


ТЕМА:
Методи за контрол
на въздействието на
йонизиращи
лъчения върху жива
материя

Иван Михайлов Цанев



Съдържание

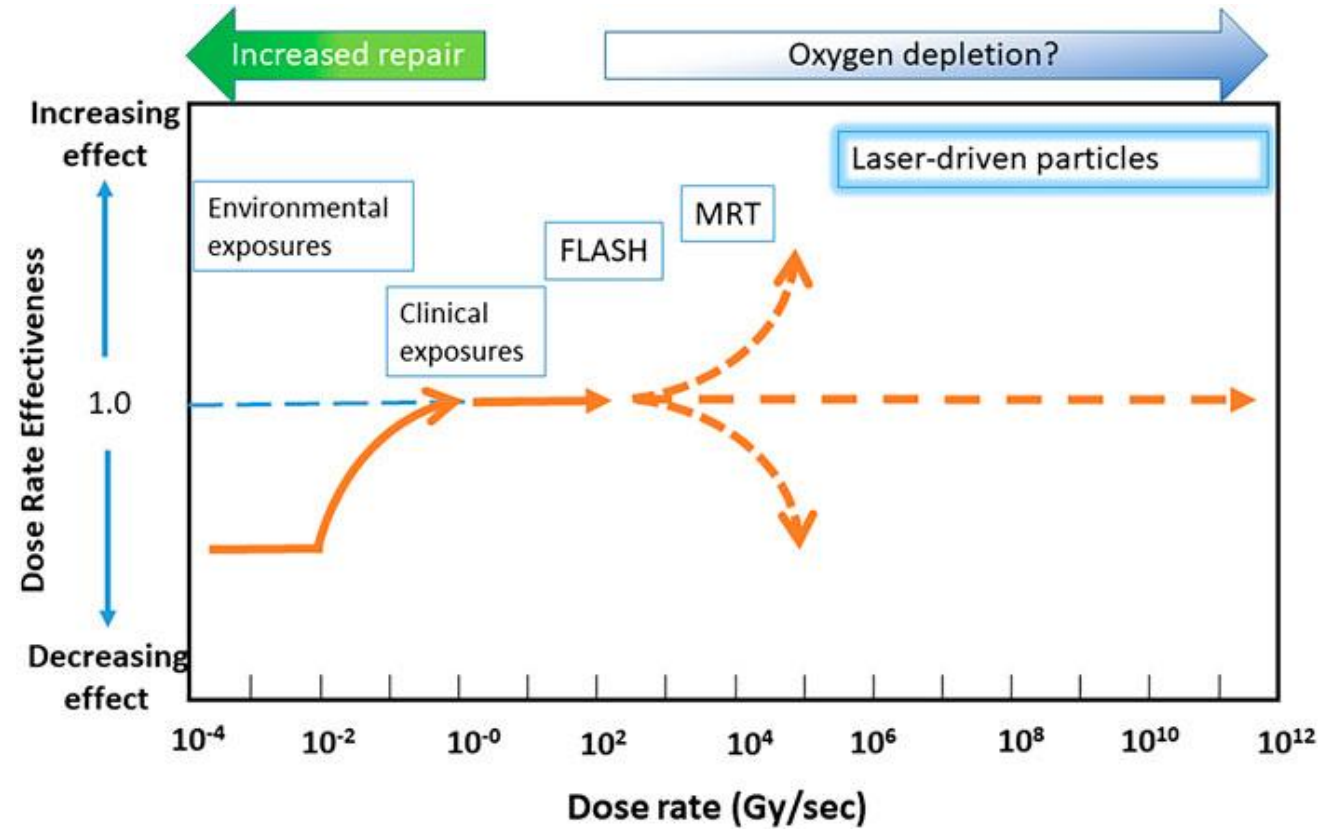
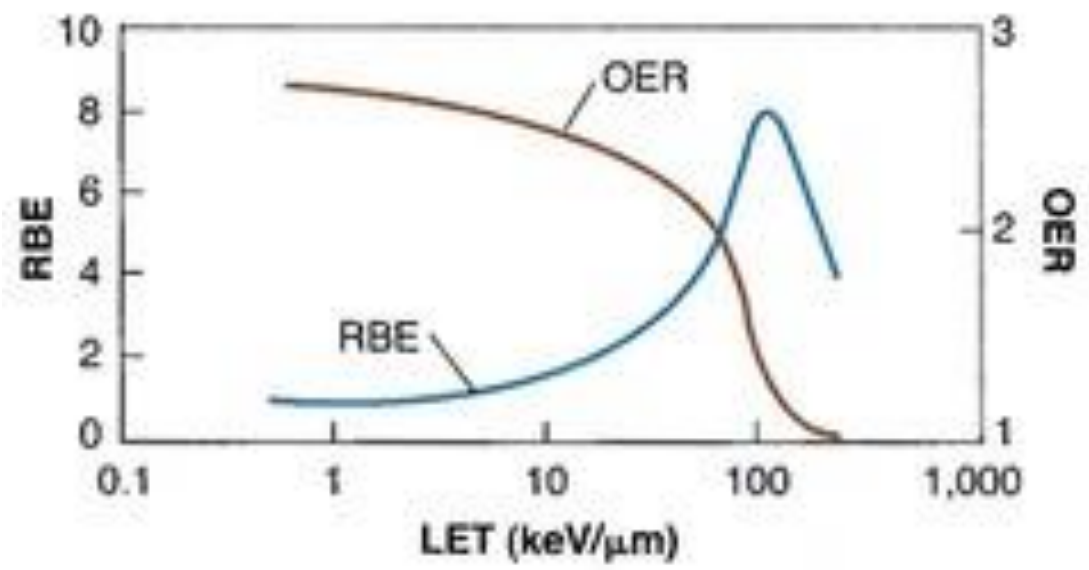
The background of the slide is a close-up photograph of water ripples. The ripples are concentric and spread out from a central point, creating a pattern of light and dark blue-green tones. The water surface is slightly textured, and the lighting creates a shimmering effect on the peaks of the ripples.

Проучвания

Моделиране на
експерименти

Резултати от
експерименти

Ефективност на въздействието



Радиационни с дози с висока мощност за радиотерапия

- Брахитерапия на простата с ^{192}Ir
- Лъчетерапия с миниатюрни полета фотони.
- Flash лъчетерапия с електрони.

Потенциал за развитие

- Flash лъчетерапия с протони.

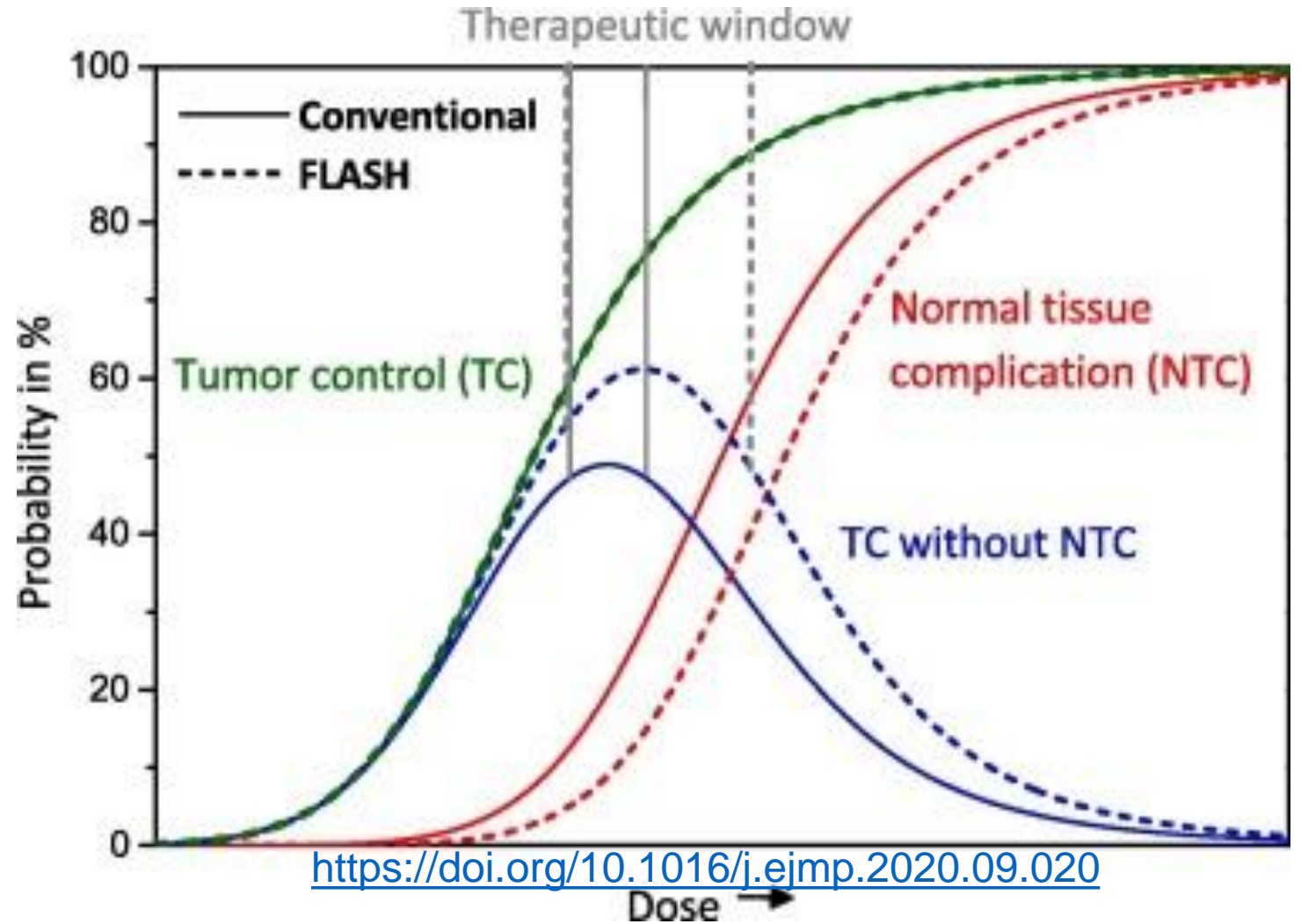
Flash лучетерапия

За една фракция:

$$D > 10 \text{ Gy};$$

$$t < 250 \text{ ms};$$

$$\Rightarrow \frac{\partial}{\partial t} D > 40 \text{ Gy/s}.$$



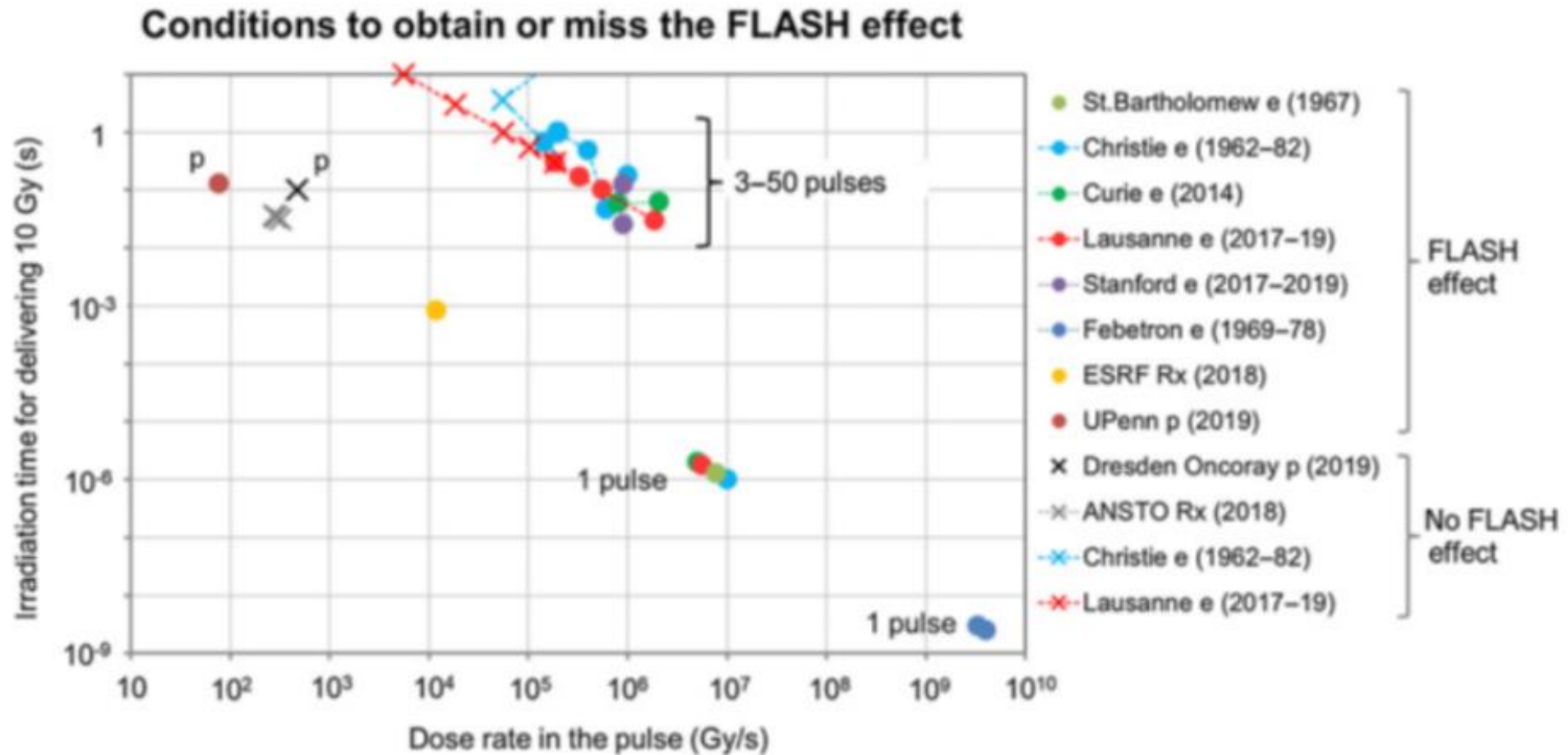
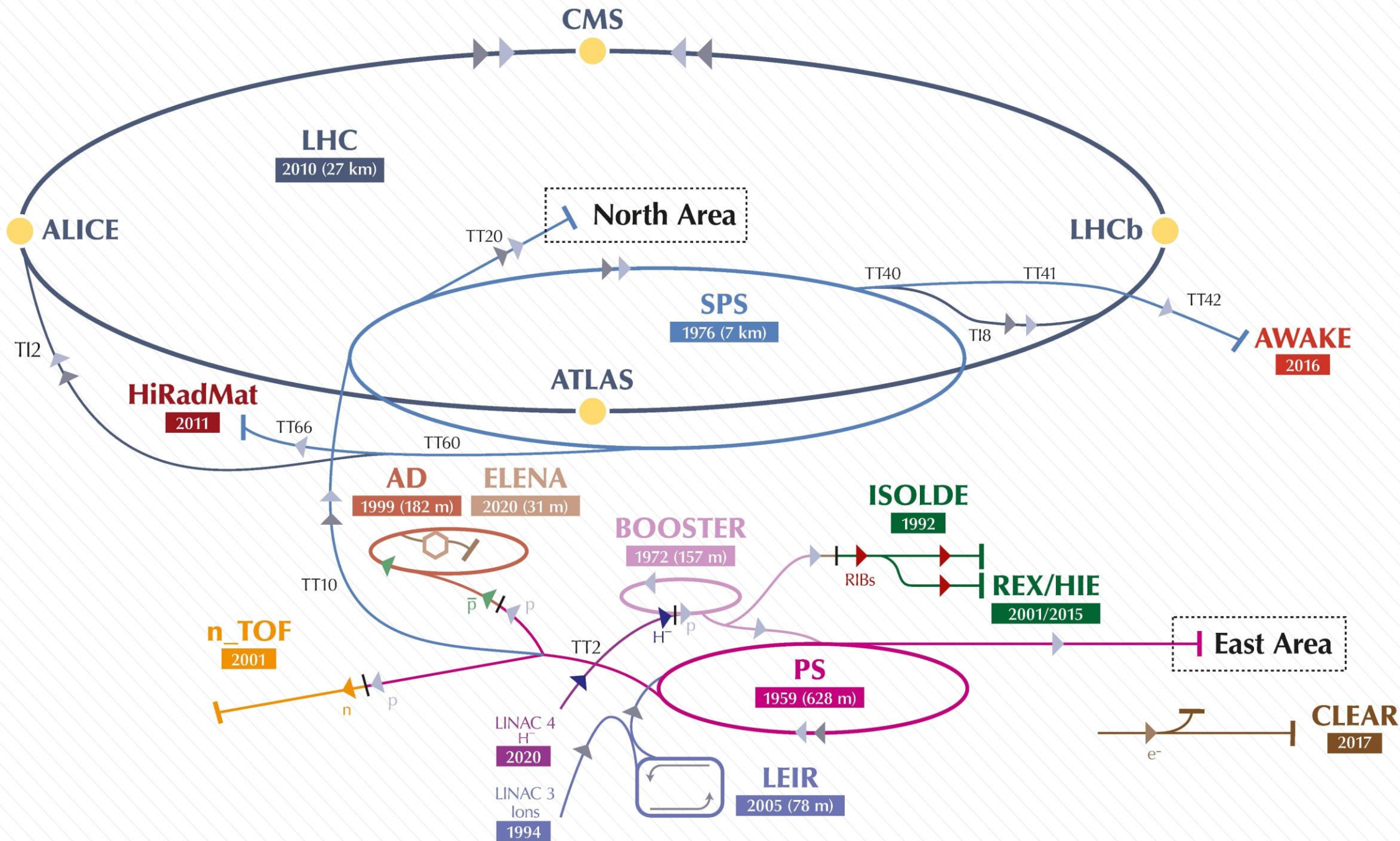
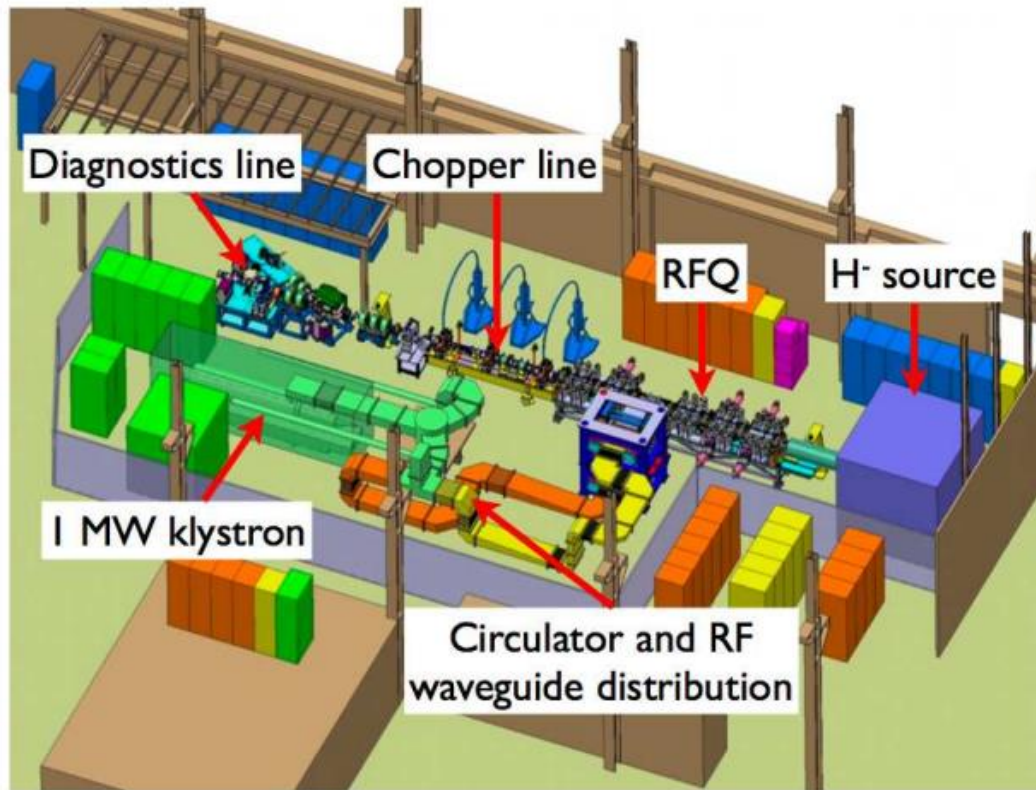


Figure 1. Summary of preclinical studies at different accelerator facilities with different radiation types (right panel). Note the irradiation time for delivering 10 Gy on the vertical axis and the instantaneous dose rate on the horizontal axis. The FLASH effect begins at $\sim 10^5$ Gy/sec dose rate during the pulse and a < 1 sec delivery time, where 0.1 s duration and 10^6 /s instantaneous dose rate are firmly in the FLASH region. FLASH effects were seen



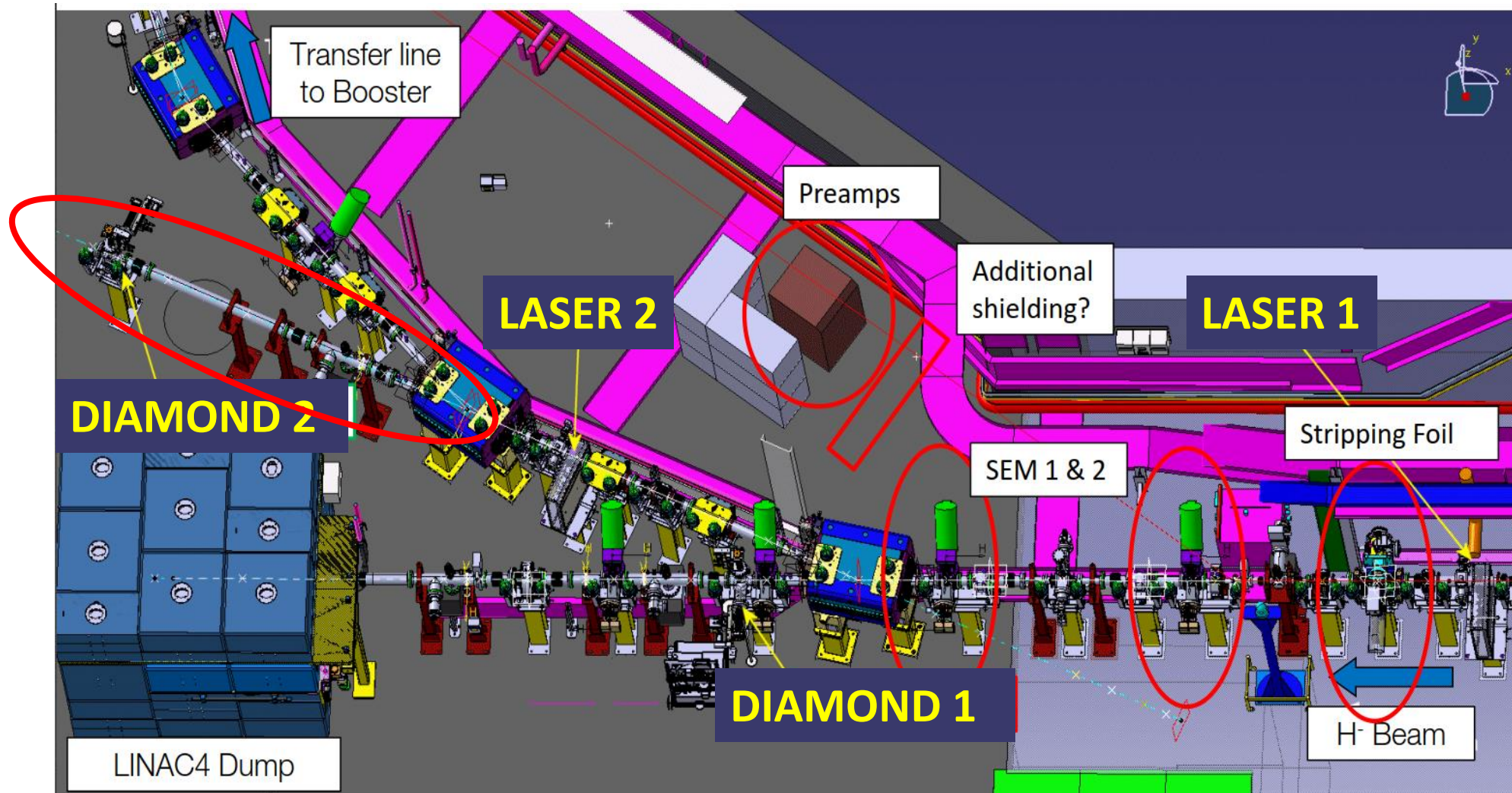
Проектни параметри на работа на Linac4



Избрани параметри на йонния сноп от Linac4

Ion species	H ⁻
Output energy	160 MeV
Bunch frequency	352.2 MHz
Max. rep.-rate	2 Hz
Beam pulse length	400 μs
Linac current	40 mA
Average current	0.032 mA
Beam power	5.1 kW
No. particles per pulse	1.00×10^{14}
No. particles per bunch	1.14×10^9

L4X line

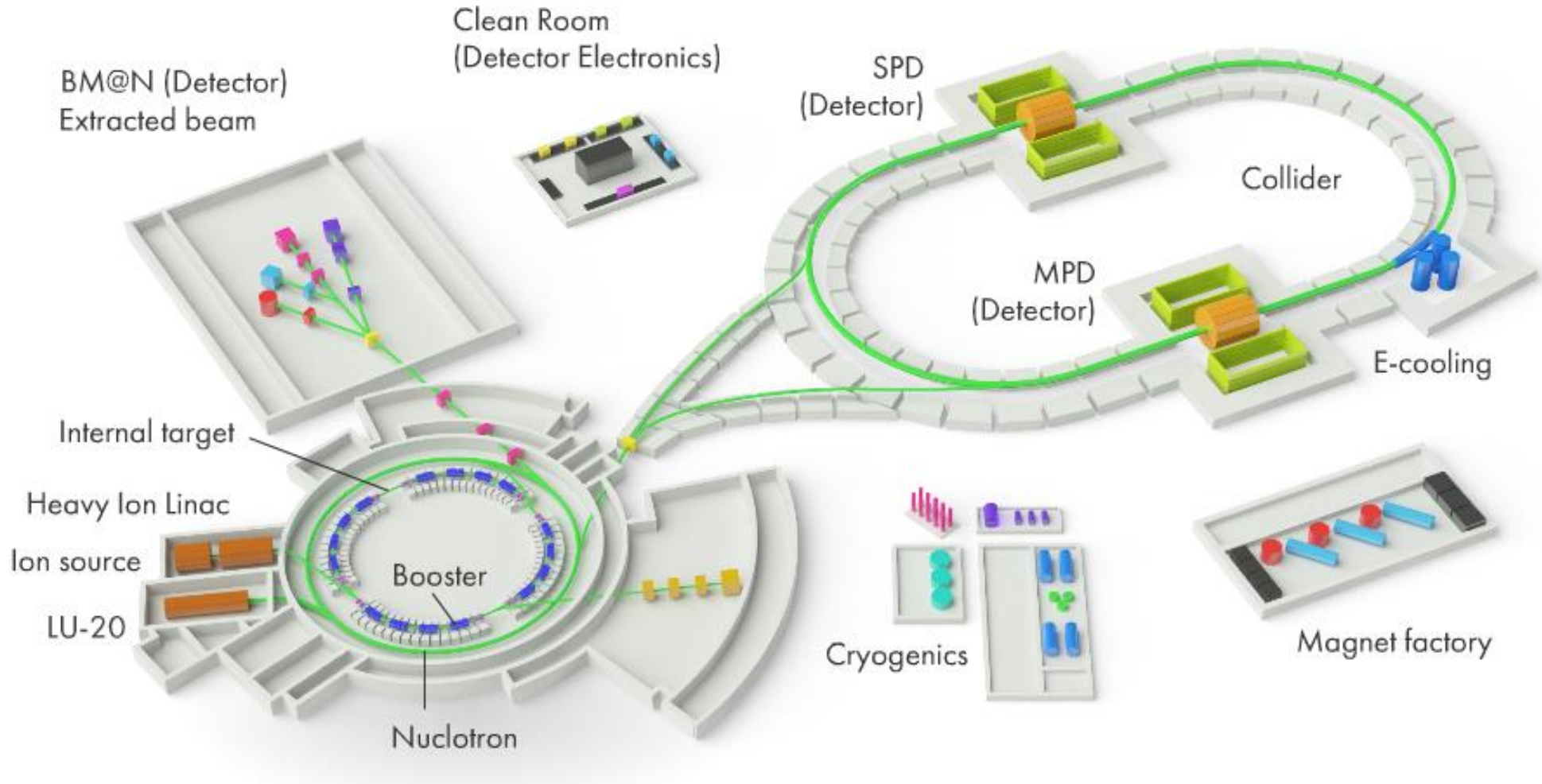


Линия за трансфер



Линия за
диагностика

NICA Complex



Polarised beams

- LU-20
- Nuclotron
- Extracted beam
- Internal target station
- SPD (Detector)

Heavy Ions

- Ion source (KRION-6T)
- Heavy Ion Linac (HILac)
- Booster
- BM@N (Detector)
- MPD (Detector)

Collider

- E-cooling
- Cryogenics
- Magnet factory

<https://nica.jinr.ru/complex.php>

Параметри на работа на Nuclotron

Протон синхротрон ускорителя Nuclotron SC има три режима на работа:

Ускоряване на тежки йони до енергии за прехвърляне към колайдера

тежки йони	$U_{92}^+, Pb_{82}^+, Au_{79}^+$
ускорение	от 0,6 до 1–4,5 GeV/u
интензивност на снопа	$\sim 1-1.5 \times 10^9$

Ускоряване на поляризирани протони и деутерони до енергии за прехвърляне към колайдера

ускоряване на поляризиран протонен лъч	от 20 MeV до 12 GeV
ускоряване на неполяризиран деутерон лъч	от 5 MeV/u до 5.6 GeV/u
интензивност на снопа	$\sim 10^{10}$

Ускоряване на леки и тежки йони до енергии за вътрешни целеви експерименти (бавно извличане към фиксирани целеви експерименти)

Използвани приложения за МК симулации на взаимодействия на йонизиращи лъчения с материя

➤ Geant4

➤ VIS

➤ FLUKA

➤ flair

➤ ROOT

Модел на експеримент А

G4 Монте Карло симулация на взаимодействие
на:

сноп протони,

с кинетична енергия

$(V_x = 0; V_y = 0; V_z = 160)$ MeV,

и плътност на заряда

$\sigma_x = 15$ mm, $\sigma_y = 30$ mm

със

вода,

в правоъгълен обем

с размери

$(X = 10; Y = 10; Z = 20)$ cm

Параметри на
симулация за
експеримент А

Модел за взаимодействия QGSP_BERT

Проследимост на частици до 1 nm

Протон с начална кинетична енергия

$$(V_x = 0; V_y = 0; V_z = 160) \text{ MeV},$$

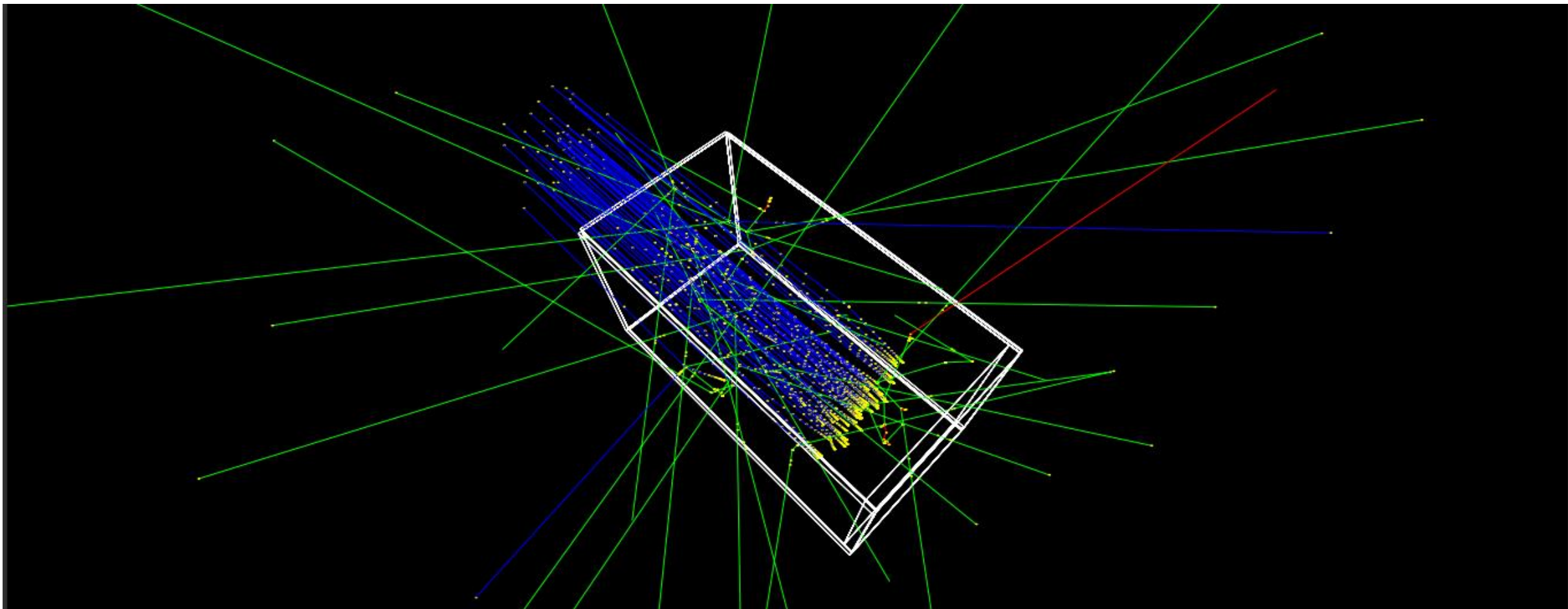
стартира от позиция

$$X = \text{Gauss}(\sigma = 15 \text{ mm});$$

$$Y = \text{Gauss}(\sigma = 30 \text{ mm});$$

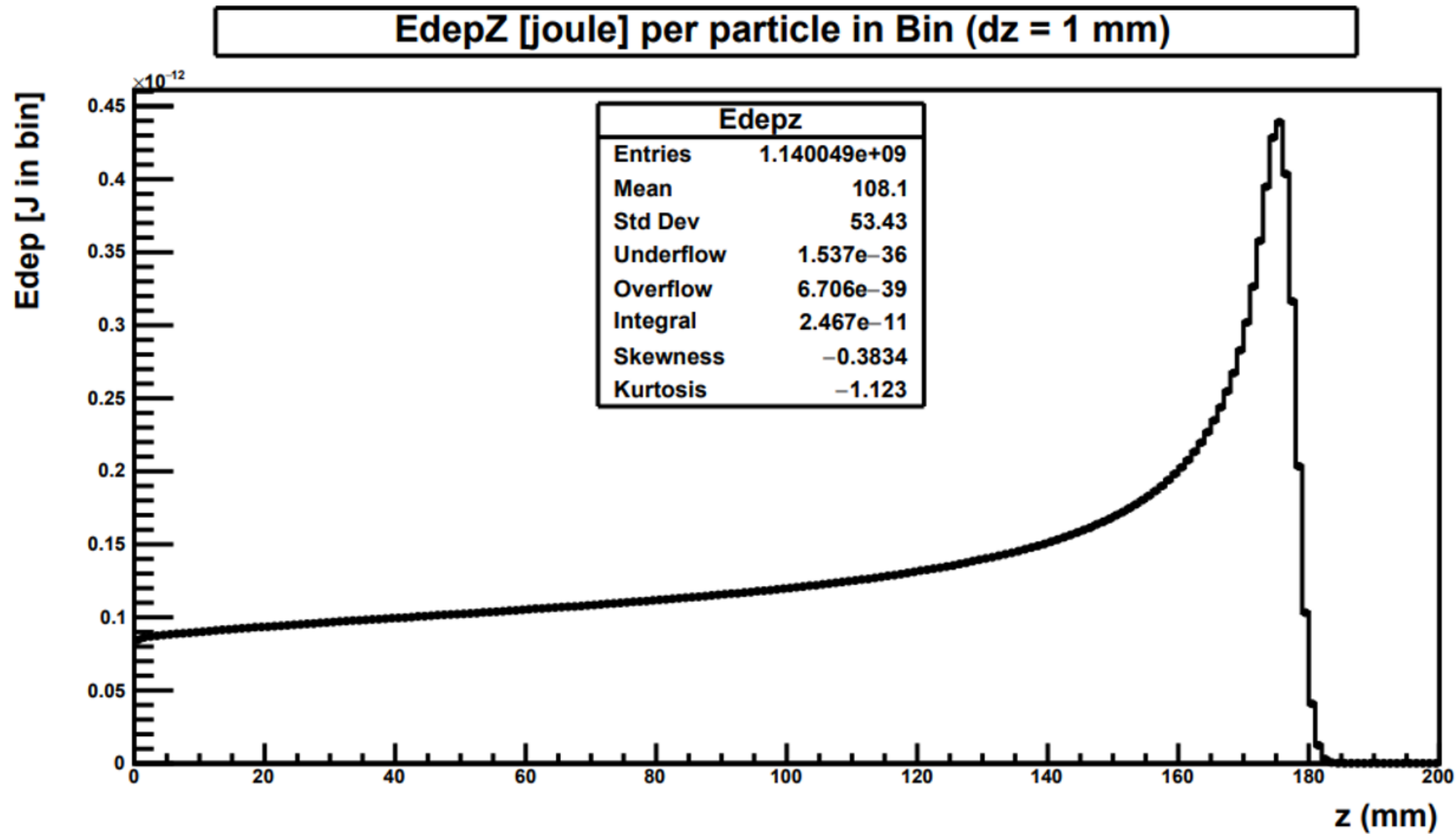
$$Z = -210 \text{ mm}$$

Брой независими стартирания 10^6

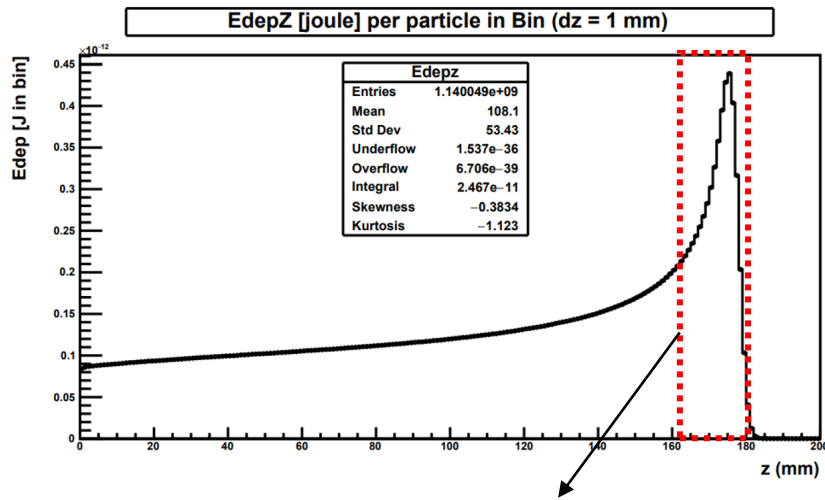


Визуализация на симулация за
експеримент А

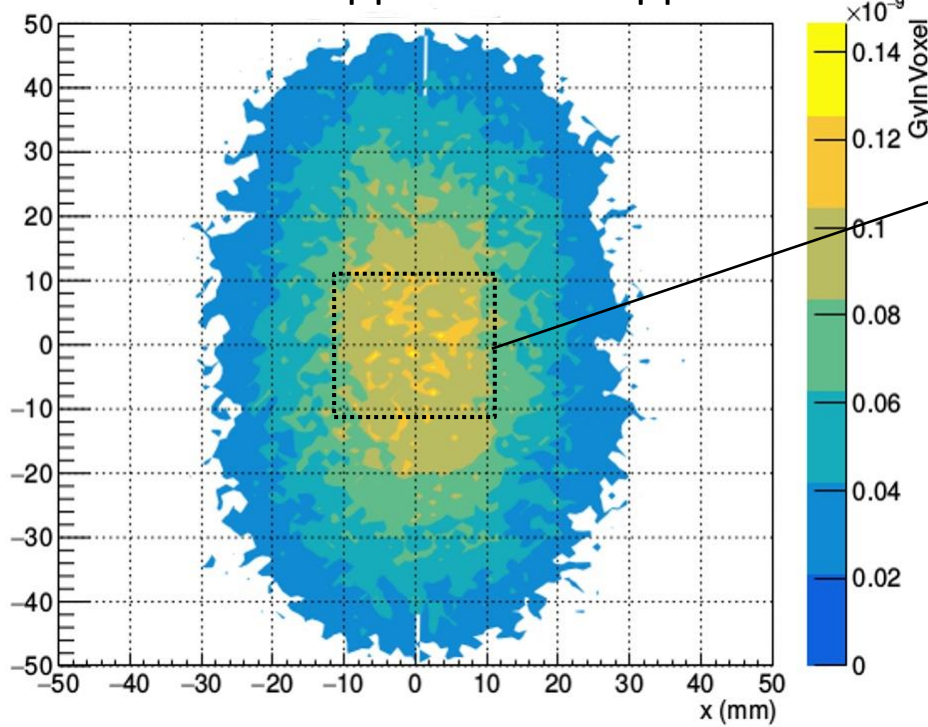
Резултати от МК симулация за експеримент А



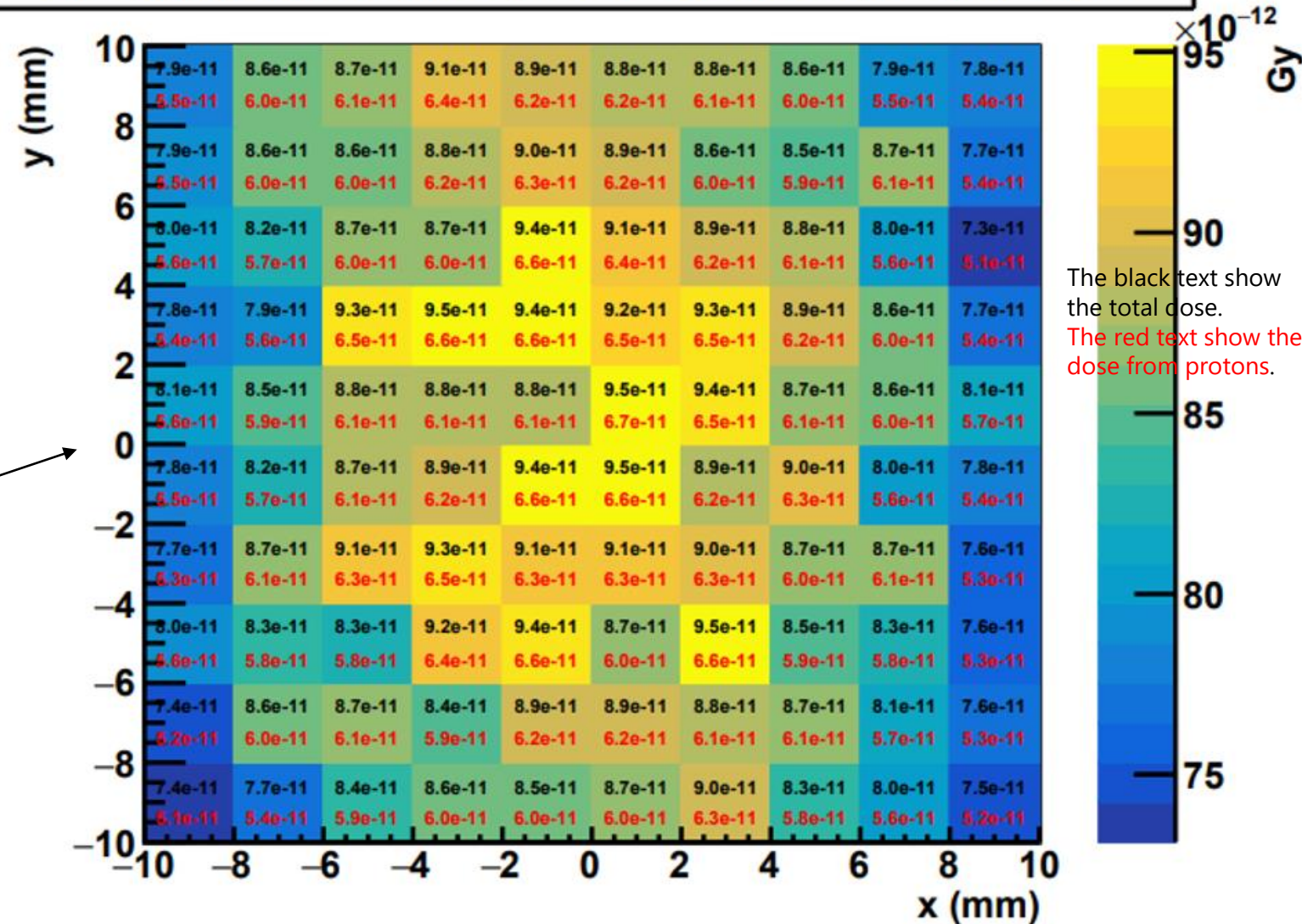
Резултати от МК симулация за експеримент А



ЛОКАЛНА ДОЗА ВЪВ ВОДА



Dose (x,y,dz) per particle from SigmaXY Pulse, 15x30 mm, dz = [160:180] mm



Заключение от експеримент А

Локализирани са позицията и размера на Пика на Бряг във вода от сноп протони ускорени от Linac 4.

Направена е оценка на разпределението на интегралната и локалната доза във вода за единица заряд от сноп протони ускорени от Linac 4

Модел на
експеримент В

FLUKA Монте Карло симулация на
взаимодействие на:

сноп протони,

с кинетична енергия

$(V_x = 0; V_y = 0; V_z = 160)$ MeV,

и плътност на заряда

$\sigma_x = 15 \text{ mm}, \sigma_y = 30 \text{ mm}$

със

дигитален фантом

разработен по проект.

Параметри на
симулация за
експеримент В

Physics settings: DEFAULTS: PRECISIO

[FLUKA Manual and Basic input \(cern.ch\)](http://cern.ch)

Протон с начална кинетична енергия

$$(V_x = 0; V_y = 0; V_z = 160) \text{ MeV},$$

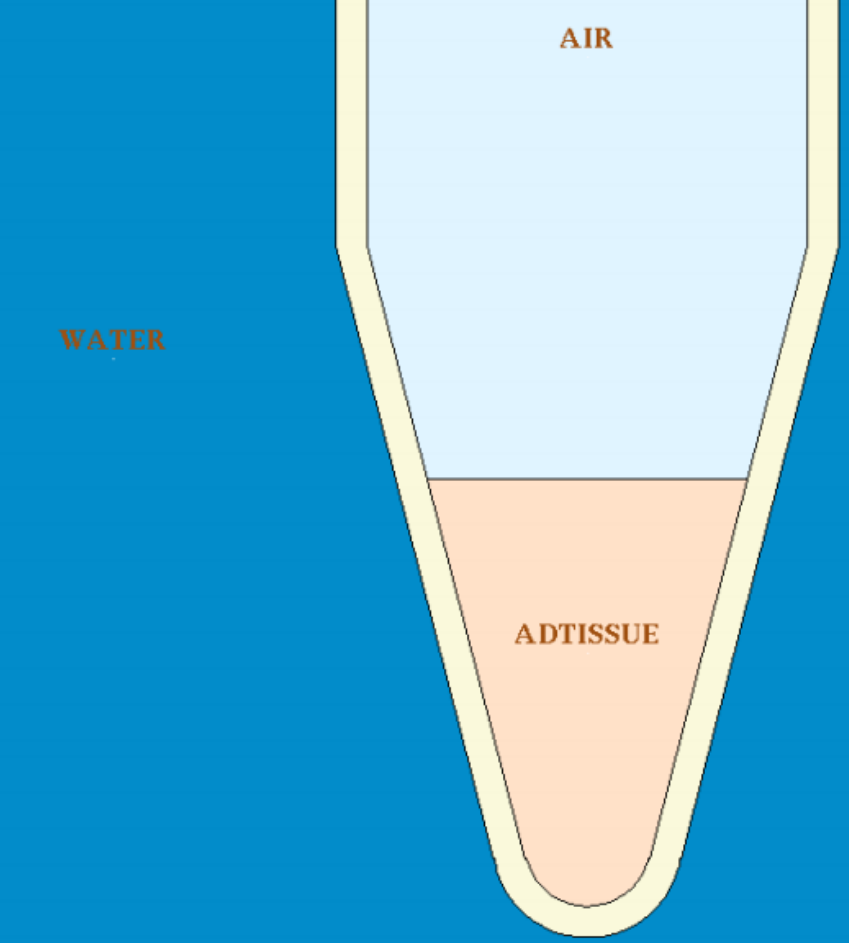
стартира от позиция

$$X = \text{Gauss}(\sigma = 15 \text{ mm});$$

$$Y = \text{Gauss}(\sigma = 30 \text{ mm});$$

$$Z = 0 \text{ mm}$$

Брой независими стартирания 100 × 1000

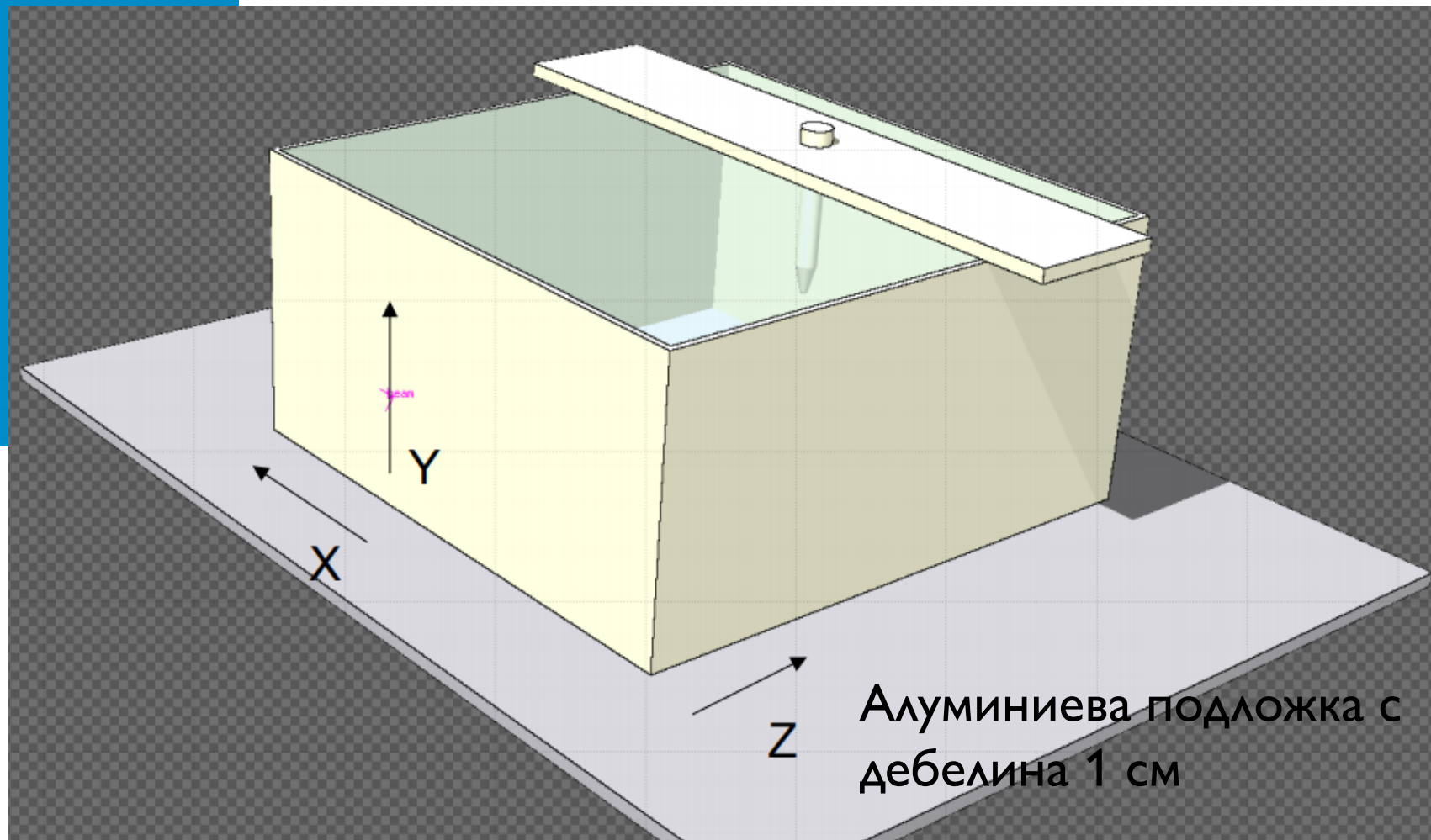


Дигитален фантом

Контейнер за вода (PMMA)

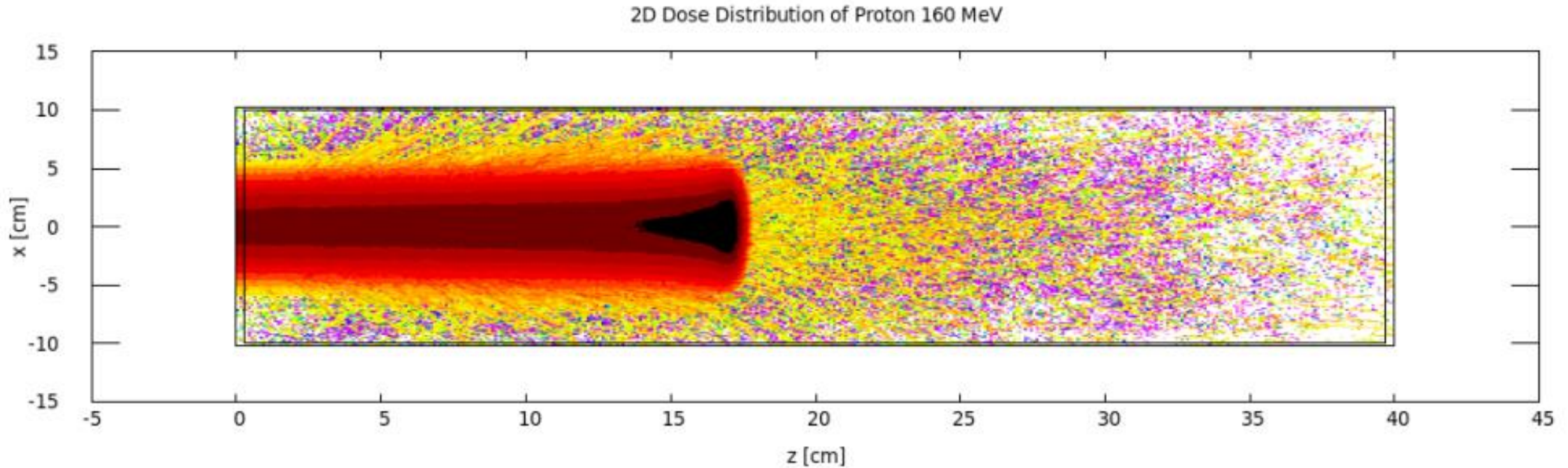
- Напречно сечение $40 \times 20 \text{ cm}^2$
- Дължина 40 cm
- дебелина на стените 0.5 cm

Позиция на върха на
куветата по оста Y
(10.6) cm



Алуминиева подложка с
дебелина 1 cm

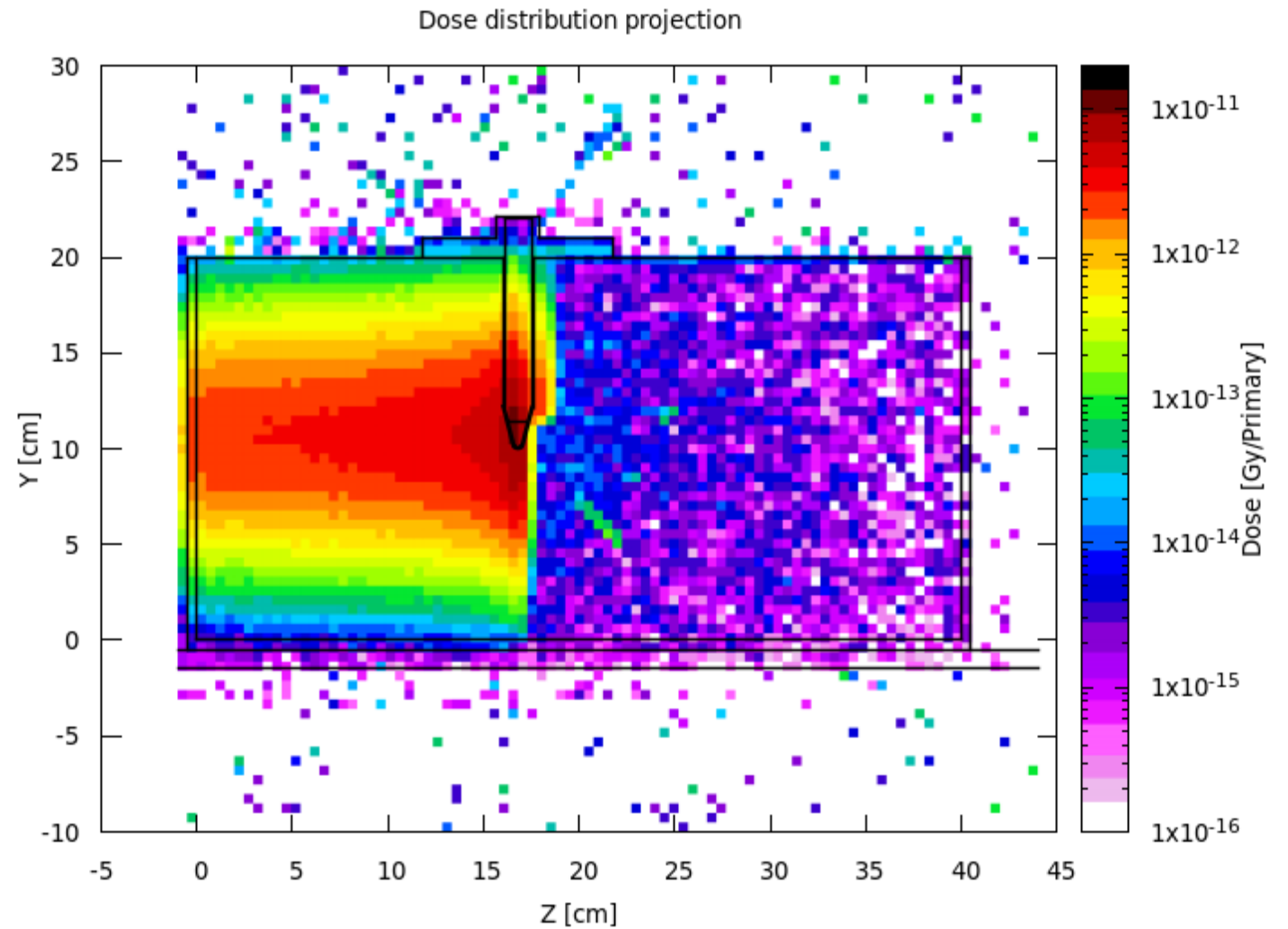
Резултати от МК симулация за експеримент В



Разпределение в надлъжно направление на интегралната доза по оста Y

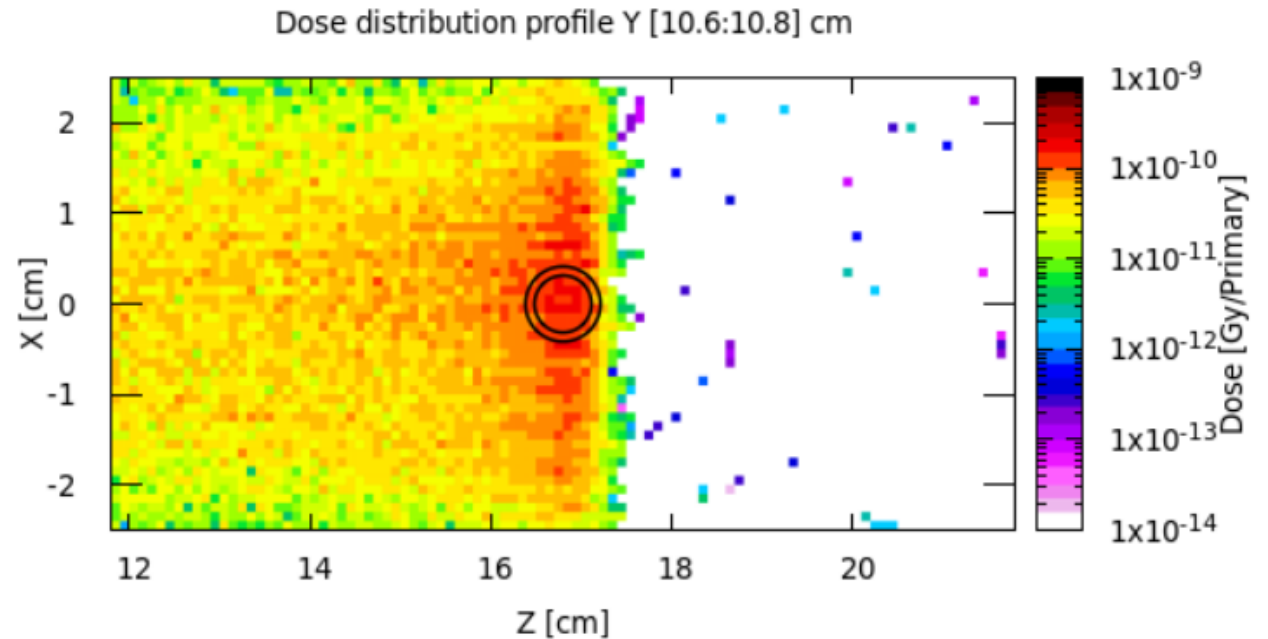
Резултати от МК симулация за експеримент В

Разпределение в надлъжно
направление, на
интегралната доза по оста X



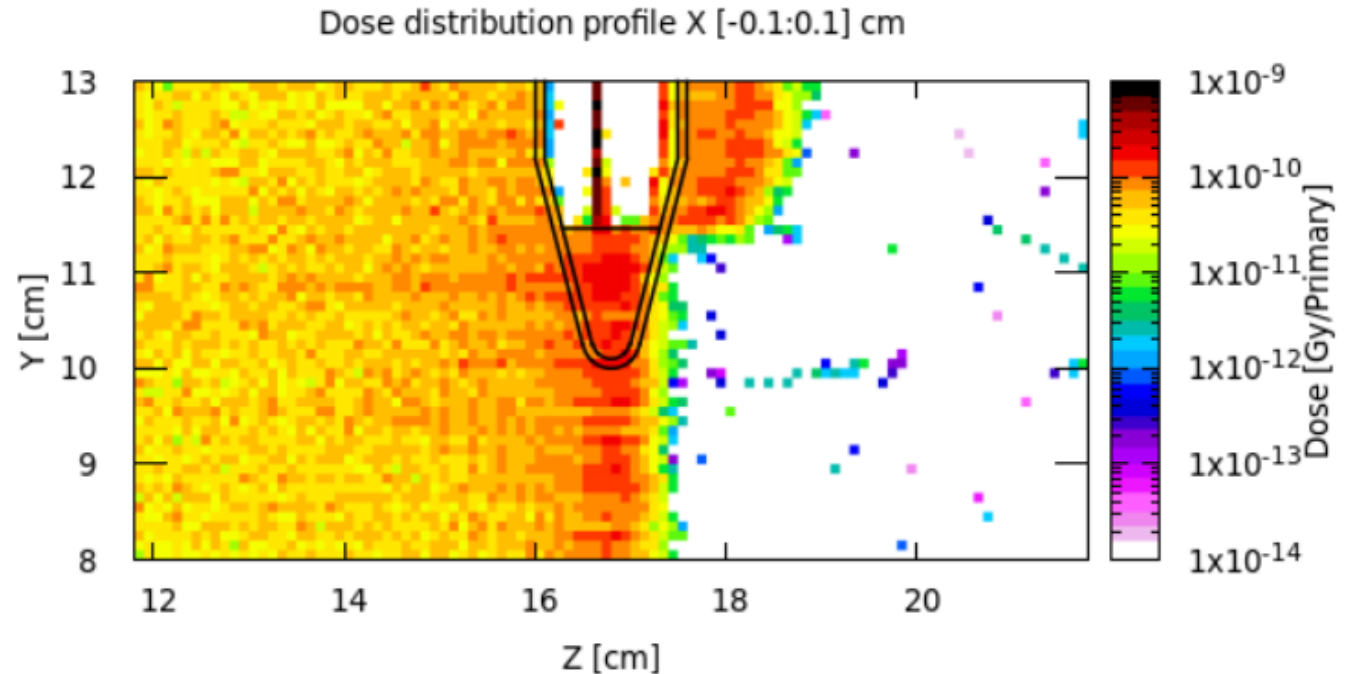
Резултати от МК симулация за експеримент В

Разпределение на
локалната доза, в централен
надлъжен срез от оста Y със
дебелина 0.2 cm и размер
на воксела 0.1 x 0.1 cm



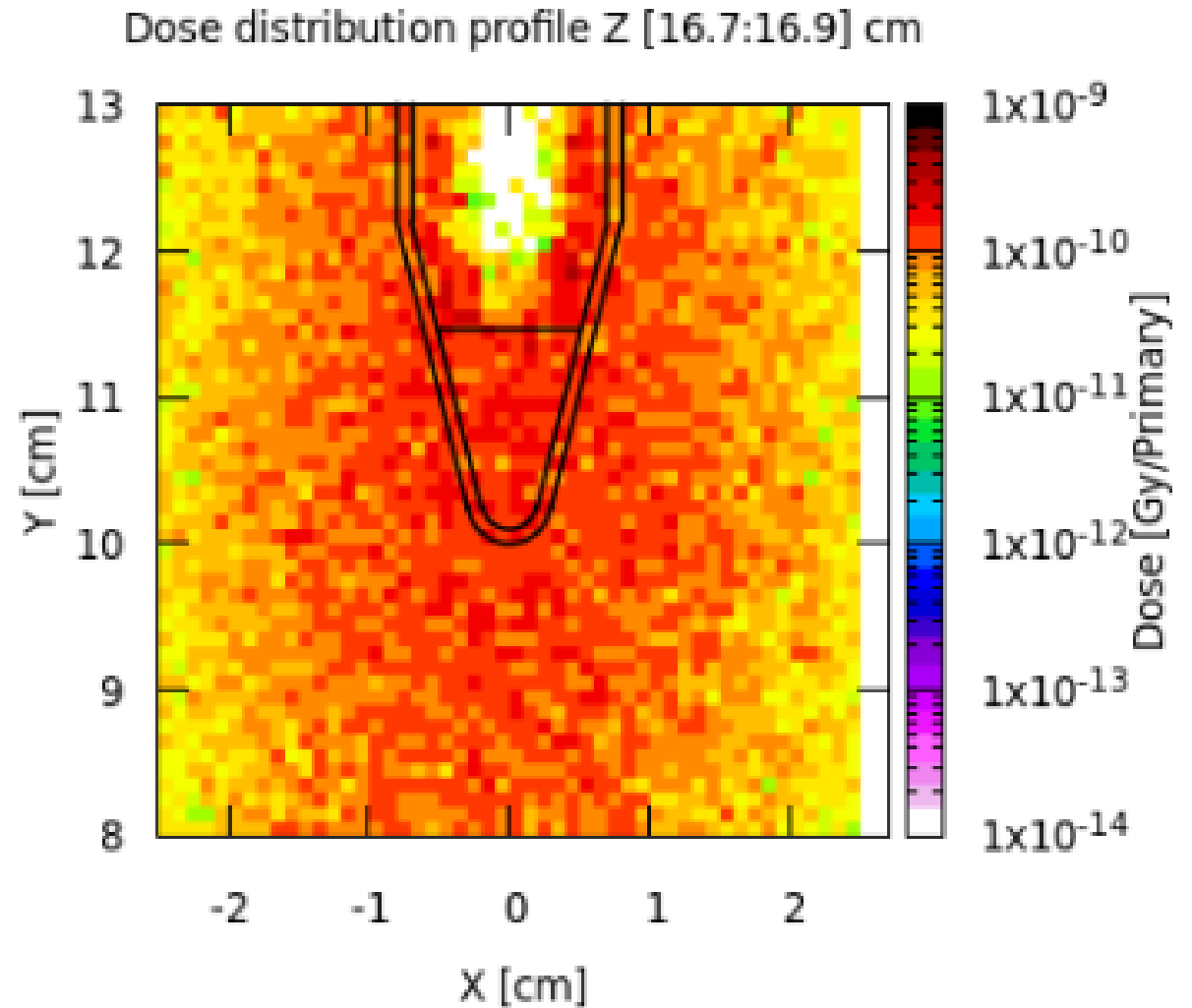
Резултати от МК симулация за експеримент В

Разпределение на
локалната доза, в централен
надлъжен срез от оста X със
дебелина 0.2 cm и размер
на воксела 0.1 x 0.1 cm



Резултати от МК симулация за експеримент В

Разпределение на
локалната доза, в областта
на максимум в Пика на Бряг,
в напречен срез със
дебелина 0.2 cm и размер
на воксела 0.1 x 0.1 cm



Заклучение от експеримент В

Ширината и интензитета на сноп
протони ускорени от Linac 4 са
подходящи за изследване на
радиобиологични зависимости при
flash облъчване с протони.

Модел на
експеримент С

G4 Монте Карло симулация на взаимодействие
на:

сноп въглеродни йони,

с кинетична енергия

$(V_x = 0; V_y = 0; V_z = 430)$ MeV/n,

и плътност на заряда

$\sigma_x = 40$ mm, $\sigma_y = 40$ mm

със

вода,

в правоъгълен обем

с размери

$(X = 20; Y = 20; Z = 40)$ cm

Параметри на
симулация за
експеримент С

Модел за взаимодействия QGSP_BERT

Проследимост на частици до 1 nm

Въглероден йон с начална кинетична енергия

$$(V_x = 0; V_y = 0; V_z = 430) \text{ MeV/n,}$$

стартира от позиция

$$X = \text{Gauss}(\sigma = 40 \text{ mm});$$

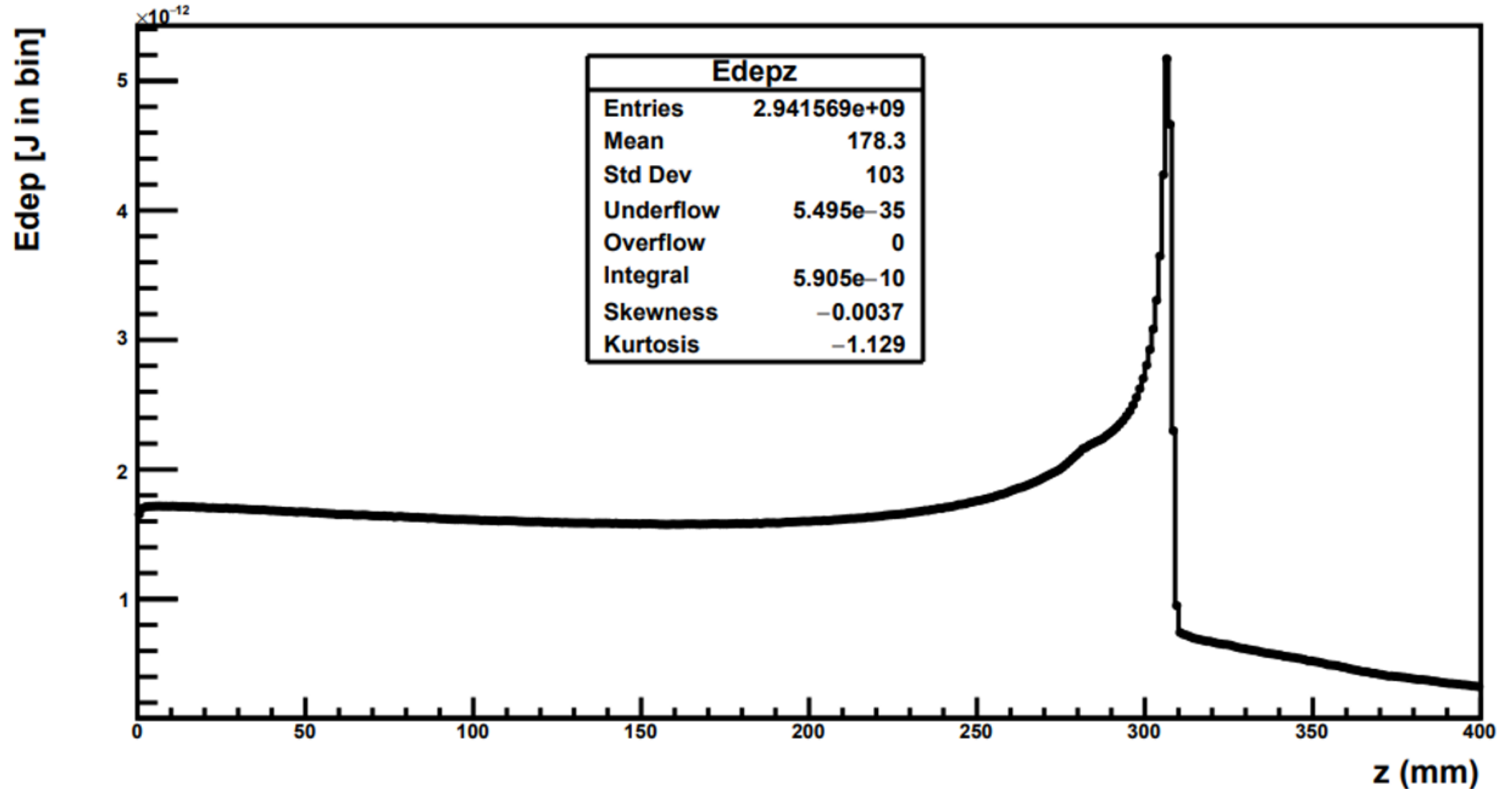
$$Y = \text{Gauss}(\sigma = 40 \text{ mm});$$

$$Z = -310 \text{ mm}$$

Брой независими стартирания 10^5

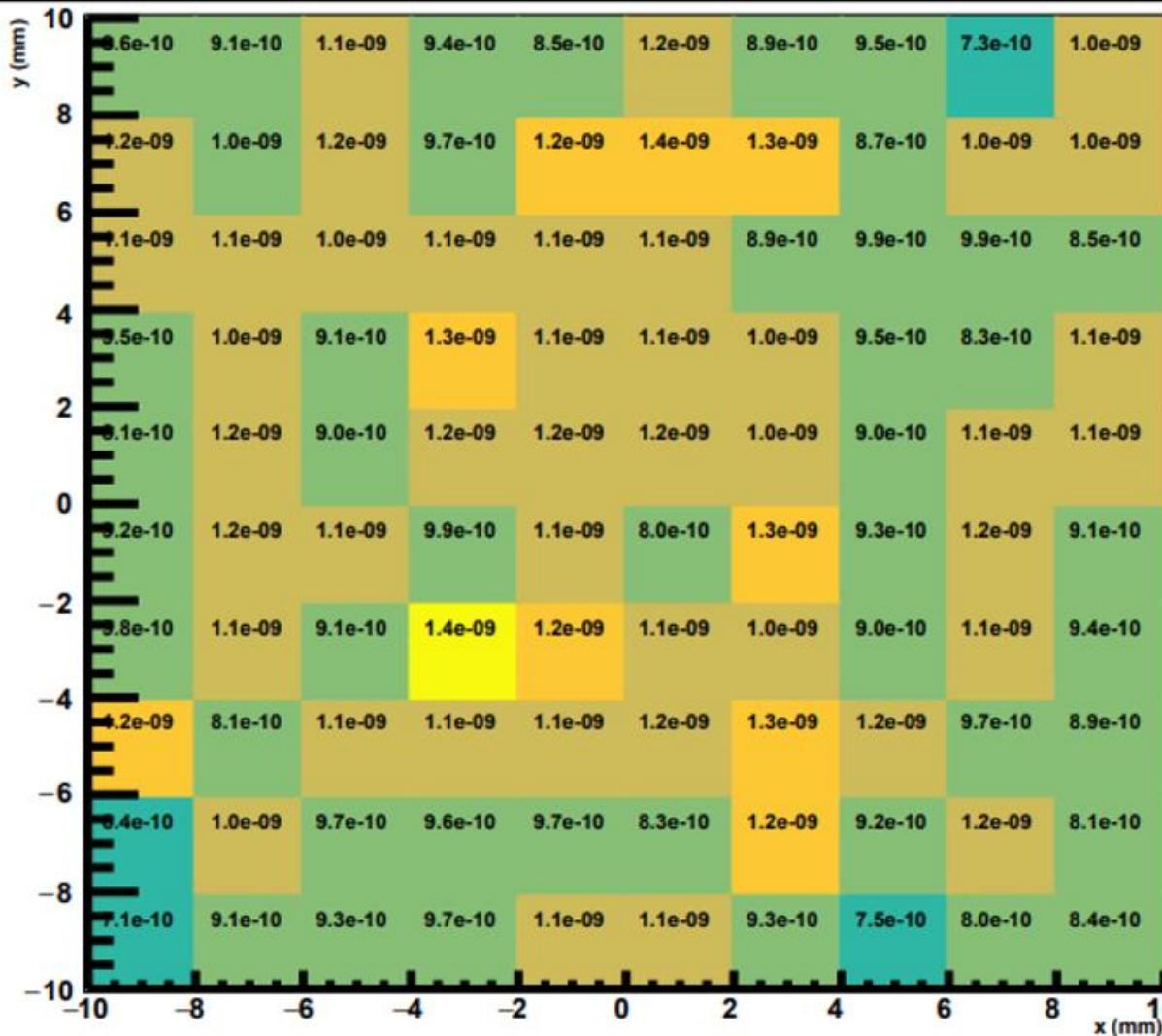
Резултати от МК симулация за експеримент С

EdepZ [joule] per particle in Bin (dz = 1 mm),

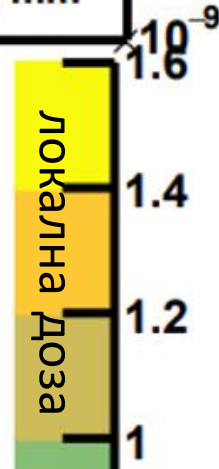


Резултати от МК симулация за експеримент С

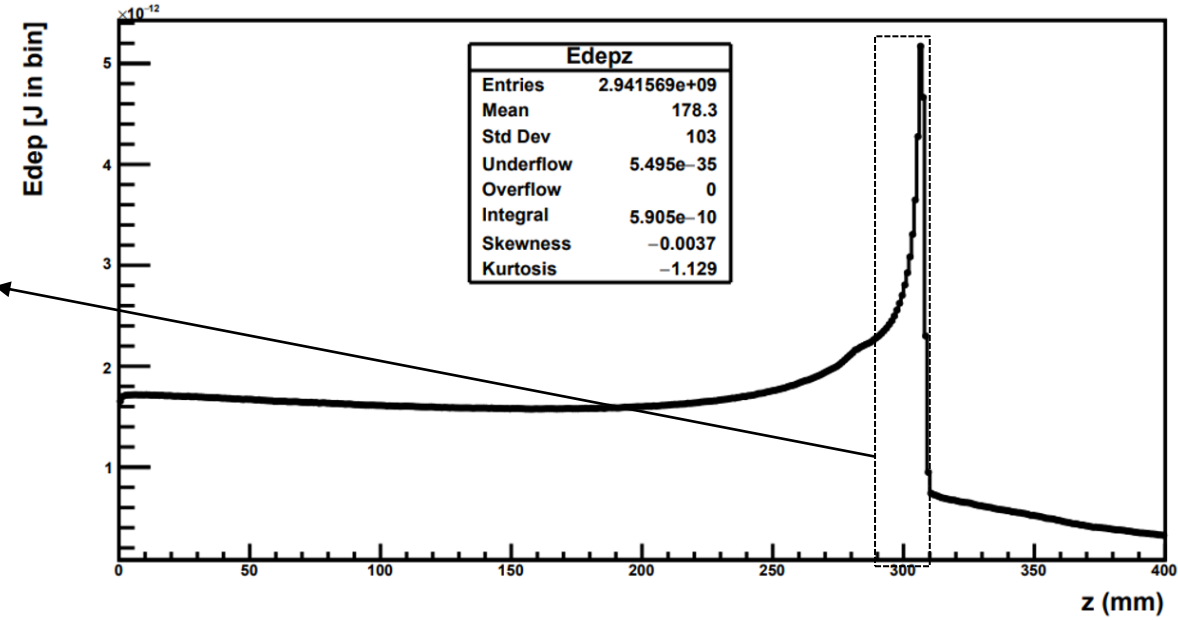
Dose (x,y,dz) per particle {ion-12C, 430 MeV/u} from pulse {SigmaXY: 40 x 40 mm}, dz = [290:310) mm



Mean x	-0.04018
Mean y	0.1053
Std Dev x	5.614
Std Dev y	5.638



EdepZ [joule] per particle in Bin (dz = 1 mm)



Заключение от експеримент С

Локализираны са позицията и размера на Пика на Бряг във вода от широк сноп въглеродни йони ускорени от Nuclotron до енергия 430 MeV/n.

Направена е оценка на разпределението на интегралната и локалната доза във вода за единица заряд от широк сноп въглеродни йони ускорени от Nuclotron до енергия 430 MeV/n.

Модел на
експеримент D

FLUKA Монте Карло симулация на
взаимодействие на:

сноп въглеродни йони,

с кинетична енергия

$(V_x = 0; V_y = 0; V_z = 430)$ MeV/n,

и плътност на заряда

$\sigma_x = 40 \text{ mm}, \sigma_y = 40 \text{ mm}$

със

дигитален фантом

разработен по проект.

Параметри на
симулация за
експеримент D

Physics settings: DEFAULTS: PRECISIO

[FLUKA Manual and Basic input \(cern.ch\)](http://cern.ch)

Въглероден йон с начална кинетична енергия

$$(V_x = 0; V_y = 0; V_z = 430) \text{ MeV/n,}$$

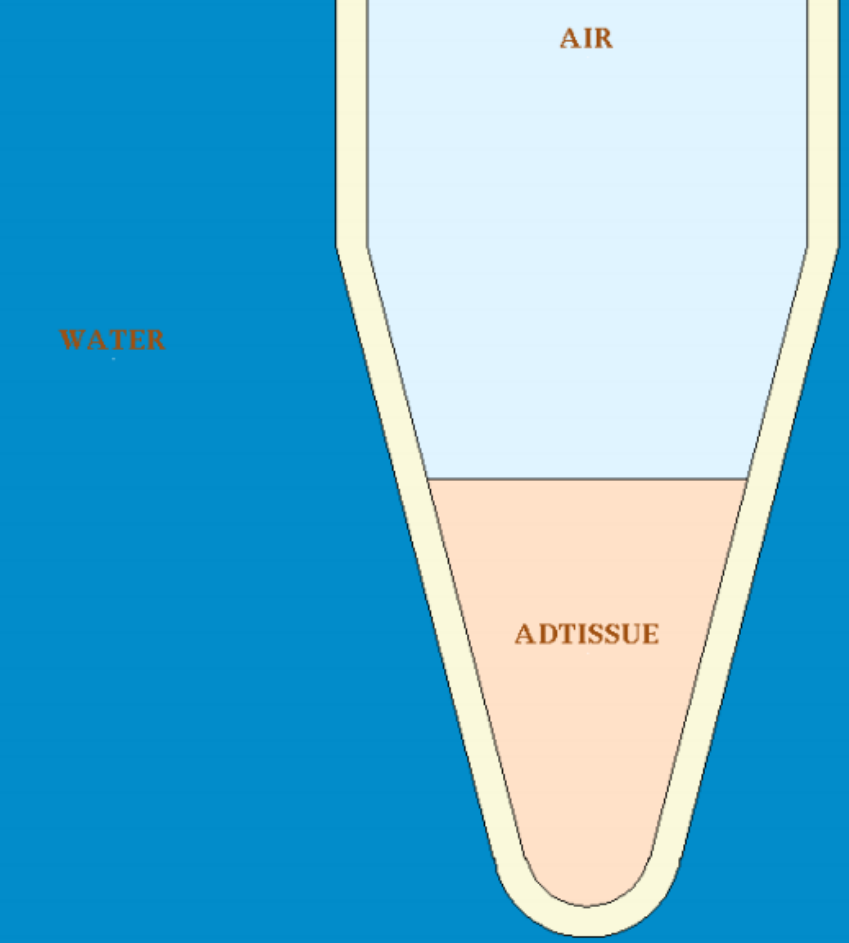
стартира от позиция

$$X = \text{Gauss}(\sigma = 40 \text{ mm});$$

$$Y = \text{Gauss}(\sigma = 40 \text{ mm});$$

$$Z = 0 \text{ mm}$$

Брой независими стартирания 100 × 1000

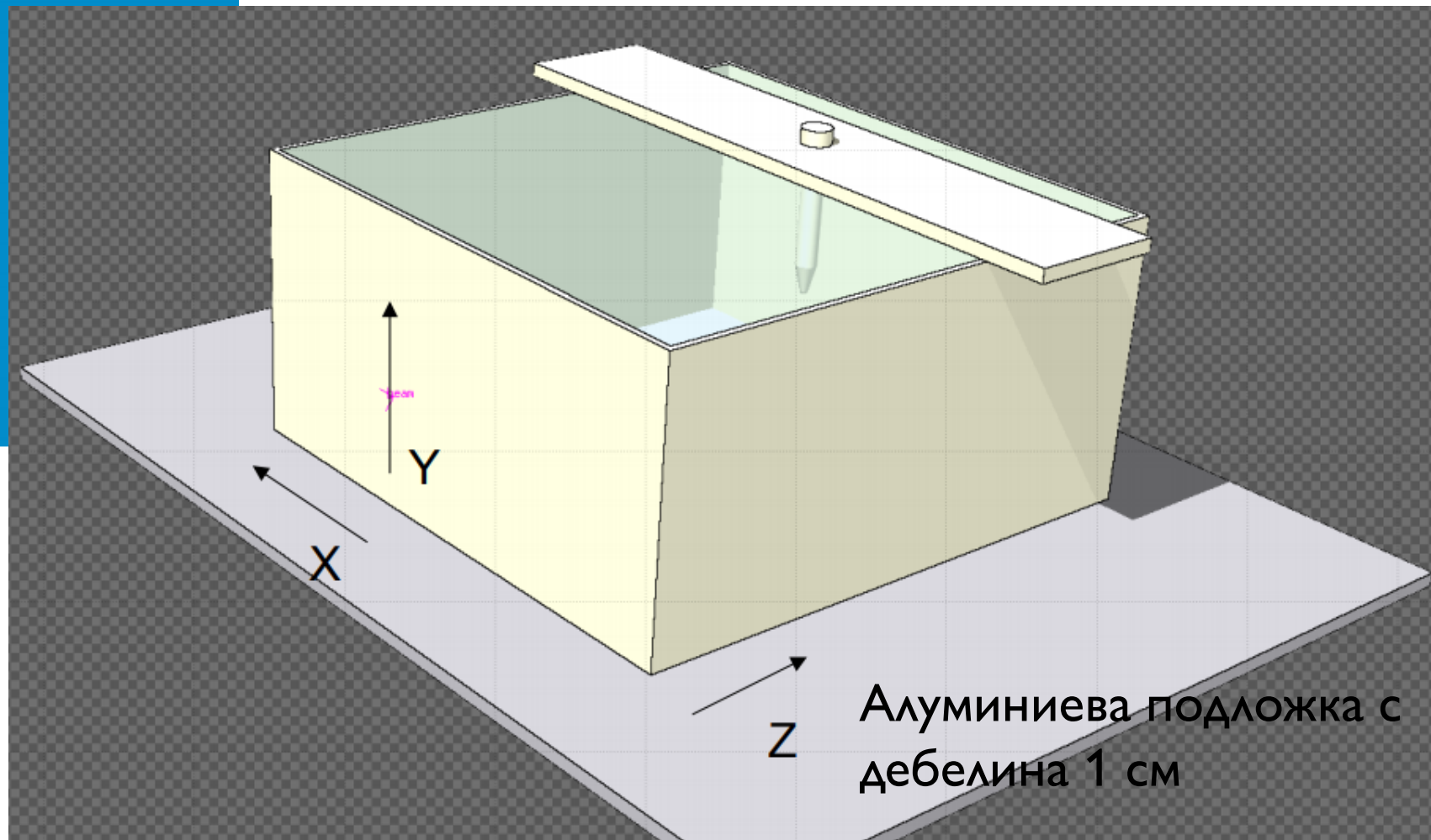


Дигитален фантом

Контейнер за вода (PMMA)

- Напречно сечение $40 \times 20 \text{ cm}^2$
- Дължина 40 cm
- дебелина на стените 0.5 cm

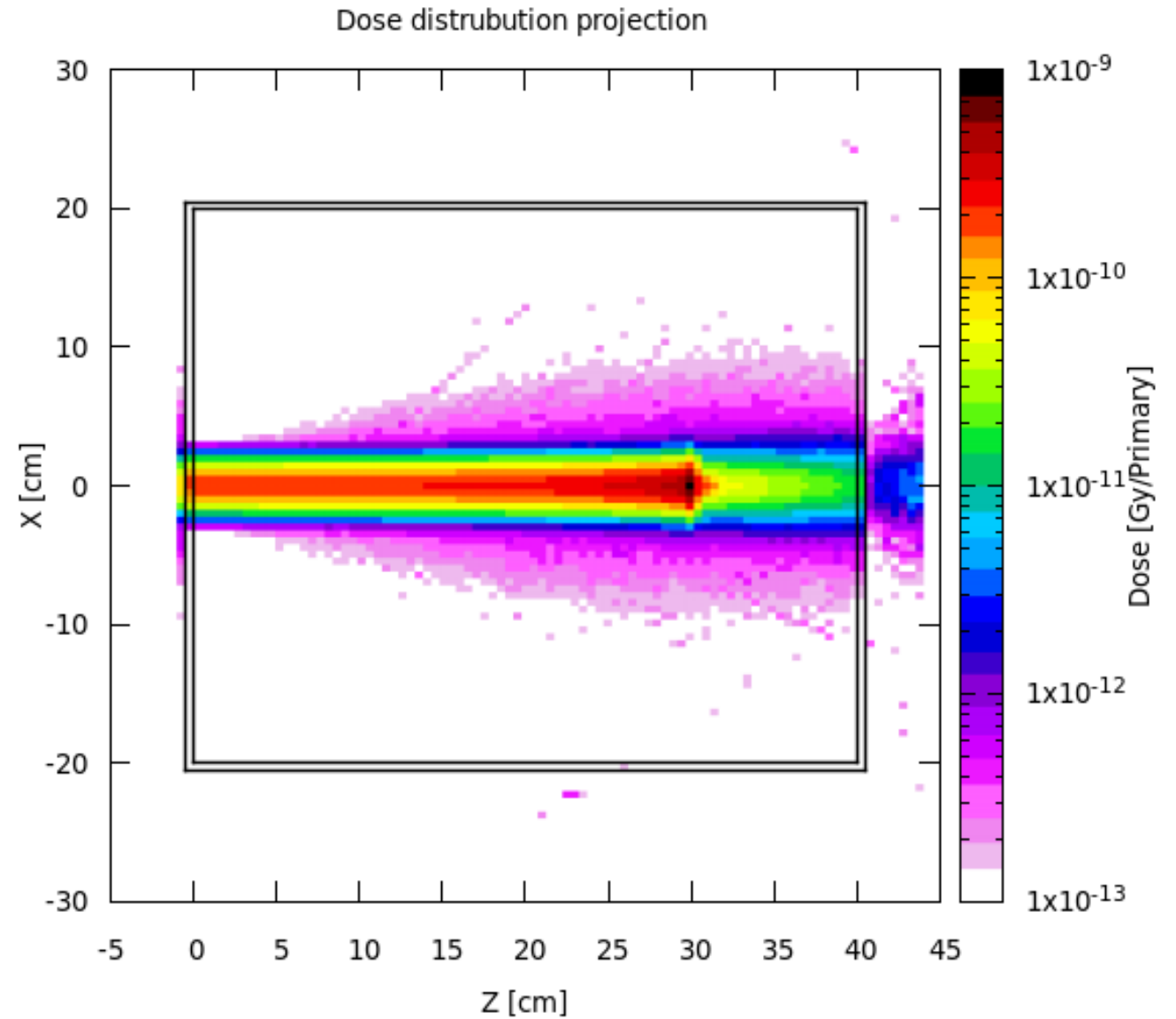
Позиция на върха на
куветата по оста Y
(10.6) cm



Алуминиева подложка с
дебелина 1 cm

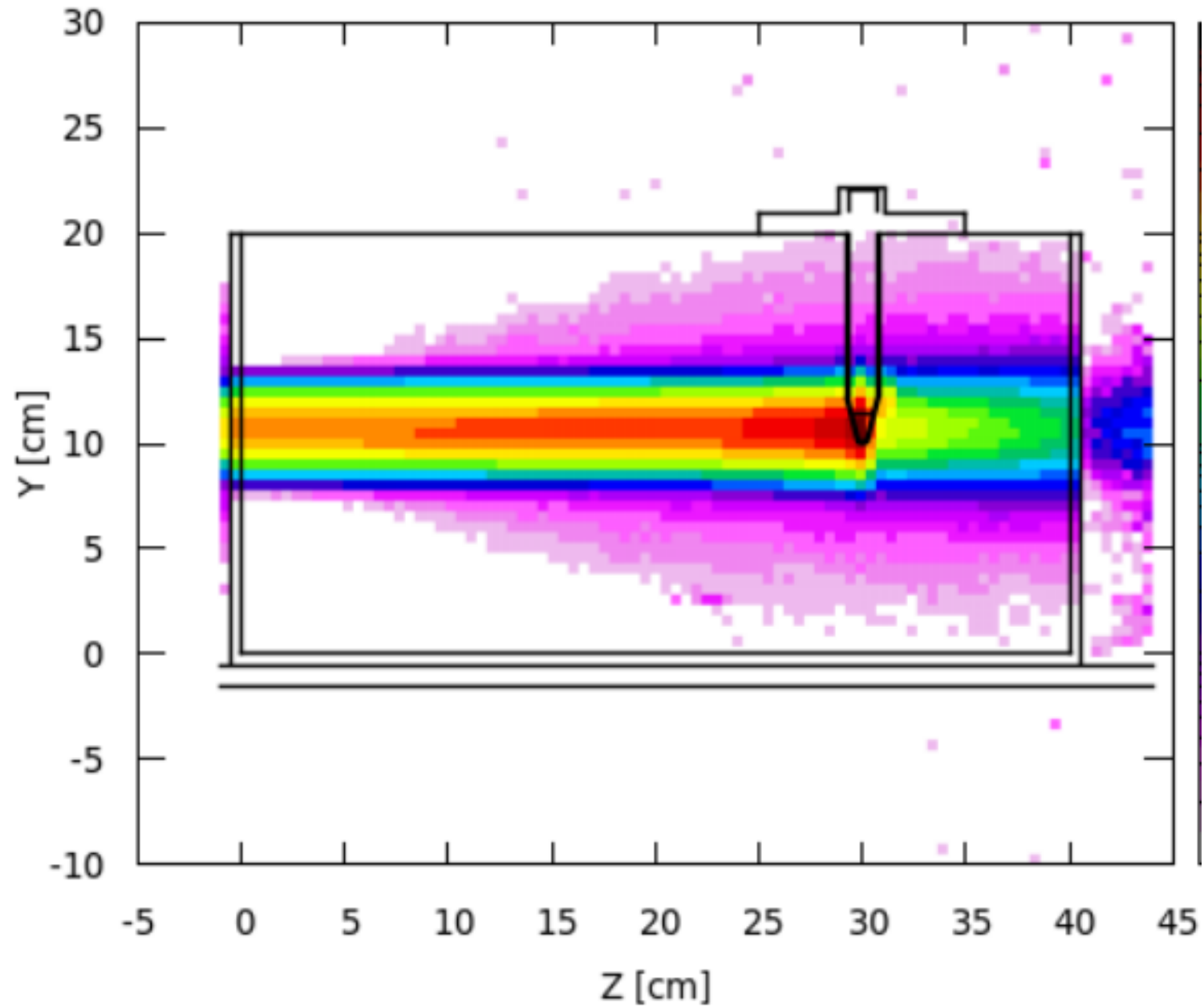
Резултати от МК симулация за експеримент D

Разпределение в надлъжно
направление на
интегралната доза по оста Y



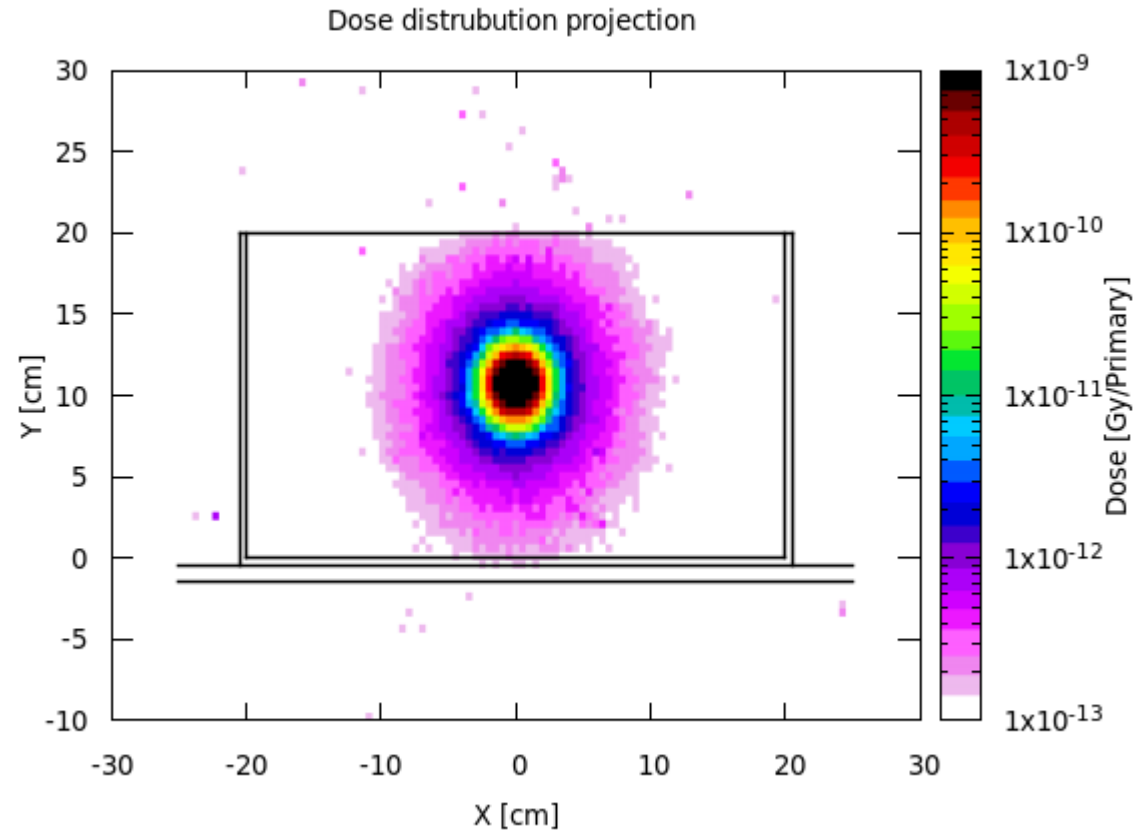
Резултати от МК симулация за експеримент D

Разпределение в надлъжно
направление на
интегралната доза по оста X



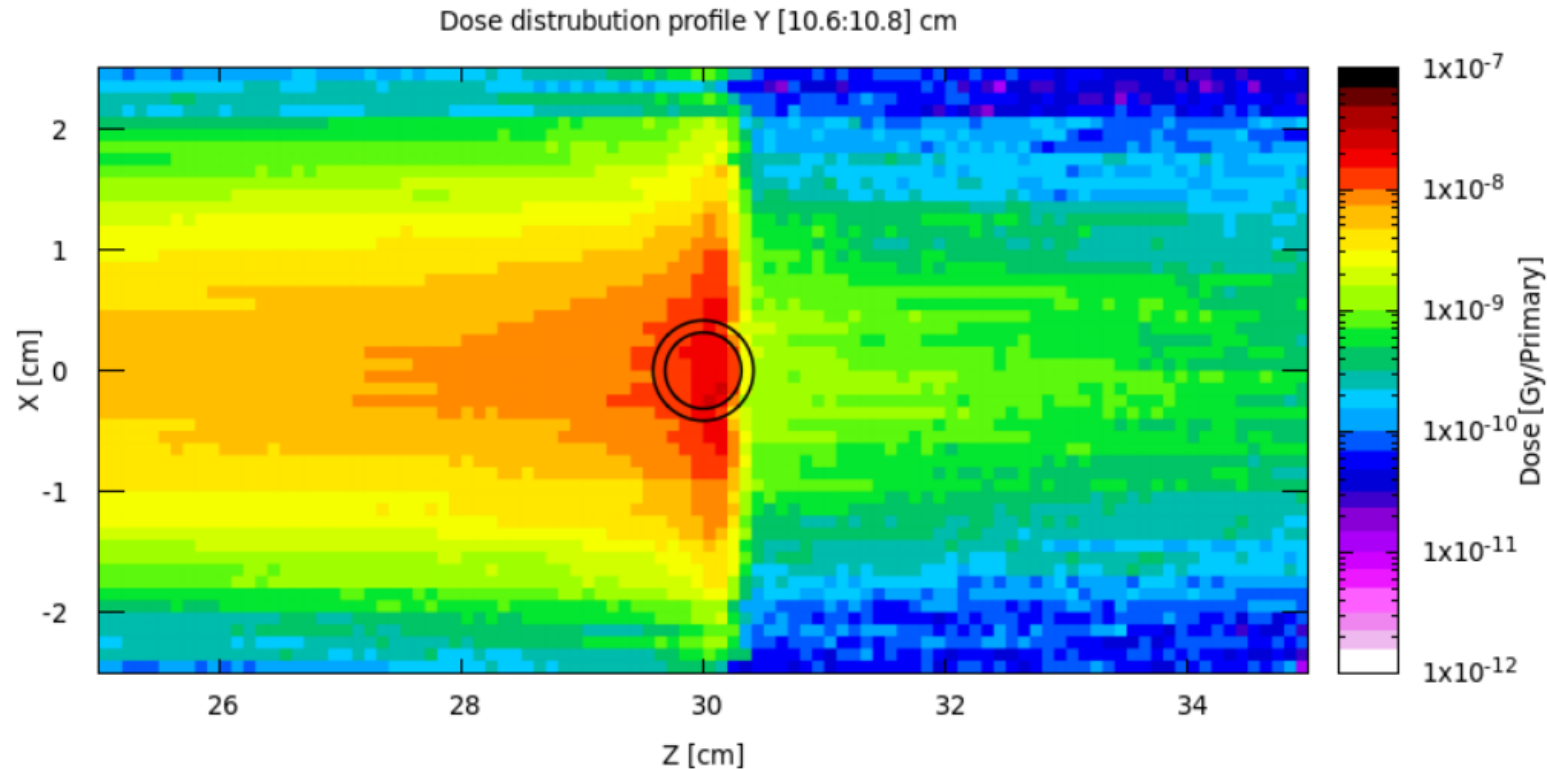
Резултати от МК симулация за експеримент D

Разпределение в напречно
направление на
интегралната доза по оста Z



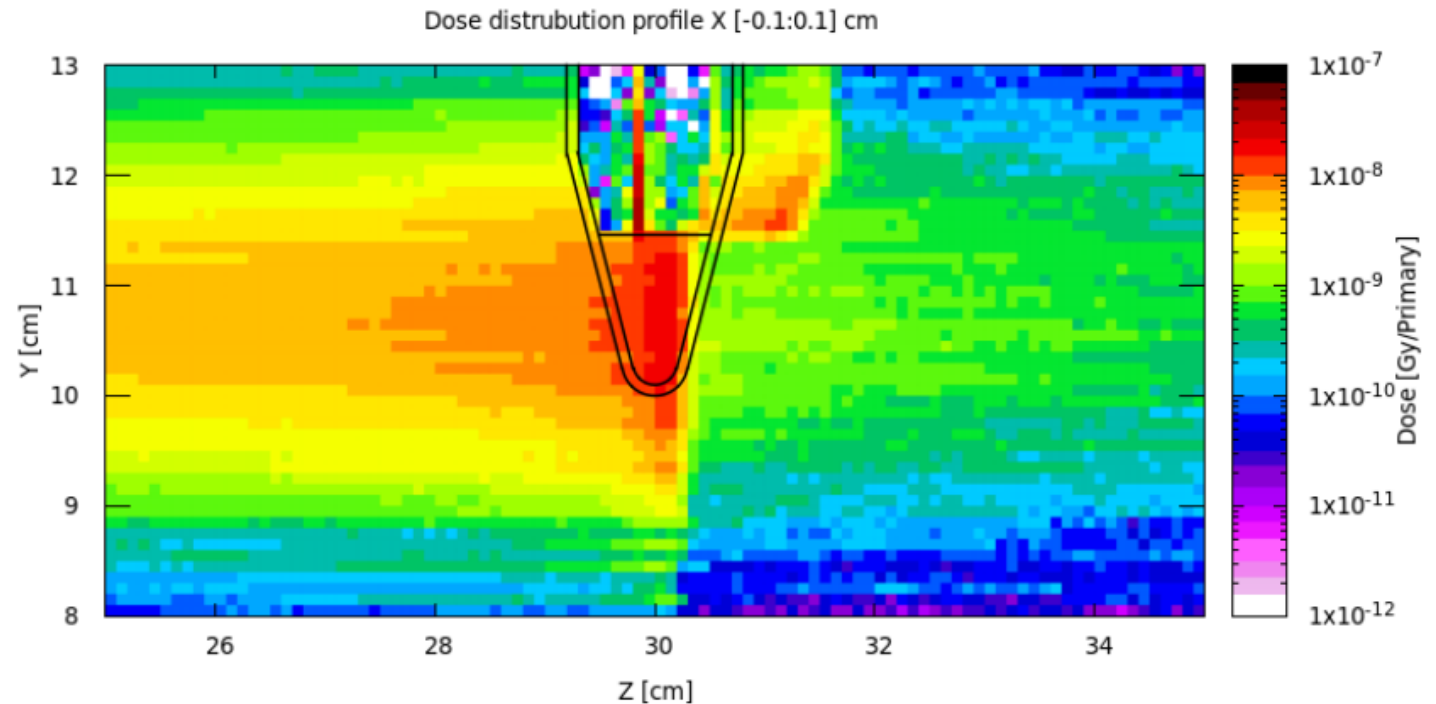
Резултати от МК симулация за експеримент D

Разпределение на
локалната доза, в централен
надлъжен срез от оста Y със
дебелина 0.2 cm и размер
на воксела 0.1 x 0.1 cm



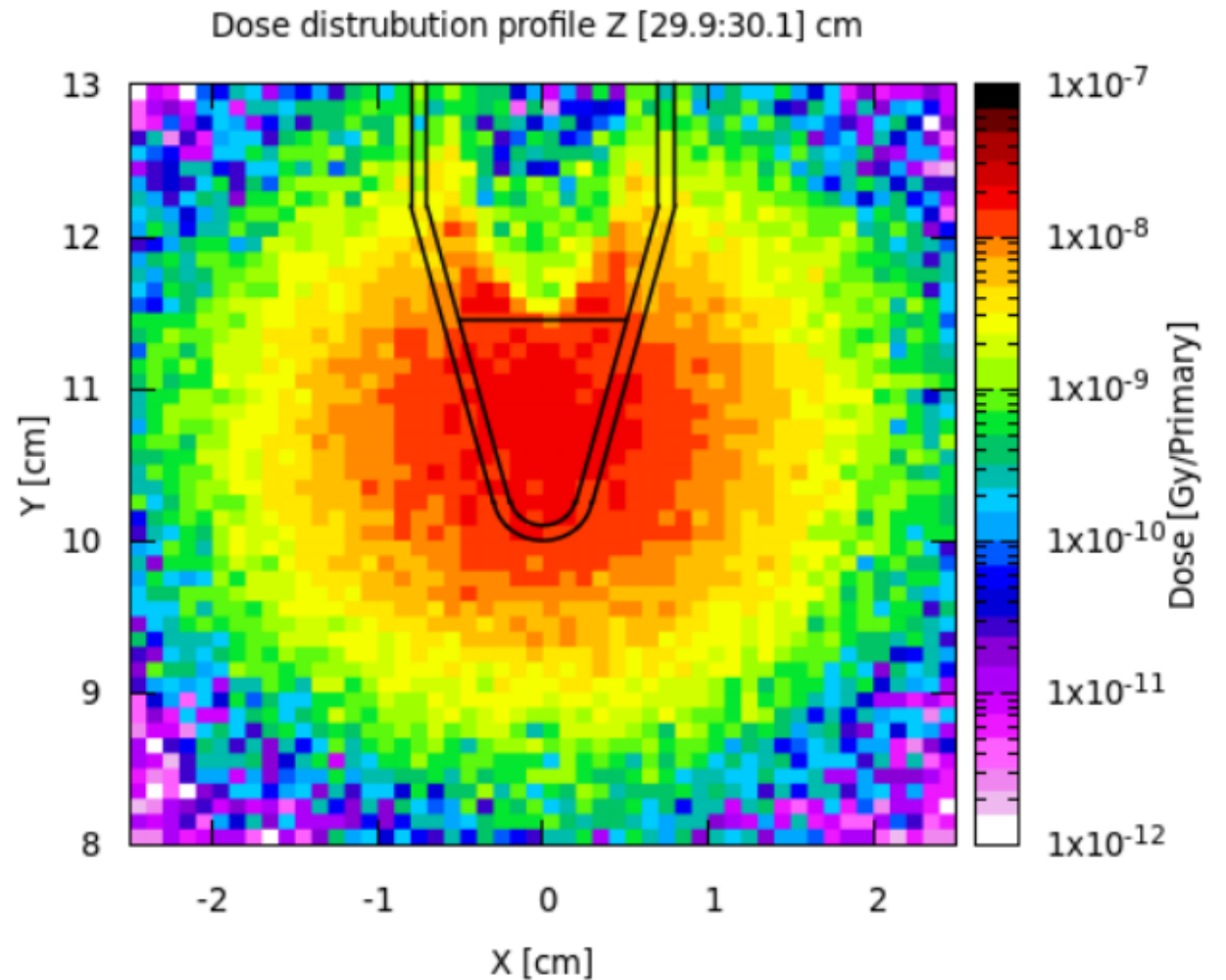
резултати от МК симулация за експеримент D

Разпределение на
локалната доза, в централен
надлъжен срез от оста X със
дебелина 0.2 cm и размер
на воксела 0.1 x 0.1 cm



Резултати от МК симулация за експеримент D

Разпределение на локалната
доза, в областта на максимум
в Пика на Бряг, в напречен
срез със дебелина 0.2 cm и
размер на воксела 0.1 x 0.1 cm



Заклучение от експеримент D

Ширината и интензитета на широк сноп въглеродни йони ускорени от Nuclotron, са подходящи за изследване на радиобиологични зависимости при конвенционно или flash облъчване с въглеродни йони.

Заклучение от експериментите

Ускорителя предназначен за фундаментални изследвания Linac4 е приложим за изследване на ключови радиобиологични зависимости при flash облъчване с протони

Ускорителя предназначен за фундаментални изследвания Nuclotron е много подходящ за изследване на ключови радиобиологични зависимости при облъчване с йони

Искане за отчисляване като докторант

Положил съм успешно изпитите за минимум

Работил съм по всички точки от общия план

Срокът на докторантурата ми изтича

Участие в публикувани статии

Dimov A., Tsanev I., Ivanova D., Simeonov F. (2019) **Elaboration of New NDRLs as Part of Third National Patient Dose Survey in Diagnostic Radiology in Bulgaria.** In: Lhotska L., Sukupova L., Lacković I., Ibbott G. (eds) World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2018. IFMBE Proceedings, vol 68/2. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-9038-7_7

Dimov A., Tsanev I., Penev D. (2019) **Technique and Gender Specific Conversion Coefficients for Estimation of Effective Dose from Kerma Area Product During X-Ray Radiography of Chest.** In: Lhotska L., Sukupova L., Lacković I., Ibbott G. (eds) World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2018. IFMBE Proceedings, vol 68/1. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-9035-6_133

Dimov A., Tsanev I., Tanovska M., Penev D., **Assessment of Radiation Exposure to Population of Bulgaria in 2016 due to Diagnostic and Intervention Radiology and Nuclear Medicine,** Radiation Protection Journal, June 2018; ISSN 1314-9199

Публикации – резюме с постер

Tsanev I., Dimitrova S., Pavlov B., Petkov P., Yordanova, V. Litov L. **GEANT4 simulation study of the feasibility of LINAC 4 (CERN) and Nuclotron (JINR) accelerators to provide beams suitable for investigation of FLASH therapy mechanism.** 3rd European Congress of Medical Physics 2021, December 2021, Physica Medica: European Journal of Medical Physics, 92:S187, [P99]. [https://doi.org/10.1016/S1120-1797\(22\)00401-X](https://doi.org/10.1016/S1120-1797(22)00401-X)

Tsanev I., Pavlov B., Petkov P., Litov L. **Investigation of the applicability to study the FLASH effect with protons on LINAC-4 accelerators at CERN and with carbon ions on NUCLOTRON at JINR (Dubna).** RAD 2021 Conference. August 2021, DOI: [10.21175/rad.abstr.book.2021.18.6](https://doi.org/10.21175/rad.abstr.book.2021.18.6)

Tsanev I., Dimitrova S., Pavlov B., Petkov P., Yordanova V., Litov L. **Prospects for study flash effect whit protons and heavy ions respectively on CERN LINAC-4 accelerator and Nuclotron at Dubna.** XIII National Medical Physics and Biomedical Engineering Conference: NMPEC-2020, Folia Medica 62(3): pp 18. <https://doi.org/10.3897/folmed.62.e60412>

Публикации – резюме с постер

Tsanev I., Todorova Ts., Vladimirov B., Dimov A. **Conversion coefficients for estimation of effective dose from Kerma area product during x-ray radiography of pelvis and abdomen.** 3rd European Congress of Medical Physics 2021, December 2021, Physica Medica: European Journal of Medical Physics, 92:S250-S251, [P237]. [https://doi.org/10.1016/S1120-1797\(22\)00542-7](https://doi.org/10.1016/S1120-1797(22)00542-7)

Dimitrova S., Tsanev I., Pavlov B., P. Petkov, Litov L. **Study of the DNA damage in flash therapy mode, using GEANT4-DNA simulations.** XIII National Medical Physics and Biomedical Engineering Conference: NMPEC-2020, Folia Medica 62(3): pp 19-20. <https://doi.org/10.3897/folmed.62.e60412>

Dimov A., Tsanev I., **Recent update of typical effective doses received by patients at diagnostic and interventional radiology procedures and its impact on assessment of collective effective dose to population in Bulgaria.** ECMP-2018, august 2018, Physica Medica 52:78, [OA202]. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2018.06.274>

Участие в проекти

+

•

○

„Разработване на дигитални фантоми за изследване на FLASH ефект при облъчване с протонни и йонни снопове“ (ФНИ НА СУ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“ – Договор № 80-10-168/24.04.2020 г.

“Establishing a National Dosimetry Audit System and Dosimetry Quality Audit Program in Radiation Therapy” – IAEA TC National Project: BUL6014, Concept Number: BUL2016005

Search for ligands unblocking the innate immune response in cells infected with SARS-CoV-2 virus

Учебно-методическа и педагогическа работа

Бях поканен да участвам като консултант в изготвянето на магистърската работа на студентът по Медицинска физика към СУ, ФзФ катедра “Атомна физика”, Владимира Ивайлова Йорданова, на тема:

“Използване на софтуерния пакет FLUKA за моделиране на взаимодействието на ускорени тежки заредени частици с материята и приложението му в адронната терапия“

Благодаря!!!



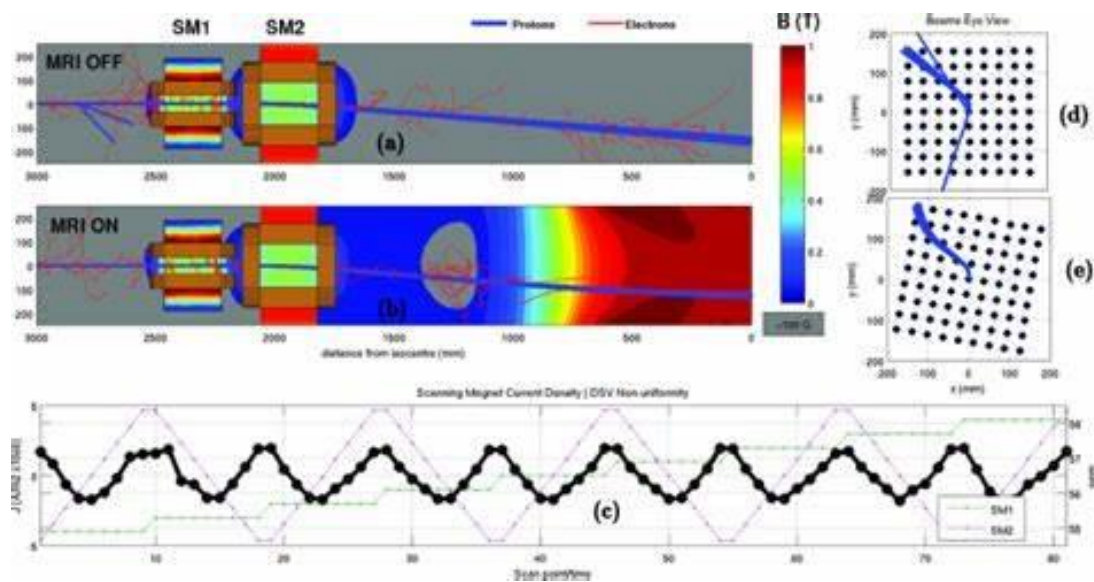
shutterstock.com · 663240814



Допълнителни слайдове

Разработване на методи за контрол на локалната доза в пациента по време на облъчване с протони или йони.

Лъчетерапия с протони придружена от томография с ядрено магнитен резонанс



Лъчетерапия с йони придружена от позитрон емисионна томография

