

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2022 Issue: 04 Volume: 108

Published: 13.04.2022 <http://T-Science.org>

Issue



Article



J.S. Rakhimjonov

Fergana Polytechnic Institute
researcher

jahongir_rahimjonov@ferpi.uz

B.K. Tuychibaev

Fergana Polytechnic Institute
researcher

D.X. Tolaboev

Fergana Polytechnic Institute
researcher

X.M. Nematov

Fergana Polytechnic Institute
researcher

A.A. Tuymuradov

National University of Uzbekistan
researcher

CALCULATION OF RADIATION DOSES USING A MATHEMATICAL PHANTOM AND THE FLUKA SOFTWARE PACKAGE

Abstract: this paper shows the simulation of the Fisher-Snyder computational mathematical phantom published in the ICRP journal 23 in the FLUKA software package (with the Flair interface).

Key words: mathematical (stylized) phantom, dose, dose of equivalent, FLUKA, Flair, Fisher-Snyder phantom, Computational phantom, ICRP 23.

Language: Russian

Citation: Rakhimjonov, J. S., Tuychibaev, B. K., Tolaboev, D. X., Nematov, X. M., & Tuymuradov, A. A. (2022). Calculation of radiation doses using a mathematical phantom and the FLUKA software package. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 04 (108), 306-311.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-04-108-37> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2022.04.108.37>

Scopus ASCC: 2611.

РАСЧЕТ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ФАНТОМА И ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FLUKA

Аннотация: в этой работе показано моделирование вычислительного математического фантома Фишера-Снайдера опубликованной в журнале МКРЗ 23 в программном комплексе FLUKA (с интерфейсом Flair) и приведены расчёт эквивалентной дозы при облучении гамма фотоном при энергии 1МэВ.

Ключевые слова: математический (стилизованный) фантом, FLUKA, Flair, фантом Фишера-Снайдера, вычислительный фантом, МКРЗ 23

Введение

Сегодня существует множество способов проведения дозиметрических расчетов. Одним из

самых распространенных и современных принято считать применение программных кодов, основанных на использовании метода Монте-

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Карло для моделирования переноса излучения через вещество, что, в свою очередь, позволяет провести также и расчеты дозовых нагрузок [1] [2].

Для проведения расчетов используются разные модели человека или так называемые фантомы. Они отличаются как внутренними параметрами, так и способом создания, так как могут быть сделаны разными методами. В данной работе проводились дозиметрические расчеты гамма-излучения с использованием одного из типов таких моделей – математического фантома и программного комплекса FLUKA для следующих целей:

1. Продемонстрировать и апробировать возможности программного средства FLUKA относительно использования математических фантомов;

2. Подготовить параметры модели для дозовых расчетов для математического модели;

3. Подобрать параметры источника излучения для проведения дальнейших сравнительных расчетов;

4. Провести дозовые расчеты с использованием математического фантома и FLUKA.

Математическая модель человека является достаточно устаревшей, но до сих пор может использоваться для решения широкого диапазона дозиметрических задач. Большое внимание было уделено переносу математического фантома в формат входных файлов используемых FLUKA. Развитие моделей происходило постепенно – от более простых и примитивных к сложным и детальным [3].

С использованием математического фантома MIRD5-ORNL ранее уже проводилось множество дозиметрических расчетов, в том числе сравнительных [11][12][13]. Однако мы задаёмся целью переноса фантома MIRD5-ORNL в входной формат FLUKA, сделать дозовые оценки, подобрать конфигурацию источника и в последующем сравнить результаты с мужским и женским воксельными фантомами ICRP-110 [10].

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА

Для проведения расчетов были использованы программный комплекс FLUKA и программа flair, которая представляет собой многофункциональный графический интерфейс, созданный для FLUKA. Также был использован математический стилизованный фантом взрослого человека MIRD-ORNL описанный в работе [5].

Математический фантом. Описания фантомов будут следовать формату Снайдера и Кристи [5]. Фантом состоит из трех основных секций: (1) эллиптического цилиндра, представляющего туловище и руки; (2) двух усеченных круглых конусов, представляющих

ноги и ступни; и (3) эллиптического цилиндра, увенчанного половиной эллипсоида, представляющего голову и шею. К ногам прикреплен небольшой участок с плоской передней поверхностью для размещения яичек.

Рост математической модели равен 176 см. Модель соответствует по размеру модели Снайдера. Математический фантом включает следующие части: голова, ноги, руки, таз, костный мозг, 12 ребер, надпочечники, головной мозг, желудок, тонкий кишечник, верхняя часть толстой кишки, почки, печень, легкие, яичники, поджелудочная железа, селезенка, яички, вилочковая железа, щитовидная железа, мочевой и матка.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАНТОМА

Моделирование математического фантома в FLUKA является существенной частью данной работы. Для создания фантома используется множество комбинаций геометрических примитивов, заданных в работе [5] в форме уравнений поверхностей второго порядка. Геометрический модуль FLUKA работает с замкнутыми объемами и их объединениями – так называемыми регионами. Регионы состояются из отдельных геометрических блоков – тел с соответствующими параметрами, включающих такие распространенные тела как:

- Шар;
- Цилиндр;
- Эллипсоид;
- Различные плоскости;
- Параллелепипед;
- Усеченный конус.

К регионам производится привязка определенных материалов, задание которых происходит также в рамках входного файла. Моделирование происходит путём построения тела человека через комбинацию регионов из геометрических фигур. Данный процесс требует выбора наиболее похожей геометрической фигуры для аппроксимации определенного органа человека. Кроме этого, объём и масса этой фигуры должны соответствовать объёму и массе соответствующего органа организма. Через задание геометрических фигур мы получаем геометрическое тело человека.

ПРОВЕДЕНИЕ ДОЗОВЫХ РАСЧЕТОВ

На рисунке 1 показан внешний вид созданного фантома. К фантому привязаны три типа тканей: скелетные, ткани легких и все другие ткани (здесь называемые "мягкими тканями"). У фантома отсутствует кровь. Элементарное положение каждого типа ткани составы были получены на основе данных, содержащихся в публикации 23 МКРЗ (ICRP 1975) [13].

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 8.771
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

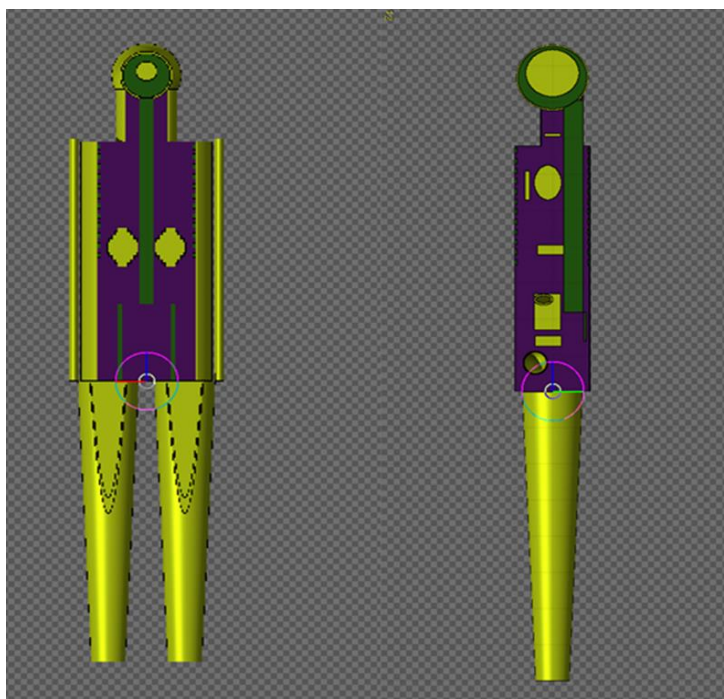


Рисунок 1. Внешний вид математического фантома в программном коде FLUKA

РЕЗУЛЬТАТЫ

Облучения были проведены в поле гамма фотонов с энергией 1 МэВ с разными положениями источника. В двух случаях использовался точечный изотропный источник, а в третьем – источник в виде сферического изотропного слоя, который моделировал изотропное поле вокруг исследуемой области. Рост математической модели 176 см. Поэтому в одном случае изотропный источник находится перед фантомом на высоте 1 м и 45 см от позвоночника фантома, потому что такое расположение фантома и источника похоже на расположение человека, который работает с непосредственно радиоактивными источниками или на манипуляторе. В другом расчете координата источника по осям “x” и “z” соответствует с координатой центр массы

фантома, а по оси “y” он располагает на расстоянии 30 см перед фантомом. Расчёт проводился на 3 миллионах частиц. На таком количестве частиц статическая погрешность для всех органов будет не более 5 %.

Ниже в таблицах 1,2 и 3 указаны результаты облучения. Таблица 1 отражает дозовые расчеты для изотропного источника на расстоянии 45 см. от позвоночника модели, не учитывается центр массы. В таблице 2 приведены результаты для сферического равномерного источника с радиусом 100 см. Сферический изотропный источник окружает фантома, который находится в его центре. Такое положение источника и фантома позволяет получить информацию о том, какой из органов получает большую дозу в однородном поле гамма-квантов.

Таблица 1. Доза на органы для точечного изотропного источника на расстоянии 45 см от позвоночника

Органы	Масса, грамм	Доза, пЗв	Погрешность, %
Ребро	887	1,49E-01	0,17
Надпочечники	16,3	4,16E-03	1
Мозг	1386	6,63E-02	0,25
Желудок	418	1,70E-01	0,4
Тонкий кишечник	950	5,15E-01	0,53
Почки	279,5	5,83E-02	0,55

Impact Factor:	ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
	ISI (Dubai, UAE) = 1.582	РИИЦ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
	GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.771	IBI (India) = 4.260
	JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

Печень	1756	2,74E-01	0,76
Легкие	1104	5,80E-01	0,6
Кожа	3102	5,41E-01	0,45
Селезенка	187	3,80E-02	0,09
Яички	33,8	1,00E-02	0,46
Вилочковая железа	25	4,73E-03	0,52
Щитовидная железа	18	3,44E-03	1,33
Мочевой пузырь	260	1,09E-01	2,72

Таблица 2. Доза на органы для сферического источника

Органы	Масса, грамм	Доза, пЗв	Погрешность, %
Ребро	887	2,87E-02	0,34
Надпочечники	16,3	5,56E-04	3,1
Мозг	1386	6,16E-02	1,75
Желудок	418	1,52E-02	0,95
Тонкий кишечник	950	3,94E-02	0,95
Почки	279,5	9,73E-03	1,14
Печень	1756	3,12E-02	2,03
Легкие	1104	1,20E-01	0,58
Кожа	3102	1,23E-01	0,45
Селезенка	187	5,95E-03	0,17
Яички	33,8	1,15E-03	1,33
Вилочковая железа	25	9,43E-04	2,58
Щитовидная железа	18	1,46E-03	2,47
Мочевой пузырь	260	7,86E-03	2,49

В таблице 3 приведены результаты расчетов, в которых источник находится по оси z, x в центре массы фантома, а по оси y находится на расстоянии 30 см. от центра массы. Координаты

центра массы (-1,15; -1,07; 5,1) см. Это ситуация позволяет более равномерно распределить частицы по фантому.

Таблица 3. Доза на органы для изотропного источника, находящегося напротив центра массы

Ребро	887	8,87E-02	0,21
Надпочечники	16,3	2,91E-03	3,3
Мозг	1386	4,61E-02	1,3
Желудок	418	9,74E-02	0,7
Тонкий кишечник	950	3,75E-01	1,08
Почки	279,5	4,13E-02	1,41

Impact Factor:	ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
	ISI (Dubai, UAE) = 1.582	РИИЦ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
	GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.771	IBI (India) = 4.260
	JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

Печень	1756	1,72E-01	2,11
Легкие	1104	3,46E-01	0,67
Кожа	3102	5,13E-01	0,6
Селезенка	187	2,50E-02	0,26
Яички	33,8	1,26E-02	1,86
Вилочковая железа	25	2,73E-03	2,43
Щитовидная железа	18	2,10E-03	2,14
Мочевой	260	1,23E-01	2,63

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Моделирование математического фантома на программе FLUKA является достаточно длительным и трудоемким процессом, при объединении тел в регионы и при формировании их комбинаций. В рамках работы во входной формат программного комплекса FLUKA был перенесен фантом MIRD. Для данной модели были проведены качественные предварительные расчеты с низкими погрешностями. Наблюдается достижение низких погрешностей (несколько процентов) для приемлемого времени расчета (менее 30 минут) при использовании бюджетного компьютера с частотой процессора 2,7 ГГц. С увеличением расстояния между источником и фантомом, статическая погрешность увеличивается, и чтобы избежать этого, необходимо увеличивать число частиц. Программа позволяет непосредственно измерять дозу для каждого региона, то есть для органа индивидуально, что позволяет в дальнейшем

вводить любые весовые коэффициенты качества излучения для каждого из органов.

Для точечных изотропных источников, находящихся напротив центра масс в точке (-1,15; -1,07; 5,1) см и по координатам (0; 0; 20) см., результаты близки. Увеличение дозы для источника на высоте 1 м. объясняется тем, что данная точка расположена ближе к рассматриваемым органам.

Для сферического изотропного источника необходима нормировка и строго прямое сравнение со случаями точечного источника невозможно. Фиксированная мощность источника в сферическом случае распределена на область пространства сферического слоя, тогда как в случае точечного источника она сконцентрирована в одной точке. Дозы для данного источника не имеют зависимости от положения, как точечном случае, поэтому возможна оценка влияния модели и устройства органов в ней на результаты расчетов.

References:

1. Seco, J., & Verhaegen, F. (2013). *Monte Carlo Techniques in Radiation Therapy, Imaging in medical diagnosis and therapy Series*.
2. Schuemann, J. (2014). "Monte Carlo Calculations in Nuclear Medicine, Second Edition: Applications in Diagnostic Imaging." *Med. Phys.*, doi: 10.1118/1.4869177.
3. Xu, X.G. (2014). "An exponential growth of computational phantom research in radiation protection, imaging, and radiotherapy: A review of the fifty-year history," *Physics in Medicine and Biology*, doi: 10.1088/0031-9155/59/18/R233.
4. Cristy, M. (1985). "Mathematical phantoms for use in reassessment of radiation doses to japanese atomic-bomb survivors".
5. Cristy, M., & Eckerman, K. (1987). "Specific absorbed fractions of energy at various ages from internal photon sources".
6. Cristy, M. (1980). "Mathematical phantoms representing children at various ages for use in estimates of internal dose".
7. Stabin, M., et al. (1995). "Mathematical models and specific absorbed fractions of photon energy in the nonpregnant adult female and at the end of each trimester of pregnancy".
8. Eun, Y. H., Bolch, W. E., & Eckerman, K. F. (2006). "Revisions to the ornl series of adult and pediatric computational phantoms for use with the mird schema," *Health Phys.*, doi: 10.1097/01.HP.0000192318.13190.c4.

Impact Factor:	ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
	ISI (Dubai, UAE) = 1.582	ПИИЦ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
	GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.771	IBI (India) = 4.260
	JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

9. (2009). ICRP, "ICRP Publication 110: Adult reference computational phantoms," Ann. ICRP.
10. Ferrari, P. R., Sala, A. F., & Ranft, J. (2005). "FLUKA: A Multi-Particle Transport Code".
11. Battistoni, G., et al. (2007). "The FLUKA code: Description and benchmarking", doi: 10.1063/1.2720455.
12. Vlachoudis, V. (2009). "Flair: A powerful but user friendly graphical interface for FLUKA".
13. (1975). ICRP, "ICRP Publication 23: Report of the task group on reference man," Annals of the ICRP.
14. Rasulov, V. R., et al. (2018). PHOTON DRAG EFFECT IN p-Te. *European Science Review*, №. 9-10-1, pp.249-252.