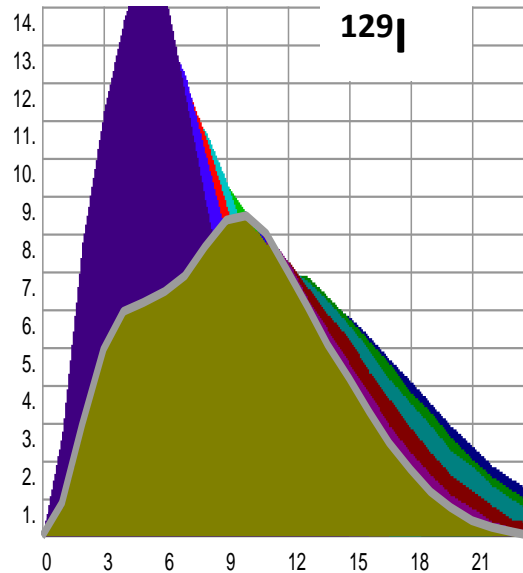
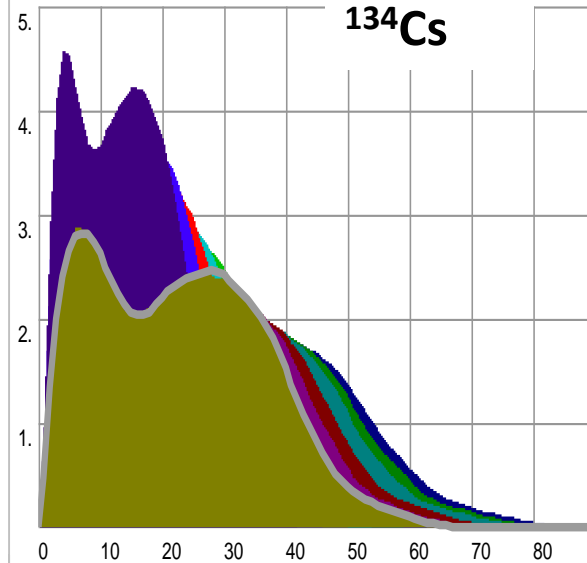
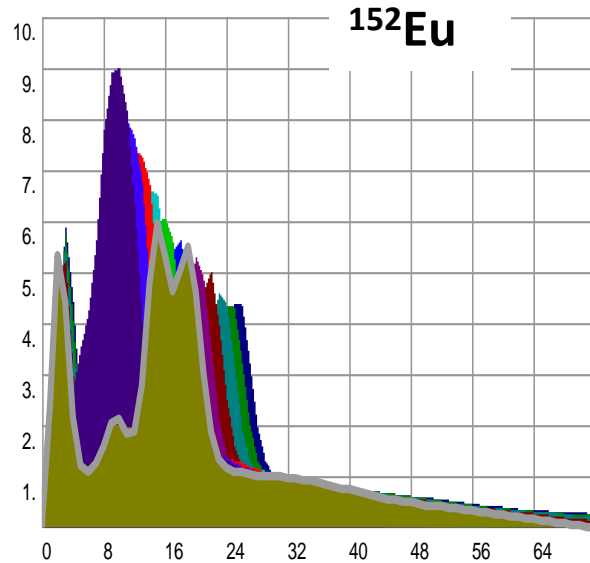
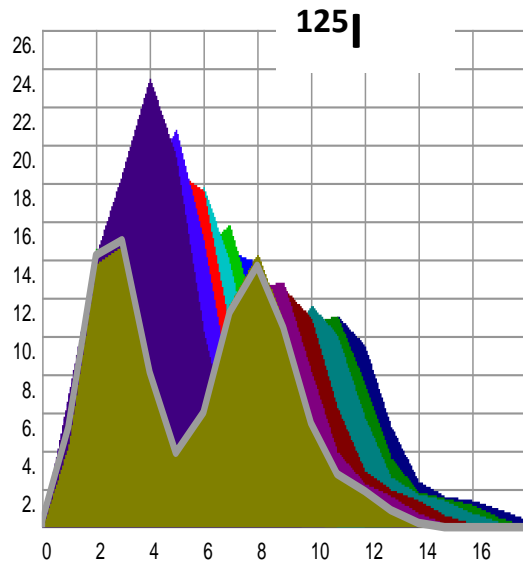
Из калибровочного раствора одного радионуклида (или с ДПР)

↓
готовим набор счётных образцов с различными тушениями

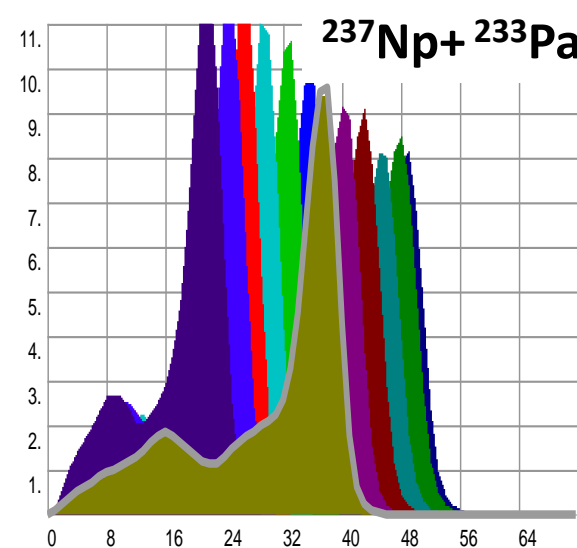
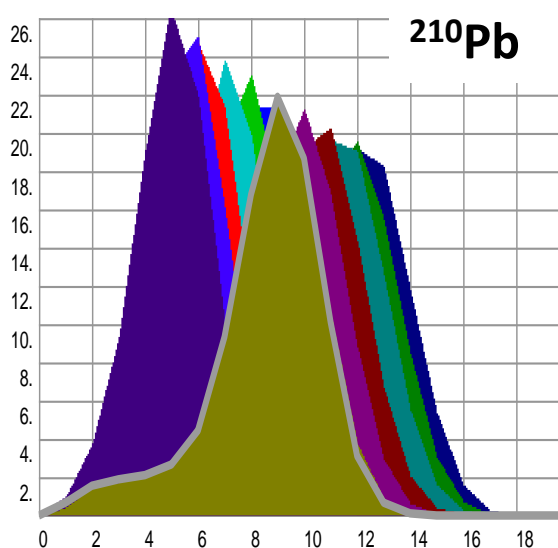
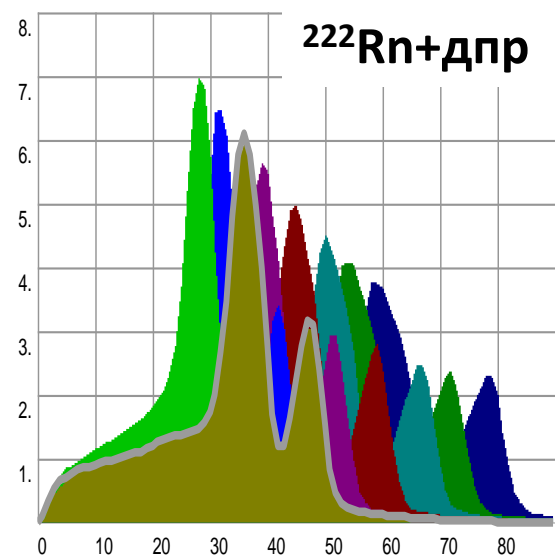
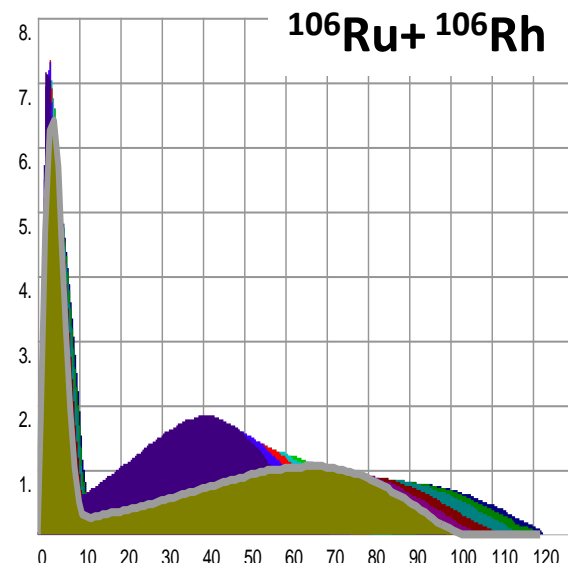
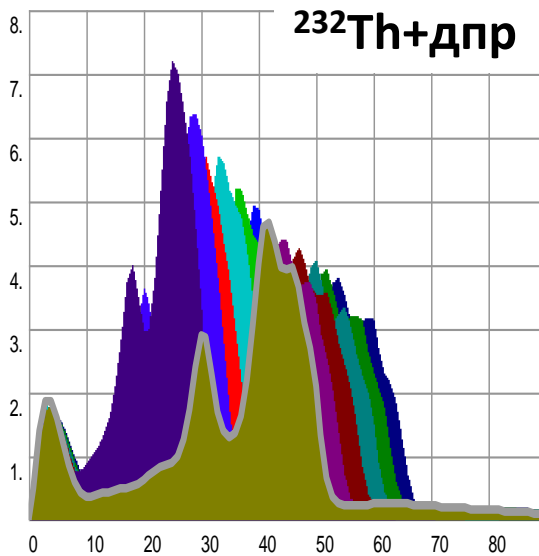
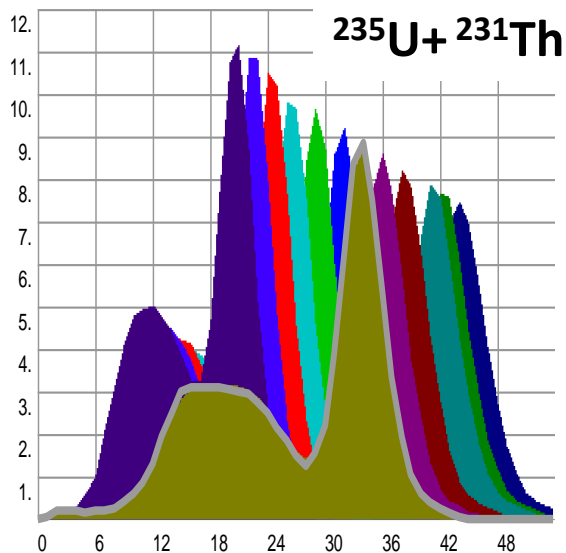
↓
проводим измерения



• Калибровка по форме спектра

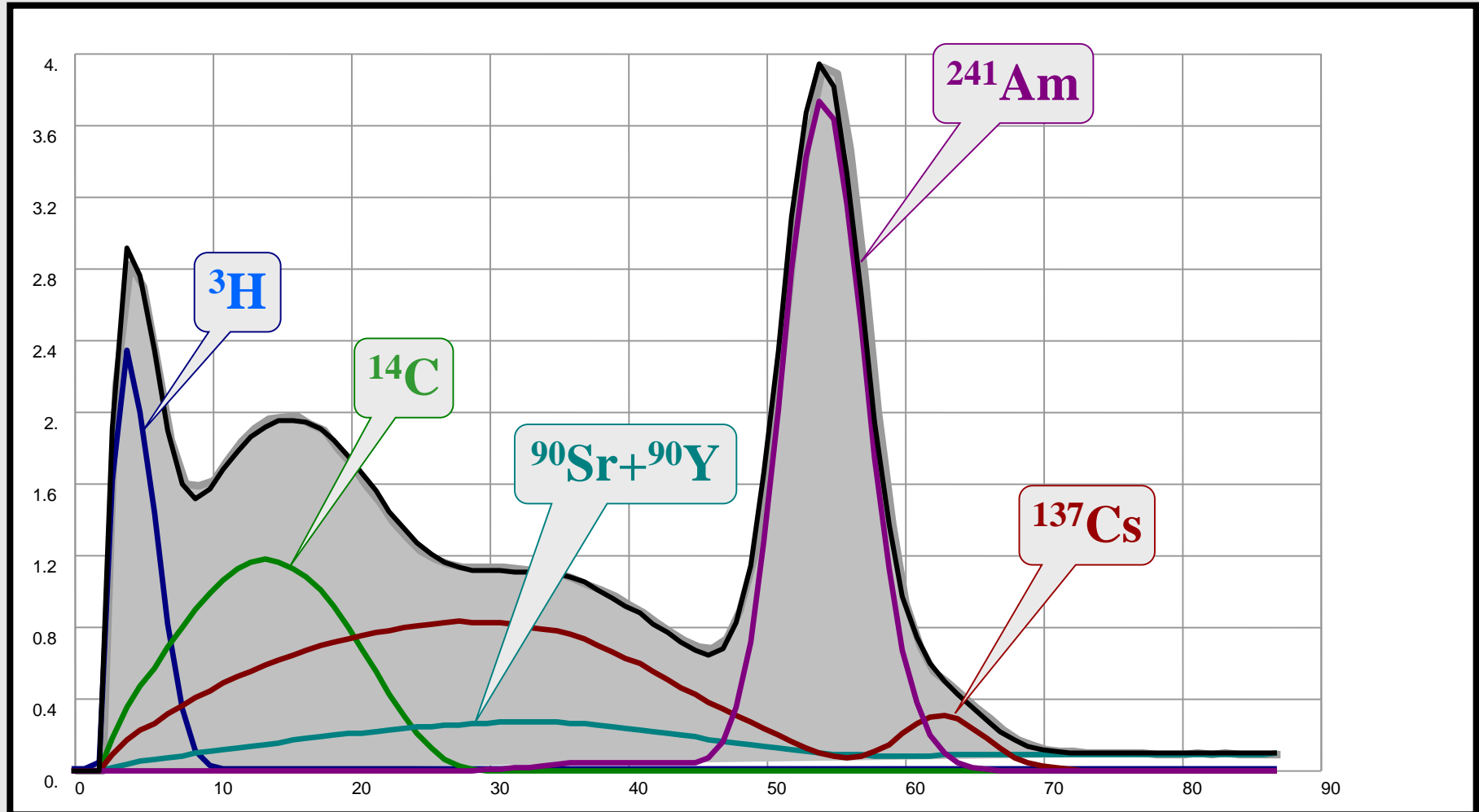


• Калибровка по форме спектра



• Калибровка по форме спектра

Для получения радионуклидного состава используются алгоритмы, основанные на моделировании аппаратного спектра пробы спектрами отдельных радионуклидов, полученными из предварительно созданной нуклидной библиотеки



LiquidMaster 2 / SpectraDec 4

D:/SD/Sd4LM2/SpD4TriCarbDemo/Spectrs/Sample5 Polution.rtf

Проба Модель Отчёт Настройки Справка



Параметры пробы

Время измерения:

Дата измерения:

Масса (объём) пробы: г (мл) КХВ: %

Активность метки: Бк

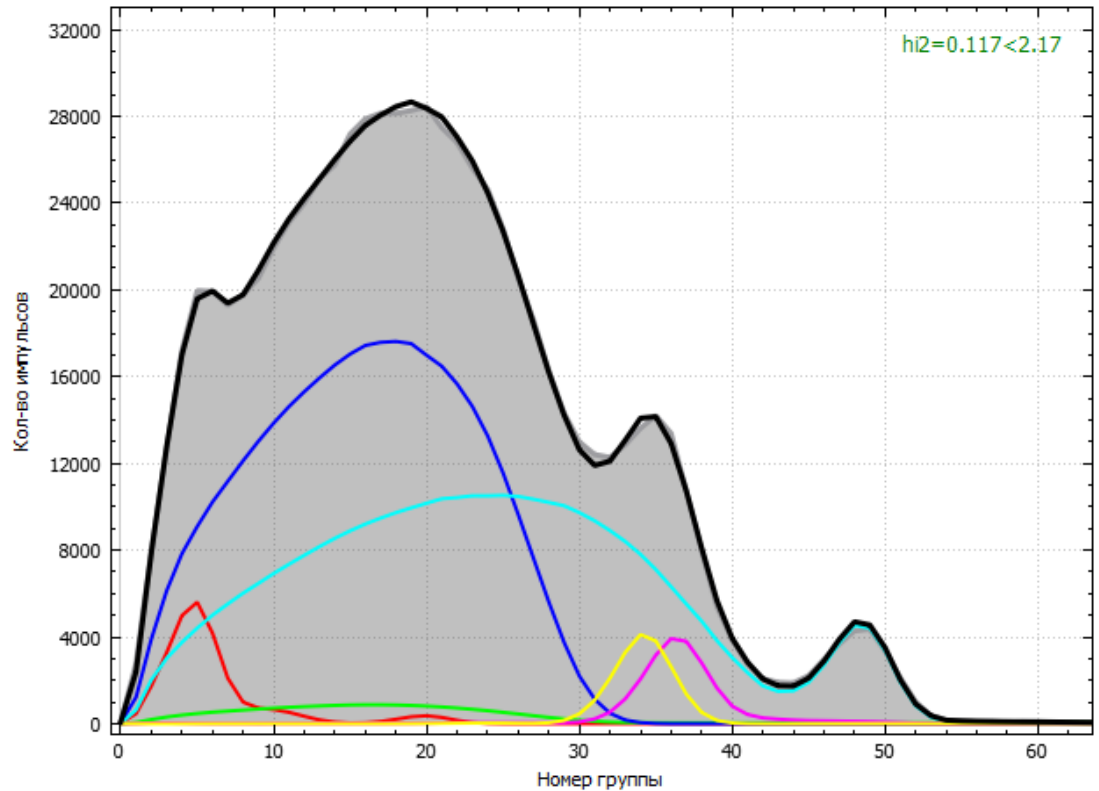
Информация об образце:

Нуклиды	Априор Бк	δ %	ϵ	Асо Бк	Uco %	Av Бк/кг(л)	U %
■ Co-57			0.573	1.33	4	333	5
■ Co-60			0.931	0.59	13	147	14
■ Tc-99			0.999	9.94	2.4	2.49e+03	4
■ Cs-137			1.15	8.00	2.4	2.00e+03	4
■ U-234			1.16	0.554	5	138	5
■ U-236			1	0.551	5	138	6
■ Сумма				21		5.24e+03	

Обработка Аппаратные спектры

в отчёт

 Диапазон обработки спектра
 -
 каналы: -



Измеряемые на ЖСС радионуклиды

³H	⁸⁸Y	¹⁴⁷Pm	²³³U
¹⁴C	⁸⁹Sr	¹⁴⁷Sm	²³⁴U
²²Na	⁹⁰Sr	¹⁴⁸Gd	²³⁵U
³²P	⁹⁰Y	¹⁵²Eu	²³⁶U
³³P	⁹⁵Tc	¹⁵⁴Eu	²³⁸U
³⁵S	⁹⁹Tc	²¹⁰Pb	²³⁶Pu
³⁶Cl	¹⁰²Pd+^{103m}Rh	²¹⁰Bi	²³⁷Pu
⁴⁰K	¹⁰⁶Ru+¹⁰⁶Rh	²¹⁰Po	²³⁸Pu
⁴⁵Ca	¹²⁵Sb+¹²⁵Te	²²²Rn+daught	²³⁹Pu
⁵⁴Mn	¹²⁵I	²²⁴Ra+daught	²⁴¹Pu
⁵⁵Fe	¹²⁹I	²²⁶Ra	²⁴²Pu
⁵⁷Co	¹³¹I	²²⁶Ra+daught	²³⁷Np+²³³Pa
⁶⁰Co	¹³³Ba	²²⁸Ra+²²⁸Ac	²⁴¹Am
⁶³Ni	¹³⁴Cs	²³⁰Th	²⁴³Am
⁶⁵Zn	¹³⁷Cs	²³²Th+daught	²⁴³Am+²³⁹Np
⁸⁵Kr	¹⁴³Pm	²³²Th+²²⁸Th	²⁴⁴Cm
⁸⁵Sr	¹⁴⁴Ce+¹⁴⁴Pr	²³²U	¹⁰⁹Cd ...

- **Калибровка по эффективности регистрации**

- При ЖС-измерениях необходимо знать эффективность регистрации каждого радионуклида.
- Для определения эффективности регистрации должны использоваться образцовые источники.
- Невозможно иметь аттестованные образцовые растворы (ОРР) для всех радионуклидов, (даже нормируемых!) которые могут измерять ЖС-спектрометры.

Вопрос - насколько необходимо использование при калибровке для каждого радионуклида именно образцовых растворов?

• Калибровка по эффективности регистрации

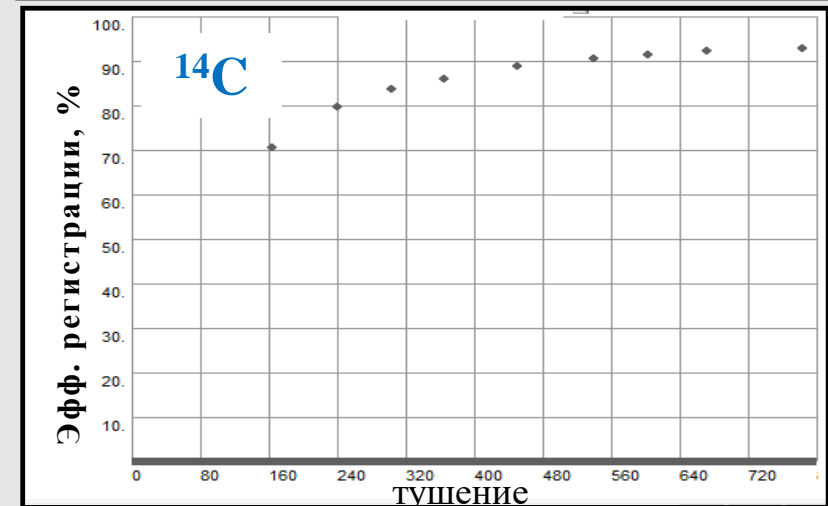
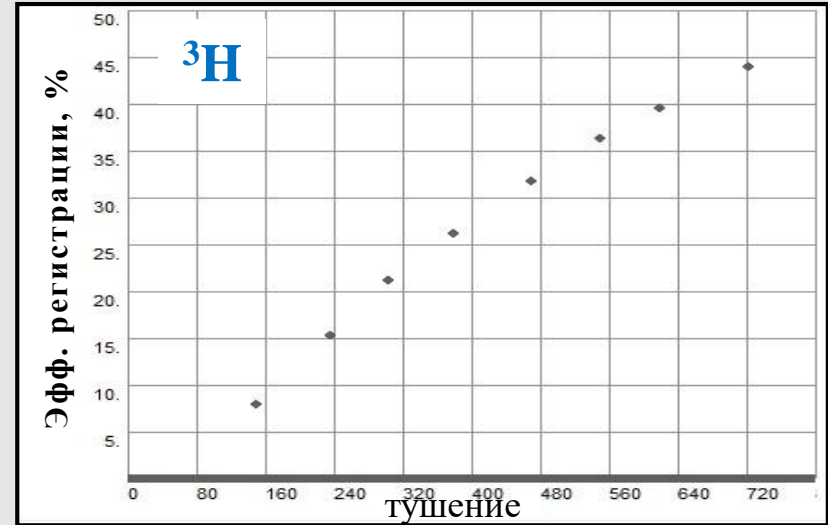
Измеряемая проба смешивается со сцинтилляционным коктейлем

⇒ нет потерь на поглощение

⇒ низкий энергетический порог регистрации β -излучения (~ 3 кэВ)

⇒ высокая эффективность регистрации:

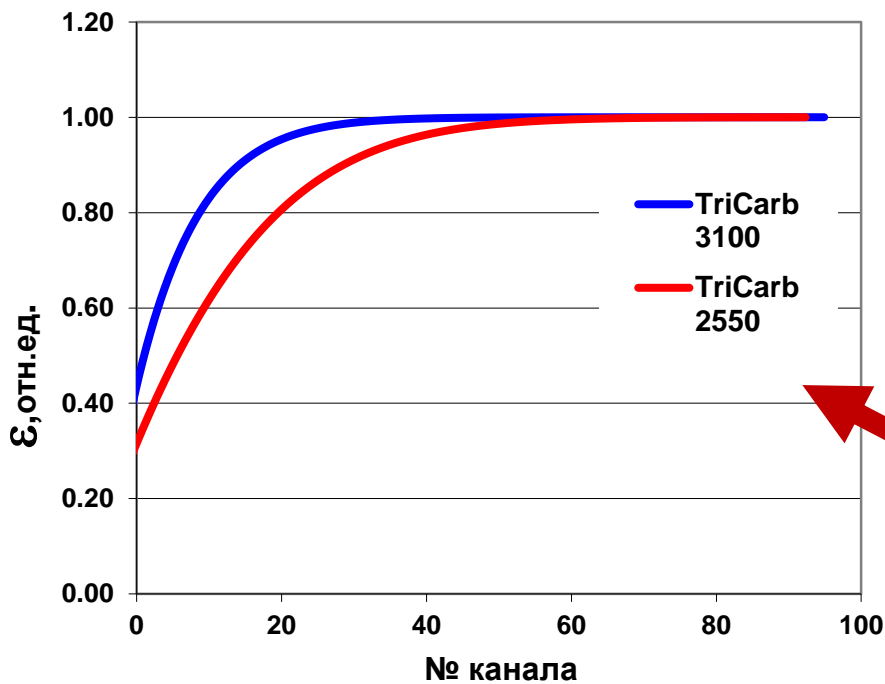
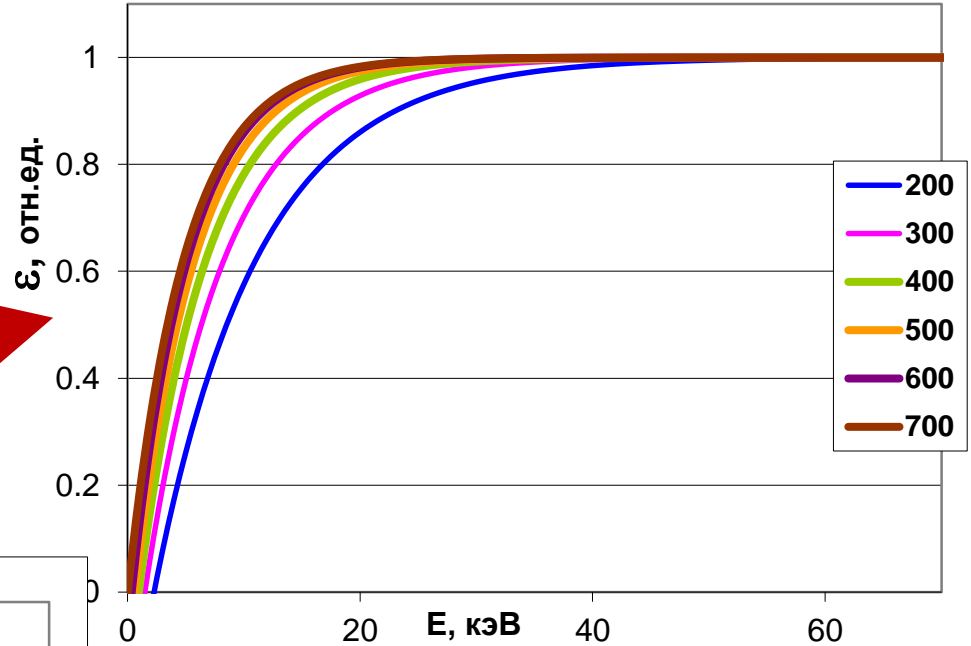
- ^3H ($E_{\text{cp}} \approx 5.7$ кэВ) до 55%
- ^{63}Ni ($E_{\text{cp}} \approx 17$ кэВ) до 80%
- ^{14}C ($E_{\text{cp}} \approx 50$ кэВ) до 96%
- β -излучение > 50 кэВ $\sim 100\%$
- α -излучение $\sim 100\%$



• Калибровка по эффективности регистрации

Зависимость эффективности регистрации от энергии электрона при различных тушениях (TriCarb-2550)

$$\varepsilon = f(E, T)$$



Зависимость эффективности регистрации электронов от номера канала

$$\varepsilon = f(E(n, T), T) = f(n, T)$$

- **Калибровка по эффективности регистрации**

Для получения зависимости эффективности регистрации электронов от номера канала достаточно 3-х ОРР - ^3H , ^{63}Ni , ^{14}C .

Для радионуклидов с низкой энергией и простой схемой распада эффективность регистрации можно определить интегрированием полученной зависимости с измеренным спектром.

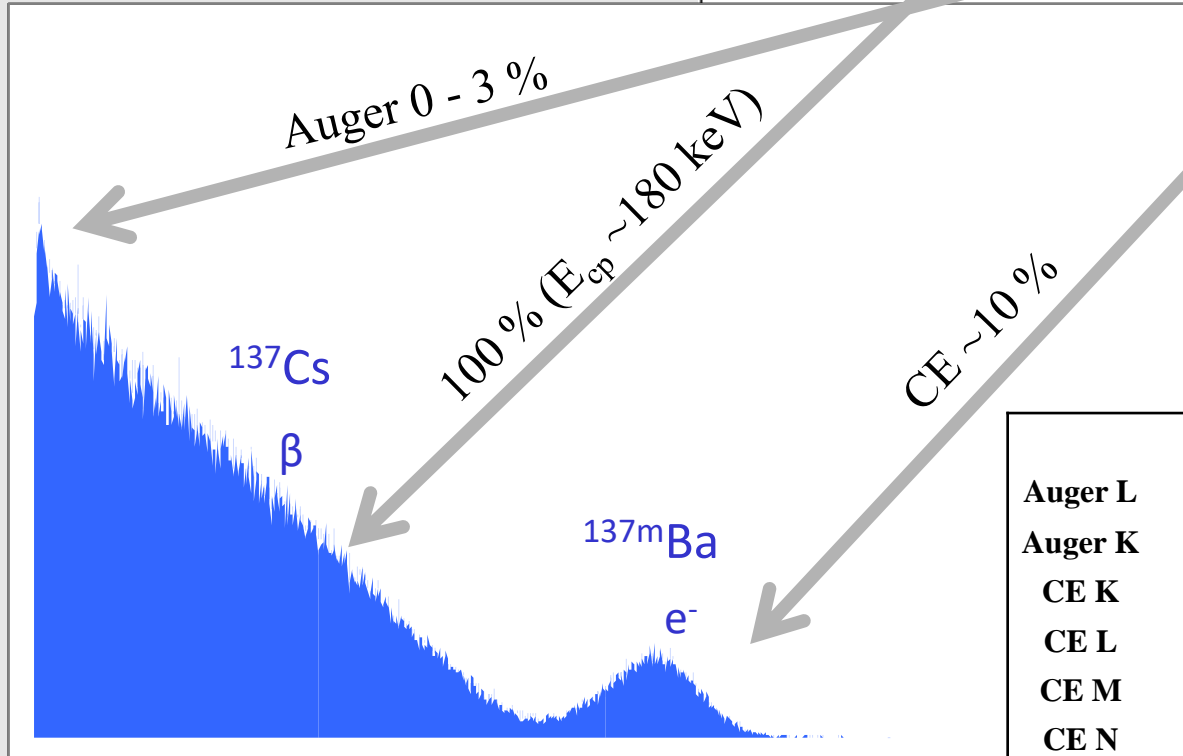
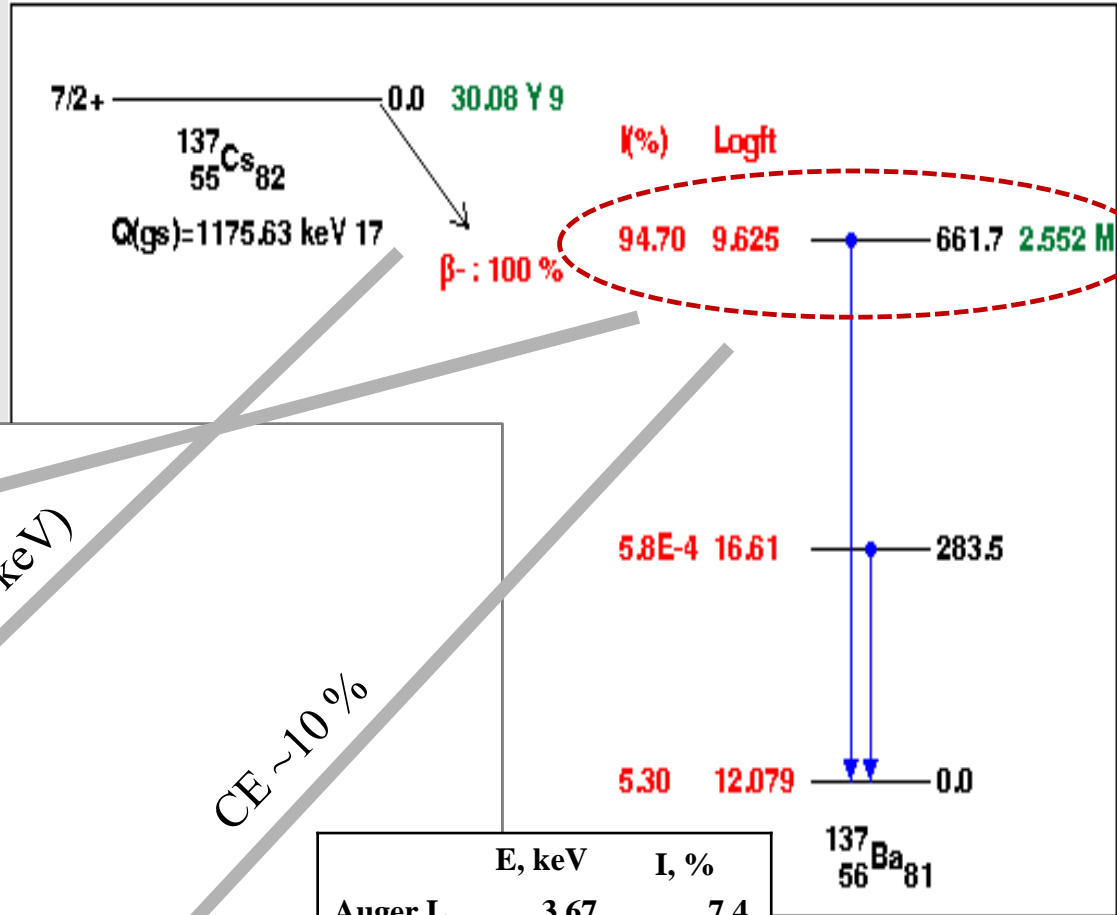
Для радионуклидов с высокой энергией (включая α -активные) и простой схемой распада эффективность регистрации всегда 100%.

Для радионуклидов со сложной схемой распада необходимо эту схему учитывать.

Эффективность регистрации

^{137}Cs

$\varepsilon = 110 - 113 \%$



	E, keV	I, %
Auger L	3.67	7.4
Auger K	26.40	0.78
CE K	624.22	7.79
CE L	655.67	1.402
CE M	660.36	0.3
CE N	661.40	0.0646
CE O	661.64	0.00965

Эффективность регистрации

^{243}Am

$\varepsilon = 100\%$

5/2- 0.0 7364 Y 22

$^{243}_{95}\text{Am}_{148}$

$Q(\text{gs}) = 5438.8 \text{ keV } 10$

$\alpha: 100\%$

$E\alpha$ (%) HF

5181 1.383 17

$E\alpha$ (%) HF

5233.3 11.46 4.7

5321 0.192 0.94E+3

5349.4 0.240 1.2E+3

173

117.8 ≤ 0.04 NS

71.5

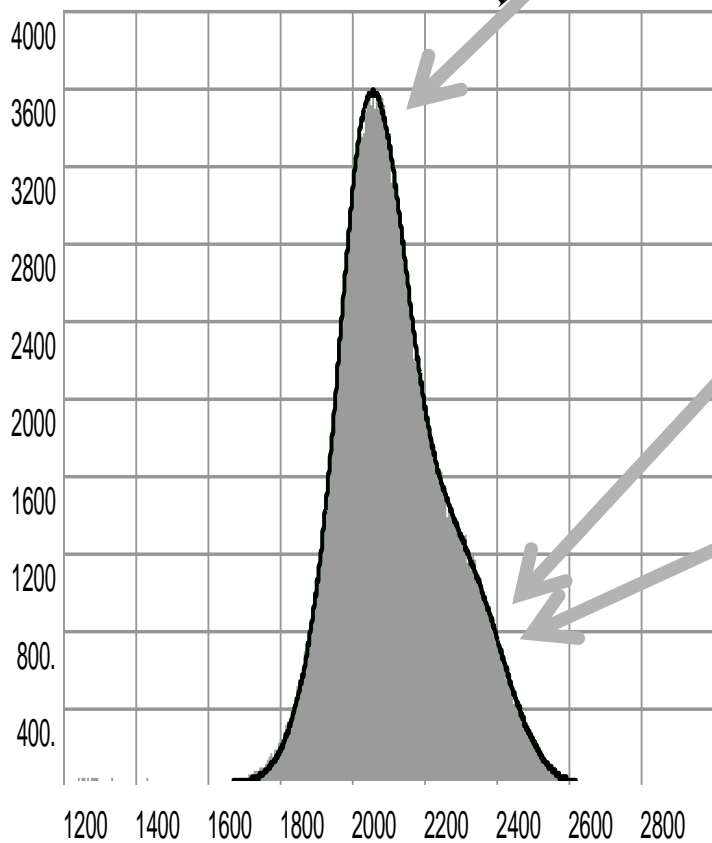
31.1

0.0

122.4

5275.3 86.74 1.1 74.7 1.39 NS

$^{239}_{93}\text{Np}_{146}$



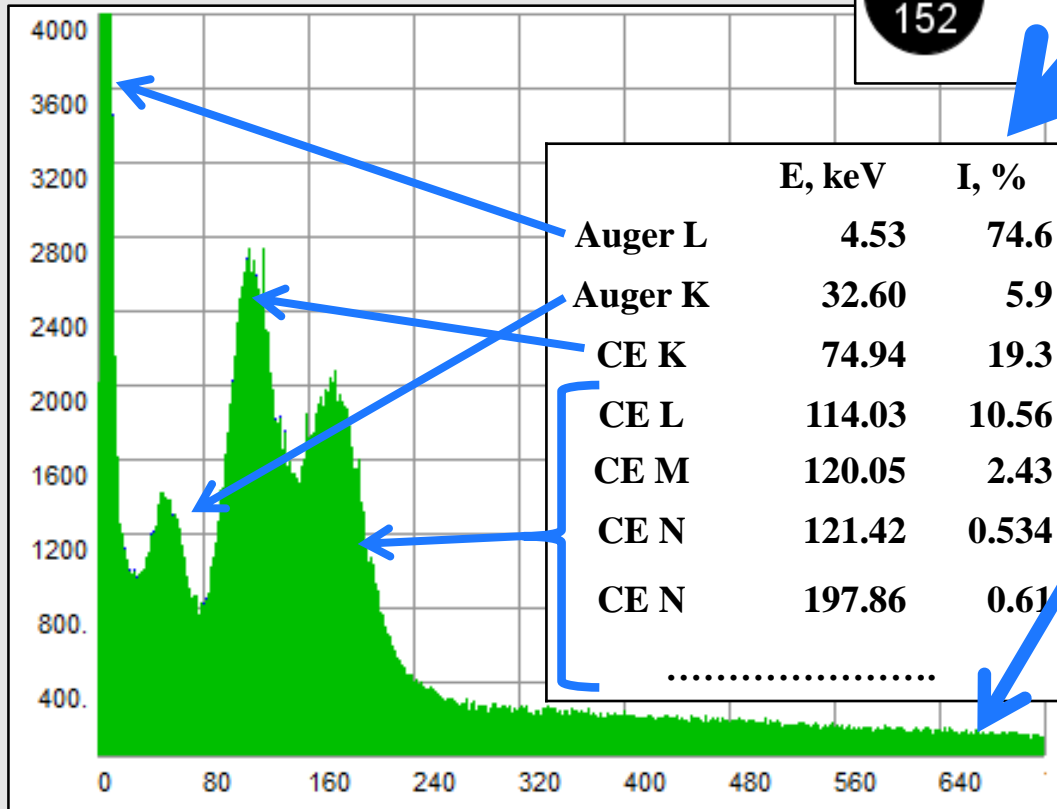
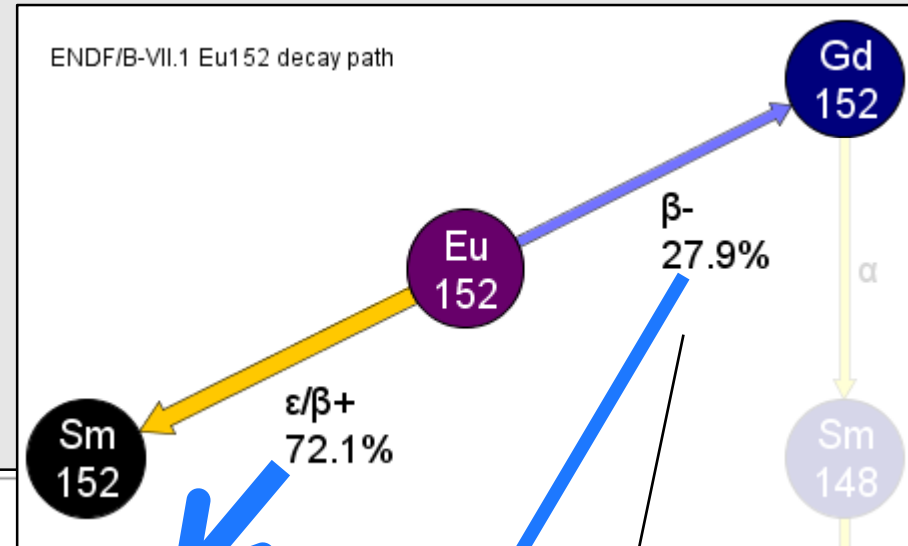
	E, keV	I, %
Auger L	10.1	18.1
CE L	8.71	9.9
CE L	20.67	7.41
CE L	21.10	5.05
CE M	25.42	2.5
CE L	52.23	13.91
CE M	68.93	3.44

Эффективность регистрации

^{152}Eu

$\varepsilon = 65 - 82 \%$

$\varepsilon_{\text{экср}} = 69 - 82 \%$

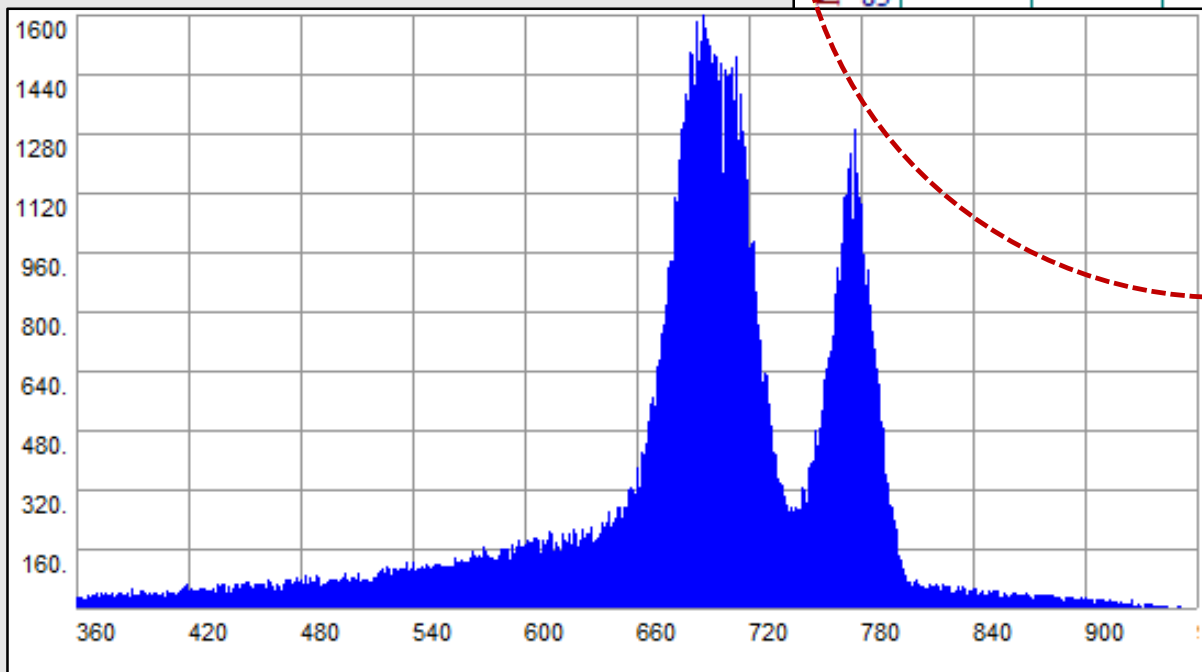
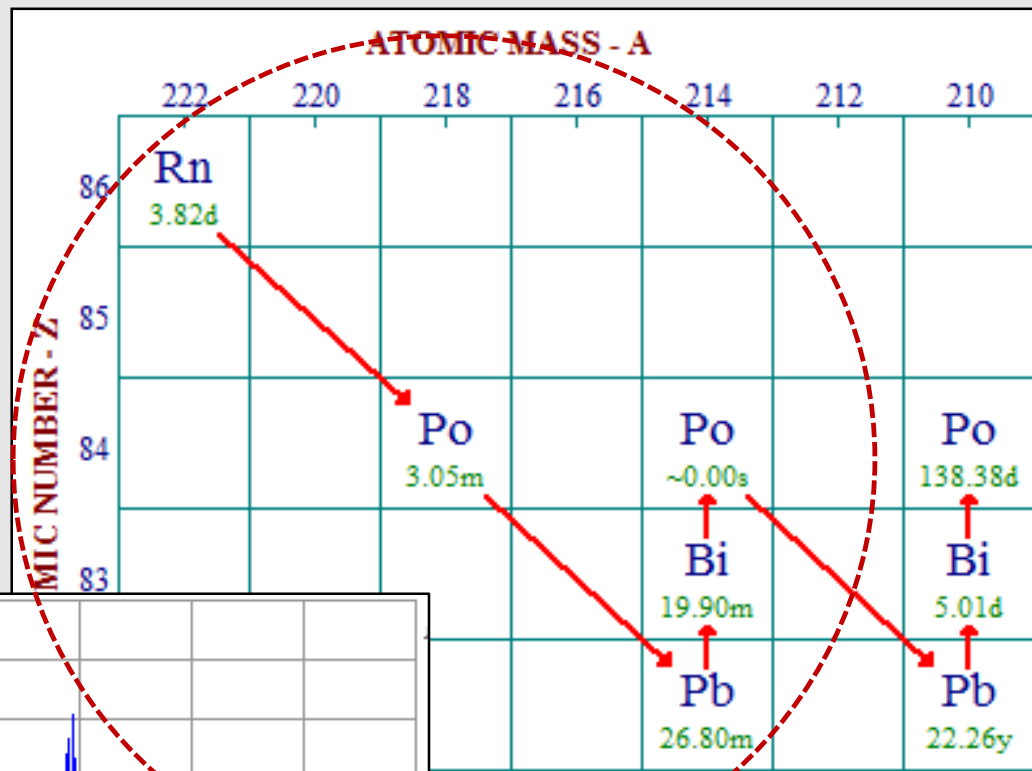


27.9 %
0 - 15 %
3 - 5 %
34 %

Эффективность регистрации

^{222}Rn +ДПР

- ^{222}Rn – α – 100 %
 - ^{218}Po – α – 100 %
 - ^{214}Pb – β ~220 keV – 100 %
 - ^{214}Bi – β >500 keV – 100 %
 - ^{214}Po – α – 100 %
- $\Rightarrow \quad \varepsilon \sim 500 \%$



• Калибровка

γ , α - спектрометры

- Энергетическая
- Эффективности
регистрации



Проводится 1 раз при настройке прибора
Измерение 1-2-х образцовых источников

- По форме спектра



По форме линии
При каждом измерении

• Калибровка

ЖС - спектрометры

- Энергетическая



Не нужна

- Эффективности
регистрации



Проводится 1 раз при настройке прибора
Измерение калибровочных (не обязательно образцовых) источников всех радионуклидов
(возможно моделирование)

- По форме спектра

СПАСИБО ЗА

ВНИМАНИЕ

