

EffMaker - расчёт эффективности регистрации гамма-излучения объектов сложной формы. Тестирование.

А.Н.Берлизов²⁾, В.Н.Даниленко¹⁾, Е.А.Ковальский¹⁾, И.В.Кувыкин³⁾,
А.А.Немков¹⁾, Д.А.Суворов¹⁾, С.Ю.Федоровский¹⁾

¹⁾ООО«ЛСРМ», Россия п. Менделеево Московской обл.

²⁾Институт ядерных исследований НАН Украины, г.Киев

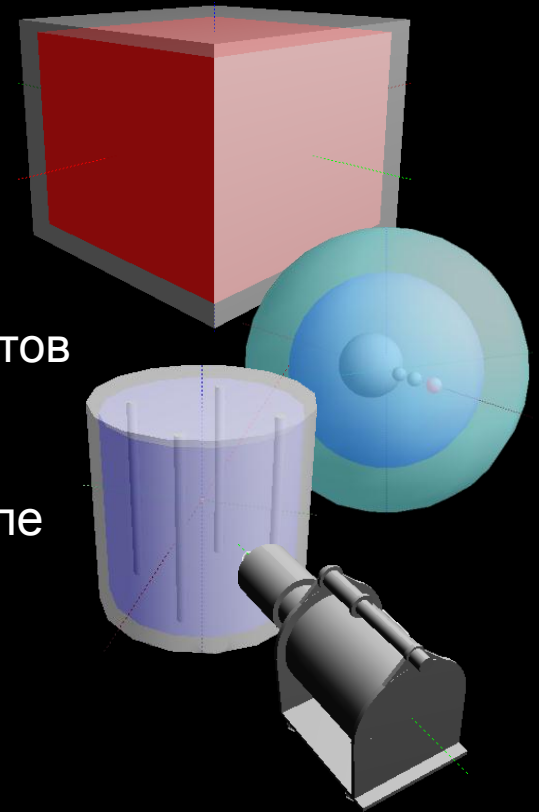
³⁾ФГУП«ВНИИФТРИ», Россия п. Менделеево Московской области

Метод Монте-Карло

- Сложный стохастический процесс прохождения частиц в веществе рассматривается как последовательность конечного числа элементарных событий (рождение частицы в веществе, движение без взаимодействия на некотором пути, взаимодействие какого-либо типа, и, если частица при этом не поглощается, снова движение до следующего взаимодействия). Зная вероятность каждого из этих событий, можно воспроизвести движение (траекторию) определенной частицы в веществе. Из анализа достаточно большого количества траекторий можно определить различные характеристики поля излучения.
- MCNP (Monte Carlo N-Particle Transport Code), разработанный в Лос-Аламосской национальной лаборатории (Los Alamos National Laboratory)
- GEANT (GEometry ANd Tracking), разработанный в ЦЕРН (CERN).

Программное обеспечение EffMaker

- ✓ Расчет эффективности регистрации методом Монте-Карло
- ✓ Моделирование спектрометров на основе сцинтилляционных и полупроводниковых детекторов с коллиматорами разных типов
- ✓ Моделирование сложных многослойных объектов с произвольным распределением активности
- ✓ Произвольный состав материалов объекта
- ✓ Расчеты на произвольной энергетической шкале
- ✓ Сохранение объектов моделирования и результатов расчетов в базах данных



Область применения

✓ Для измерения транспортных контейнеров, упаковок с радиоактивными и другими отходами

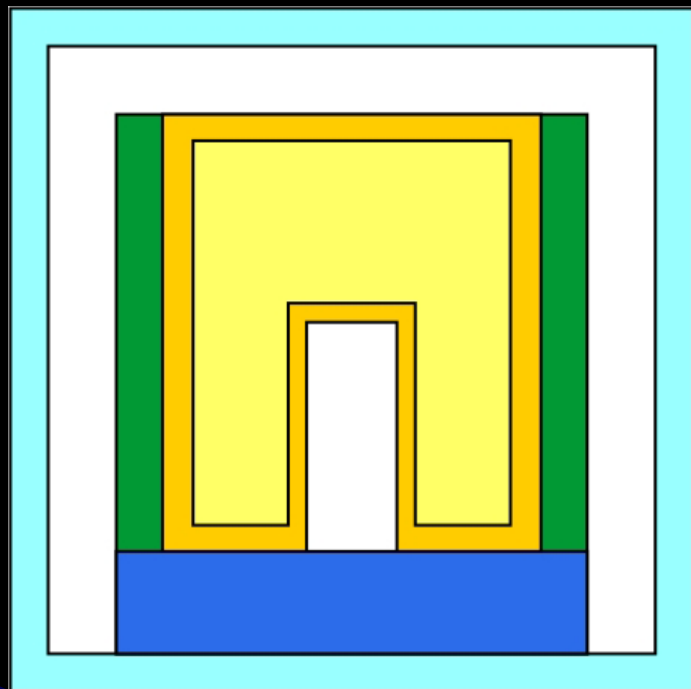
✓ Для анализа влияния распределения радионуклидов в образце на результаты измерения активности

✓ При разработке и тестировании программного и методического обеспечения



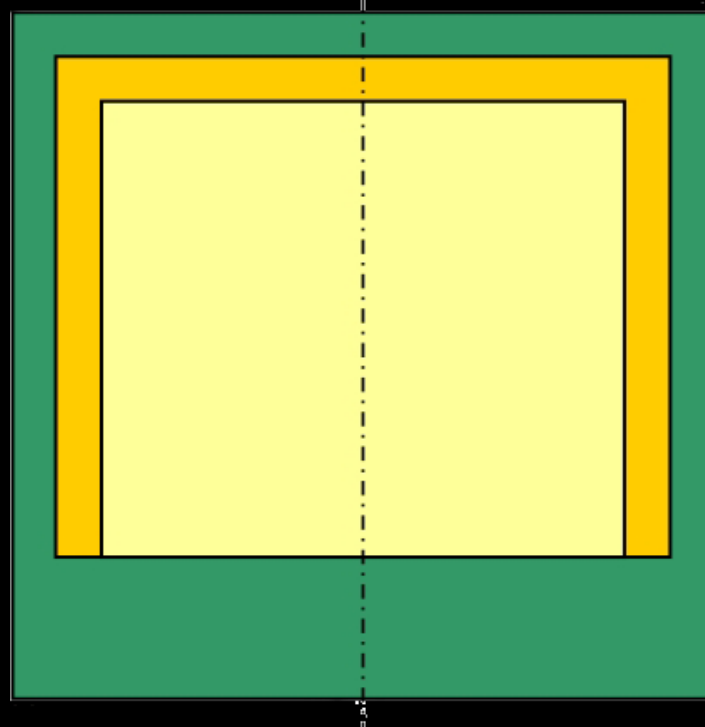
Область моделирования. Спектрометры

Коаксиальный HPGe-детектор



- Стакан
- Держатель
- Неактивный слой
- Чувствительный слой
- Подставка
- Вакуум

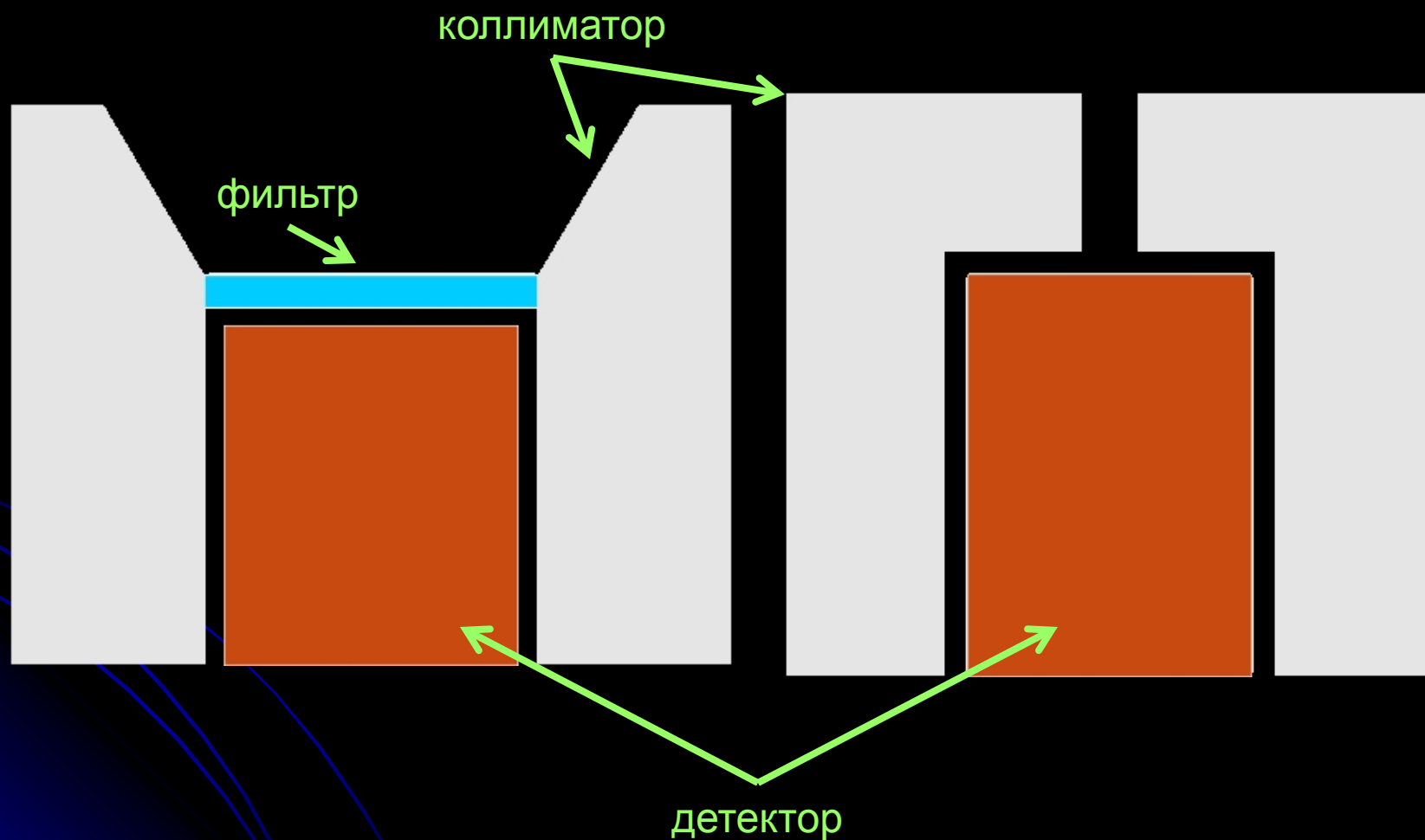
Сцинтилляционный NaI-детектор



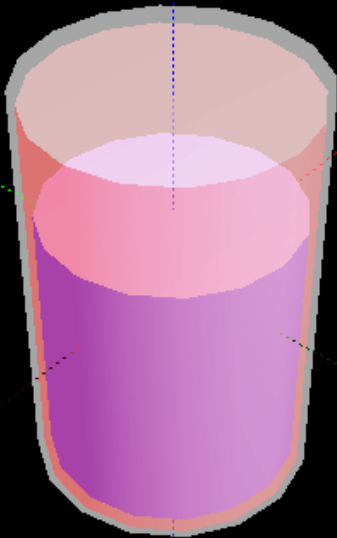
- Кристалл
- Отражатель
- Упаковка

Область моделирования. Спектрометры

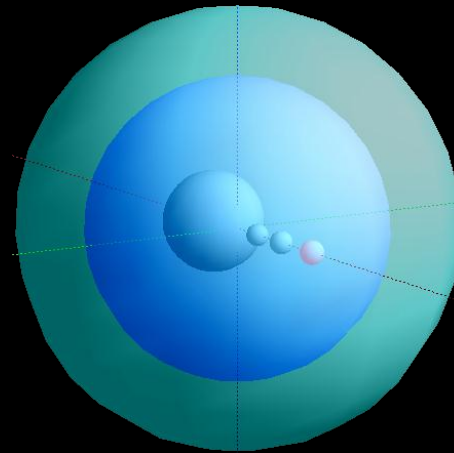
Типы коллиматоров



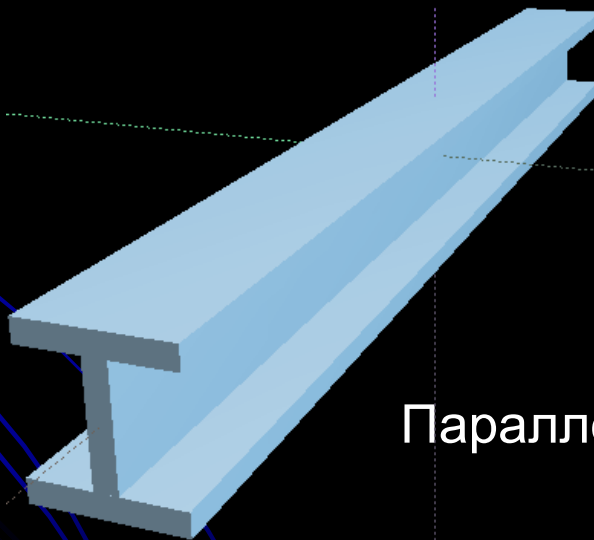
Область моделирования. Источники



Цилиндр

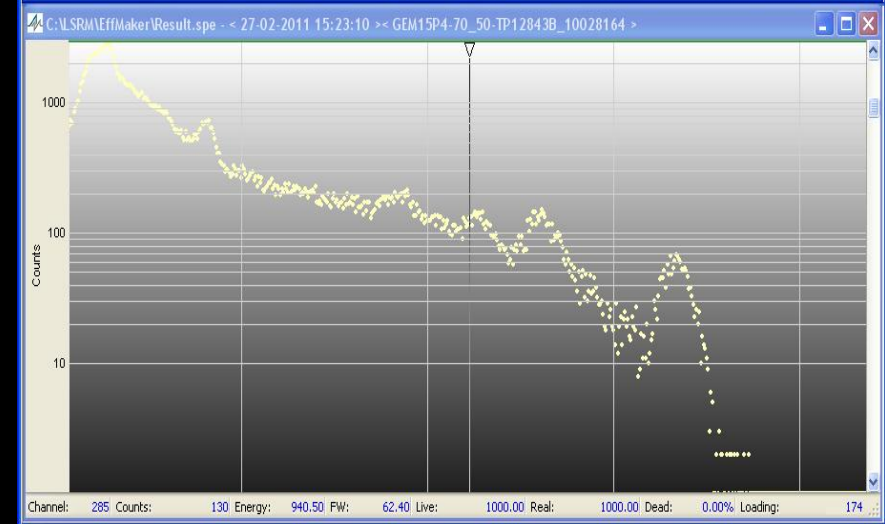
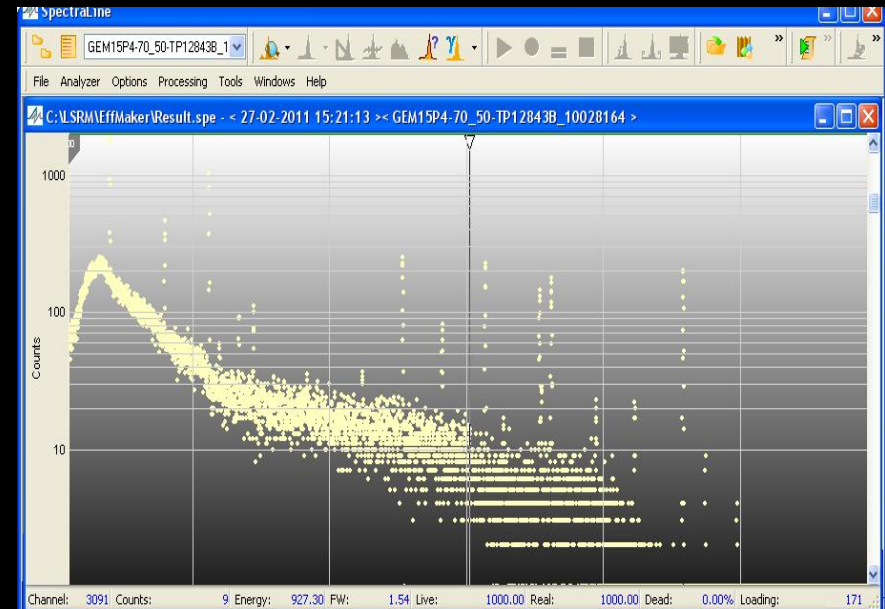
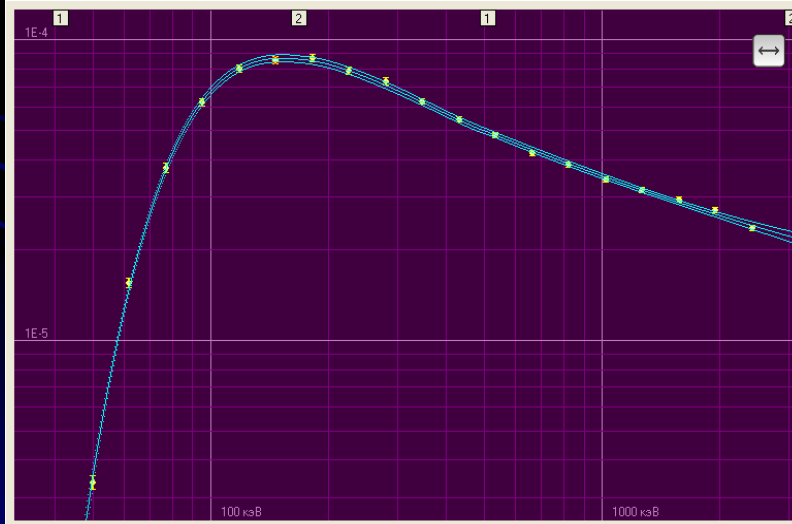
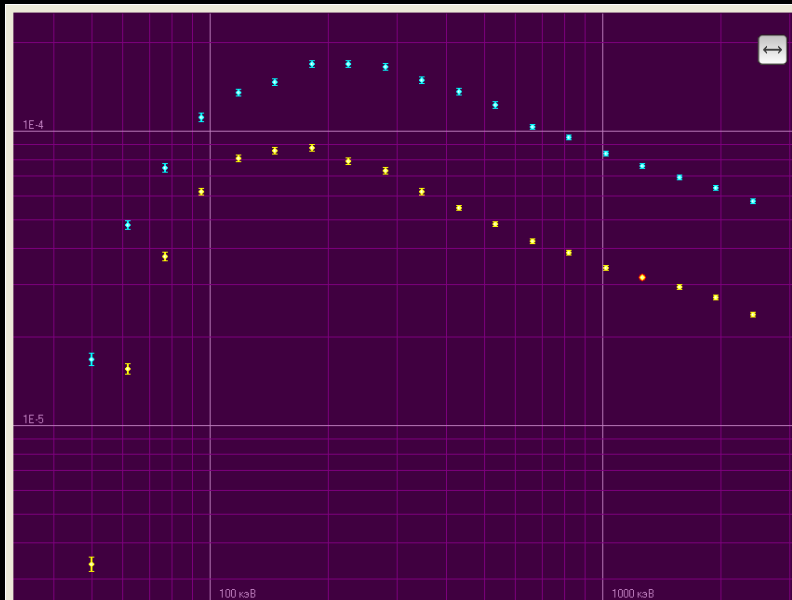


Сфера

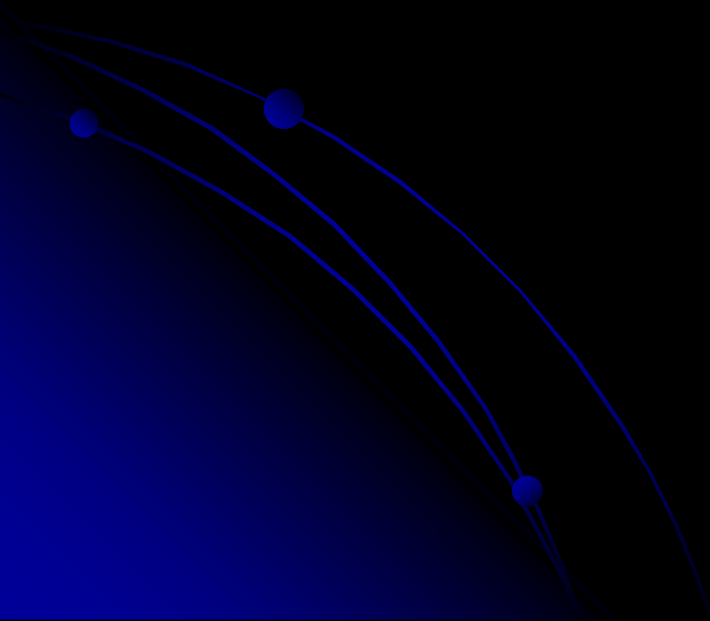


Параллелепипед

Представление результатов



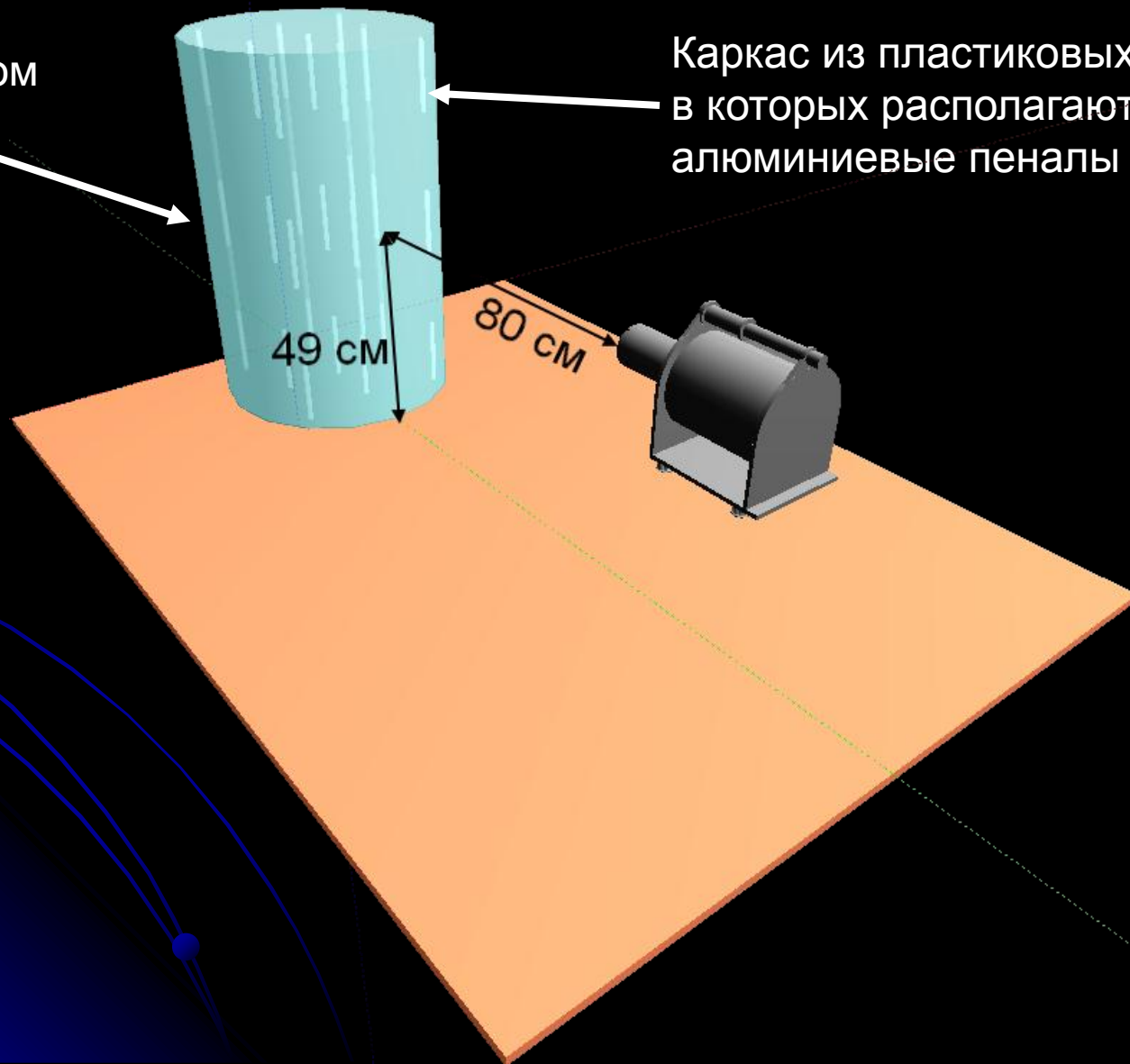
Тестирование комплекса EffMaker



Бочка ВНИИМ

Стандартная
бочка объёмом
~ 200 л

Каркас из пластиковых трубок,
в которых располагаются
алюминиевые пеналы с источниками



49 см

80 см

Выбор геометрических параметров детектора



Выбор геометрических параметров детектора

Радио- нуклид	Активность, полученная из построенной эксп. калибровки, кБк	Относит. погреш- ность, % (P=0.95)	Активность, полученная из рассчитанной калибровки, кБк	Отн. погреш- ность, % (P=0.95)	Отклонение модельных значений активности от эксп., %
Am-241	114	4	114	3	0
Ba-133	88	2.5	92.5	1.6	5
Eu-152	81.2	2.6	81	1.4	-0.25
Cs-137	100	2.7	100.4	1.5	0.4
Co-60	71.4	3	69.4	1.5	-2.8

Расчёт эффективности бочки ВНИИМ

Конфигурация (детектор справа)	Наполнитель	Отклонение рассчитанной активности от паспортной, %		
		Ba-133	Cs-137	Co60
	Воздух	3.4	0.6	-3.0
	Дерево	6.4	3.9	0.6
	Пластик	7.4	3.0	-1.9
	Воздух	5.2	0.6	-2.9
	Дерево	6.2	2.5	-1.8
	Пластик	-0.8	-4.0	-5.8

Расчёт эффективности бочки ВНИИМ

Конфигура ЦИЯ (детектор справа)	Наполни- ТЕЛЬ	Отклонение рассчитанной активности от паспортной, %		
		Ba-133	Cs-137	Co60
	Воздух	6.4	3.9	-0.6
	Дерево	18	11.8	4.6
	Пластик	24.5	24.7	8.4
	Воздух	13.8	8.5	4.1
	Дерево	16.5	13.6	7.6
	Пластик	4.9	0.2	-2.4

Расчёт эффективности бочки ВНИИМ

Конфигура ЦИЯ (детектор справа)	Наполни- ТЕЛЬ	Отклонение рассчитанной активности от паспортной, %		
		Ba-133	Cs-137	Co60
	Воздух	5.2	-0.3	-2.0
	Дерево	0.2	-1.7	-7.0
	Пластик	-0.7	-1.2	-5.9
	Воздух	8.9	3.3	-0.7
	Дерево	9.8	3.3	-0.7
	Пластик	-4.3	5.5	-8.0

Расчёт эффективности бочки ВНИИМ

Конфигура ЦИЯ (детектор справа)	Наполни- ТЕЛЬ	Отклонение рассчитанной активности от паспортной, %		
		Ba-133	Cs-137	Co60
	Воздух	7.5	3.3	-0.5
	Дерево	2.5	3.3	-2.9
	Пластик	-	-	-
	Воздух	8.2	7.1	-1.6
	Дерево	-	-	-
	Пластик	-	-	-

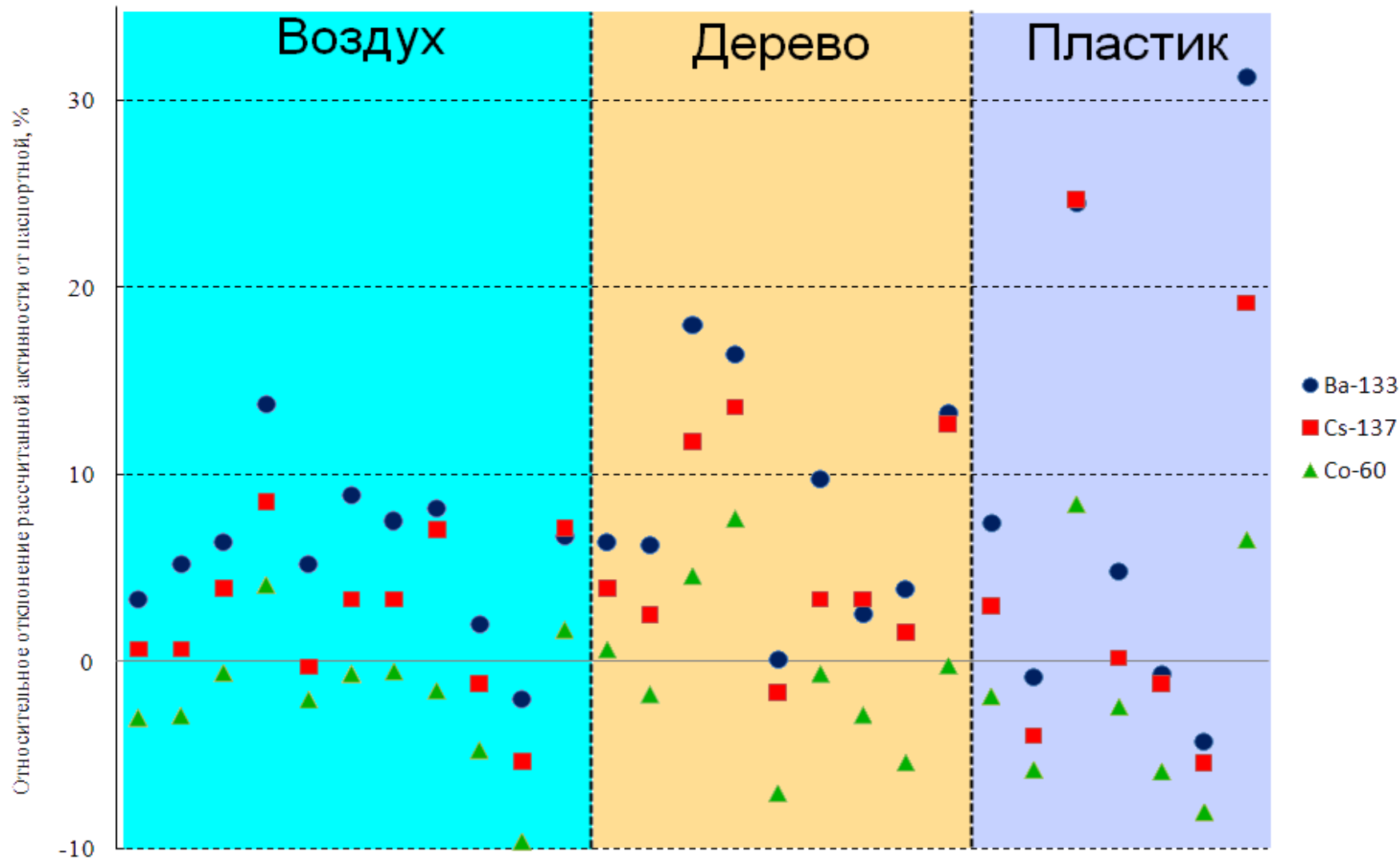
Расчёт эффективности бочки ВНИИМ

Конфигура ЦИЯ (детектор справа)	Наполни- ТЕЛЬ	Отклонение рассчитанной активности от паспортной, %		
		Ba-133	Cs-137	Co60
	Воздух	2.0	-1.2	-4.7
	Дерево	3.9	1.6	-5.4
	Пластик	31.3	19.2	6.5
	Воздух	-2.0	-5.4	-9.6
	Дерево	-	-	-
	Пластик	-	-	-

Расчёт эффективности бочки ВНИИМ

Конфигура ЦИЯ (детектор справа)	Наполни- ТЕЛЬ	Отклонение рассчитанной активности от паспортной, %		
		Ba-133	Cs-137	Co60
	Воздух	6.7	7.1	1.7
	Дерево	13.3	12.7	-0.2
	Пластик	-	-	-

Расчёт активности бочки ВНИИМ для разных конфигураций источников и наполнителей

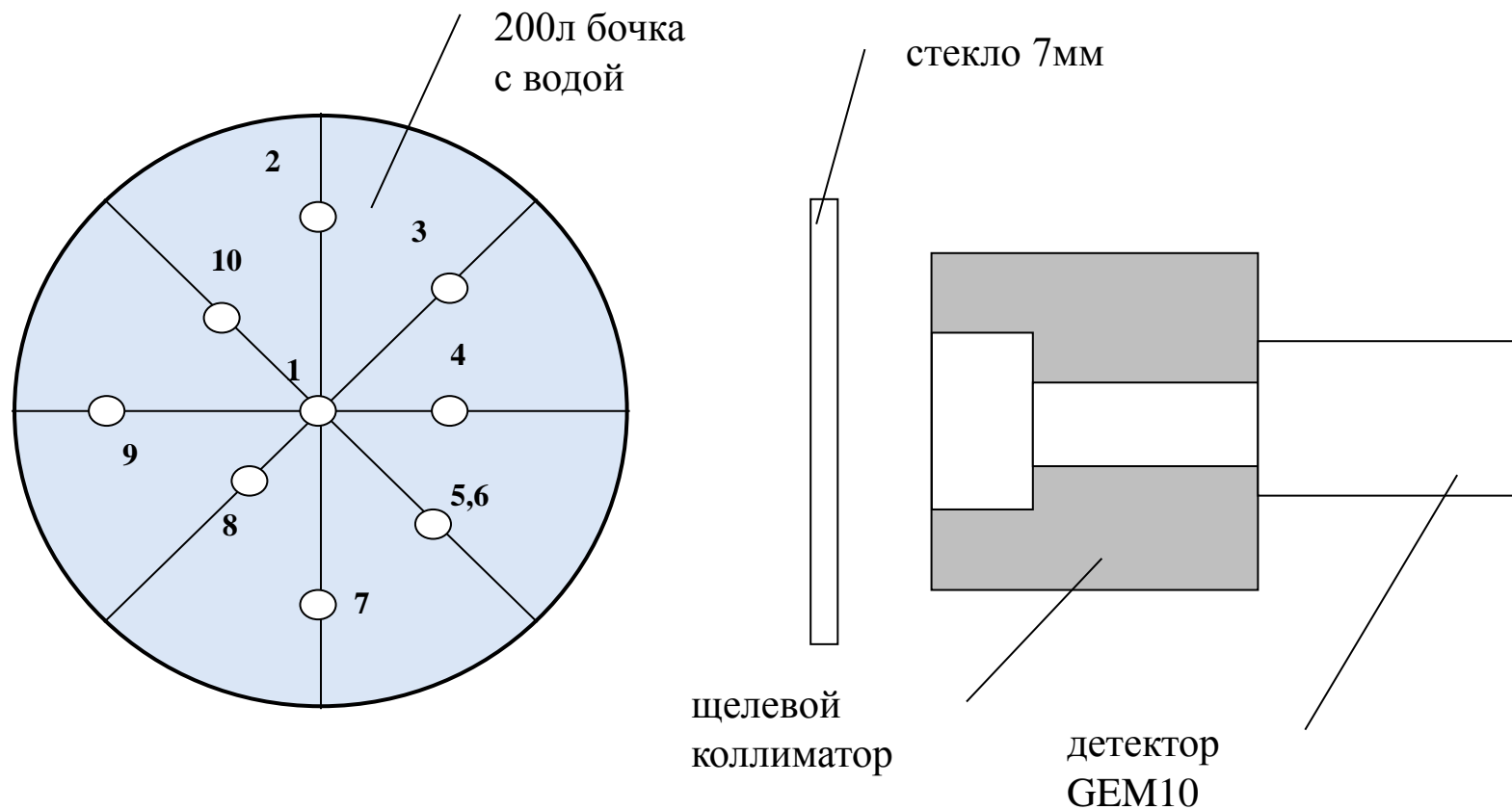


Сравнение расчёта эффективностей MCNP и EffMaker для бочки ВНИИМ

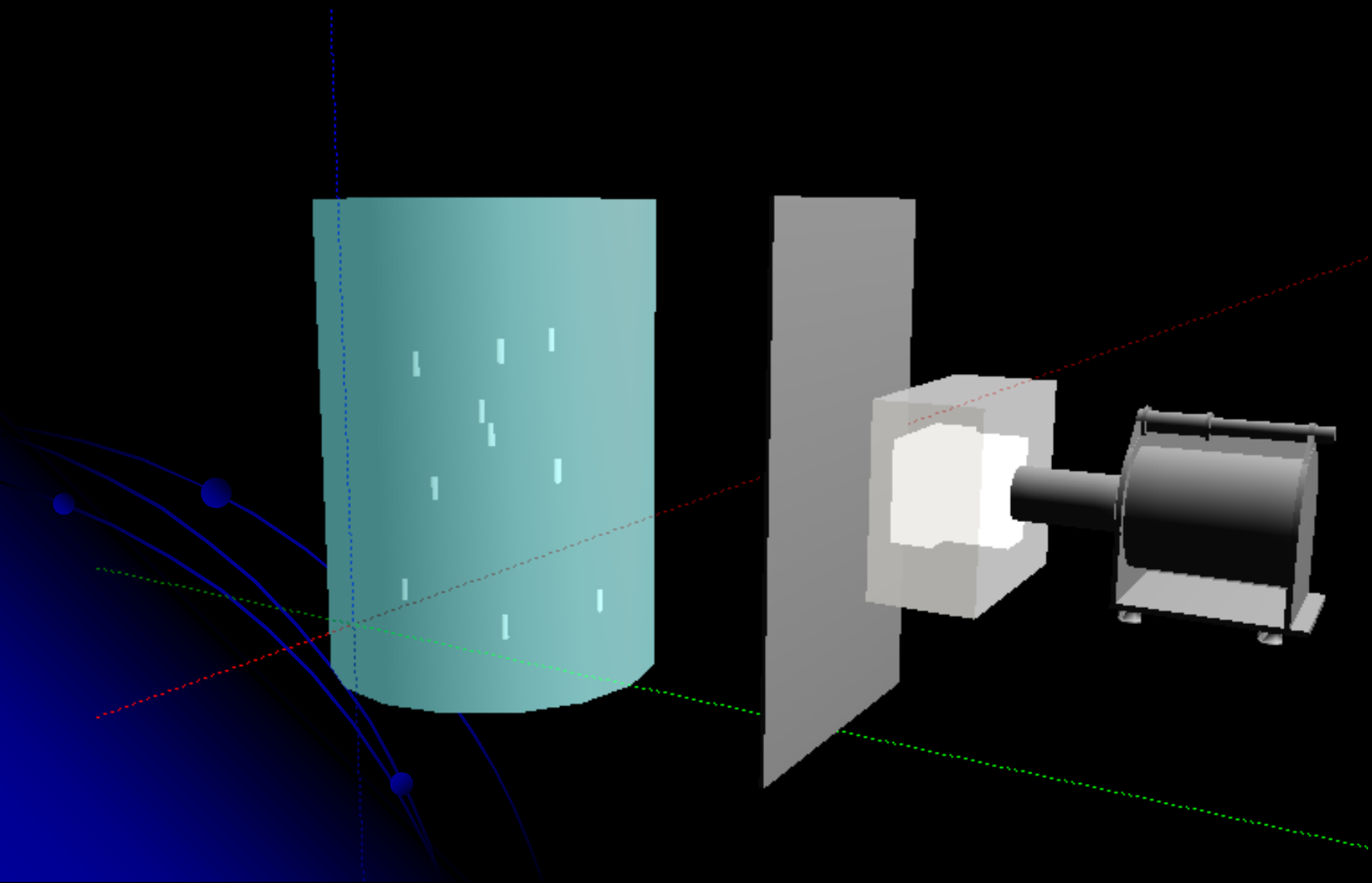
Энергия, кэВ	Отклонение эффективности рассчитанной EffMaker и MCNP, %		
	Воздух	Полиэтилен	Eff(воздух)/Eff (полиэтилен)
80	-15	-9	-6
356	-6	-4	-1.8
662	-5	-3	-2.7
1332	-2	-1	-1.7

Бочка от компании ENVINET a.s.

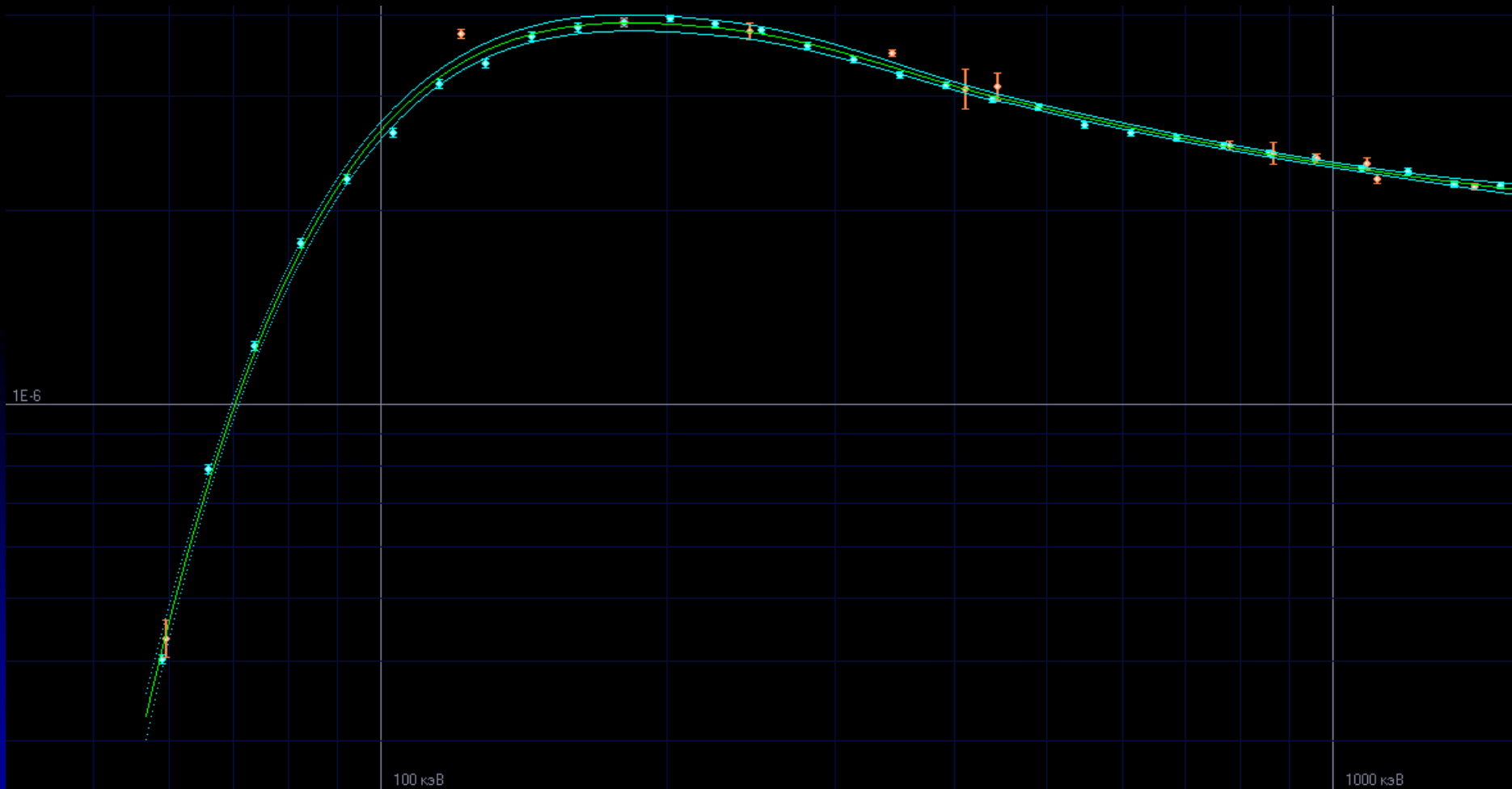
<http://www.envinet.cz>



Бочка от компании ENVINET a.s.



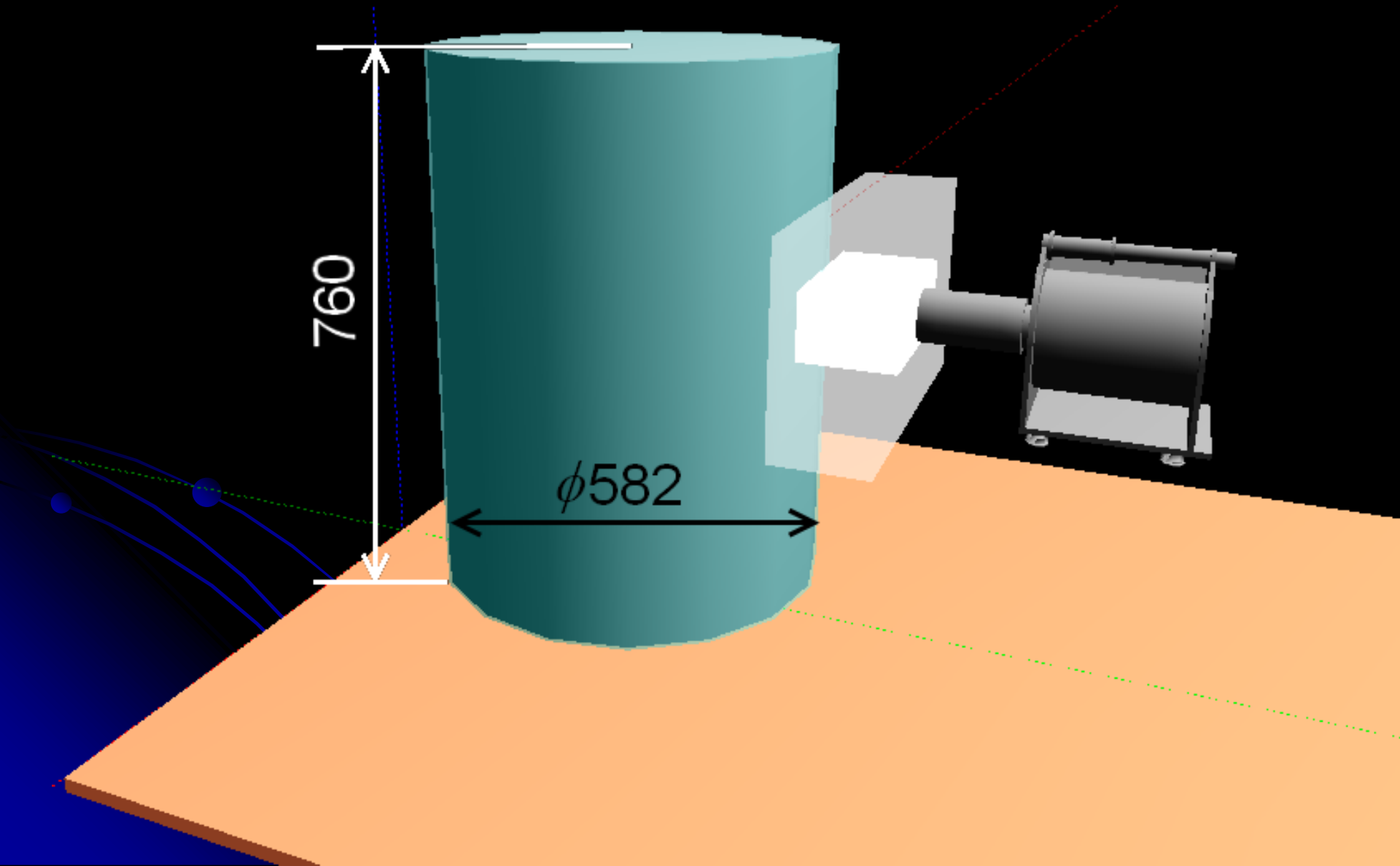
Расчётная и экспериментальная кривые эффективности



Измерение активности бочки, используя эффективность, рассчитанную EffMaker и сравнение с паспортными значениями

Нуклид	Паспортное значение активности, кБк	Отн. погрешность, %	Рассчитанное значение активности, кБк	Отн. погрешность, кБк	Отклонение расчётного значения от паспортного, %
Am-241	41.4	3	46.0	12	11
Eu-152	39.2	3	39.1	1.6	0.26

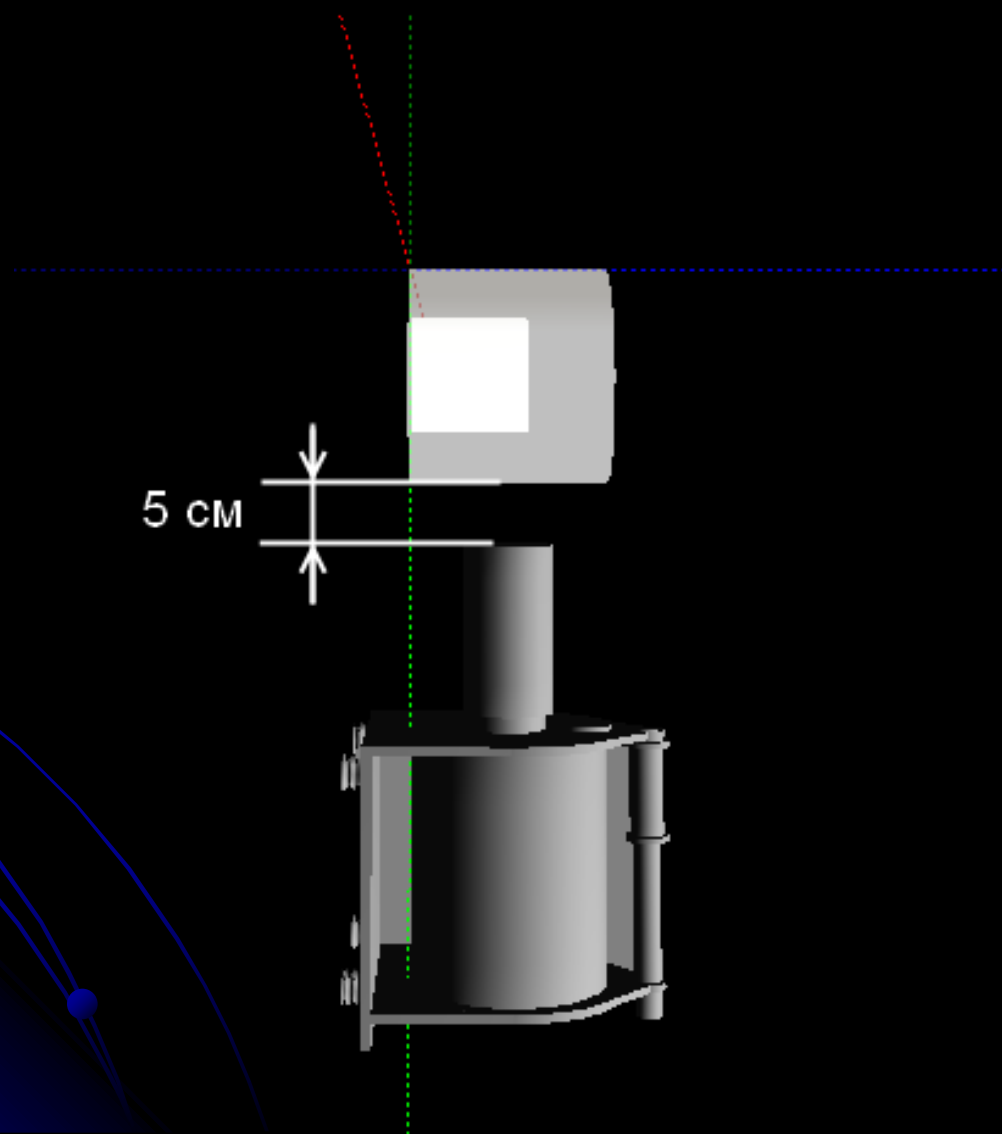
Бочка САЭС



Измерение активности бочки, используя эффективность, рассчитанную MCNP и EffMaker

Отклонение расчётной активности, %	Cs-137	Cs-134	Mn-54	Co-60
MCNP	-0.58	6.8	-0.86	13.9
Отн. погрешность, %	11	11	12	14
EffMaker	8.2	21.8	16.4	26.6
Отн. погрешность, %	11	11	12	14

Сосуд Маринелли 3л, измерения на УВТ



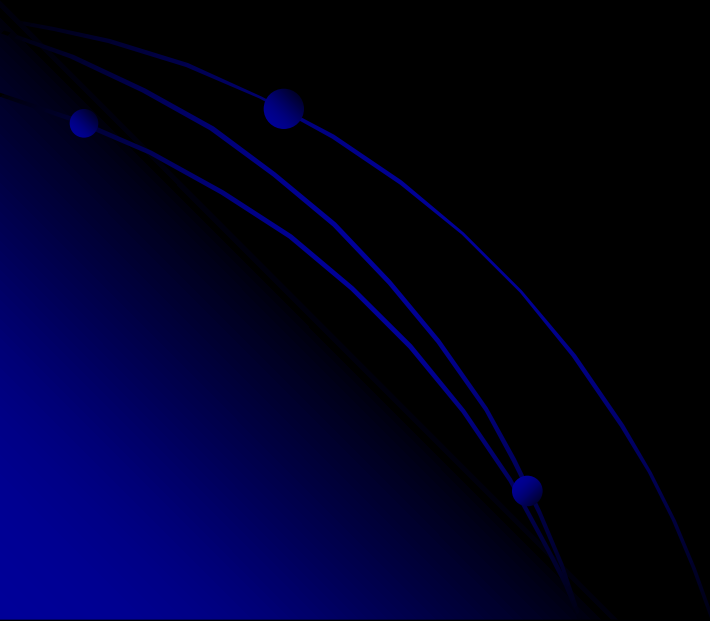
Подбор геометрических параметров детектора УВТ



Измерение активности источника в сосуде маринелли 3л, с помощью рассчитанной эффективности

Нуклид	Паспортная активность, Бк/кг	Отн. ошибка, %	Измеренная активность с помощью рассчитанной эффективности, Бк/кг	Отклонение, %
Am-241	2460	7	2560	4
Cs-137	2120	6	2290	8
Eu-152	760	6	775	2
Ba-133	490	6	540	10
Co-60	226	6	212	-6

Спасибо за внимание!



Структура программного комплекса



Ядерно-физические данные

- **Данные по сечениям взаимодействия гамма-излучения с веществом: XCOM**

Berger M. J. , Hubbell J. H. , Seltzer S. M. , Chang J. , Coursey J. S. , Sukumar R. , Zucker D.S. , XCOM: Photon Cross Sections Database (version 1.3), NBSIR 87-3597, 2005.

- **ENSDF (Evaluated Nuclear Structure Data File) – файл оцененных данных о ядерной структуре и распадах**

Tuli J. K., Evaluated Nuclear Structure Data File. A Manual for Preparation of Data Sets - National Nuclear Data Center Brookhaven National Laboratory P.O. Box 5000 Upton, New York 11973-5000 (2001).