

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКЛИКА СЧЕТЧИКА СИ502БГ В СРЕДЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ GEANT4

Лавский Василий Юрьевич

ведущий инженер, Специализированный Научно-Исследовательский Институт Приборостроения (АО "СНИИП"), РФ, г. Москва

Самойлова Елена Михайловна

канд. техн. наук, доц., кафедры "Техническая механика и мехатроника" Института машиностроения материаловедения и транспорта Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., РФ, г. Саратов

MODELING THE RESPONSE OF THE SI502BG COUNTER IN THE GEANT4 SOFTWARE

Vasily Lavsky

Leading engineer, Specialized Scientific Research Institute of Instrument Engineering (JSC "SNIP"), Russia, Moscow

Elena Samoilova

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Technical Mechanics and Mechatronics, Institute of Mechanical Engineering, Materials Science and Transport Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, Russia, Saratov

Аннотация. В данной статье приведены результаты моделирования отклика счетчика СИ502БГ в ответ на поток бета-частиц, вылетающих из размещенного возле него эталонного бета-источника. В статье наглядно показан процесс калибровки чувствительного объема методом последовательных приближений. Полученные результаты будут лежать в основе верификации результатов, полученных в дальнейшем при использовании этого проекта в Geant4.

Abstract. This article presents the results of modeling the response of the SI502BG counter to a beta-particle flux emitted from a reference beta-source placed near it. The article clearly shows the process of calibrating the sensitive volume using the method of successive approximations. The obtained results will form the basis for verifying the results obtained in the future when using this project in Geant4.

Ключевые слова: счетчик СИ502БГ, Geant4, калибровка модели, верификация результатов.

Keywords: SI502BG counter, Geant4, model calibration, verification of results.

В данной работе представлены результаты моделирования эксперимента по получению средней скорости счета на выходе со счетчика СИ502БГ при помещении его возле активной

области эталонного бета-источника ^{60}Co , имеющего нуклидный состав ^{90}Sr и ^{90}Y . Основная цель проведения калибровки данной модели в Geant4 [1] с обработкой полученных результатов в программе ROOT [2] состоит в верификации результатов, которые будут получены при прохождении бета-частиц с большими энергиями через вещество. Таким образом, в результате проведения этого моделирования должен быть окончательно сформирован физический лист и откалибрована чувствительная область счетчика. В дальнейшем планируется проведение моделирования прохождения через вещество бета-спектров с максимальной энергией от 3 МэВ до 10,4 МэВ, причем в качестве детектора будет задействован счетчик СИ502БГ, фотография которого представлена на рис.1 с откалиброванным чувствительным объемом. Следует отметить, что калибровка проводилась с опорой на экспериментальные данные и лежит в основе верификации дальнейших результатов, которые будут получены в этой модели. Фотографии проведения эксперимента по определению скорости счета от эталонного бета-источника ^{60}Co представлены на рис.2 и рис.3.

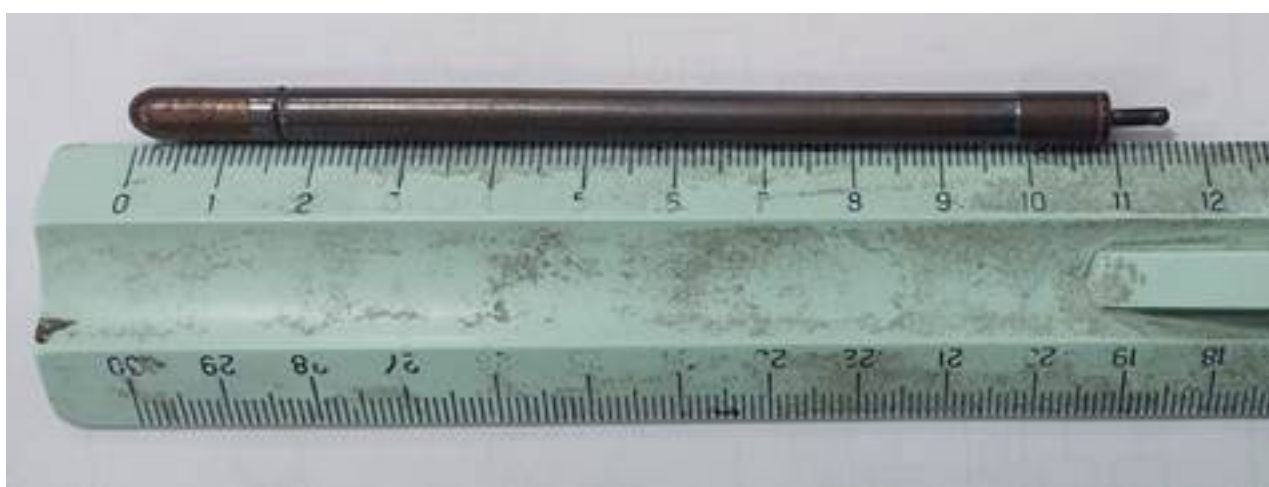


Рисунок 1. Фотография счетчика СИ502БГ

Как уже упоминалось ранее, калибровка модели состоит в изменении чувствительного объема смоделированного счетчика с целью изменения его чувствительности и приближении чувствительности смоделированного счетчика СИ502БГ к его реальным техническим параметрам.

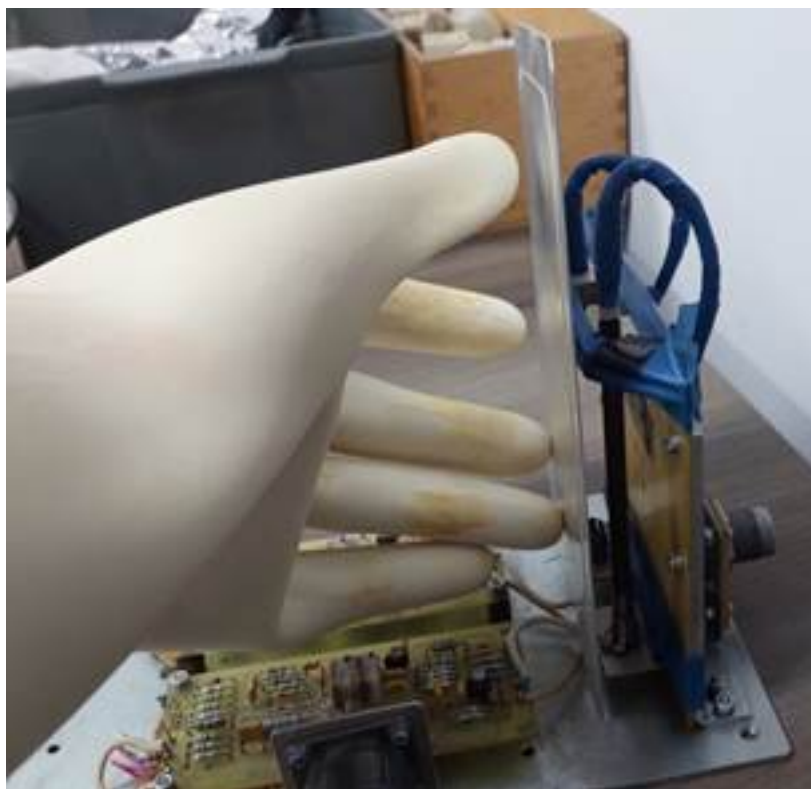


Рисунок 2. Фотография установки, где проводились измерения скорости счета со счетчика СИ 502БГ вблизи активной области эталонного бета-источника 6C0

Эксперимент по определению скорости счета на выходе со счетчика СИ502БГ от эталонного бета-источника 6C0 проводился следующим образом: на стол вертикально устанавливался эталонный бета-источник, вблизи активной области которого устанавливался счетчик СИ502БГ. Причем ось симметрии счетчика параллельна плоскости бета-источника и располагалась на расстоянии 8 мм от поверхности фольги, герметизирующей бета-источник.

В результате такого расположения счетчика СИ502БГ относительно бета-источника, счетчик находился в равномерно распределенном потоке бета-частиц, насколько это вообще возможно с бета-излучателями такого типа. В результате проведенного эксперимента была получена средняя скорость счета, опираясь на которую проводилась калибровка модели. Указанная калибровка представляет собой основную часть верификации полученных результатов.

Схематичное изображение калибровки модели

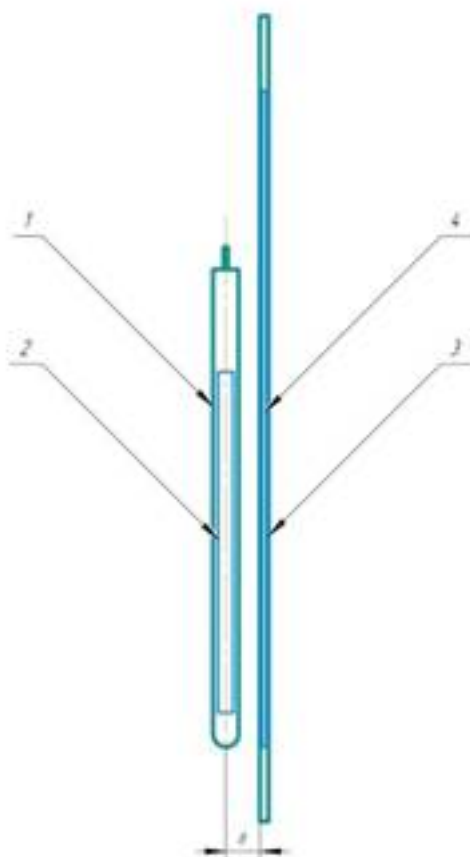


Рисунок 3. Схематичное изображение калибровки модели. Обозначения: 1 - счетчик СИ502БГ; 2 - чувствительный объем счетчика СИ502БГ; 3 - подложка эталонного источника БС0; 4 - активная область эталонного источника

Изначально чувствительный объем имел форму цилиндра с радиусом, равным внутреннему радиусу счетчика и длиной, равной длине анода счетчика, как это указано на рис.4. Однако в процессе калибровки методом последовательных приближений изменялся его объем посредством уменьшения диаметра, чем достигается уменьшение чувствительности счетчика. Таким образом, поэтапное уменьшение чувствительности счетчика приближало среднюю скорость счета, получаемую при компиляции модели к скорости счета, получаемой при проведении реального эксперимента.

Ввиду физических особенностей процессов регистрации бета-излучения с применением газоразрядного счетчика, работающего в режиме Гейгера-Мюллера, регистрация бета-частиц происходит только в том случае, если внутри счетчика в чувствительном объеме возникнут электроны с энергией 50 кэВ или более. Последнее условие является гарантией того, что зарегистрированная бета-частица ионизирует область вокруг анода счетчика СИ502БГ, что станет причиной появления на выходе со счетчика электронного импульса, амплитуды которого будет достаточно для прохождения через отсекающий порог, установленный в обрабатывающей аппаратуре.

Схематичное изображение счетчика СИ502БГ

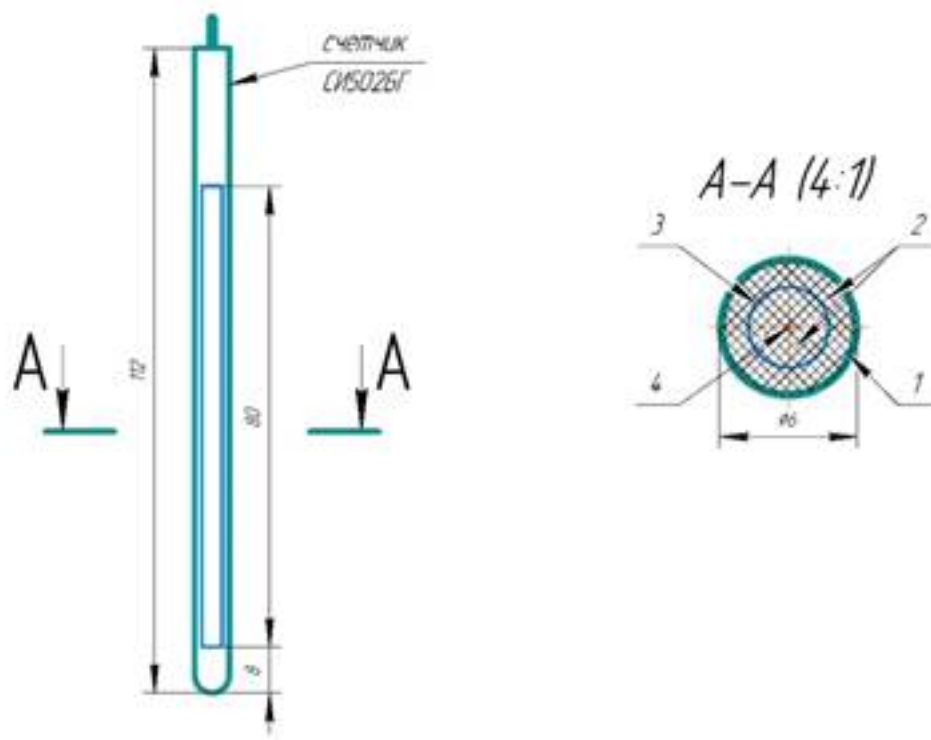


Рисунок 4. Конструктив счетчика СИ502БГ: 1 - стальной корпус счетчика СИ502БГ; 2 - газовое наполнение счетчика СИ502БГ; 3 - чувствительный объем счетчика СИ502БГ; 4 - анод

Ввиду указанных выше особенностей используемого ПО, методика вычисления средней скорости счета импульсов от счетчика СИ502БГ иная, нежели при проведении реального

эксперимента. После определения времени измерения $t_{изм}$, приведенное в Таблице 1, происходят две точно такие же генерации, но теперь в качестве чувствительного объема выступает чувствительный объем счетчика СИ502БГ, а чувствительный объем для калибровки активности эталонного источника ^{60}Co исключен из модели.

После сбора статистики и отбора значимых событий по энергии вычисляется средняя скорость счета по формуле (2):

$$n_{вых_СИ502БГ} = \frac{N_{дет_СИ502БГ}}{t_{изм}}, \quad (2)$$

где:

$n_{вых_СИ502БГ}$ – скорость счета, получаемая на выходе от счетчика СИ502БГ;

$N_{дет_СИ502БГ}$ – количество электронов, попавших в чувствительный объем счетчика

СИ502БГ с энергией выше 50 кэВ; $t_{изм}$ – время измерения.

После упоминания некоторых технических особенностей газоразрядных счетчиков,

используемого ПО и нахождения скорости счета, получаемой на выходе от счетчика, имеет смысл ввести коэффициент калибровки счетчика СИ502БГ:

$$K_{\text{калибр_СИ502БГ}} = \frac{n_{\text{эксп_СИ502БГ}}}{n_{\text{вых_СИ502БГ}}},$$

(3)

где:

$K_{\text{калибр_СИ502БГ}}$ – коэффициент калибровки счетчика СИ502БГ; $n_{\text{эксп_СИ502БГ}}$ – средняя скорость счета на выходе со счетчика СИ502БГ, полученная экспериментально;

$n_{\text{вых_СИ502БГ}}$ – скорость счета, получаемая на выходе со счетчика СИ502БГ в результате работы модели.

Т.к. искомая скорость счета получилась в результате проведения нескольких итераций,

введем закон изменения коэффициента калибровки в зависимости от номера итерации (i):

$$K_{\text{калибр_СИ502БГ}}(i+1) = K_{\text{калибр_СИ502БГ}}(i) \cdot \frac{n_{\text{эксп_СИ502БГ}}}{n_{\text{вых_СИ502БГ}}(i)}$$

(4)

Относительная погрешность скорости счета, получаемая при калибровке чувствительного объема счетчика СИ502БГ:

$$\Phi_{\text{СИ502БГ}} = \left| \frac{n_{\text{вых_СИ502БГ}}}{n_{\text{эксп_СИ502БГ}}} - 1 \right| \cdot 100\%$$

(5)

Посредством выражений (4) и (5) были проведены итерации калибровки чувствительного объема счетчика СИ502БГ, результаты которых приведены в Таблице 2.

Таблица 2.

Калибровка чувствительного объема счетчика СИ502БГ методом последовательных приближений

i	$K_{\text{калибр_СИ502БГ}}(i)$	$N_{\text{дет_СИ502БГ}}$	$n_{\text{вых_СИ502БГ}}(i), \text{с}^{-1}$	$\Phi_{\text{СИ502БГ}}$
0	1	658964	246,58	
1	0,6934831041	519971	194,57	
2	0,6094753086	468793	175,42	
3	0,5941185599	459725	172,03	

Вывод

Результат моделирования эксперимента по калибровке чувствительного объема счетчика СИ502БГ с довольно хорошей погрешностью совпадает с результатом, полученным при проведении эксперимента. Т.о. описанный физический лист учитывает необходимый объем

физических процессов, происходящих при помещении счетчика в область пролегания треков

6CO

бета-частиц, выходящих из активной области эталонного источника . Как итог, сформированная модель может быть использована в качестве расчета прохождения бета-спектров через вещество.

Список литературы:

1 Официальный сайт используемого ПО для моделирования ядерных процессов (Geant4):
<https://geant4.org/>;

2 Официальный сайт используемого ПО для обработки полученных результатов (ROOT):
<https://root.cern/>.