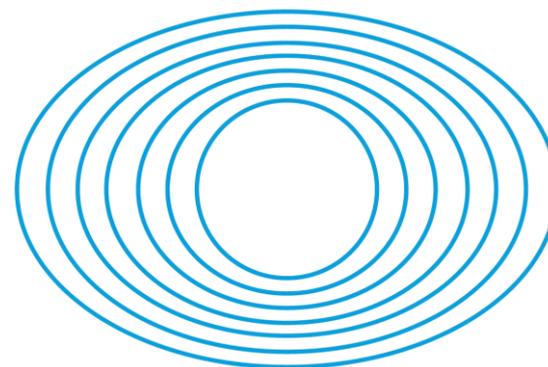


Валидация Монте-Карло кода переноса электронов и гамма-излучения **МС**



Горлачев Г.Е., Далечина А.В., Кирпичев Ю.С., Йылдыз О.З

ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России

Центр «Гамма - Нож»

НИЯУ МИФИ

Москва

VII ТРОИЦКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
"МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА« (ТКМФ-7)

21 октября 2020 г.

- Метод Монте-Карло является наиболее точным и гибким методом дозиметрических расчетов в лучевой терапии.
- В докладе речь о малоизвестном коде **MC**, воспроизводящем физику де-факто стандартного в лучевой терапии кода **EGS4**, но не похожего на другие системы и со своими достоинствами и недостатками.

О коде МС

<http://rcwww.kek.jp/research/egs/epub/aap/js3nov98.html>

EGS-Nova: An Adaptation of EGS in C/C++

Dear EGS4 Users,

Version 0.1.0 of Nova is now available at

<ftp://stereo.medphysics.nemc.org/pub/Nova>

There is also now a Nova website at URL

<http://www.nemc.org/nova/>

James C. Satterthwaite, Ph.D.
Department of Radiation Oncology
New England Medical Center #246
750 Washington Street
Boston, MA 02111
Voice: 617-636-0612
Fax: 617-636-7621
james.satterthwaite@es.nemc.org

EGS

[HenHouse Roosters](#)

Last revised 3-Nov-1998

Ссылка на сайт кода Nova.

Настоящий статус проекта не известен.

https://github.com/RadOncSys/MC



Search or jump to...



[Pull requests](#) [Issues](#) [Marketplace](#) [Explore](#)



RadOncSys / MC

Unwatch 4

Star 3

Fork 1

[Code](#) [Issues](#) [Pull requests](#) [Actions](#) [Projects](#) [Wiki](#) [Security](#) [Insights](#) [Settings](#)

master

2 branches 0 tags

Go to file

Add file

Code



ggorlachev Merge pull request #4 from RadOncSys/GG

9371f02 on Dec 30, 2019 19 commits

Applications/MCSimulator	Upgrade to VS 2019	10 months ago
Data	mcTransportRectanglePolygonSideHole assymmetric field an...	2 years ago
Include	Nearly year parralel work merge	2 years ago
Lib/RO.Dicom	Upgrade to VS 2019	10 months ago
MC.wiki	Update to VS 2017 Version 15.1	4 years ago
MC	Fix bug in brem energy definition	10 months ago

About



Mocnte Carlo project for dosimetry modelling in the field of radiation oncology

simulation

physics

radiation-oncology

egs-nova

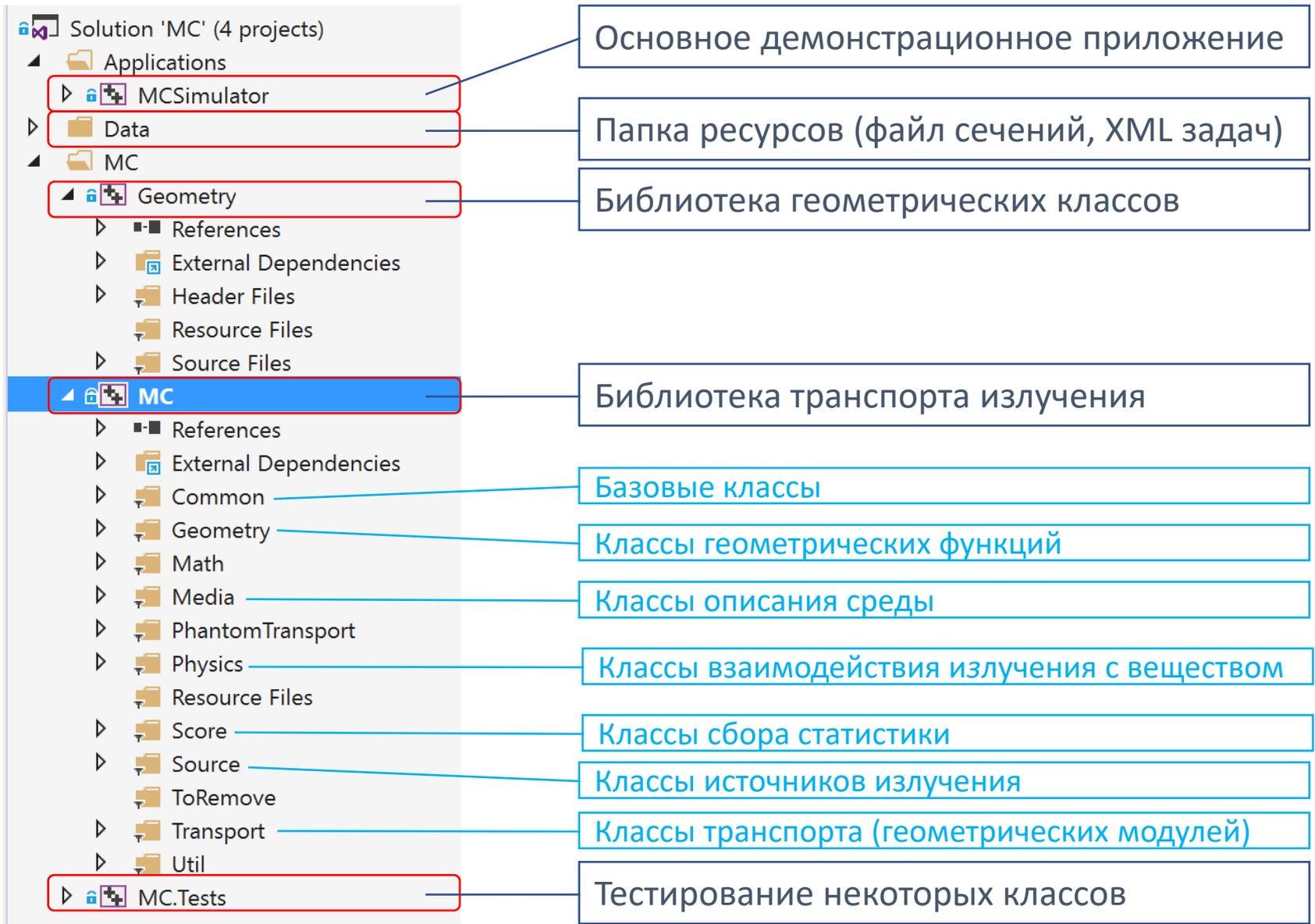
mocnte-carlo

Readme

MIT License

Домашняя страница кода MC

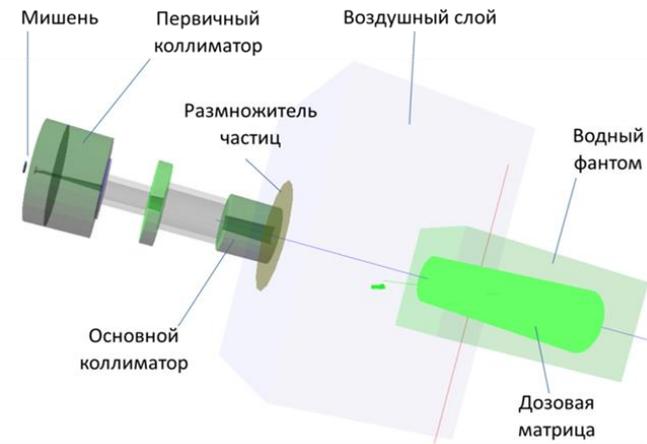
Структура проектов в Visual Studio



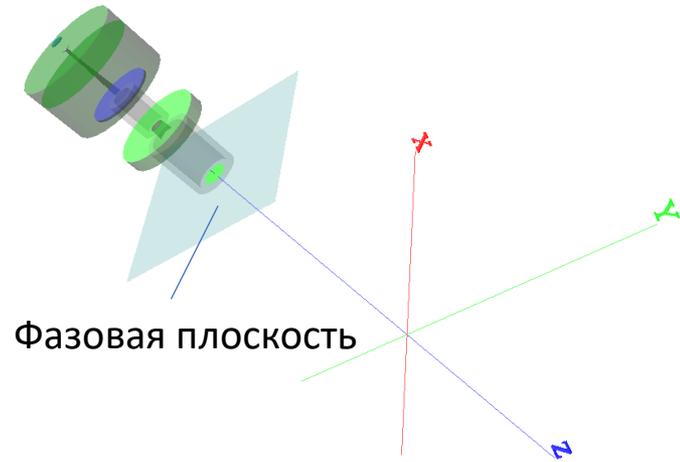
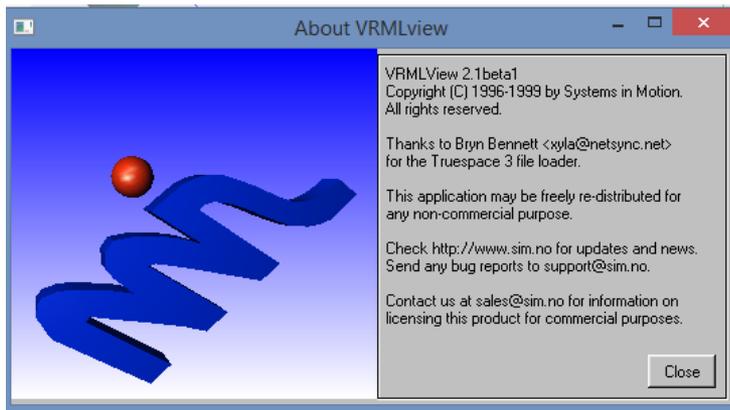
Vrml Viewer

<vrmlfile>CyberKnife.wrl</vrmlfile>

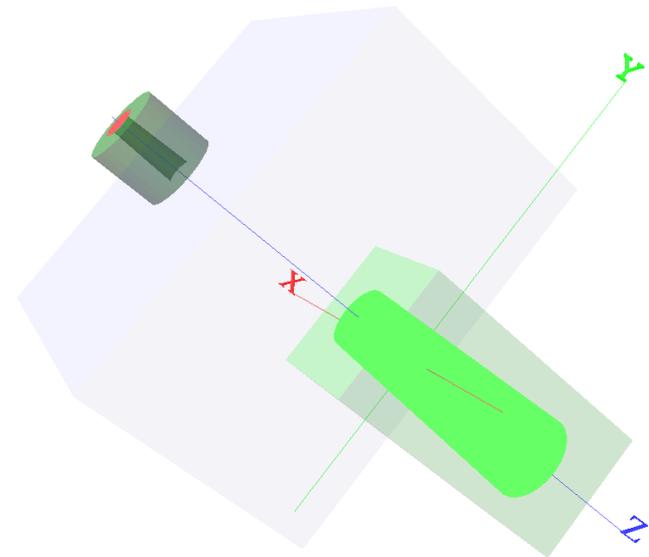
<statfile>statistic.dat</statfile>



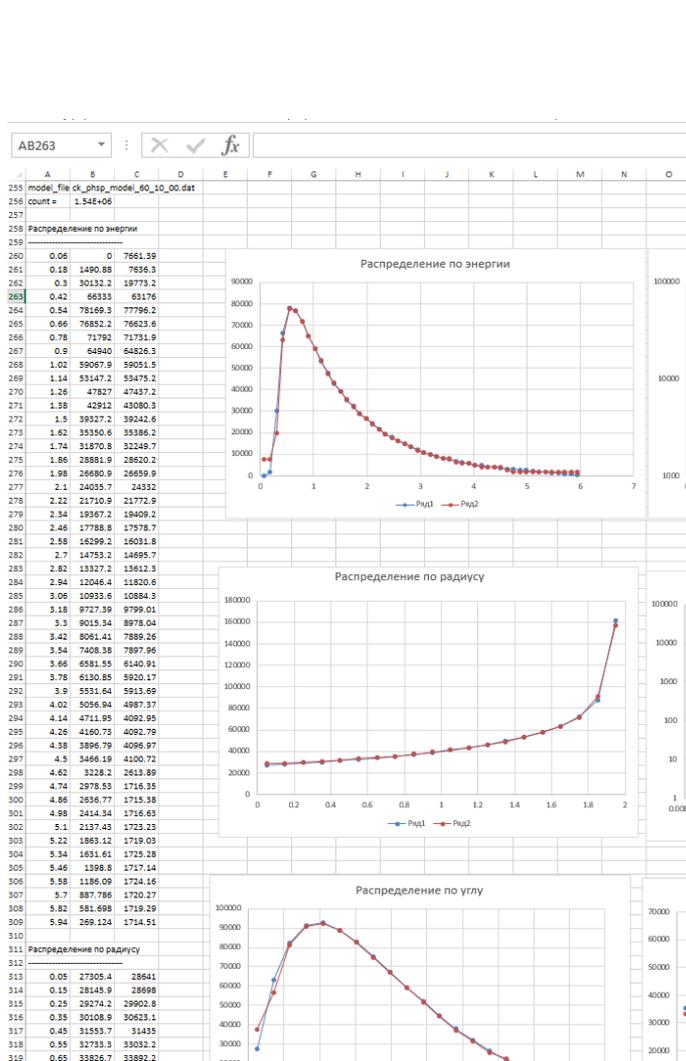
Общая сцена симуляции



Сцена симуляции до модели
источника



Statistic.dat → Excel



XML файл описания геометрии

```
<accelerator>
  <!--Tungsten target-->
  <module type="cylinder" name="Target" medium="W700ICRU" density="1">
    <Color r="0" g="0.5" b="1" t="0.2" />
    <position unit="cm" x="0" y="0" z="0" />
    <normal x="0" y="0" z="1" />
    <xaxis x="1" y="0" z="0" />
    <size unit="cm" radius="1.0" height="0.2"/>
  </module>

  <module type="planefilter" name="Trap" medium="AIR700ICRU" density="1">
    <Color r="0" g="0.5" b="0.5" t="0.8" />
    <position unit="cm" x="0" y="0" z="0.2" />
    <normal x="0" y="0" z="1" />
    <xaxis x="1" y="0" z="0" />
  </module>
</accelerator>
```

Простейший файл геометрии симуляции тормозного излучения после вольфрамовой мишени. Сцена состоит из двух модулей: цилиндра мишени и плоскости захвата частиц.

XML файл описания задачи

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>

<!--
Bremsstrahlung production by electron beam on the target.
-->

<input>
  <simulation nhistories="100000" nbranches="10">
  </simulation>

  <options>
    <vrmlfile>PlaneScore.wrl</vrmlfile>
    <statfile>PlaneScore.dat</statfile>
    <transCutoff_elec unit="MeV" ecat ="0.0"/>
  </options>

  <source name="Electron beam" module="Target" trackparticles="false">
    <radiation type="electron" energy="6.0" />
    <shape direction="conical" size="0.00" angle="0"/>
    <position unit="cm" x="0" y="0" z="-1.0" />
    <direction x="0" y="0" z="1" />
  </source>

  <score type="fluence_plane" module="Trap" pt ="photon"/>

</input>
```

Файл описания задачи задает количество симуляций, указывает файлы вывода результатов, тип и параметры источника, классы сбора статистики.

Вводная лекция по коду MC

<https://www.meetup.com/Медицинская-физика-лучевой-терапии>



Start a new group

Explore

Messages

Notifications



Change photo

Медицинская физика лучевой терапии

Moscow, Russia

251 members · Public group

Organized by Геннадий Горлачев

Tuesday, May 23, 2017

Обсуждение открытого кода Монте Карло MC



Hosted by
Геннадий Горлачев

Details

Уважаемые Коллеги,

Приглашаем всех желающих во вторник 23 мая в 16:00 на семинар, который проводится в радиологическом отделении НИИ КиЭР РОНЦ им. Н.Н. Блохина Минздрава России.

Тема доклада: Г.Е. Горлачев "Открытый программный код MC транспорта фотонного и электронного излучения методом Монте-Карло"

В докладе будут представлены ключевые архитектурные решения и примеры решения конкретных практических задач.

Copy event

Organizer tools



Медицинская физика лучевой
терапии

Public group



Tuesday, May 23, 2017
4:00 PM to 6:00 PM GMT+3

[Add to calendar](#)

Верификация транспорта электронов

Основные статьи по верификации транспорта электронов:

1. Ross, C. K.; McEwen, M. R.; McDonald, A. F.; Cojocaru, C. D.; Faddegon, B. A. (2008): ***Measurement of multiple scattering of 13 and 20 MeV electrons by thin foils***. In Med. Phys. 35 (9), p. 4121. DOI: 10.1118/1.2968095.
2. Faddegon, Bruce A.; Kawrakow, Iwan; Kubyshev, Yuri; Perl, Joseph; Sempau, Josep; Urban, Laszlo (2009): ***The accuracy of EGSnrc, Geant4 and PENELOPE Monte Carlo systems for the simulation of electron scatter in external beam radiotherapy***. In Phys. Med. Biol. 54 (20), pp. 6151–6163. DOI: 10.1088/0031-9155/54/20/008.
3. Vilches, M.; García-Pareja, S.; Guerrero, R.; Anguiano, M.; Lallena, A. M. (2009): ***Multiple scattering of 13 and 20 MeV electrons by thin foils: A Monte Carlo study with GEANT, Geant4, and PENELOPE***. In Med. Phys. 36 (9), p. 3964. DOI: 10.1118/1.3183501.

Условия эксперимента по рассеянию электронов (Ross, 2008)

Схема экспериментальной установки

The accuracy of Monte Carlo systems for the simulation of electron scatter

6153

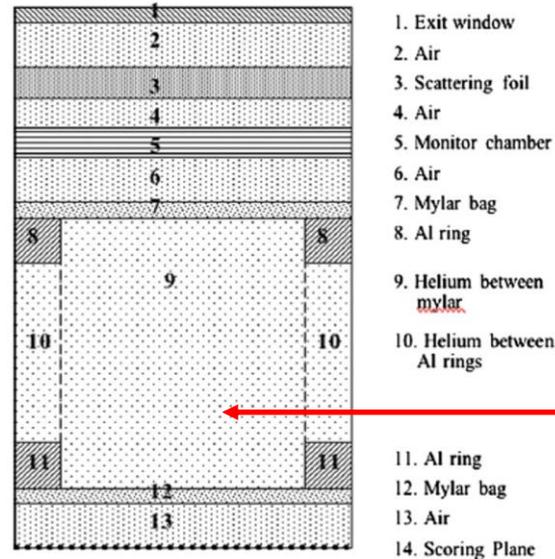
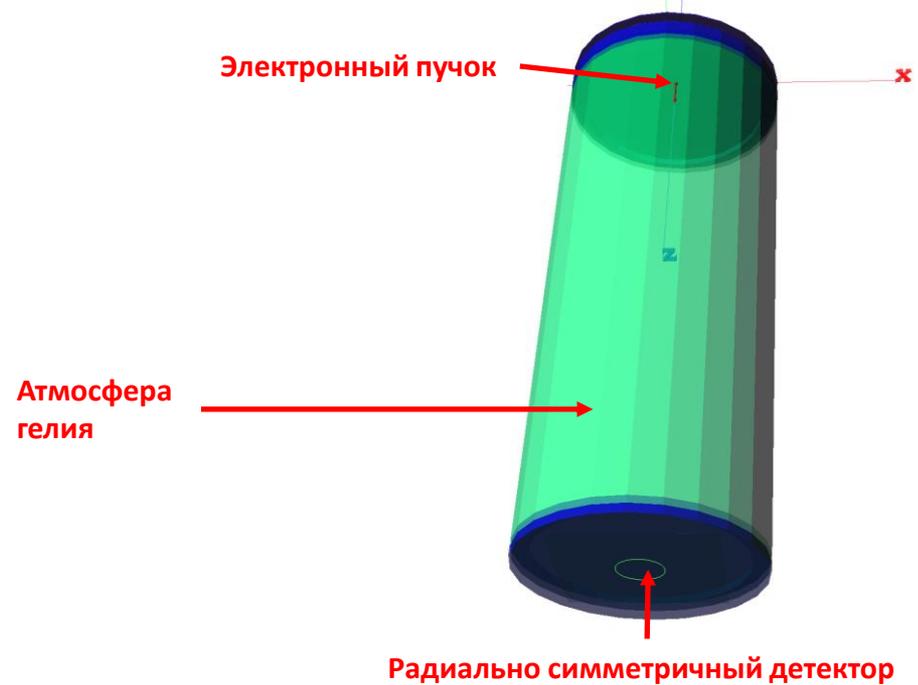


Figure 1. Experimental geometry, as simulated. Drawing is not to scale. Positions of the different components are listed in table 1.

Table 1. Components of the experimental geometry (figure 1). Position is the distance from the front (evacuated side) of the exit window to the front of each component.

Component	Material	Thickness (cm)	Position (cm)	Density (g cm ⁻³)	Composition or radius (cm)
1. Exit window	Ti	0.004 12	0	4.42	90% Ti, 6% Al, 4% V
2. Air	Air	2.645 88	0.004 12	0.001 205	75.52% N, 23.18% O, 1.283% Ar, 0.0124% C
3. Scattering foil	See table 2	t	2.65		
4. Air	Air	$2.35 - t$	$2.65 + t$	0.001 205	
5. Monitor chamber	Mylar	0.011 27	5.0	1.40	H ₄ C ₅ O ₂
6. Air	Air	1.486 23	5.011 27	0.001 205	
7. Mylar bag	Mylar	0.0025	6.4975	1.40	
8. Aluminum ring	Al	1.40	6.5	2.70	20.0–23.3 cm
9. Helium between mylar	He	110.0	6.5	0.000 166	0–20 cm
10. Helium between Al	He	107.2	7.9	0.000 166	20–23.3 cm
11. Aluminum ring	Al	1.40	115.1	2.70	20.0–23.3 cm
12. Mylar bag	Mylar	0.0025	116.5	1.40	
13. Air	Air	1.6975	116.5025	0.001 205	
14. Scoring plane	N/A	N/A	118.2	N/A	

Геометрия симуляции МС



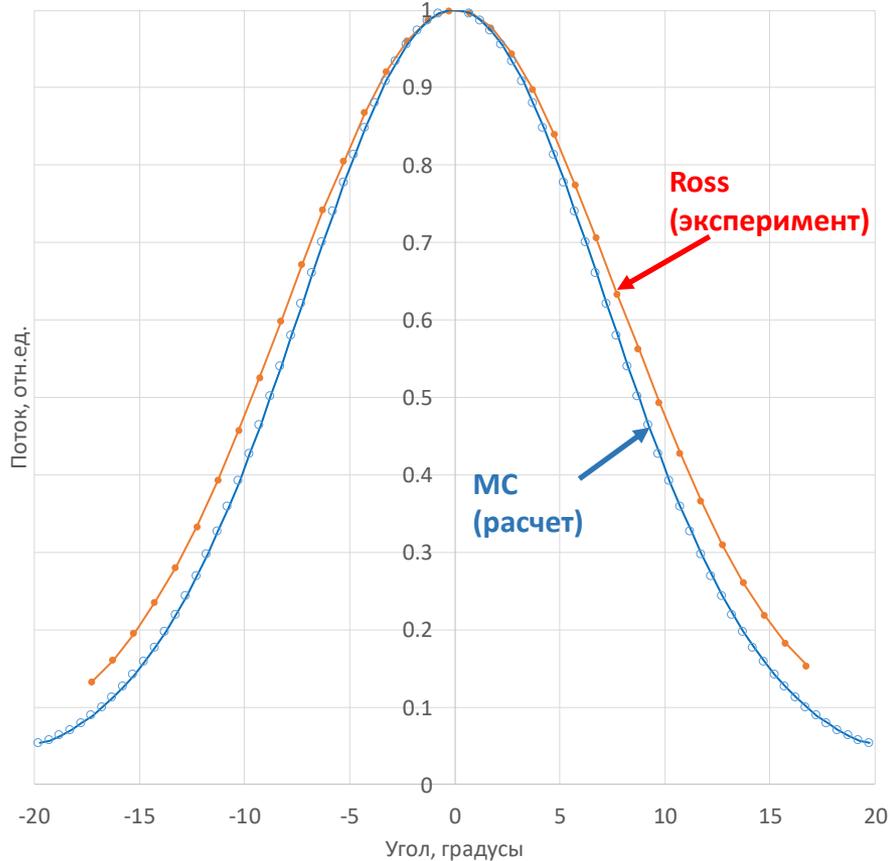
II.D. Detectors

Scattered electron distributions were measured with both ionization chamber and diode detectors. The point of measurement was taken to be at the center of the sensitive volume of the detector. Ionization chambers included an Exradin A16, a PTW 233642 and an Exradin A2. Diode detectors included the electron (EFD) and stereotatic (SFD) diodes manufactured by Scanditronix and the PTW 60012 electron diode.

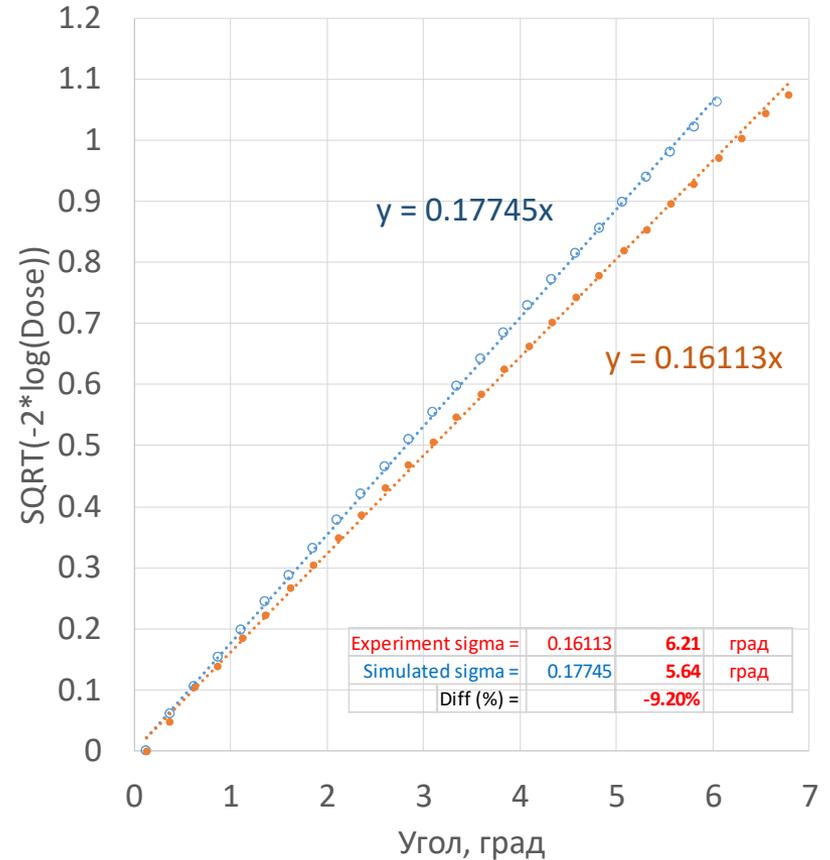
Measured values of $_{1/e}$ ranged from 1.5° to 8° with a typical uncertainty of about 1%.

Обработка данных

Распределение потока энергии после фольги
Cu, 86.4 мГ/см²
электронного пучка 13 МэВ



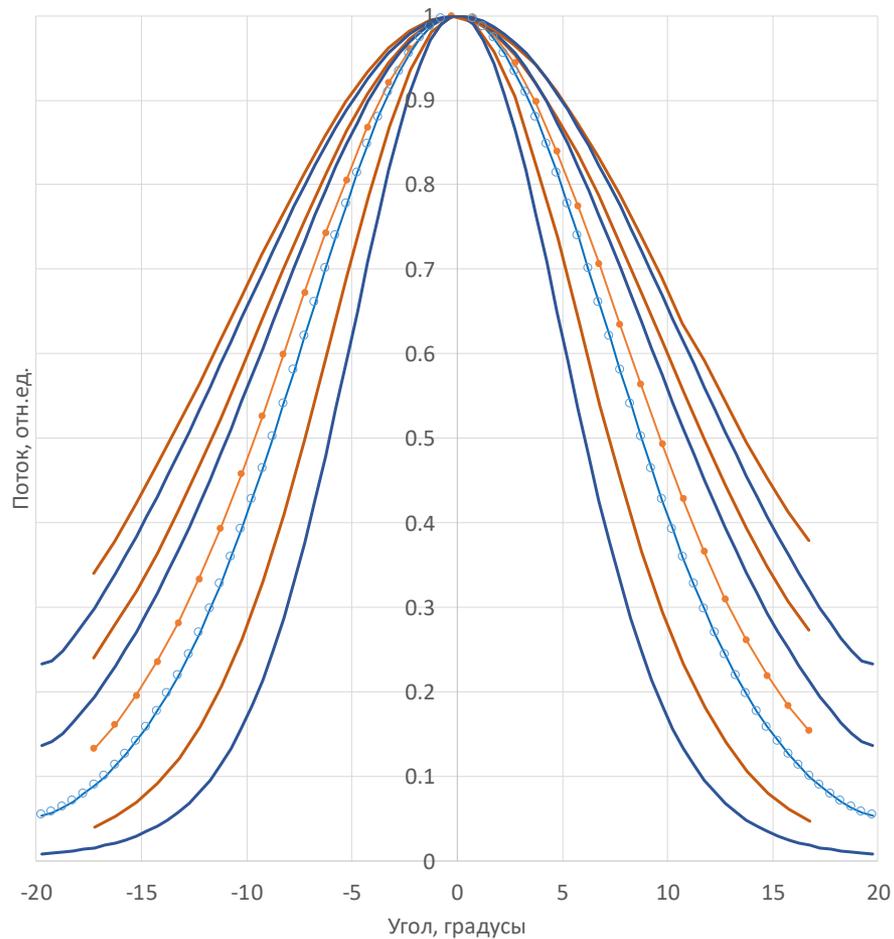
Преобразование Гауссиана в
линейную зависимость



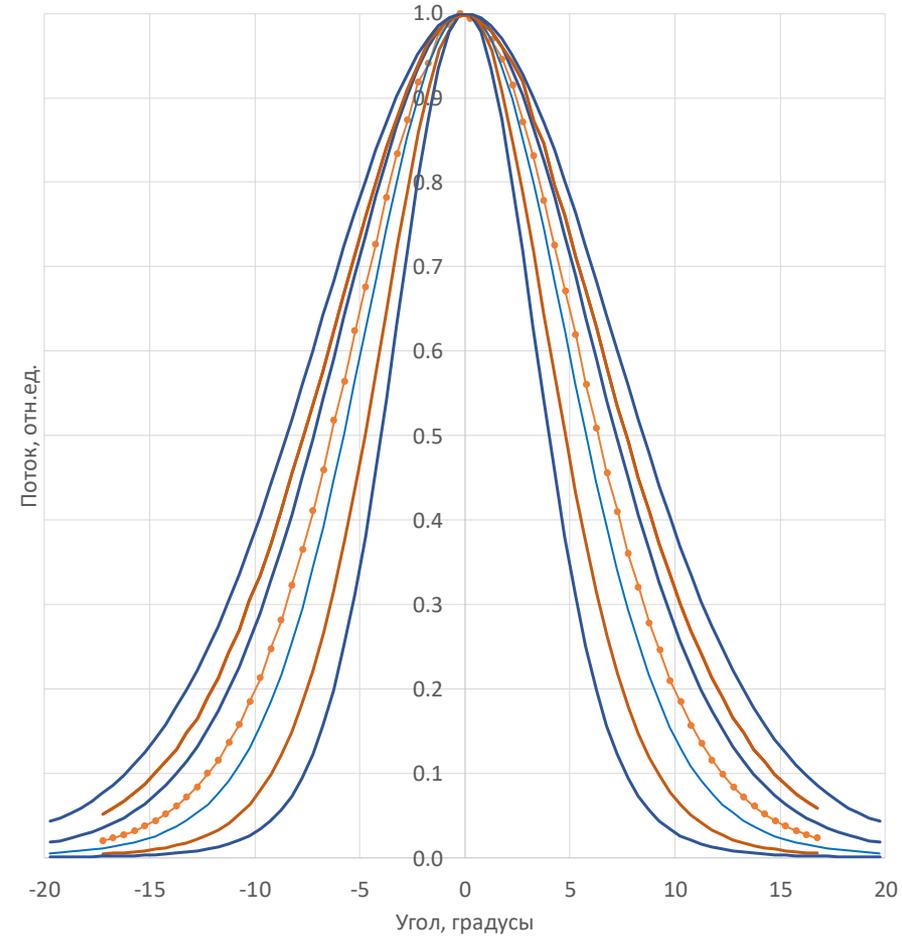
Идея обработки и расчета углового разброса в аппроксимации угловых распределений гауссианами и принятие в качестве параметра углового распределения сигма аппроксимации

Воспроизведение рассеяния электронов медными фольгами

Электронный пучок 13 МэВ



Электронный пучок 20 МэВ



Оранжевый цвет – эксперимент Ross

Голубой цвет – расчет MC

Толщины фольг [мг/см²]:

43.0

86.4

129.6

174.5

Сводная таблица результатов воспроизведения экспериментальных данных Ross (2008) кодом MC

Наши симуляции:

↑
Толщина фольги

↑
Эксперимент,
град

↑
Расчет MC,
град

←
Абсолютное
различие

←
Относительное
различие

↑

Сравнение расчетов EGSnrc экспериментальными данными в оригинальной статье Ross

	Thick. (mg/cm ²)	13 MeV			20 MeV		
		Meas. (deg)	Calc. (deg)	Dif. (%)	Meas. (deg)	Calc. (deg)	Dif. (%)
Be	926	8.143	8.093	-0.6	5.238	5.259	0.4
C	546	7.933	7.600	-4.2	5.132	4.975	-3.1
Al	70.1	4.003	3.956	-1.2	2.653	2.606	-1.8
	140	5.268	5.217	-1.0	3.484	3.434	-1.4
	274	—	—	—	4.777	4.699	-1.6
	414	—	—	—	5.865	5.797	-1.2
Ti alloy	18.21	2.380	2.295	-3.6	1.550	1.510	-2.6
	36.4	3.103	3.016	-2.8	2.032	1.983	-2.4
	54.6	3.712	3.621	-2.5	2.452	2.389	-2.5
	72.8	4.261	4.177	-2.0	2.808	2.747	-2.2
	91.0	4.771	4.668	-2.2	3.140	3.071	-2.2
Cu	43.0	4.219	4.166	-1.3	2.790	2.742	-1.7
	86.4	5.630	5.579	-0.9	3.714	3.669	-1.2
	129.6	6.861	6.752	-1.6	4.493	4.440	-1.2
	174.5	7.956	7.829	-1.6	5.198	5.143	-1.1
Ta	44.3	5.558	5.463	-1.7	—	—	—
	206.3	—	—	—	7.913	7.836	-1.0
Au	31.2	4.878	4.789	-1.8	—	—	—
	54.8	6.329	6.170	-2.5	4.127	4.062	-1.6
	93.7	8.243	8.029	-2.6	—	—	—
	109.5	—	—	—	5.881	5.781	-1.7
	164.2	—	—	—	7.278	7.143	-1.9
	219	—	—	—	8.566	8.373	-2.3

4123 Ross *et al.*: Electron multiple scattering

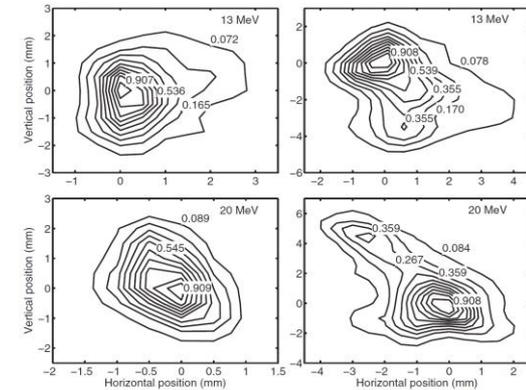


FIG. 2. Electron beam profiles measured using radiochromic film. The left-hand panels show the distribution measured at the standard beam exit window, while those on the right give the profiles after the beam has drifted in vacuum an additional 1 m. The intervals between contours are equal but only a few are labeled. The contours are labeled according to the absorbance measured at 605 nm.

Воспроизведение угловых разбросов

(по отношению к оценкам таковых в оригинальной статье Ross)

Среднее отклонение (систематический сдвиг) сократилось с порядка 0.45 до 0.1 градусов

MC				13 MeV				20 MeV			
	Thick. (mg/cm ²)	EGS dens. (g/cm ³)	Thick. (cm)	Meas. (deg)	Calc. (deg)	Dif. (deg)	Dif. (%)	Meas. (deg)	Calc. (deg)	Dif. (deg)	Dif. (%)
Be	926	1.85	0.5005	8.143	8.61	0.47	5.7%	5.238	5.60	0.37	7.0%
C	546	2.26	0.2416	7.933	8.04	0.11	1.3%	5.132	5.27	0.13	2.6%
Al	70.1	2.702	0.0259	4.003	3.66	-0.35	-8.6%	2.653	2.42	-0.23	-8.8%
	140	2.702	0.0518	5.268	5.25	-0.02	-0.4%	3.484	3.46	-0.02	-0.7%
	274	2.702	0.1014					4.777	4.96	0.18	3.8%
Cu	43	8.9333	0.004813	4.219	3.89	-0.33	-7.7%	2.790	2.57	-0.22	-7.8%
	86.4	8.9333	0.009672	5.630	5.64	0.01	0.1%	3.714	3.71	0.00	-0.1%
	129.6	8.9333	0.014508	6.861	7.02	0.16	2.4%	4.493	4.63	0.14	3.1%
	174.5	8.9333	0.019534	7.956	8.29	0.33	4.2%	5.198	5.46	0.26	5.0%
Ta	44.3	16.6	0.00267	5.558	5.48	-0.08	-1.4%				
	206.3	16.6	0.01243					7.913	8.57	0.66	8.3%
Au	31.2	19.32	0.00161	4.878	4.64	-0.24	-4.8%				
	54.8	19.32	0.00284	6.329	6.36	0.03	0.5%	4.127	4.18	0.05	1.2%
	93.7	19.32	0.00485	8.243	8.65	0.40	4.9%				
	164.2	19.32	0.00850					7.278	7.77	0.49	6.8%

↑
Толщина фольги

↑
Эксперимент,
град

↑
Расчет MC,
град

←
Абсолютное
различие

←
Относительное
различие

Верификация тормозного излучения

Основная экспериментальная верификация и сравнение с ней различных кодов содержится в работах Faddegon:

1. **Faddegon**, Bruce A. (1990): ***Forward-directed bremsstrahlung of 10- to 30-MeV electrons incident on thick targets of Al and Pb.*** In Med. Phys. 17 (5), p. 773. DOI: 10.1118/1.596560.
2. **Faddegon**, Bruce A. (1991): ***Angular distribution of bremsstrahlung from 15-MeV electrons incident on thick targets of Be, Al, and Pb.*** In Med. Phys. 18 (4), p. 727. DOI: 10.1118/1.596667.
3. **Nagy** A. M. ***Electron/Photon Verification Calculations Using MSNP4B,*** Los Alamos National Laboratory LA-13440, 1999.
4. **Faddegon**, Bruce A.; Asai, Makoto; Perl, Joseph; Ross, Carl; Sempau, Josep; Tinslay, Jane; Salvat, Francesc (2008): ***Benchmarking of Monte Carlo simulation of bremsstrahlung from thick targets at radiotherapy energies.*** In Med. Phys. 35 (10), p. 4308. DOI: 10.1118/1.2975150.

Почему верификация по методике MCNP ?

Electron/Photon Verification Calculations

Using MCNP4B

Los Alamos
NATIONAL LABORATORY

Los Alamos National Laboratory is operated by the University of California for the United States Department of Energy under contract W-7405-ENG-36.

Nagy A. M. *Electron/Photon Verification Calculations Using MSNP4B*, Los Alamos National Laboratory LA-13440, 1999.

TABLE I: INTEGRATED BREMSSTRAHLUNG YIELD VS ANGLE FOR PB

Angle	4B Cell	4B Detector	Faddegon
0	2.640E+00(2.0)*	2.797E+00(0.3)	2.92E+00(5.0)
1	2.463E+00(0.8)	2.667E+00(0.3)	2.80E+00(5.0)
2	2.255E+00(0.6)	2.380E+00(0.3)	2.48E+00(5.0)
4	1.835E+00(0.4)	1.883E+00(0.3)	1.99E+00(5.0)
10	1.122E+00(0.4)	1.125E+00(0.3)	1.2E+00(5.0)
30	4.338E-01(0.4)	4.310E-01(0.5)	4.47E-01(5.0)
60	1.444E-01(0.5)	1.434E-01(0.5)	1.29E-01(5.0)
90	6.029E-02(0.7)	5.860E-02(0.7)	5.19E-02(7.0)

*read as 2.640x10⁰ with 2.0% error

The differential bremsstrahlung yield

$$\frac{dS}{dE} = \frac{1}{N_e} \frac{d^2 N_\gamma(E)}{dE d\Omega}$$

The integrated bremsstrahlung yield

$$S_{E_0} = \int_{E_0}^{E_{max}} \frac{dS}{dE} dE$$

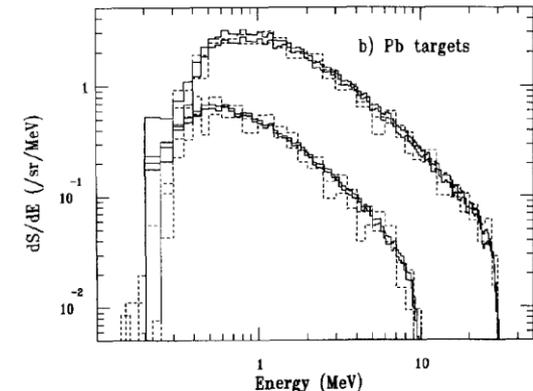
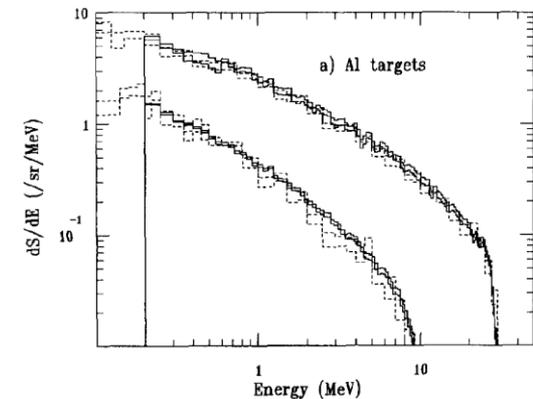


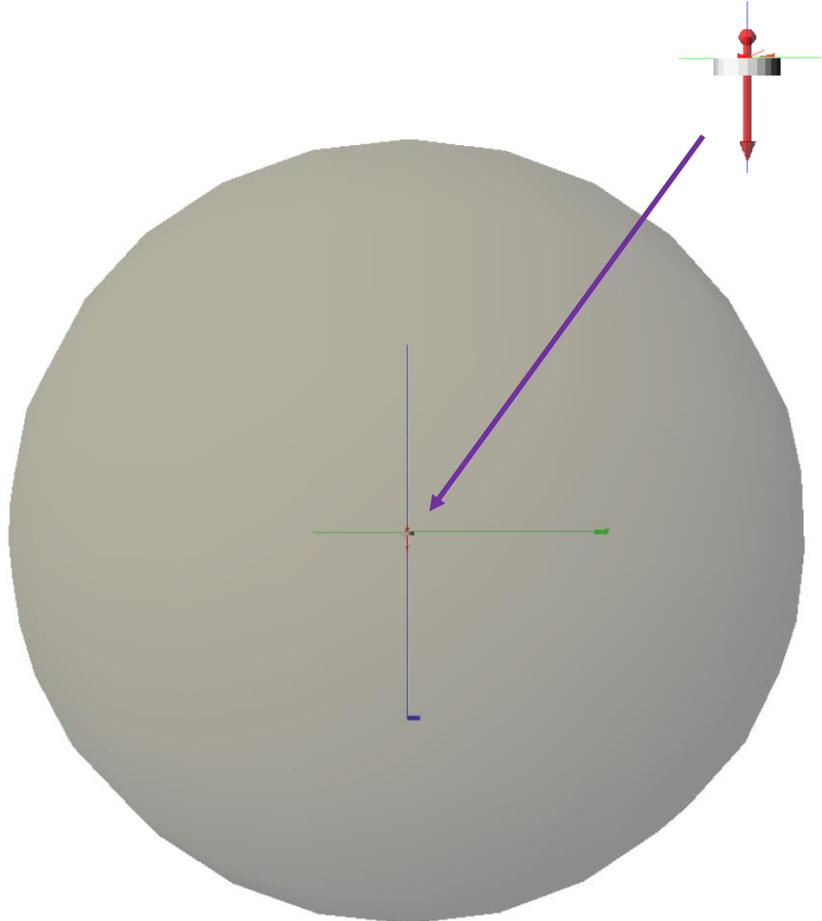
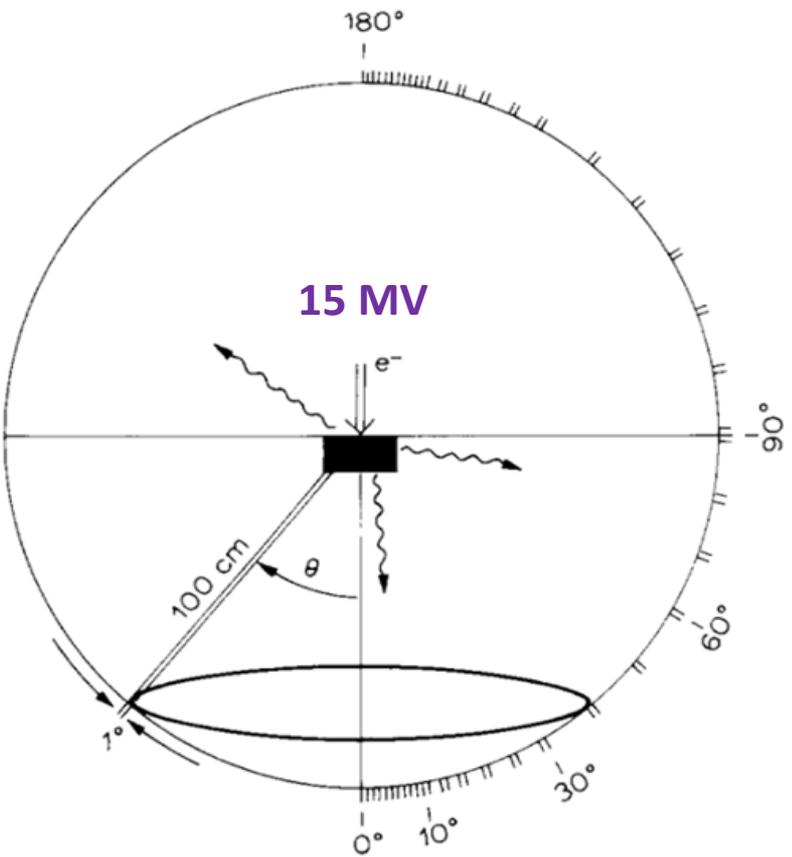
FIG. 5. Comparison of measured (solid line) and calculated (dashed line) bremsstrahlung spectra for four cases: (a) 10- and 30-MeV electrons on Al targets, and (b) 10- and 30-MeV electrons on Pb targets. The comparisons are absolute. The histograms plotted are the bounds of the 68% confidence intervals. The uncertainty in the beam current measurement was *not* included in the uncertainty of the measured spectra.

Medical Physics, Vol. 17, No. 5, Sep/Oct 1990

Документ MCNP

- a) предлагает четкую методику верификации,
- b) содержит в цифровом виде данные как собственных расчетов, так и экспериментальные данные Faddegon, недоступные в оригинальной статье.

Схема эксперимента по измерению и расчету тормозного излучения

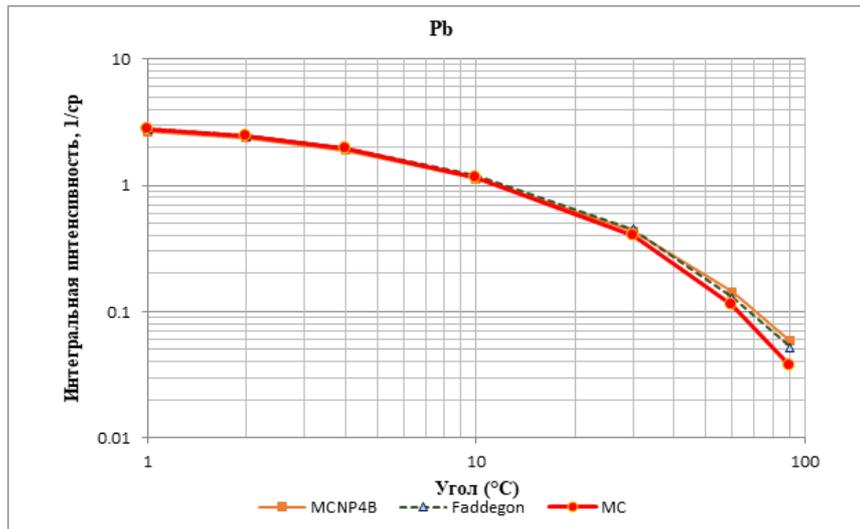
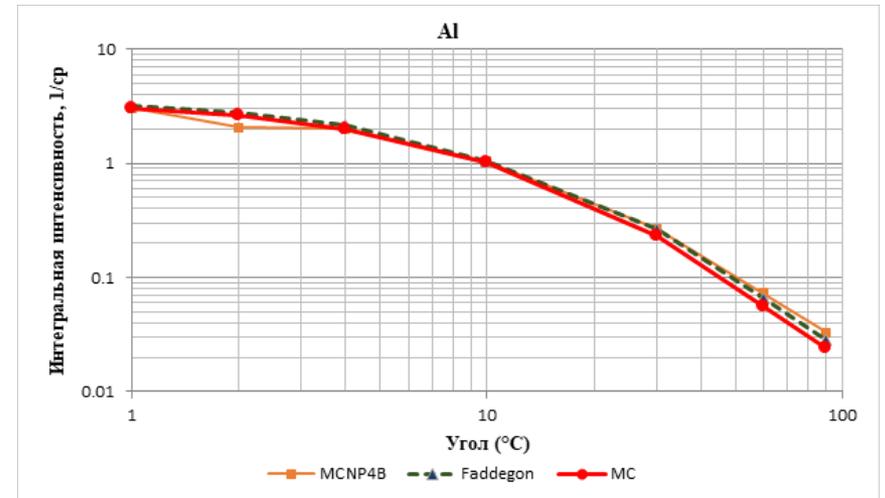
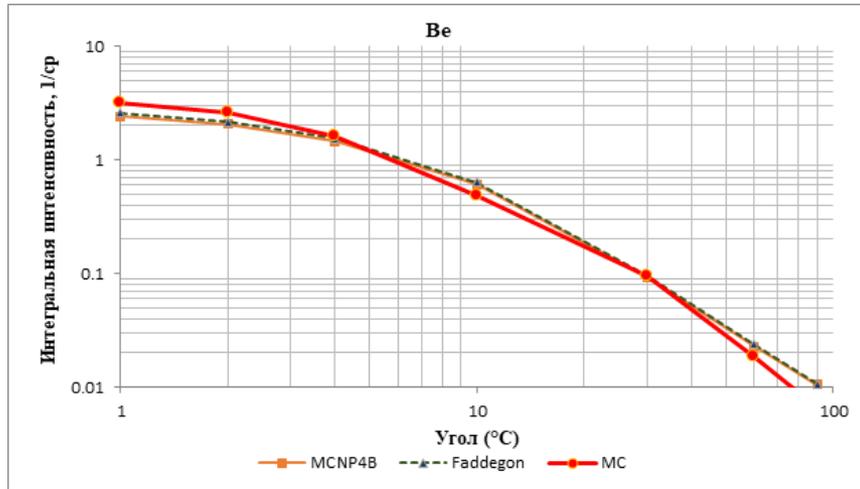


Beam energy was revised with improved accuracy of 0.5%

Эксперимент содержит все интересующие данные по выходу тормозного излучения в абсолютных единицах !!!

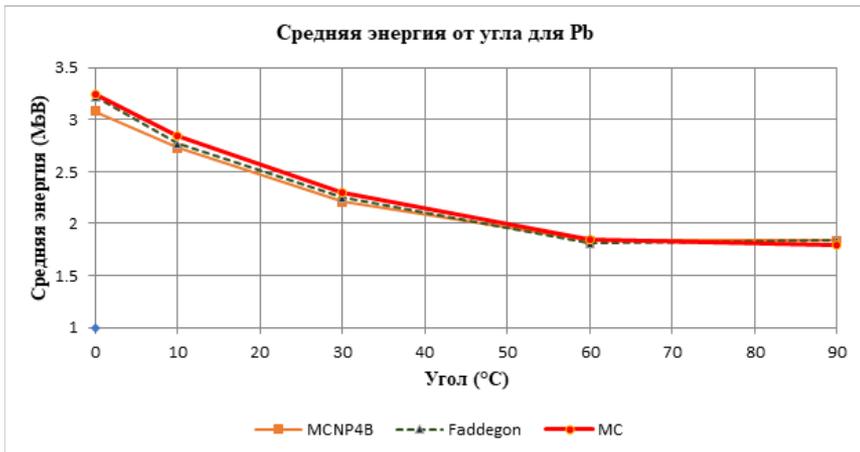
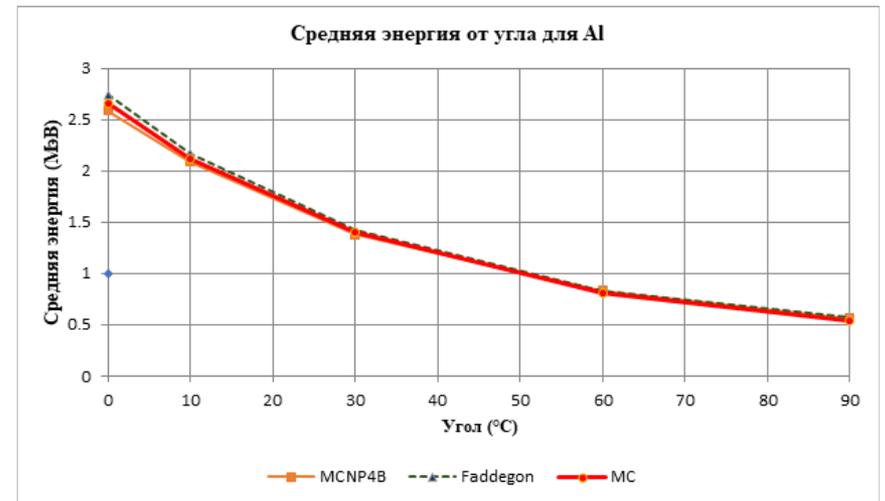
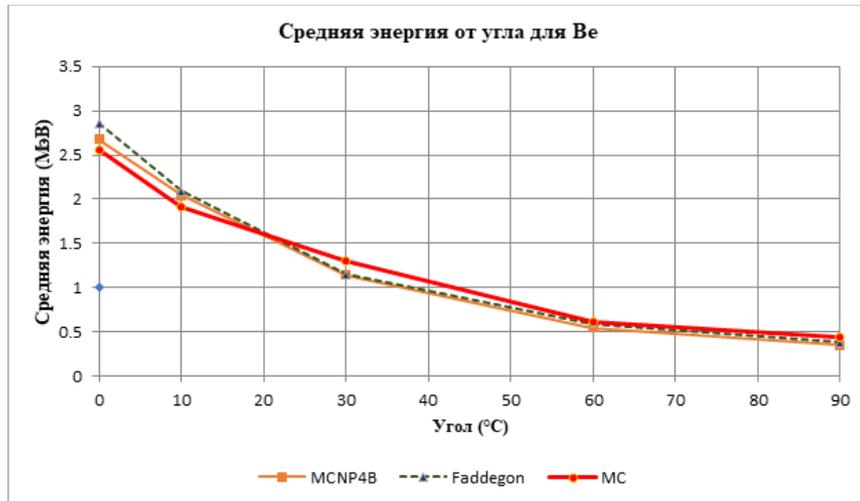
Мишень	Плотность (г/см ²)	Толщина (см)	Радиус (см)
BE700ICRU	9,01	1,29E+00	7,46E-01
AL700ICRU	2,70	3,60E+00	3,63E+00
PB700ICRU	11,34	8,05E-01	1,58E+00

Воспроизведение угловых распределений тормозного излучения



Мишень	Плотность (г/см ²)	Толщина (см)	Радиус (см)
BE700ICRU	9,01	1,29E+00	7,46E-01
AL700ICRU	2,70	3,60E+00	3,63E+00
PB700ICRU	11,34	8,05E-01	1,58E+00

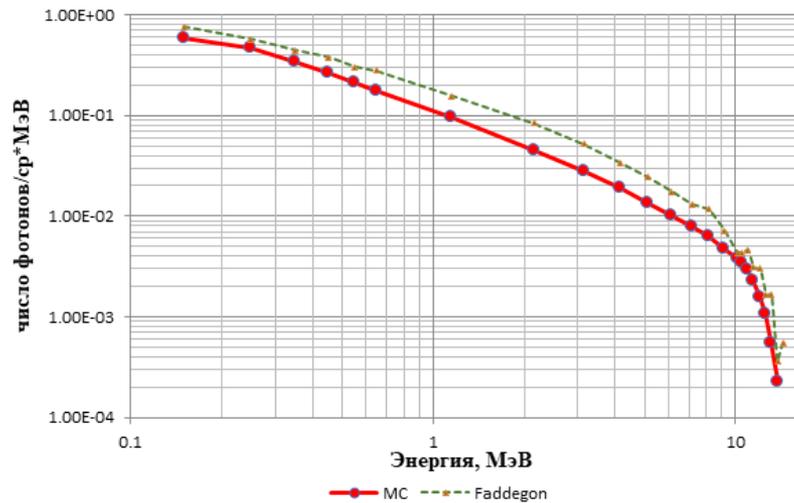
Средняя энергия в зависимости от направления излучения



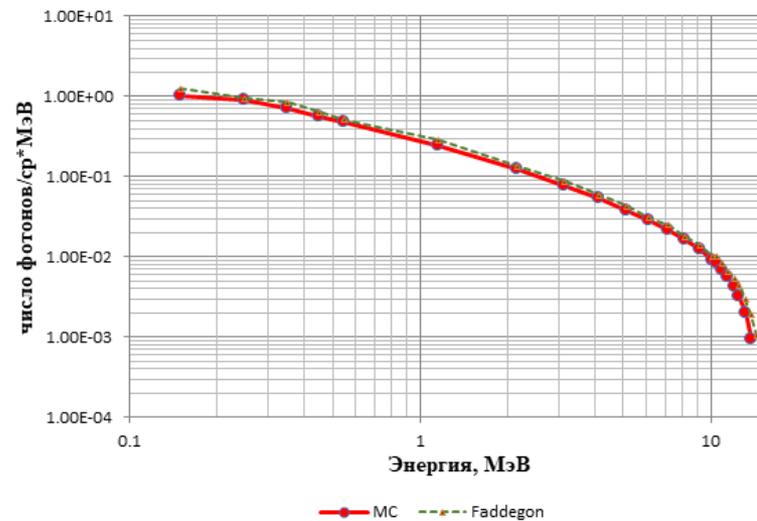
Мишень	Угол (°C)	Средняя энергия (МэВ)		
		MCNP4B	Faddegon	MC
Be	0	2,68E+00	2,86E+00	2,56E+00
	10	2,04E+00	2,09E+00	1,91E+00
	30	1,14E+00	1,15E+00	1,30E+00
	60	5,50E-01	5,96E-01	6,20E-01
	90	3,48E-01	3,79E-01	4,40E-01
Al	0	2,59E+00	2,74E+00	2,66E+00
	10	2,09E+00	2,17E+00	2,12E+00
	30	1,38E+00	1,42E+00	1,40E+00
	60	8,30E-01	8,30E-01	8,10E-01
	90	5,60E-01	5,70E-01	5,40E-01
Pb	0	3,08E+00	3,22E+00	3,24E+00
	10	2,73E+00	2,77E+00	2,84E+00
	30	2,21E+00	2,25E+00	2,30E+00
	60	1,84E+00	1,81E+00	1,85E+00
	90	1,84E+00	1,84E+00	1,80E+00

Воспроизведение спектров тормозного излучения

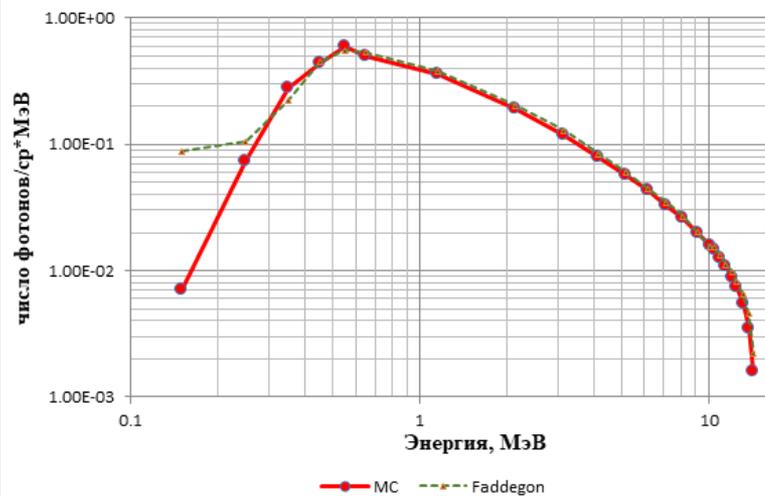
Спектр тормозного излучения для Ве на 10 градусов



Спектр тормозного излучения для Al на 10 градусов



Спектр тормозного излучения для Рб на 10 градусов



Примеры задач, решенных с
помощью кода **MC**

Симуляции для конструирования выравнивающего фильтра и портальной системы

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОРТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАДИОТЕРАПЕВТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ СО-60 МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

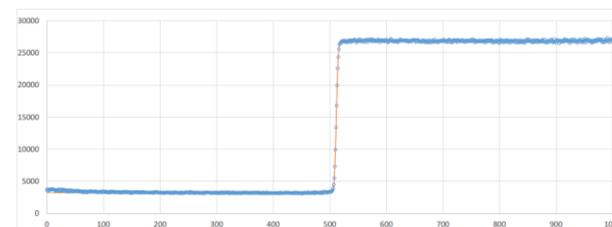
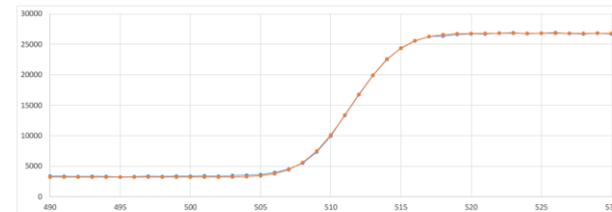
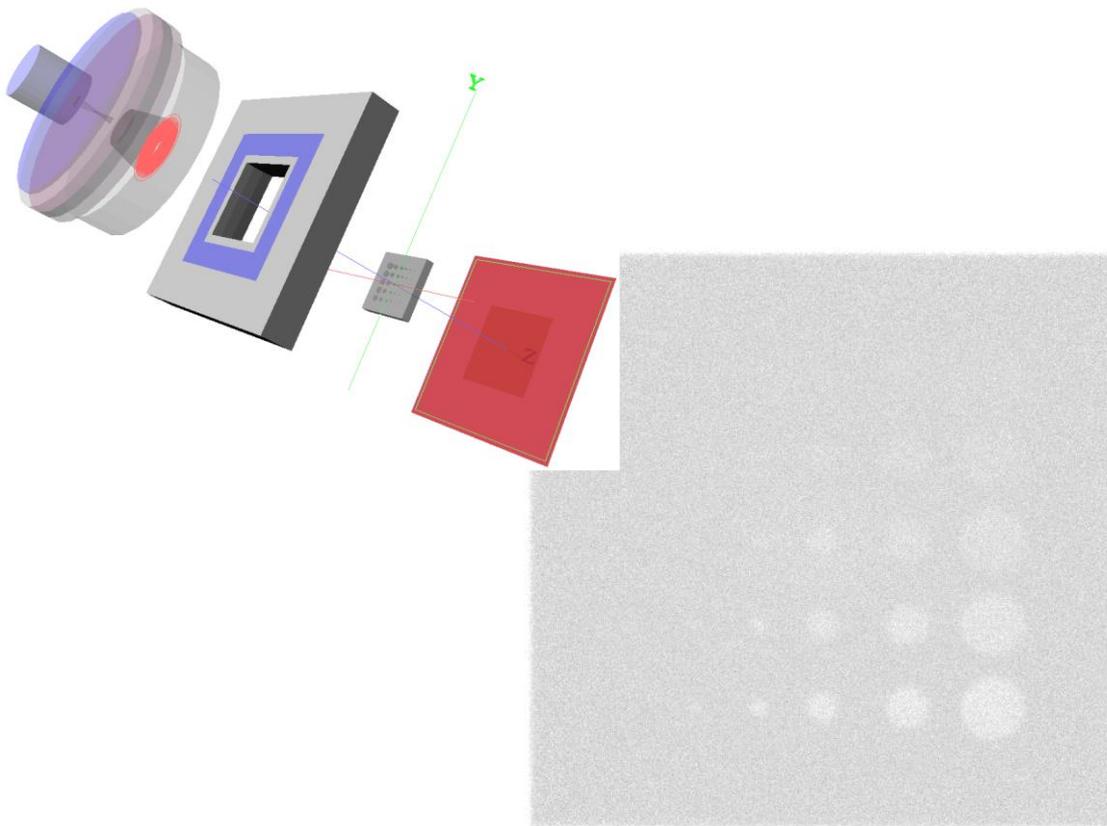
Г.Е. Горлачев¹, А. В. Далечина², А.В. Кистенев

¹ФГБУ "НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина" Минздрава России, Москва

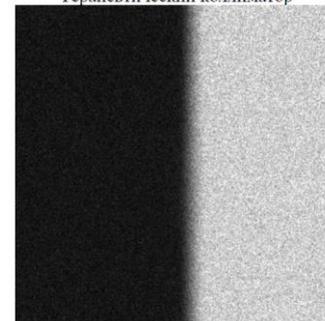
²Центр Гамма - Нож при ФГАУ "НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко"

Министерства здравоохранения РФ, Москва

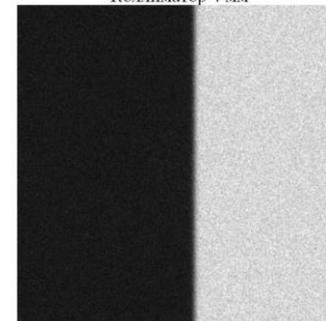
³Центральная клиническая больница им. Н.А. Семашко №2, Москва



Терапевтический коллиматор



Коллиматор 4 мм



Модель источника медицинского ускорителя. Верификация модели на примере CyberKnife



Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

На правах рукописи

Далечина Александра Владимировна

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ДЛЯ
РАСЧЕТОВ
ПОТОКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ
ЭЛЕКТРОННЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ**

03.01.01 – Радиобиология

Диссертация на соискание ученой степени

Кандидата физико-математических наук

Научный руководитель:

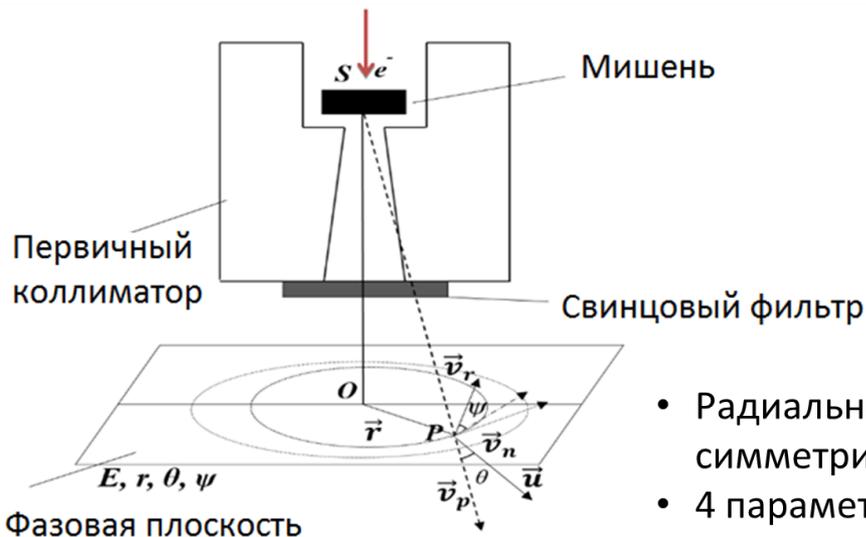
к.ф.-м.н.,

Ксенофонтов Александр Иванович

Научный консультант:

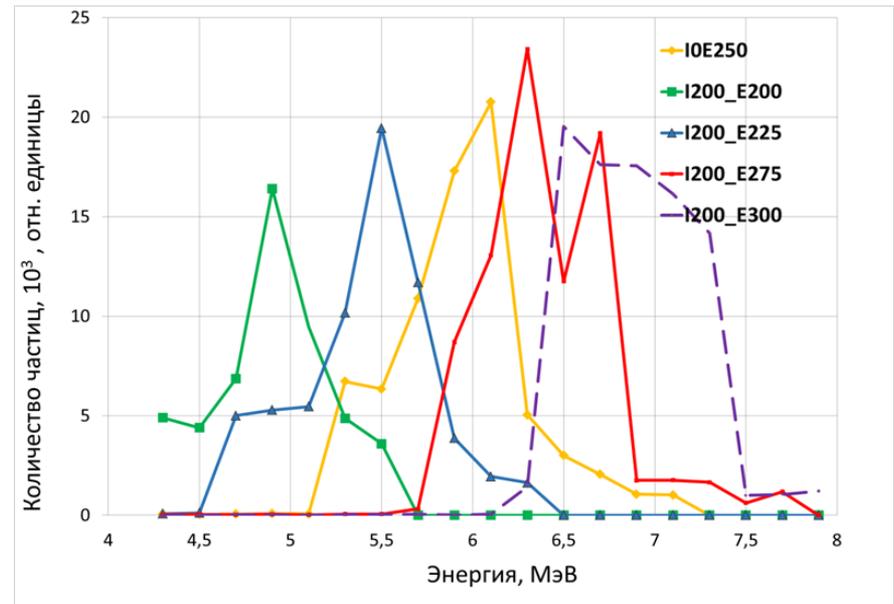
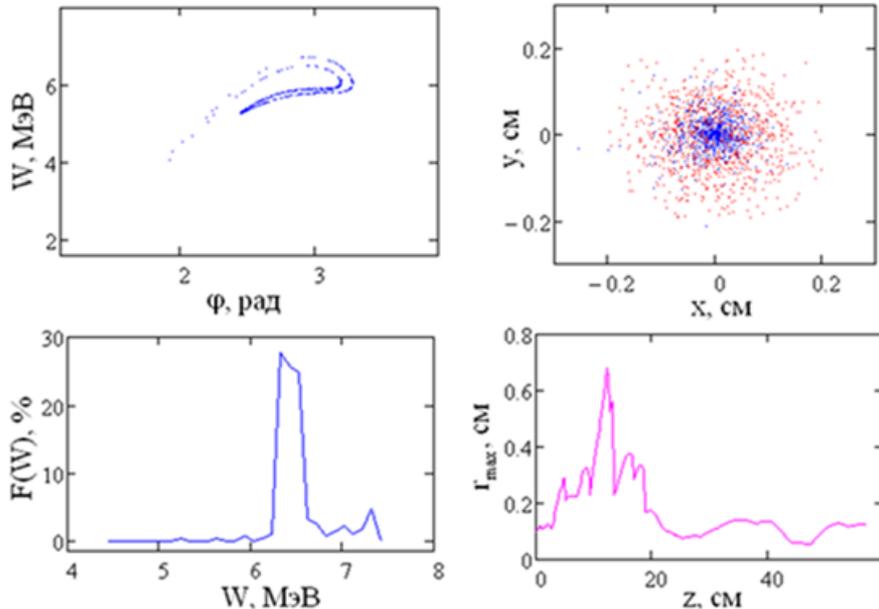
к.ф.-м.н.,

Горлачев Геннадий Ефимович



- Радиальная симметрия
- 4 параметра:
 E, r, θ, ψ

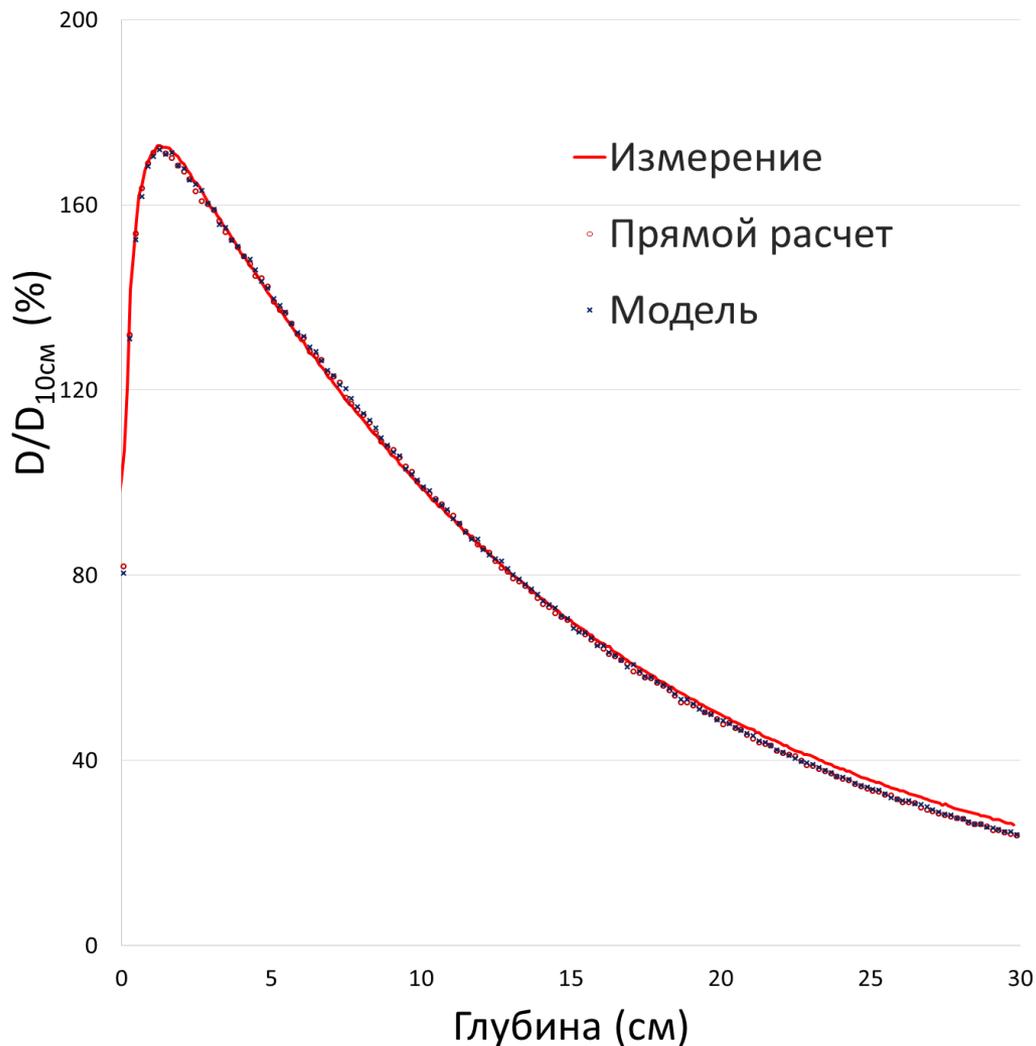
Влияние характеристик электронного пучка на мишени на свойства дозовых распределений



Радиофизическое моделирование
для точного описания ускоренных частиц на
радиационной мишени

Графики спектров представлены при
различных токах инжекции (I) и
напряженностях ускоряющего поля (E)

Воспроизведение глубинных дозовых распределений

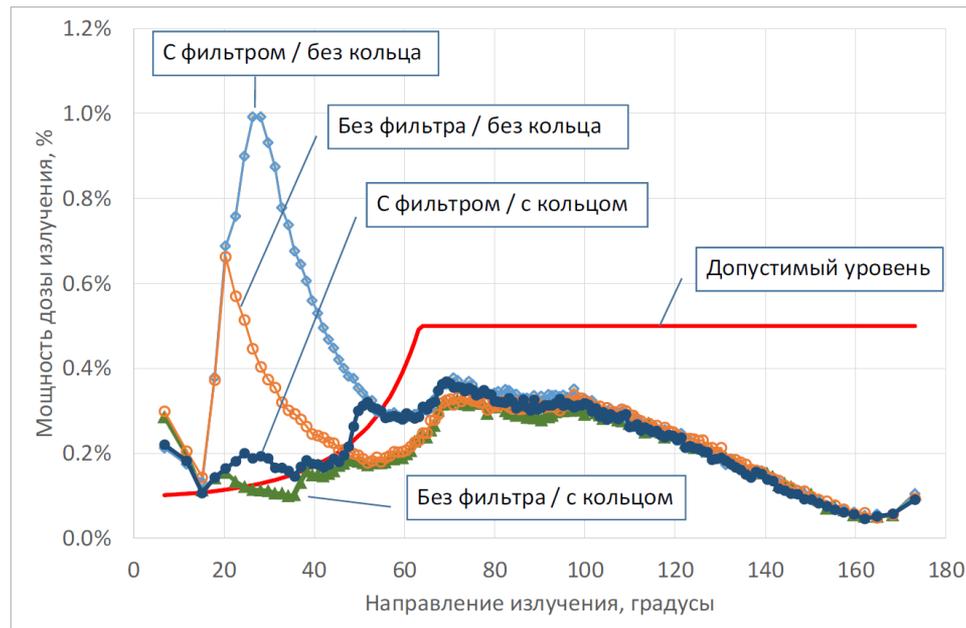
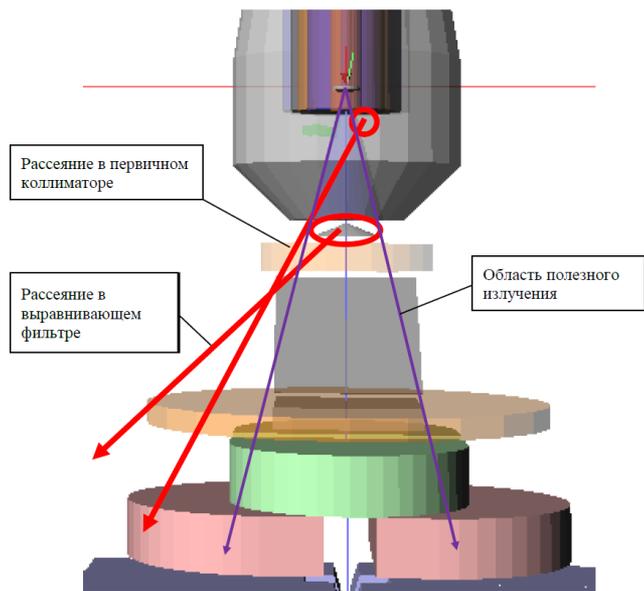


Воспроизведение экспериментальных данных:

- **1%** по отношению к максимальной дозе
- **5%** на глубине 30 см (по отношению к $D_{30\text{см}}$)

*Размер поля 60 мм.
Энергия электронов 6.5 МэВ. Расстояние до фантома 70 см.*

Проект радиационной защиты и коллимации ускорителя



НИИТФА
РОСАТОМ

115230, г. Москва,
Варшавское шоссе,
д.46

Москва ▾

☎ тел.: +7 (495) 730-80-10 ▾
пн.-пт. 9:00 - 17:30



РОСАТОМ
ХЭЛСКЕА
РОСАТОМ

Об институте ▾

Продукция ▾

Услуги

Поставщикам ▾

Устойчивое развитие ▾

Пресс-центр ▾

Карьера ▾



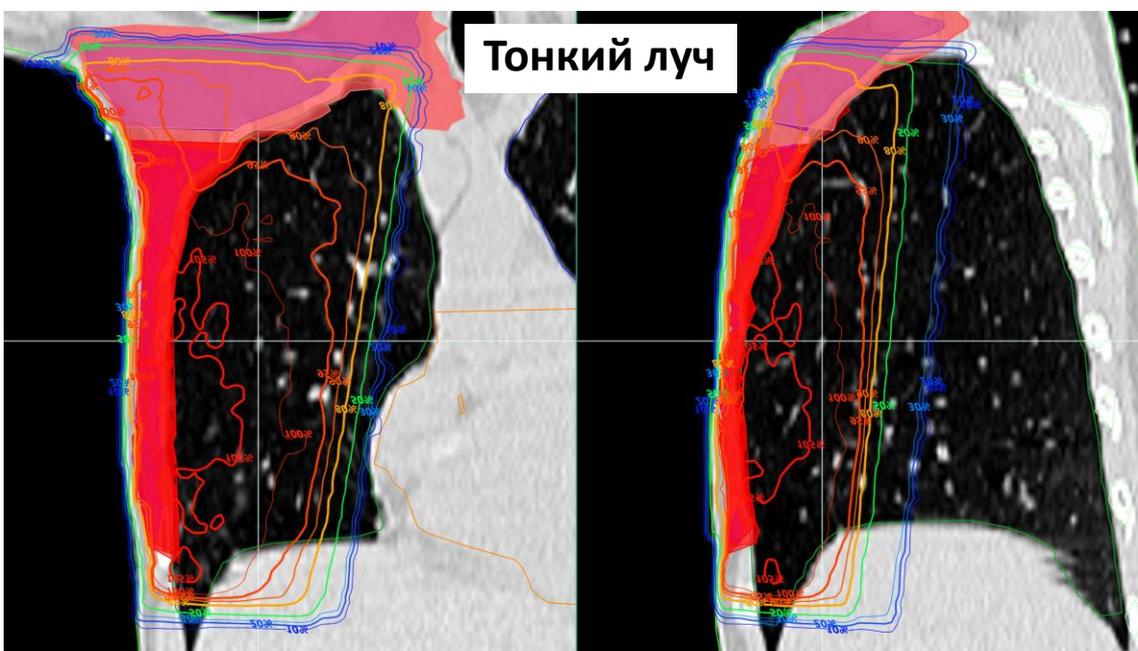
[Главная](#) > [Пресс-центр](#) > [Новости](#) > АО «НИИТФА» завершило работы по первому этапу создания отечественного комплекса для лучевой терапии

АО «НИИТФА» завершило работы по первому этапу создания отечественного комплекса для лучевой терапии

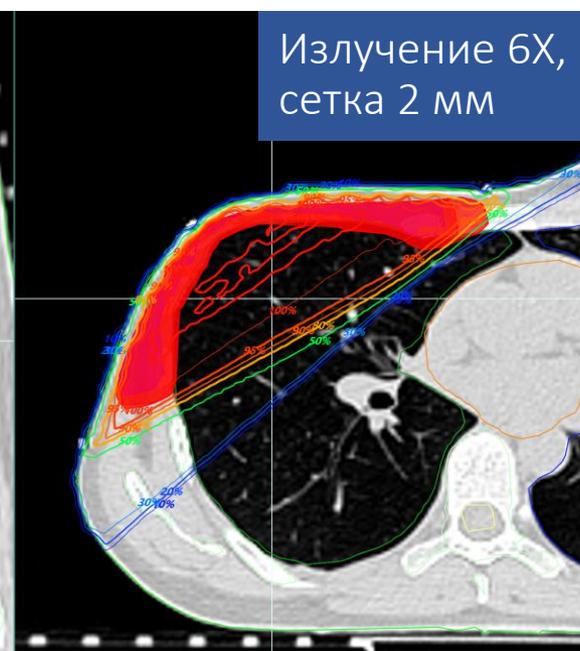


АО «НИИТФА» завершило работы по первому этапу создания отечественного комплекса для лучевой терапии

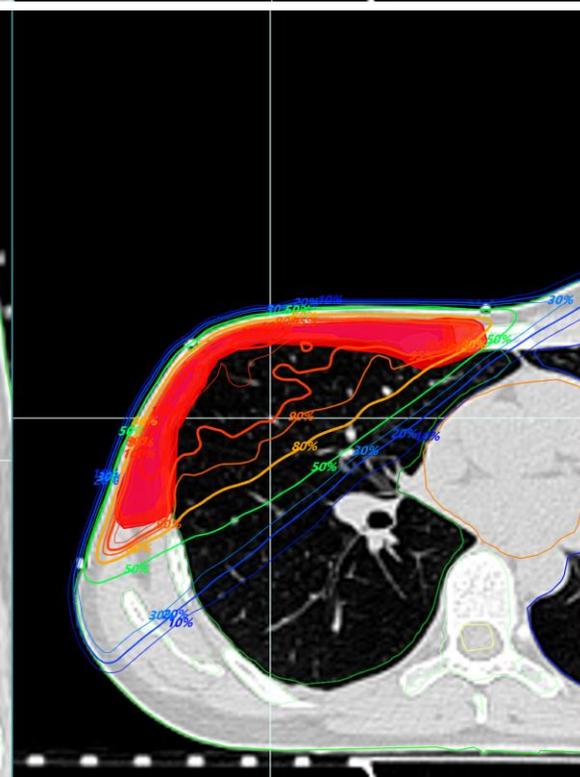
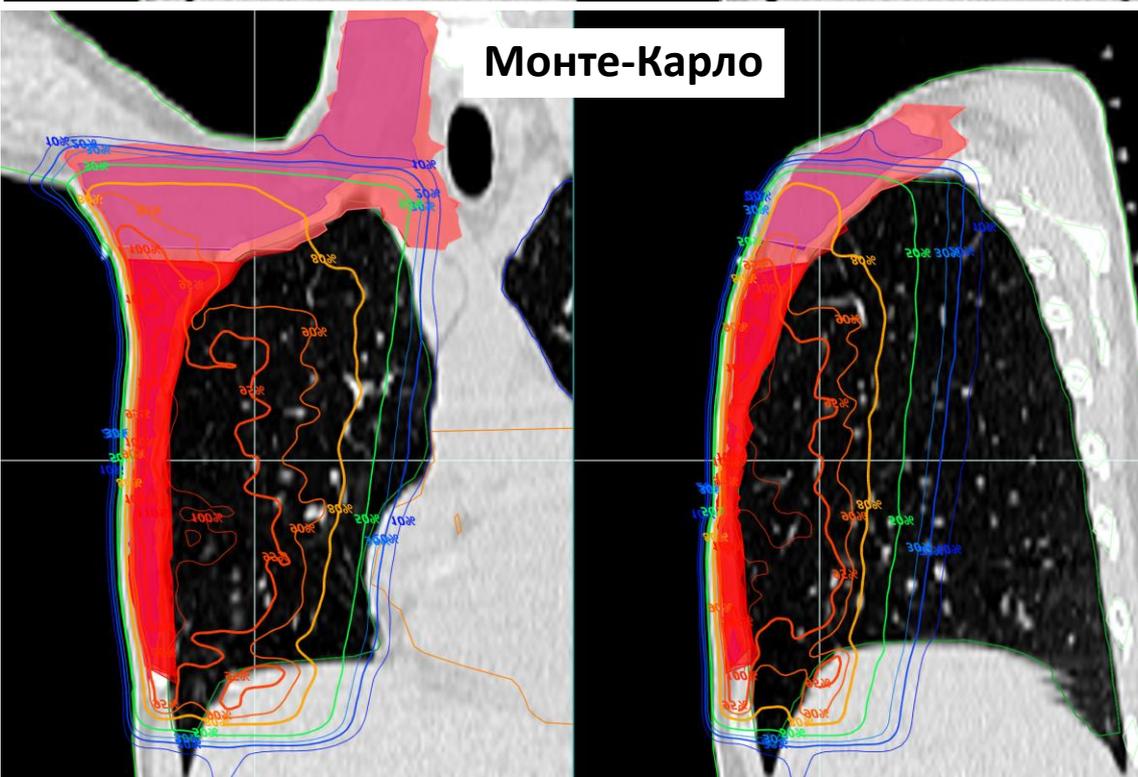
Тонкий луч



**Излучение 6X,
сетка 2 мм**



Монте-Карло



- **MC / EGS4** код показал высокую точность воспроизведения экспериментальных данных по тормозному излучению в диапазоне энергий лучевой терапии
- **MC / EGS4** по точности сопоставим с современными широко распространёнными кодами Монте-Карло
- **MC / EGS4** рекомендуется для использования в области физики лучевой терапии и в учебных целях