



Новое поколение оборудования и технологии для лучевой терапии протонным пучком

**Директор Физико-Технического Центра ФИАН
член-корр. РАН В.Е. Балакин**

**Облучение протонами всегда более
предпочтительно, чем облучение
 γ -лучами (из-за пика «Брэгга»).**
**Проблема заключается в получении пучков
протонов, столь же доступных, как и пучки
 γ -квантов.**

Мы решили эту проблему.
**С появлением на рынке нашей разработки все
электронные установки должны быть
закрыты, как менее эффективные.**

Сборка первого (лабораторного) образца комплекса в ФТЦ ФИАН (г.Протвино).

В настоящее время на ускорителе получены проектные параметры, идет отработка медико-технической части комплекса и программного обеспечения. Стоимость оборудования и лечения в десятки раз меньше зарубежных аналогов и сопоставима со стоимостью электронных ускорителей.

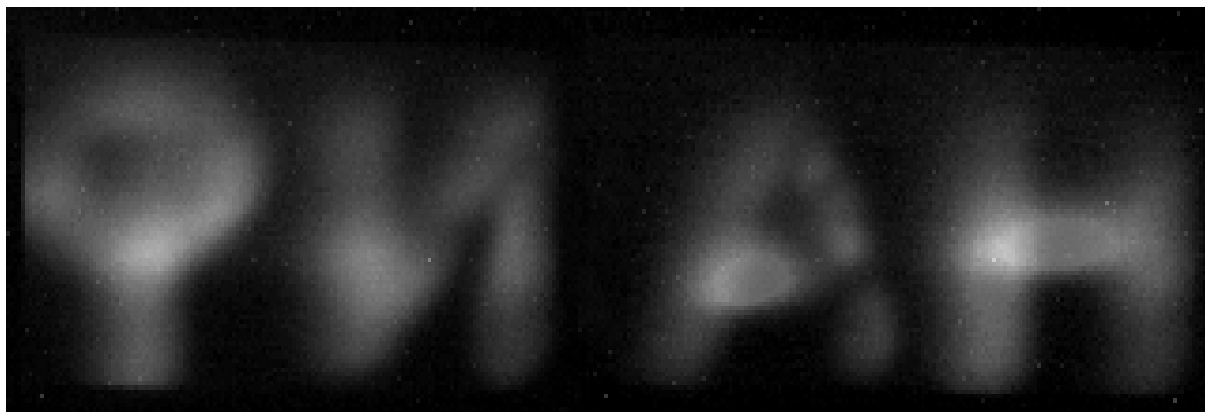




Картина "поражающей" способности пучка протонов различной энергии, выпущенных из ускорителя в люминисцирующее вещество, и, для сравнения, γ -лучей от электронного ускорителя с энергией 18 MeV.

П О З Д Р А В Л Я Е М !

17 января 2007 г. на ускорителе впервые реализована возможность управляемого сканирования пучком протонов во время медленного выпуска. Для демонстрации этой возможности выпущенным пучком на люминофоре сделана надпись:

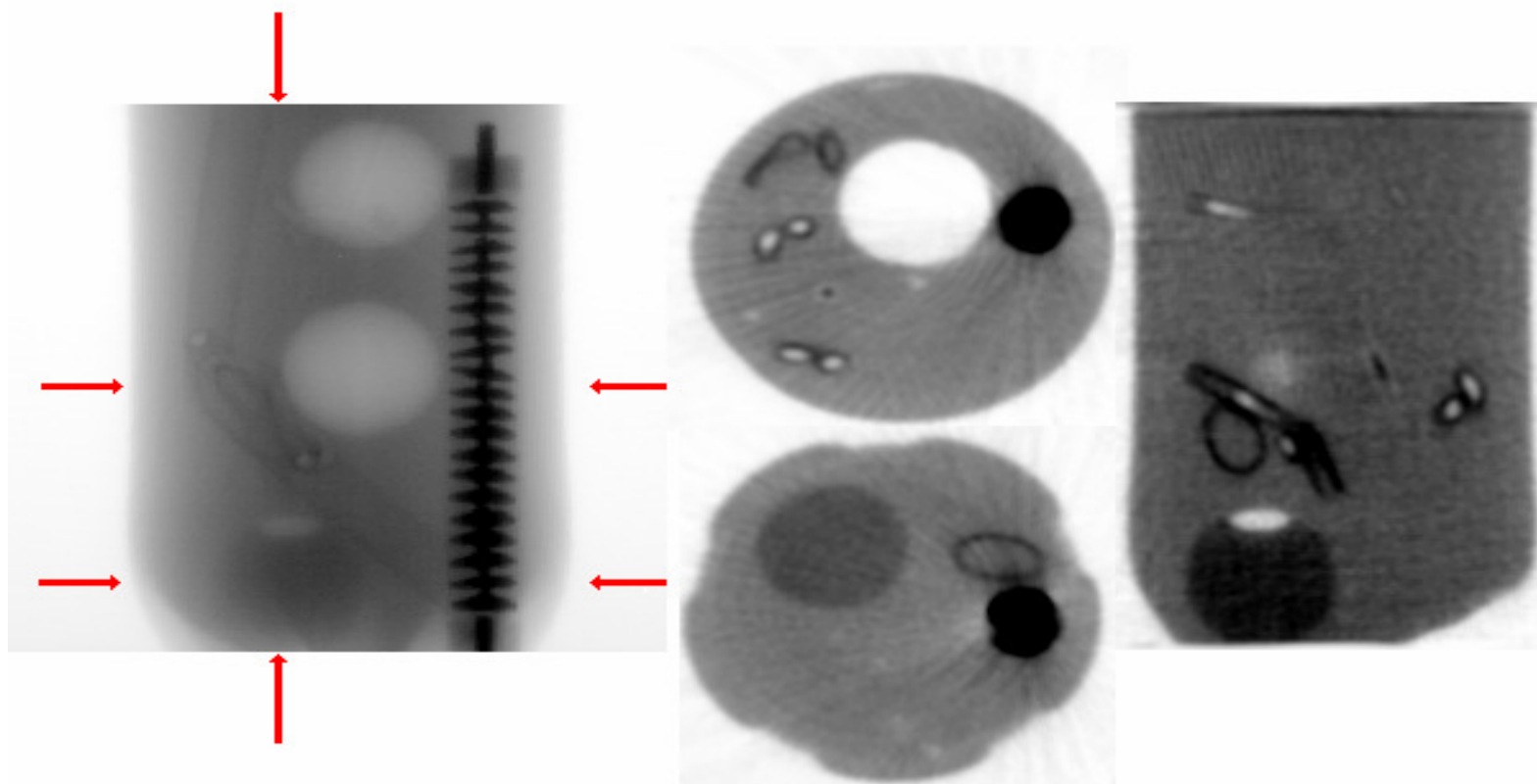


Поздравляем коллектив сотрудников ФТЦ ФИАН и ПРОТОМ со
значительным шагом вперед к достижению цели!

Дирекция.

Иллюстрация работы трёхмерного компьютерного (рентгеновского) томографа

Изображение фантома и его томограммы



Z=1 A=1

This plan of doze distribution has recieved at an optimized irradiation

Case AI=1

Lower Threshold of Doze in Tumor = 200 RAD

Average Doze in Tumor = 372 RAD

Upper Threshold of Doze

in conservation zone = 150 RAD

Threshold of Doze

in adjacent zone = 100 RAD

Average Doze in Adjacent zone = 96 RAD

Dozen Threshold in CR[1] = 10 RAD

Average Doze in CR[1] = 9 RAD

Dozen Threshold in CR[2] = 0 RAD

Average Doze in CR[2] = 0 RAD

Dozen Threshold in CR[3] = 0 RAD

Average Doze in CR[3] = 0 RAD

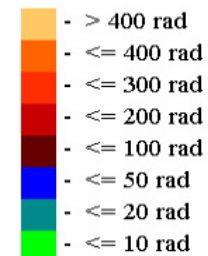
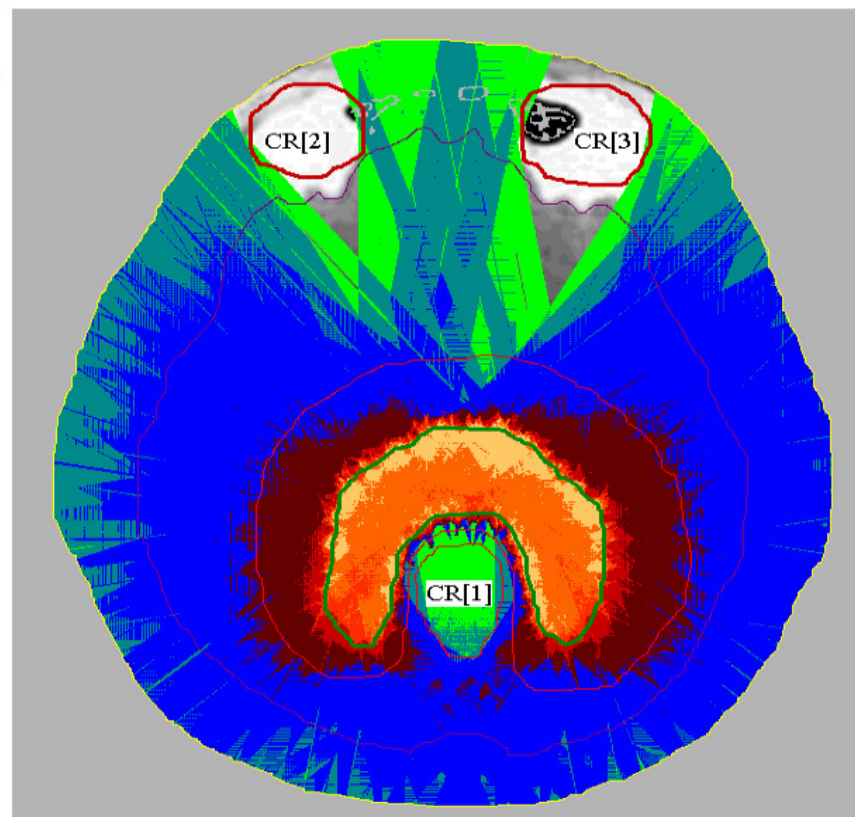
Nptc_sum = 2.9e+009

SummumEnergy = 60 mJ

Efficiency=0.48

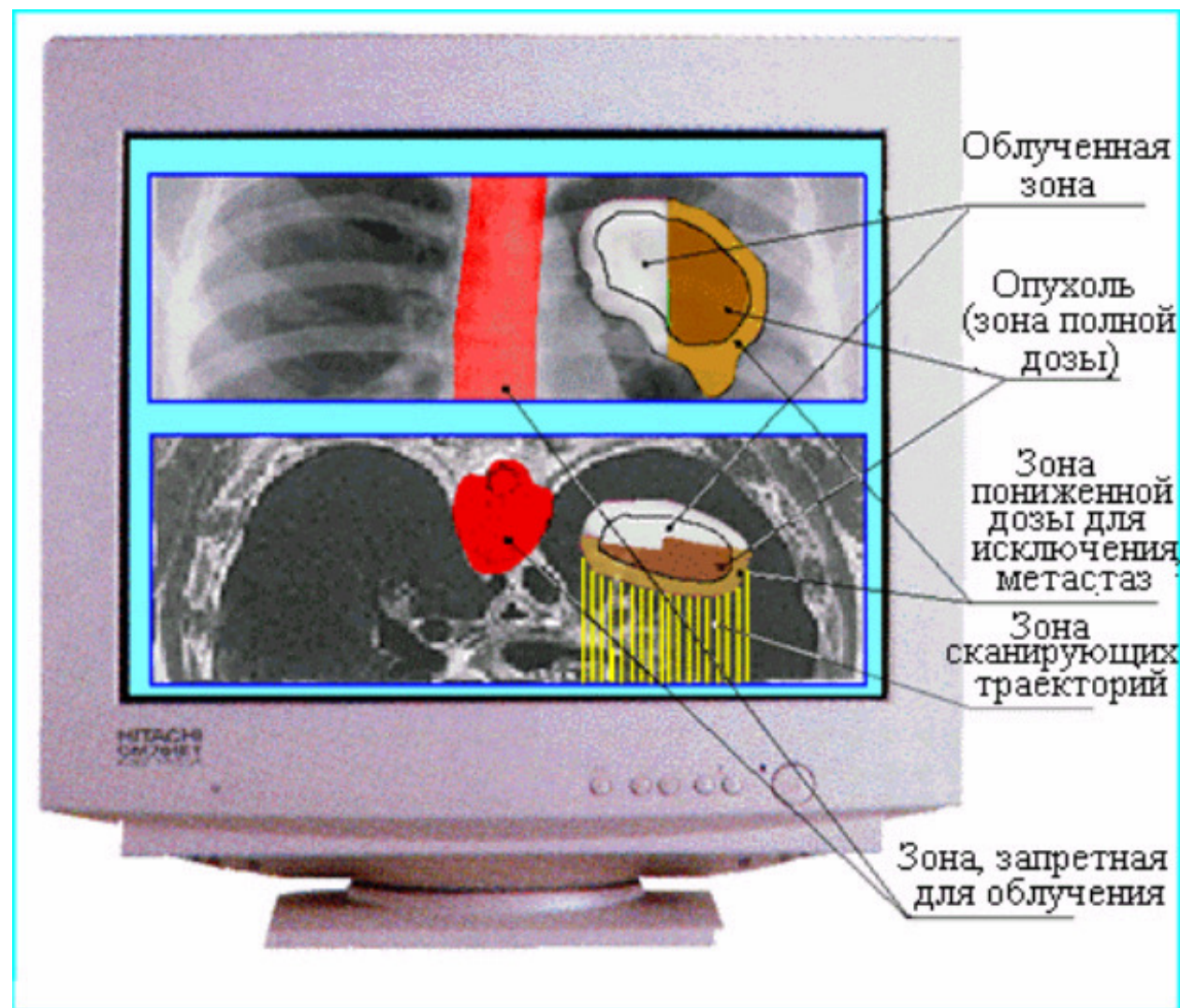
Num azimuthes of irradiation = 36

Step along azimuth = 10 grad



Оптимизированный план облучения
(36 направлений с шагом 10 град)

Отображение процесса облучения на экране монитора (концепция).



Здание протонного терапевтического центра при Протвинской городской больнице



**Протонный терапевтический комплекс в Протвинской городской
больнице (в конце 2007 года планируется готовность
к первому пациенту)**



Протонная установка для Пущинской больницы РАН



Протонная установка для Словакии





НАЦИОНАЛЬНЫЙ ОНКОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР СЛОВАКИИ, БРАТИСЛАВА

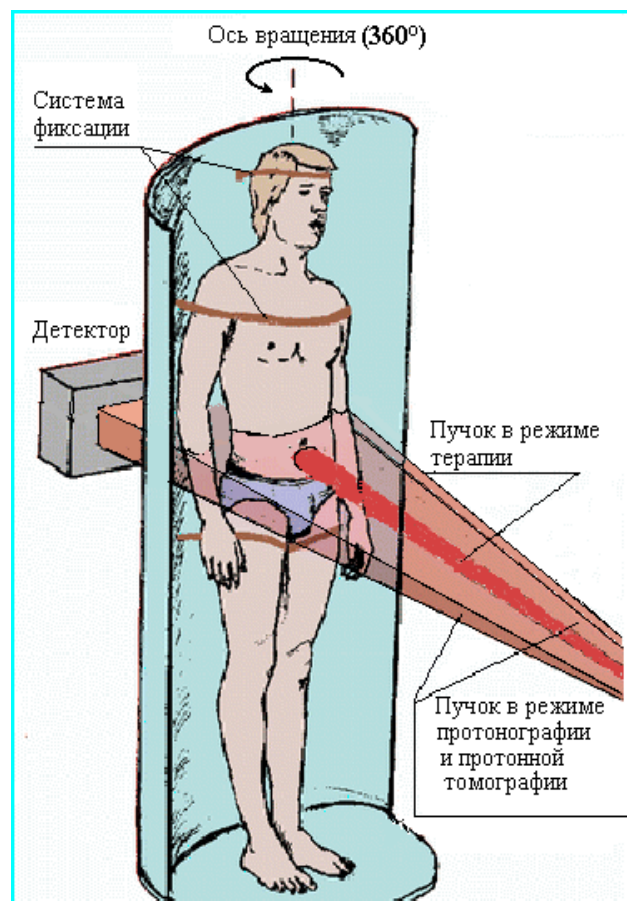
Строящееся здание для производства, сборки и испытаний серийных образцов протонных установок.

***После завершения строительства и установки оборудования будет достигнута производительность – 20 комплектов в год.**

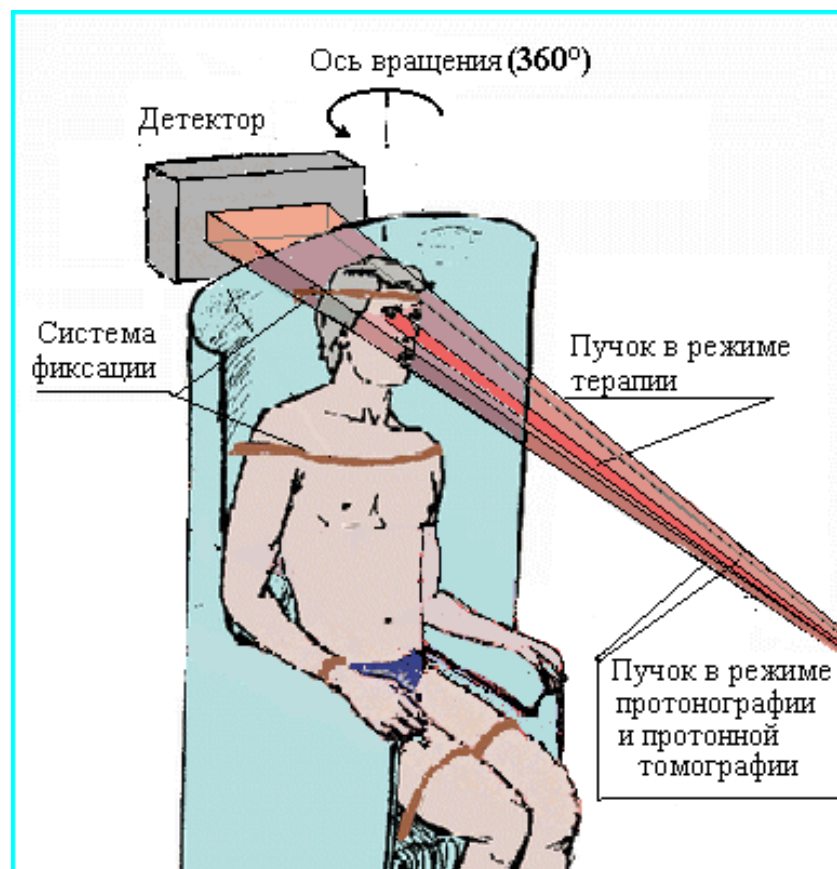
****Мировая потребность оценивается в 1000 штук.**



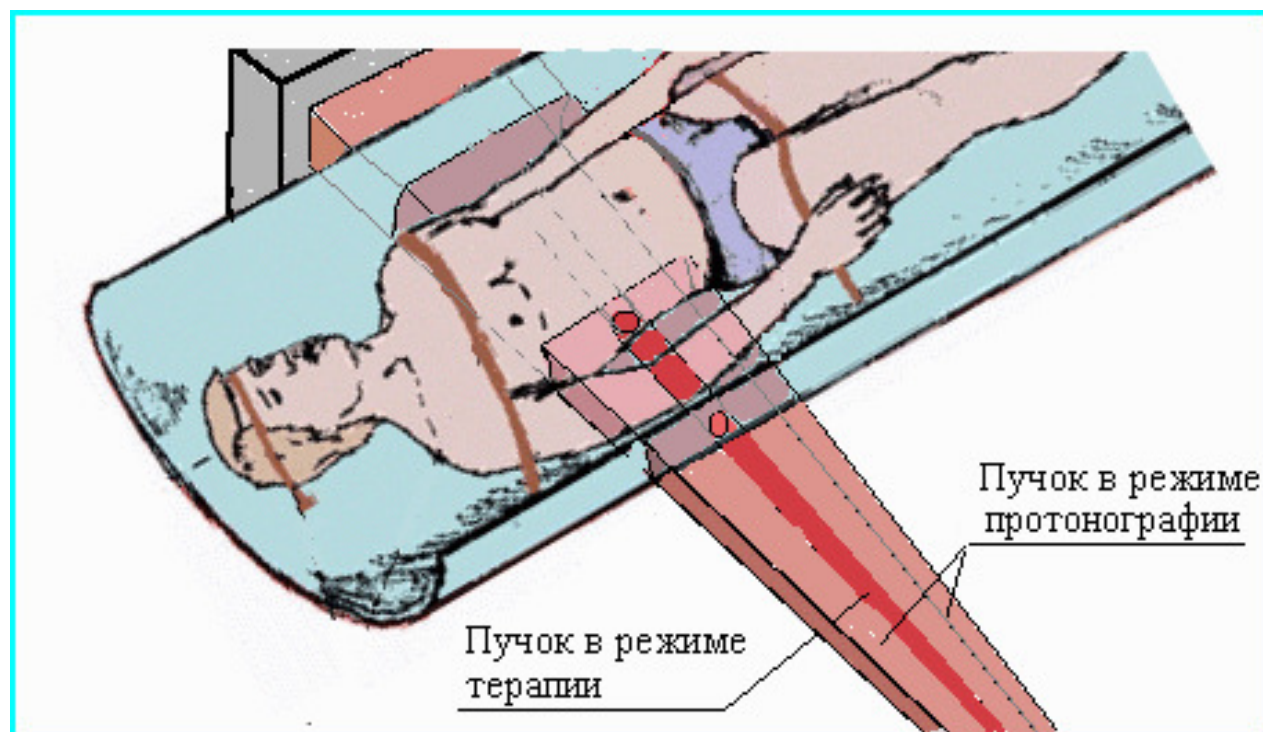
Система фиксации и позиционирования пациента.



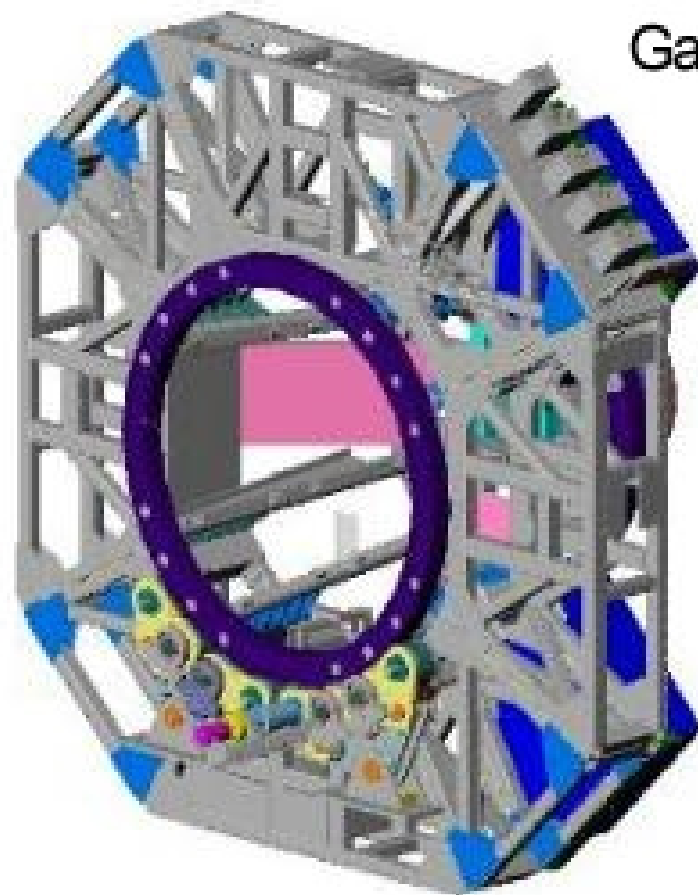
Система фиксации и позиционирования пациента.



Система фиксации и позиционирования пациента.



Общий вид системы Гантри, применяемой в США и Японии.

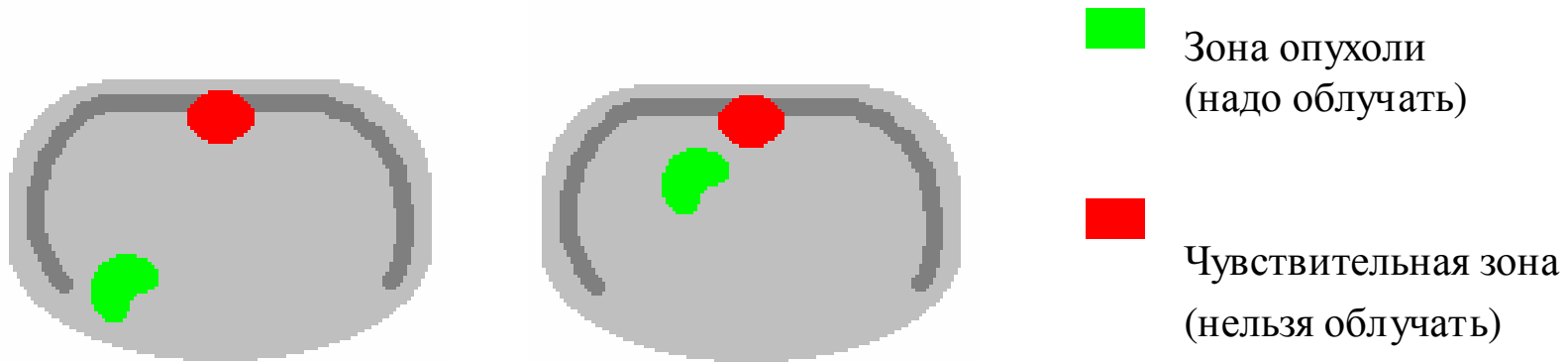


Gantries

35 feet tall
approx. 90 tons



Два примера локализации опухоли



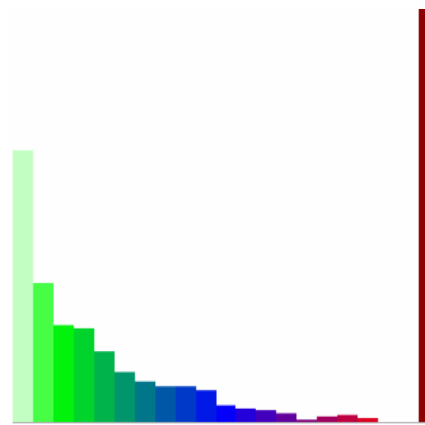
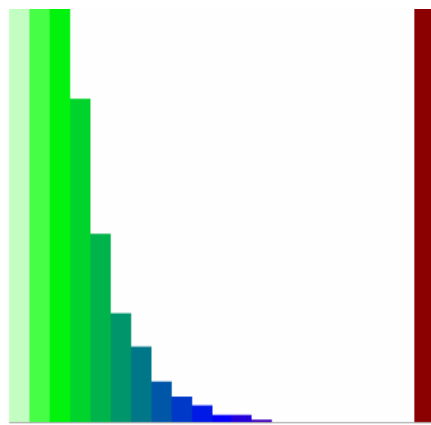
На томографическом изображении пациента врач очерчивает контур опухоли и контур чувствительных органов. На этом работа врача по планированию облучения заканчивается.

Это задание поступает в программу оптимального планирования.

Результат работы программы оптимизации облучения (минимизация облучения здоровой ткани при заданной дозе в опухоли)

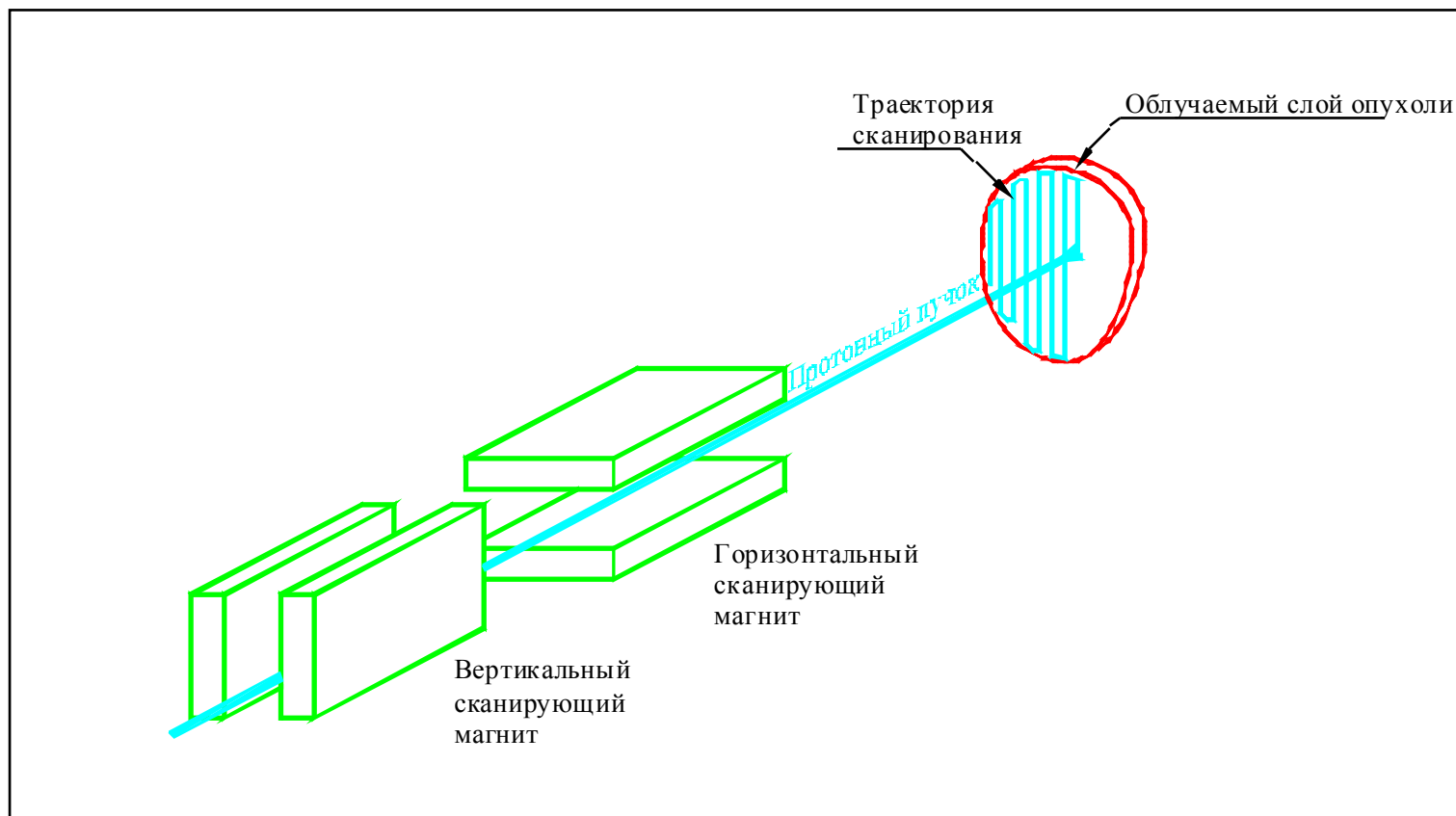


Гистограмма распределения объем-доза для оптимизированного плана облучения



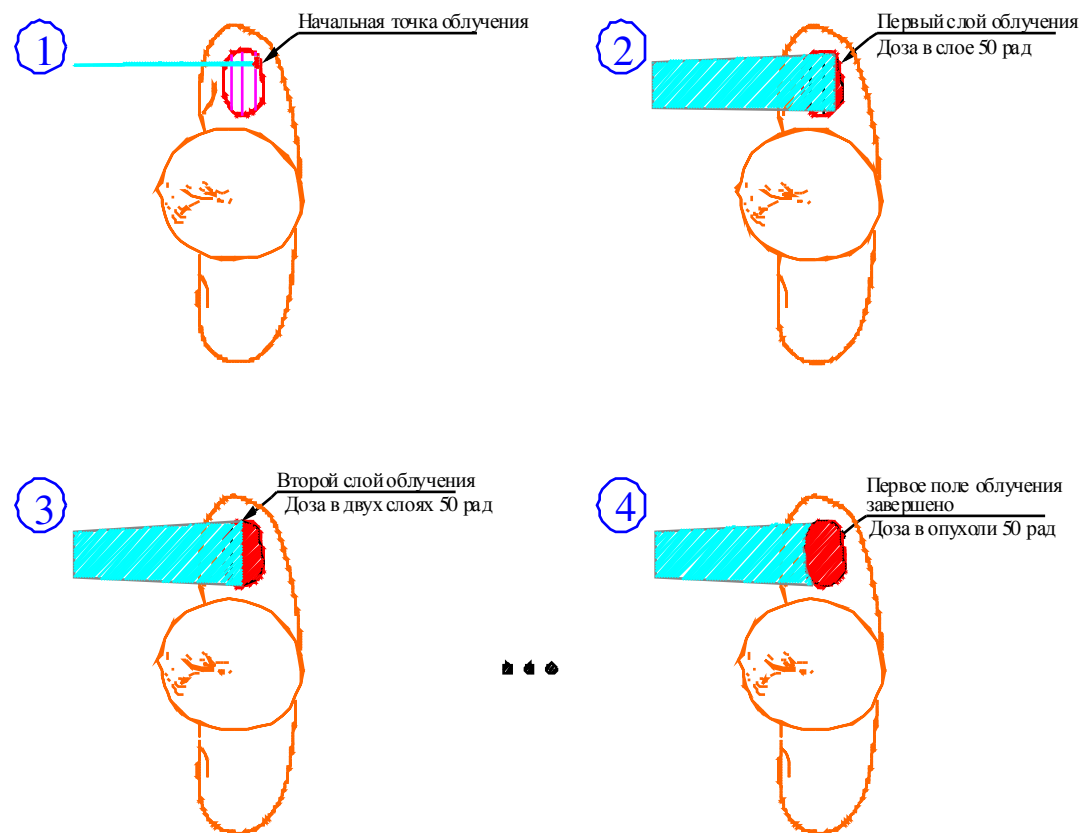
Полученный план облучения далее автоматически будет выполняться установкой. Независимая система контроля будет следить за исполнением программы и отключит облучение в случае отклонения от плана

Схематично процесс сканирования пучком при облучении отдельного слоя опухоли

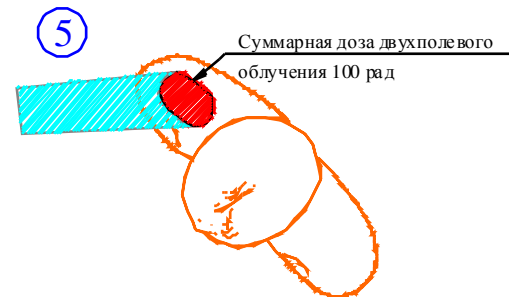


Принцип облучения **новым** "ротационно - растровым" методом

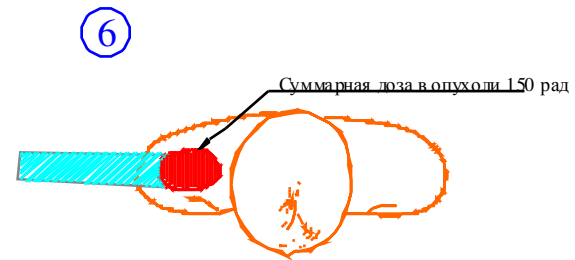
Первое поле облучения



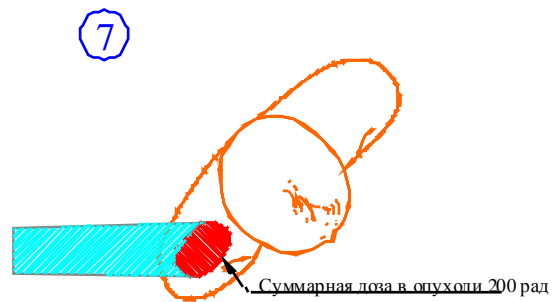
Второе поле облучения
(Пациент повернут вокруг вертикальной оси)



Третье поле облучения
(- - - - -)



Четвертое поле облучения
(- - - - -)



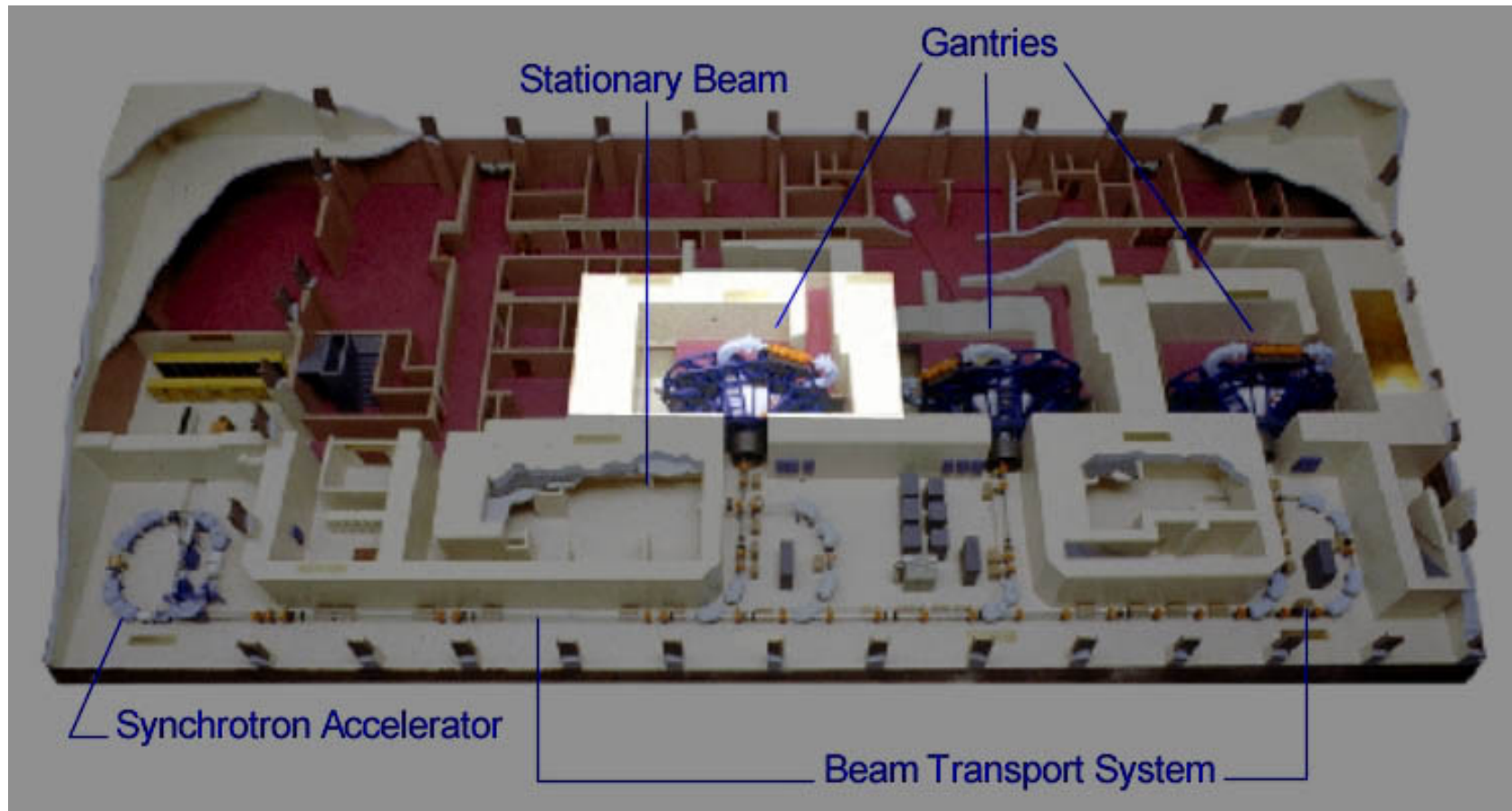


**Рентгеновская трубка.
($U = 150 \text{ kV}$, $I = 10 \text{ mA}$)**

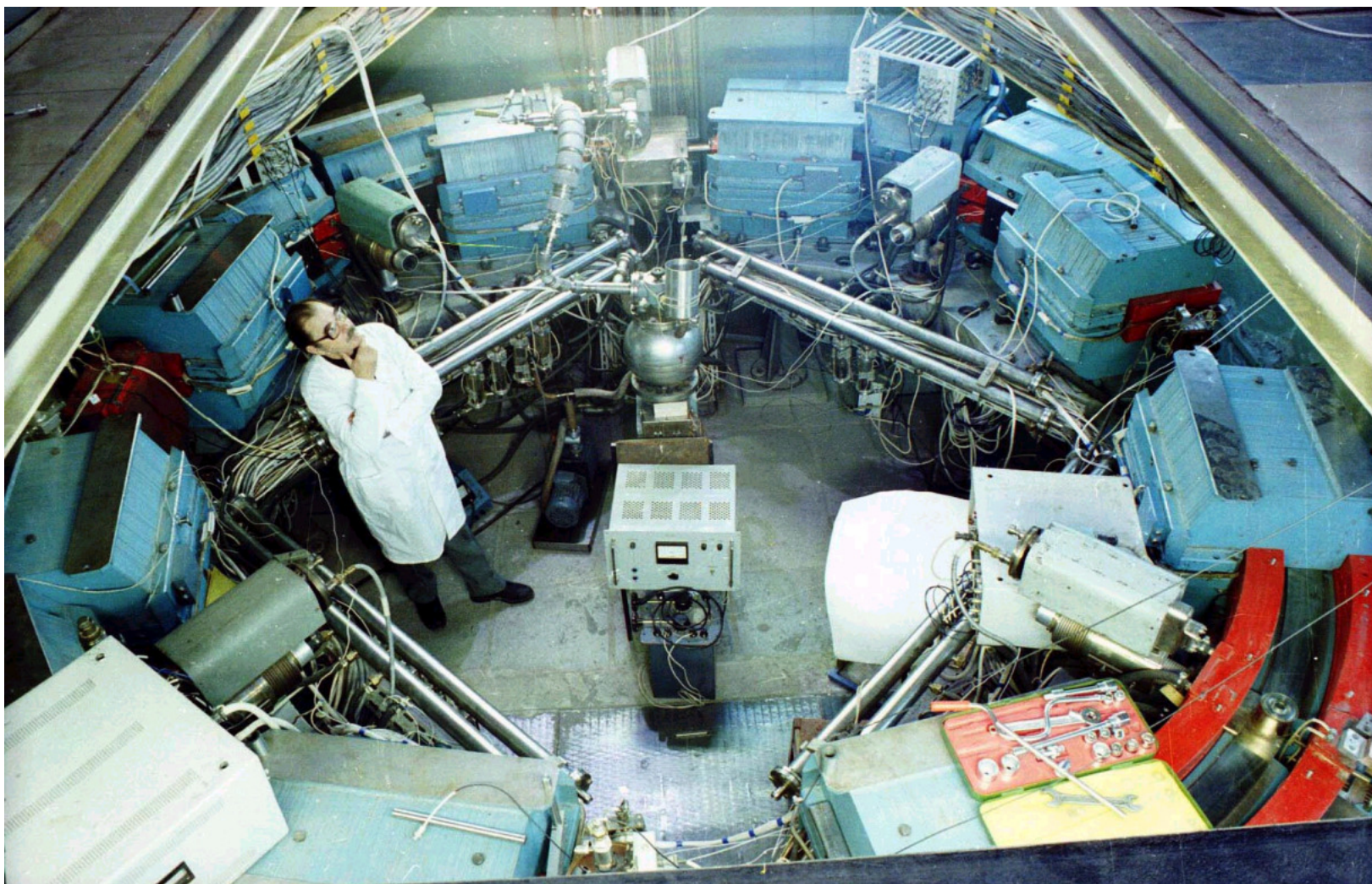


**Источник рентгеновского излучения
для компьютерной томографии
и оперативного контроля положения пациента.
($U = 150 \text{ kV}$, $I = 10 \text{ mA}$)**

Loma Linda University Medical Center (LLUMC)



**Экспериментальный образец протонного ускорителя в ИЯФ СО
РАН (г.Новосибирск), на котором получены необходимые
параметры и подтверждена правильность новых идей и
технических решений.**



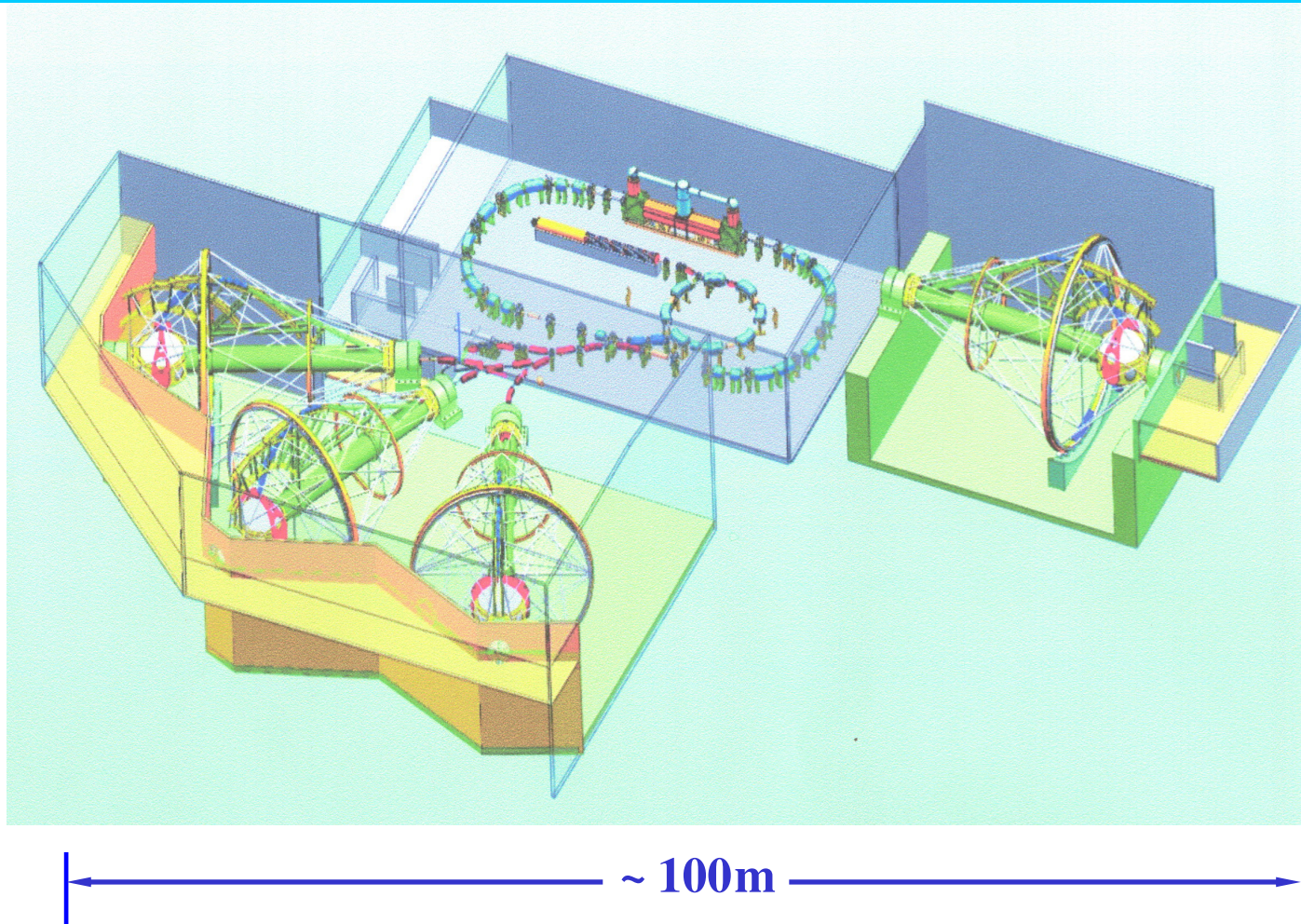
Основные технические параметры синхротрона:

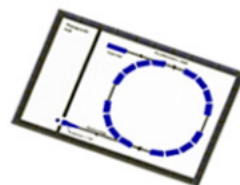
- **Энергия пучка $70 \div 330$ МэВ $\pm 0.15\%$ (с возможностью изменения во время облучения);**
- **Интенсивность выпущенного пучка - 3×10^8 ;**
- **Время ускорения до энергии 330 МэВ - 1 сек;**
- **Медленный выпуск пучка в диапазоне - $0.1 \div 10$ сек;**
- **Эффективность выпуска пучка $\sim 70\%$;**
- **Потребляемая мощность:**
 - **максимальная - ~ 100 кВт (протонная томография);**
 - **средняя - ~ 50 кВт (терапия);**
- **Полный вес - 15 тонн;**
- **Внешний диаметр кольца - не более 5 м;**
- **Размер необходимого радиационно-защищенного зала - 7 х 9 м.**

CARBON ION ACCELERATOR FACILITY FOR CANCER THERAPY

E. Levichev, V. Parkhomchuk, S. Rastigeev, A. Skrinsky, V. Vostrikov, BINP SB RAS

M. Kumada, NIRS





100м

**Новый проект углеродной терапевтической установки на основе
адаптированного протонного комплекса**



Каждый пятый житель земли (в развитых странах - каждый третий) умирает от рака.

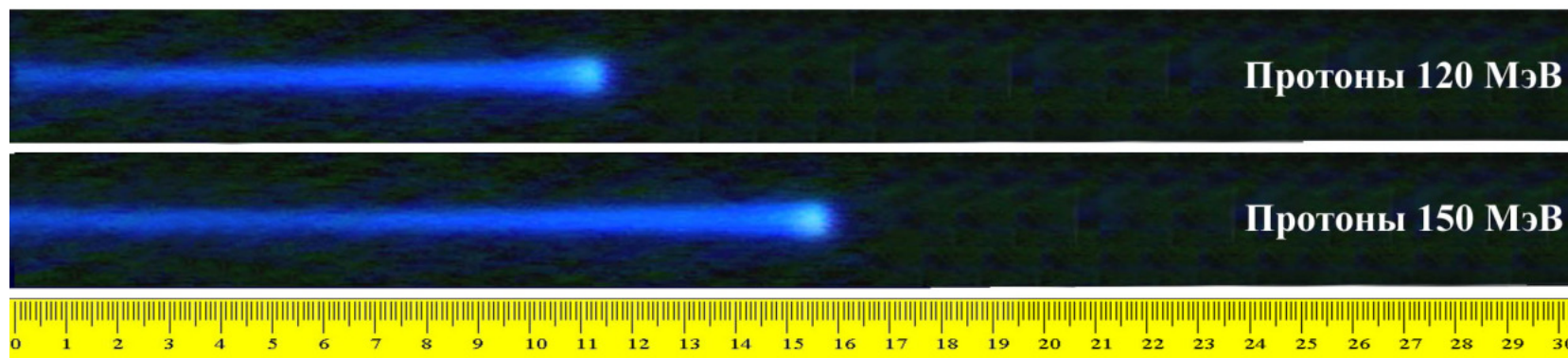
В России ежегодно появляется около 450 тысяч новых больных.

Для 300 тысяч желательна лучевая терапия.

Наиболее эффективным методом лучевой терапии является терапия протонным пучком (эффективность излечения достигает 90 % вместо 50 % при традиционной терапии).

Несмотря на это, за последние пятьдесят лет существования протонной терапии, всего в мире облучено протонами около 40 тысяч пациентов.

Решению проблемы массового применения лучевой терапии протонным пучком и посвящена настоящая работа.

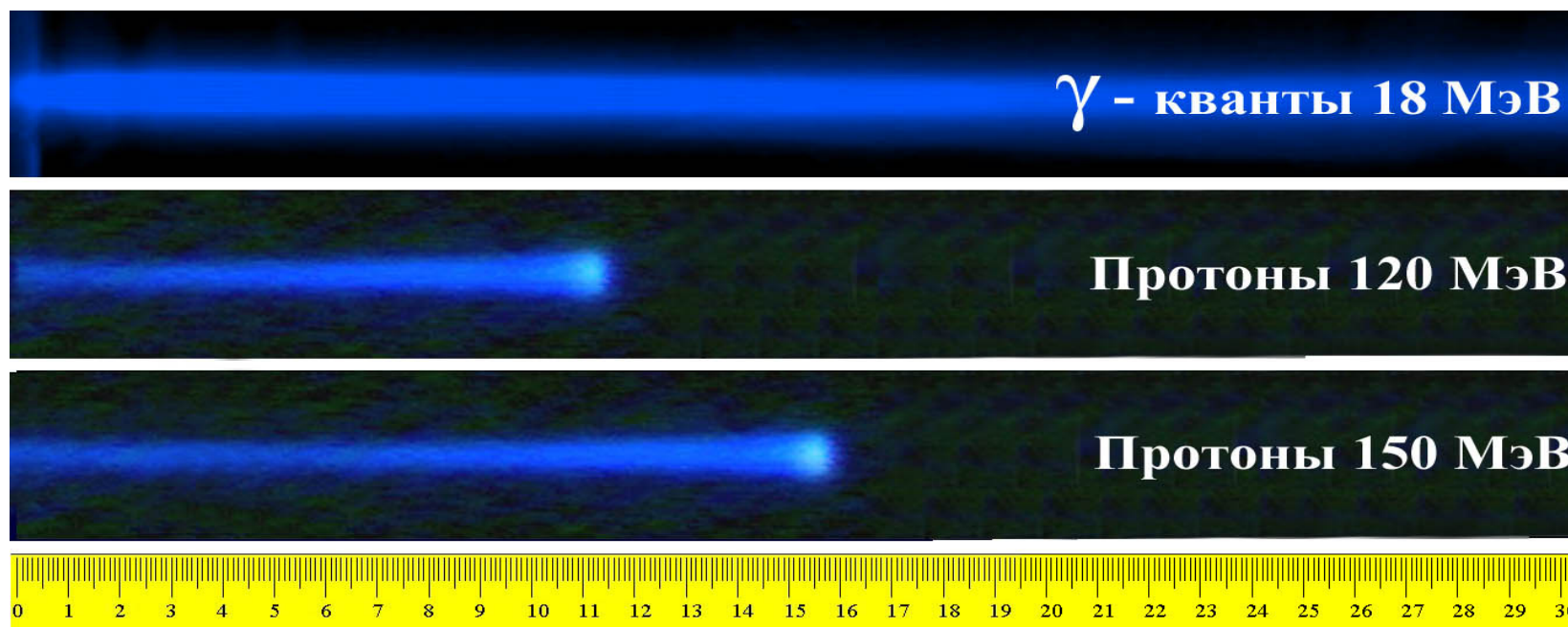


Выпущенный пучок протонов с разными энергиями.

Видно, что в точке остановки пучка (в опухоли) поражающая способность максимальна.

Внизу для сравнения поведения пучка гамма - квантов от используемых сегодня электронных ускорителей.





Сравнительная картина "поражающей" способности γ -лучей от электронного ускорителя и пучка протонов с энергиями, полученного на экспериментальном образце ускорителя (ИЯФ СО РАН, г.Новосибирск).

В клиниках эксплуатируются около 5 тысяч электронных ускорителей. (Облучается ~70% пациентов с эффективностью излечения ~50%)

Из-за высокой стоимости оборудования и лечения за все время в мире протонами облучено всего ~35 000 пациентов. (Эффективность излечения ~90%)

(В России регистрируется ~450 000 онкологических заболеваний в год)

PARTICLES

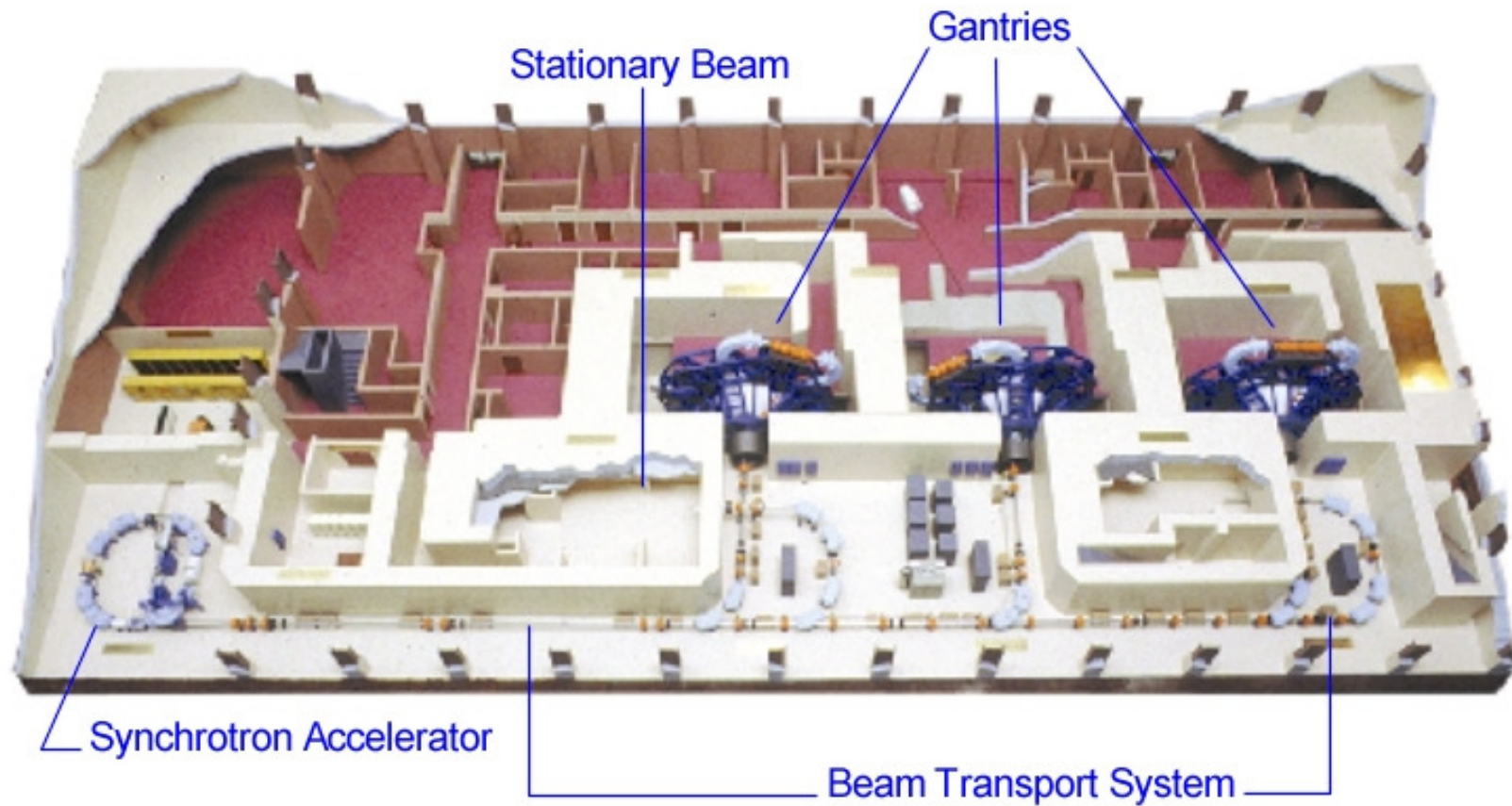
sponsored by

PROTON
THERAPY
CO-
OPERATIVE
GROUP

A **Newsletter** for those
interested in proton, light ion and
heavy charged particle radiotherapy.

- carrying out the investigations in radiation oncology.
- Northeast Proton Therapy Center: <http://www.mgh.harvard.edu/depts/nptc/nptc.htm>
- LLUMC, California: : <http://proton.llu.edu>
- U of California, Davis: <http://crocker.ucdavis.edu/cnl/research/eyet.htm>
- Midwest Proton Radiation Institute: <http://www.iucf.indiana.edu>
- National Association for Proton Therapy: <http://www.proton-therapy.org>
- TRIUMF, Canada protons: http://www.triumf.ca/welcome/proton_thrpy.html
- TRIUMF, Canada pions: http://www.triumf.ca/welcome/pion_trtmt.html
- CPO, Orsay, France: http://www-sop.inria.fr/epidaure/personnel/bondiau/CPO_base/cpo_base.htm
- PSI, Switzerland: <http://www.psi.ch>
- Proton Oncological Therapy, Project of the ISS, Italy: <http://top.iss.infn.it>
- TERA foundation, Italy: <http://www.tera.it>
- Catania, Italy: <http://lnsuni2.lns.infn.it/~catana/>
- GSI homepage: <http://www.gsi.de>
- The Svedborg Laboratory, Sweden: <http://www.tsl.uu.se>
- Clatterbridge Centre for Oncology: <http://synaptic.mvc.mcc.ac.uk/simulators.html>
- ITEP, Moscow, Russia: <http://www.protontherapy.itep.ru>
- Tsukuba, Japan: <http://www-medical.kek.jp>
- Tsukuba, Japan - new facility plans: <http://www-medical.kek.jp/devnewfac.html>
- HIMAC, Chiba, Japan: <http://www.nirs.go.jp/ENG/particl.htm> (ENG case sensitive)
- NAC, South Africa: <http://medrad.nac.ac.za/index.htm>

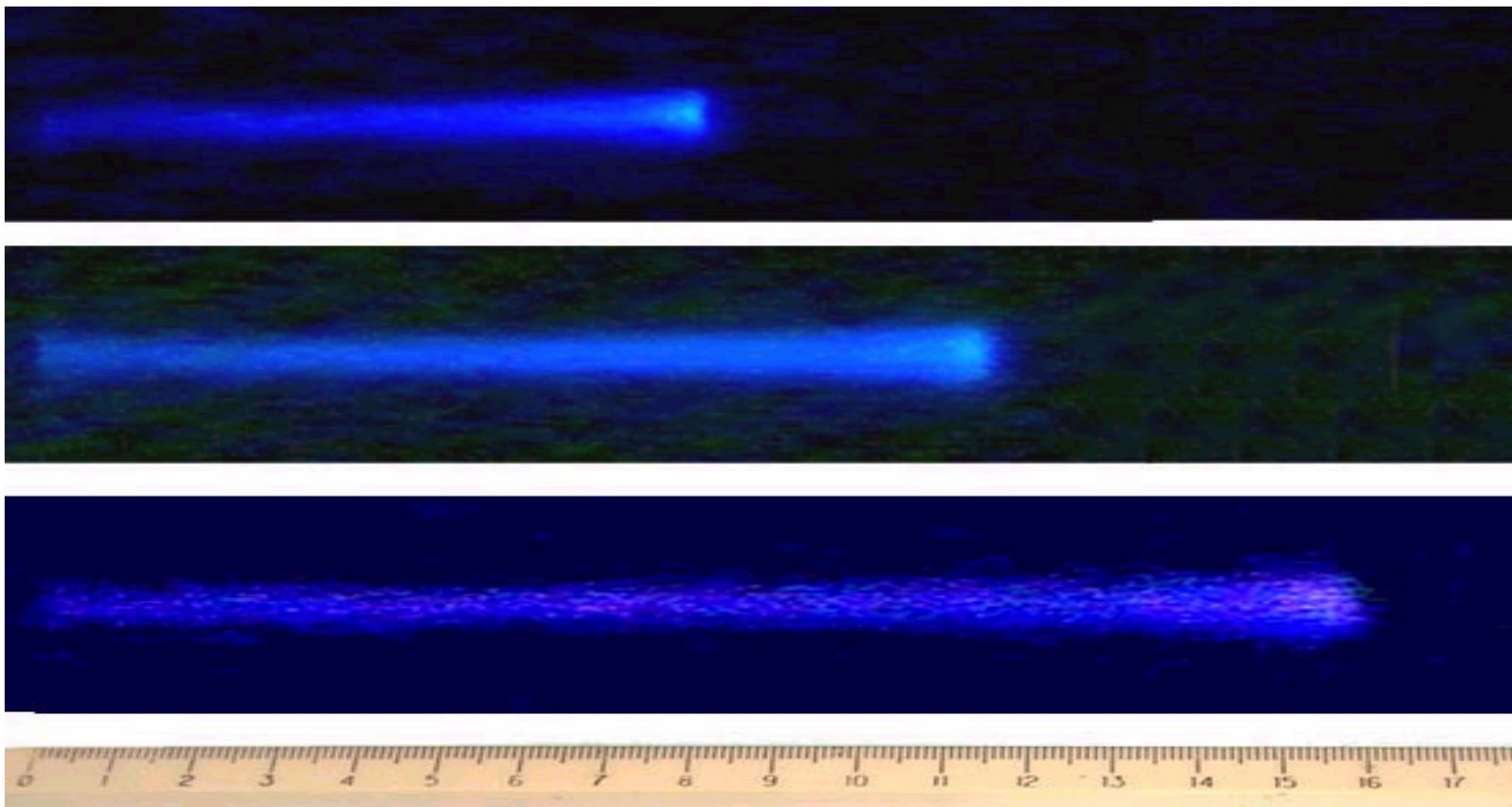
Loma Linda University Medical Center (LLUMC)





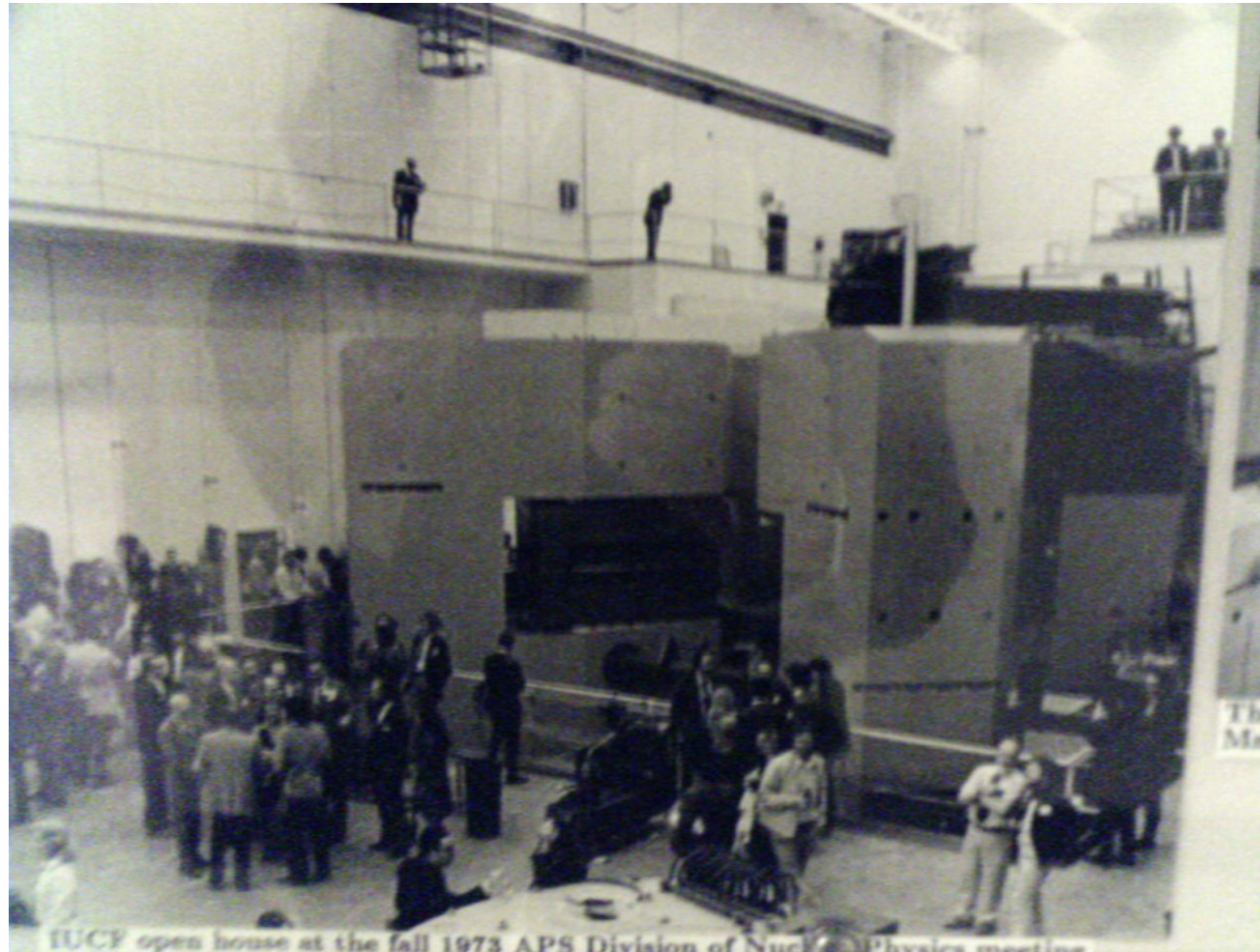
**синхротрон имеет
гибкий режим
многократного
ускорения и
торможения пучка в
одном цикле, что
является необходимым
свойством при
создании
оптимального дозного
поля облучения,
специфичного для
каждого пациента.**

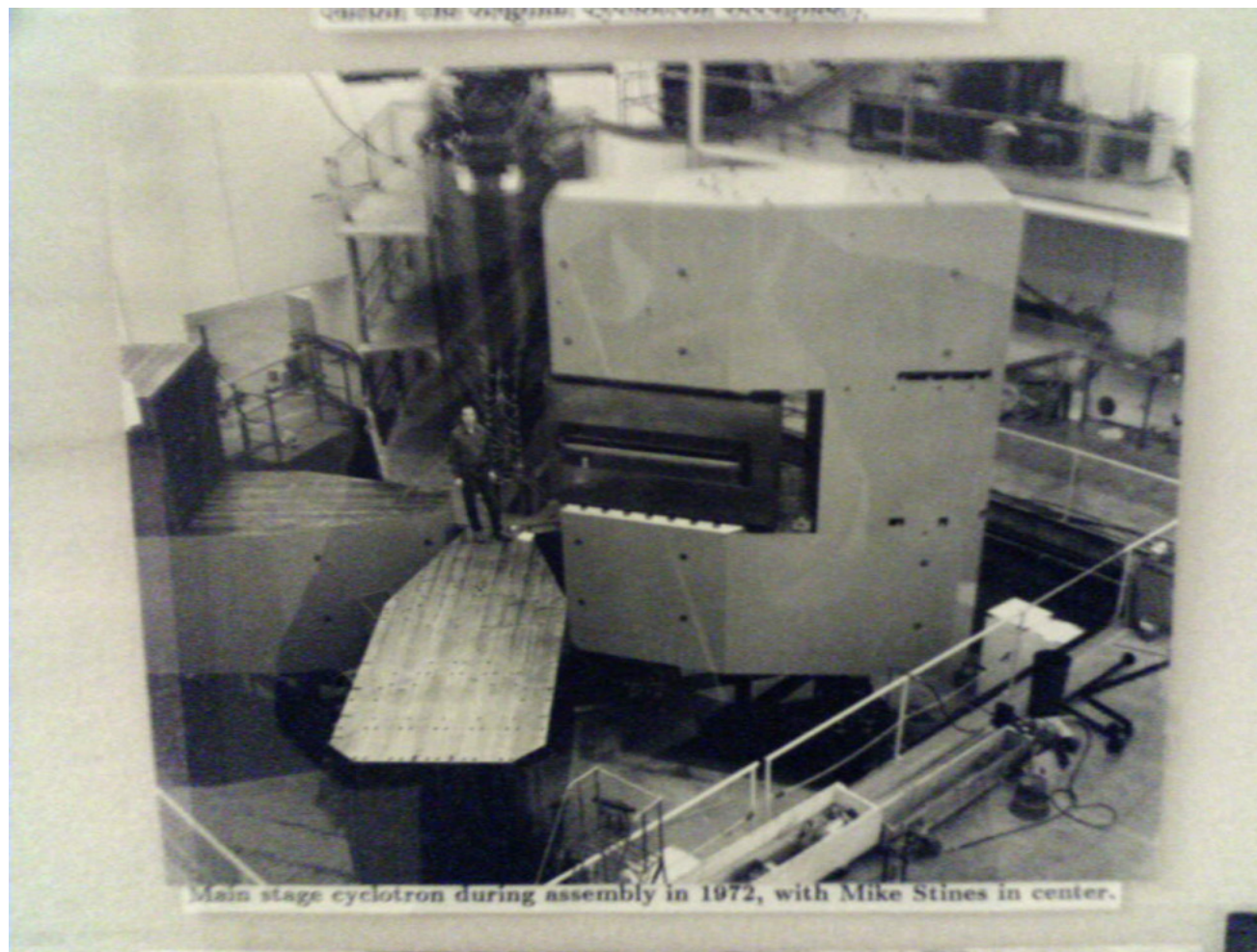
**Свечение протонного пучка, выпущенного в
сцинтилятор на энергиях 100, 120 и 150 МэВ.**





MPRI main stage cyclotron



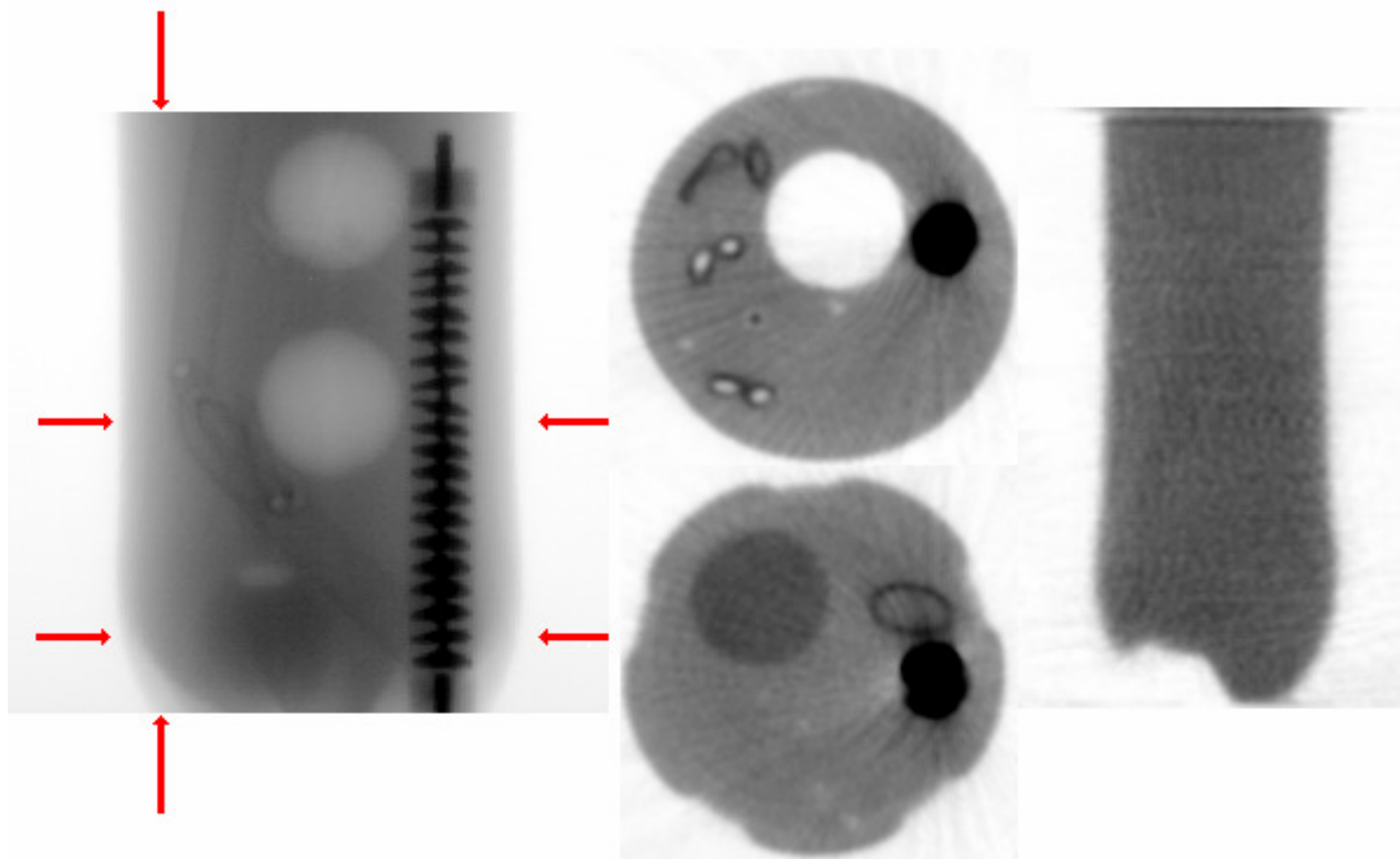


Main stage cyclotron during assembly in 1972, with Mike Stines in center.

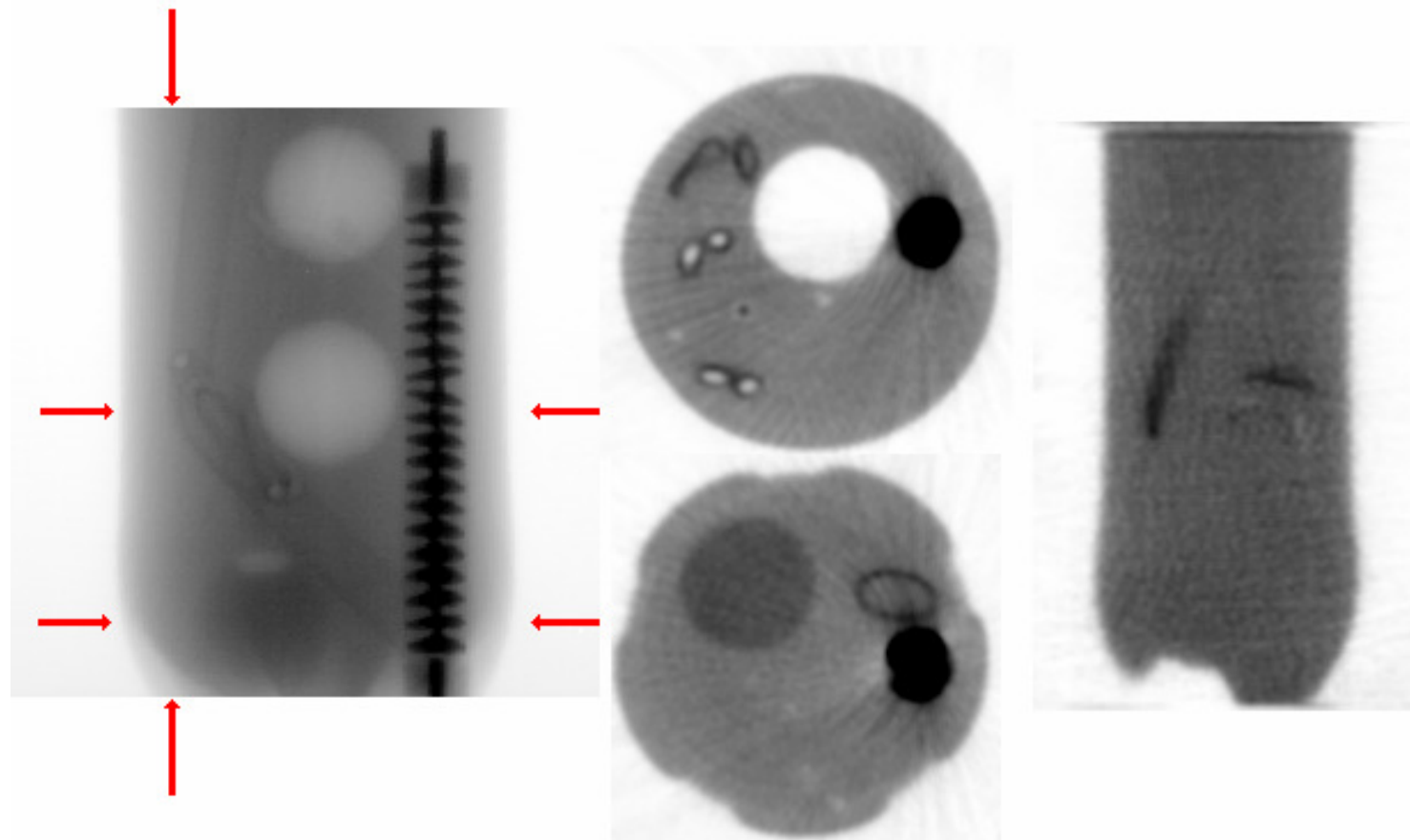
Вертикальное положение пациента имеет следующие преимущества:

- Меньшую амплитуду перемещения внутренних органов связанных с дыханием пациента, а следовательно, более высокую точность формирования дозного поля;**
- Система транспортировки пучка от ускорителя до пациента существенно дешевле (30-50 раз);**
- Существенно сокращается энергопотребление системы;**
- Сокращается число операторов;**

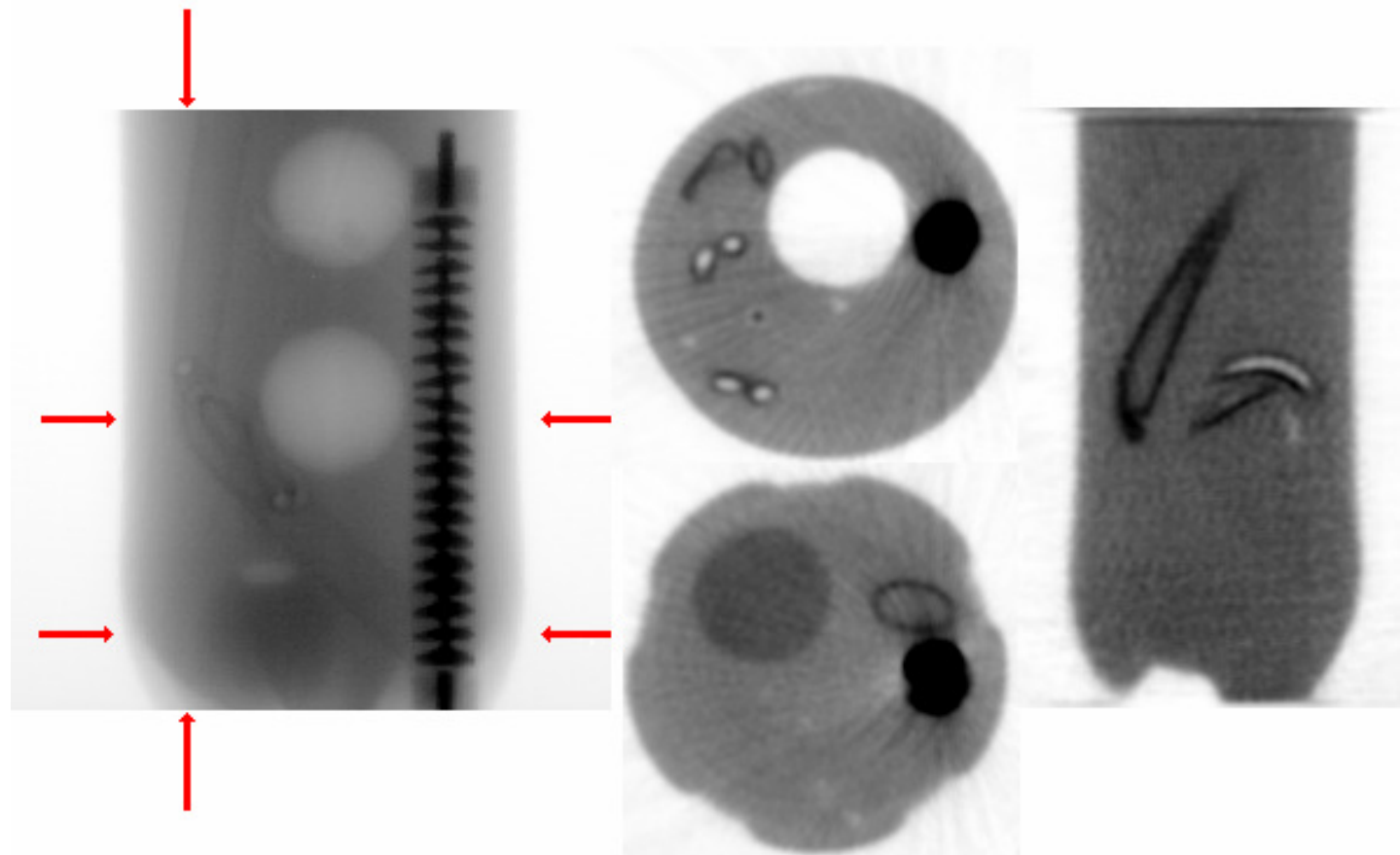
Изображение фантома и его томограммы



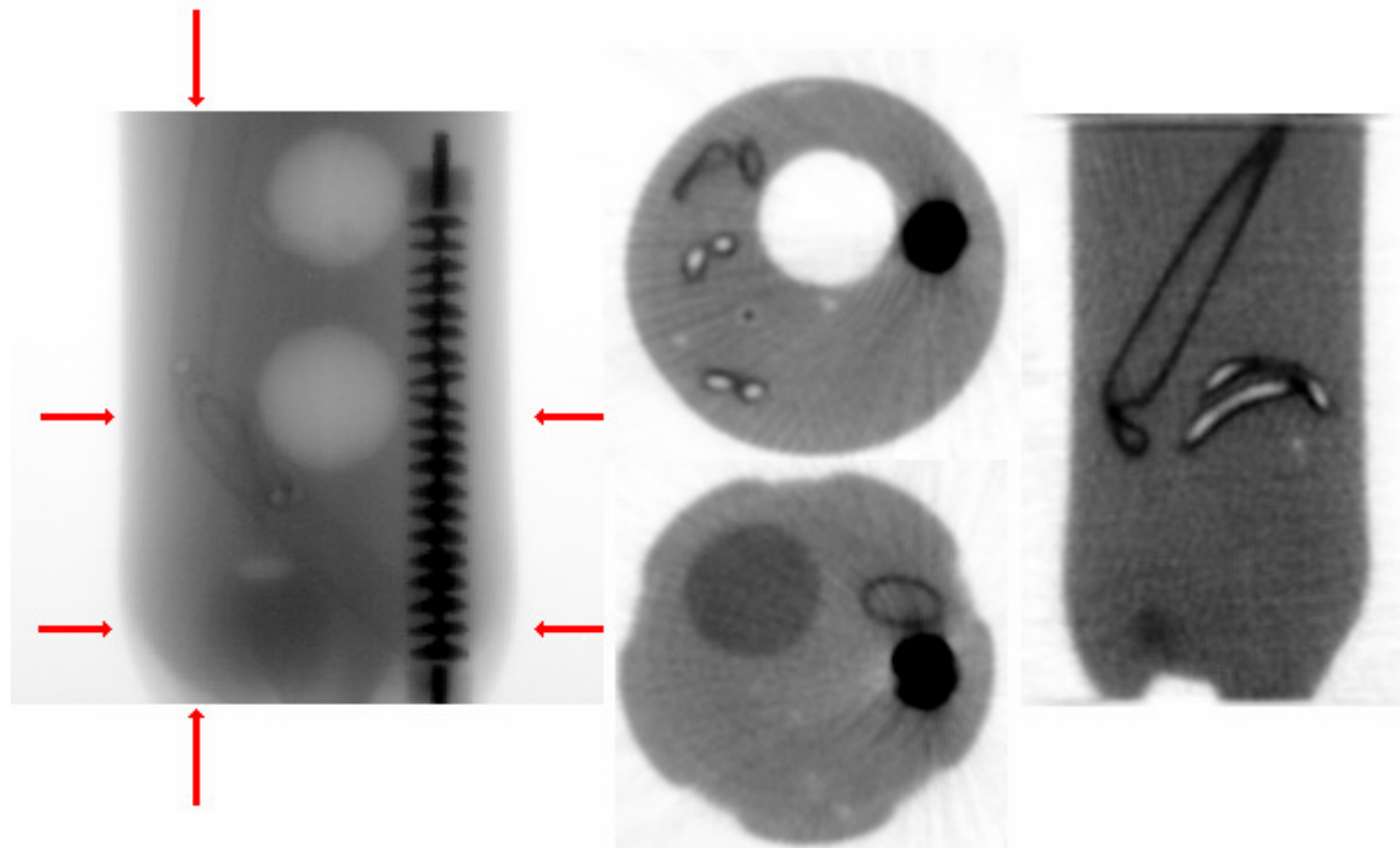
Изображение фантома и его томограммы



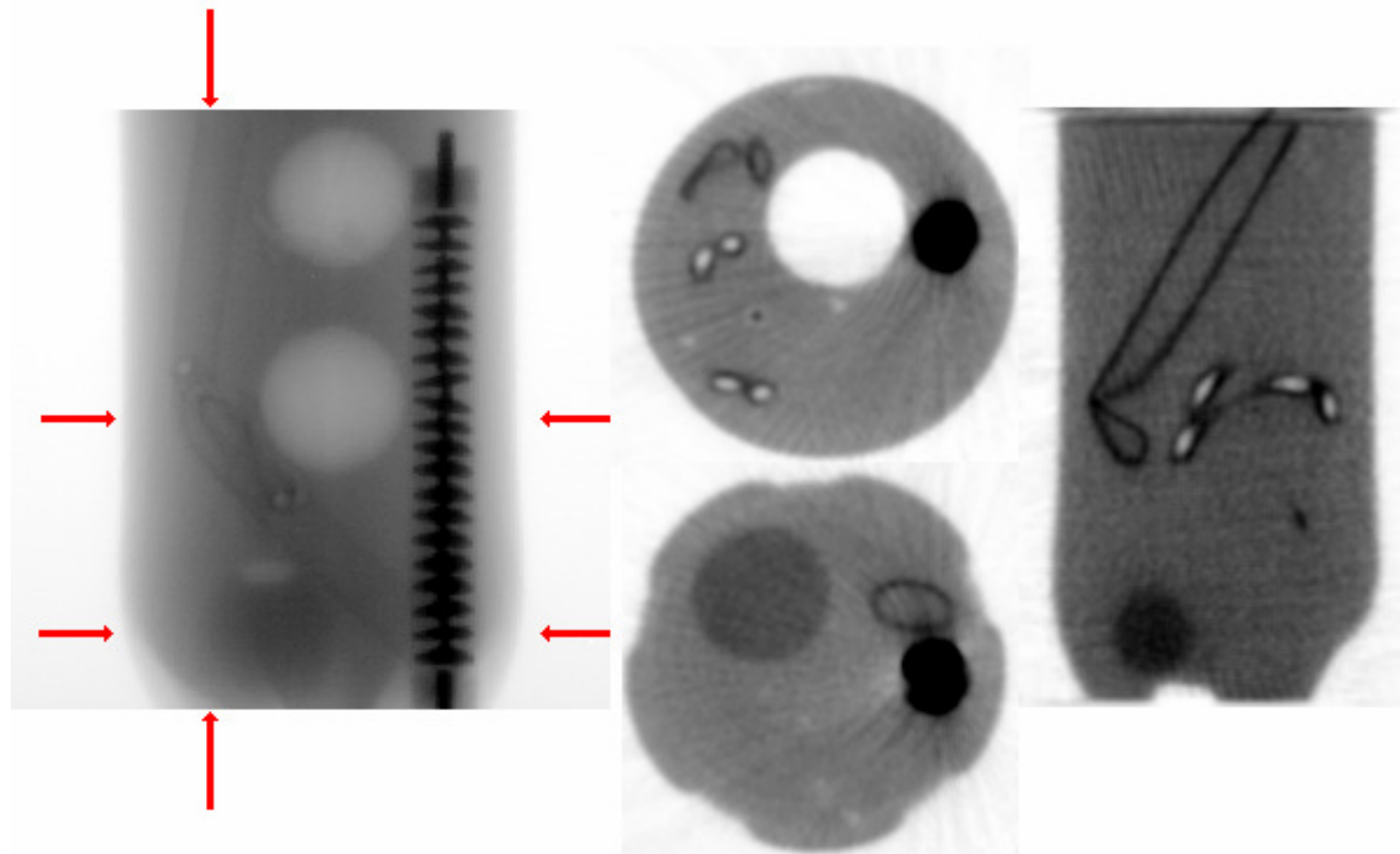
Изображение фантома и его томограммы



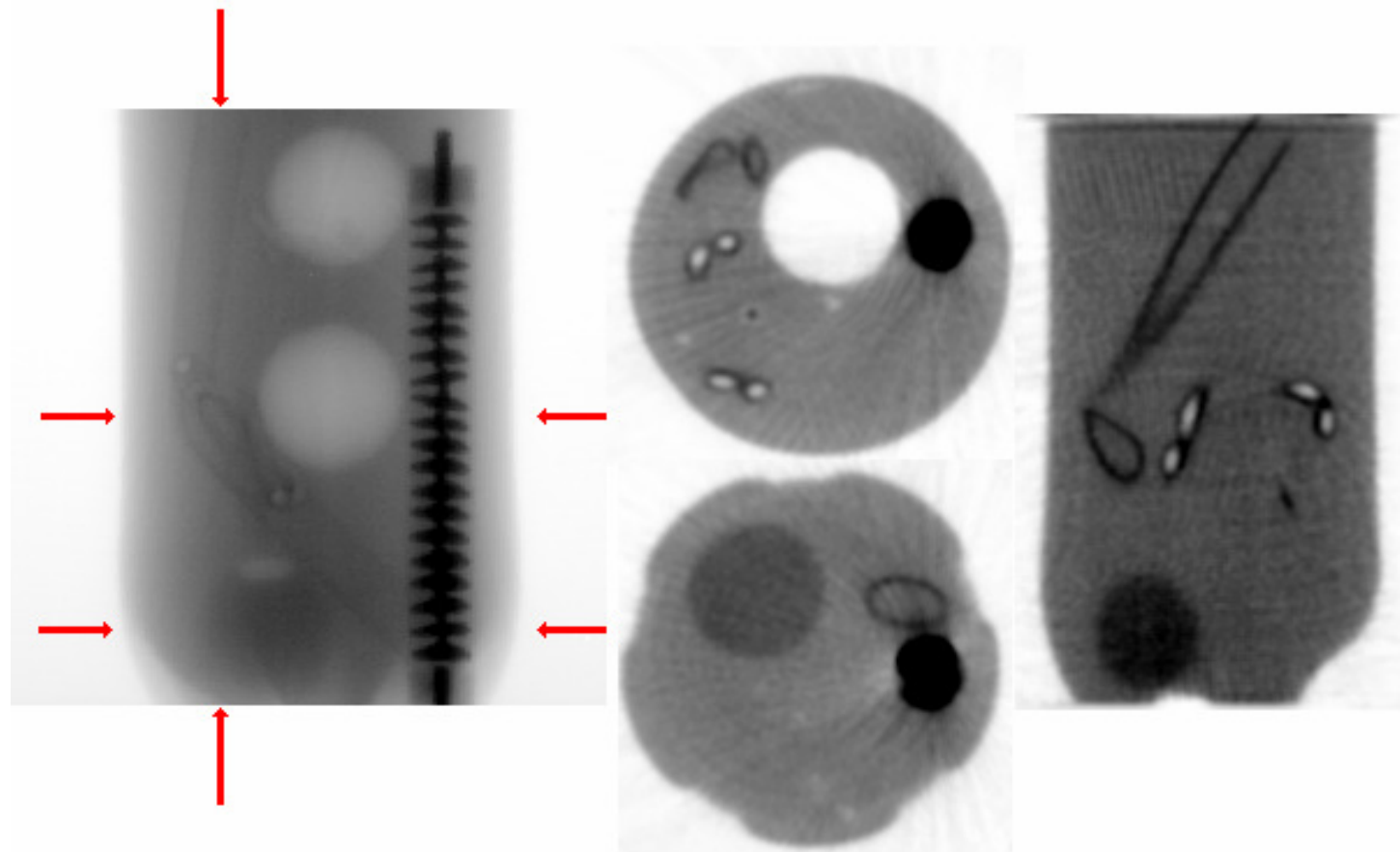
Изображение фантома и его томограммы



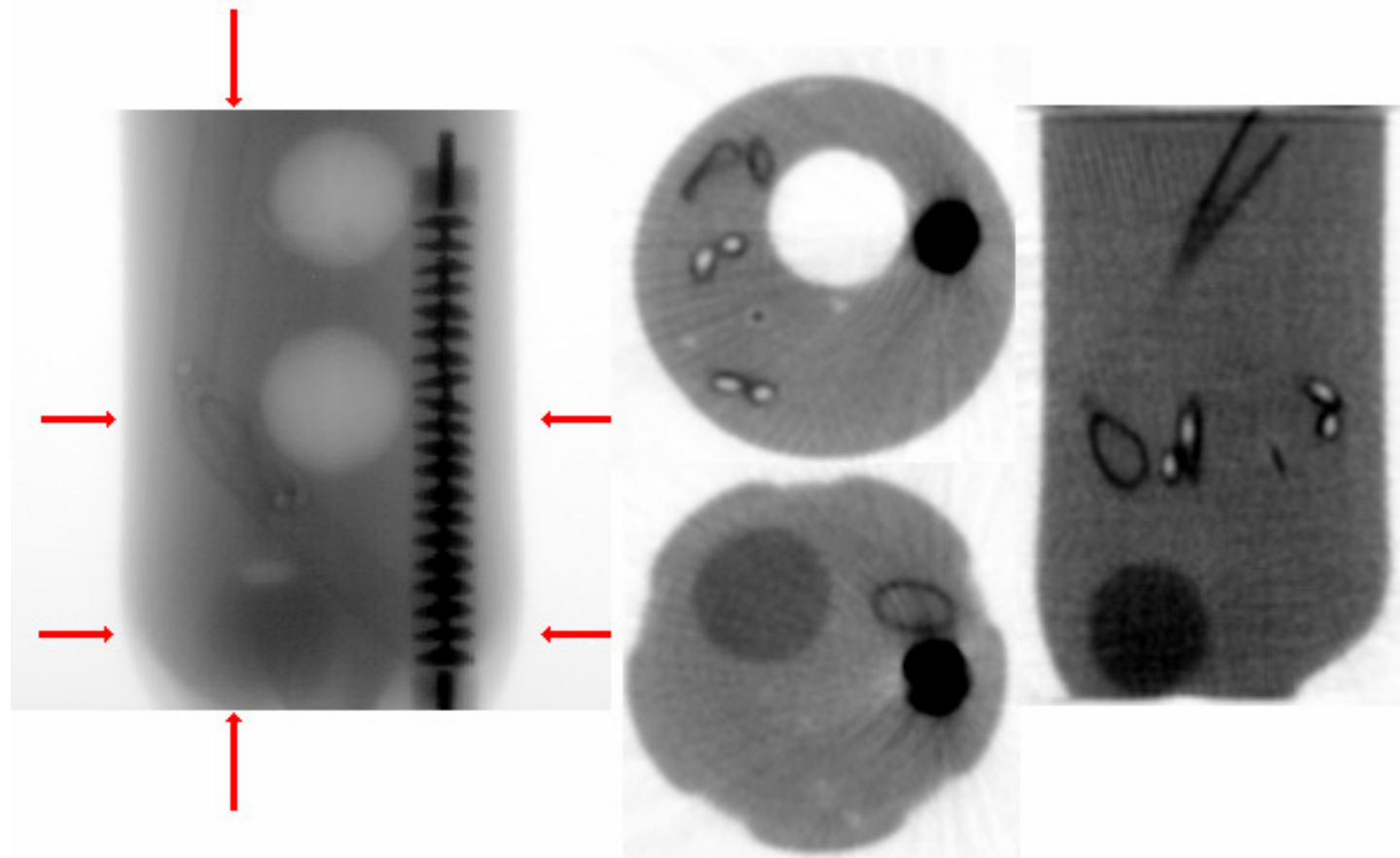
Изображение фантома и его томограммы



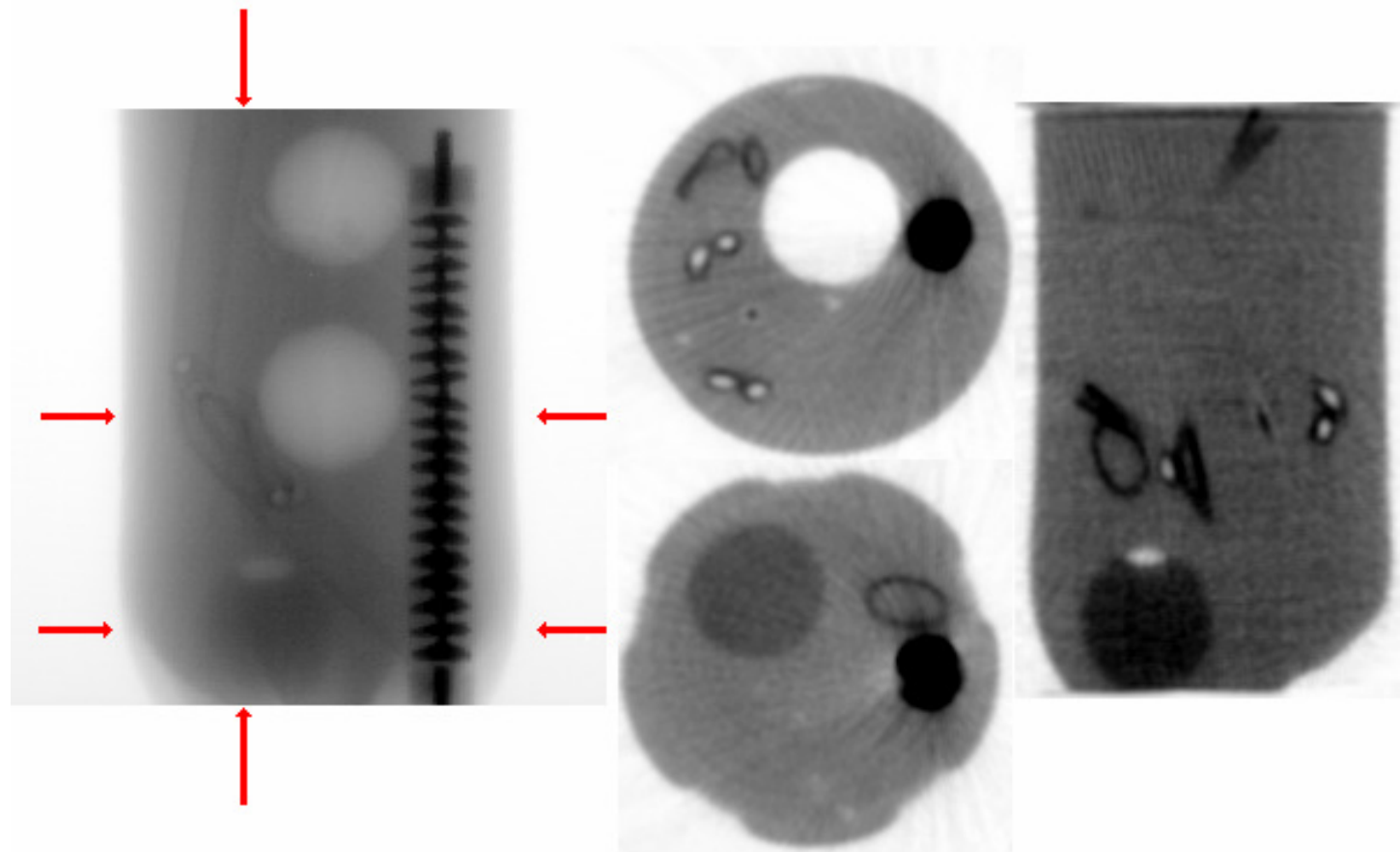
Изображение фантома и его томограммы



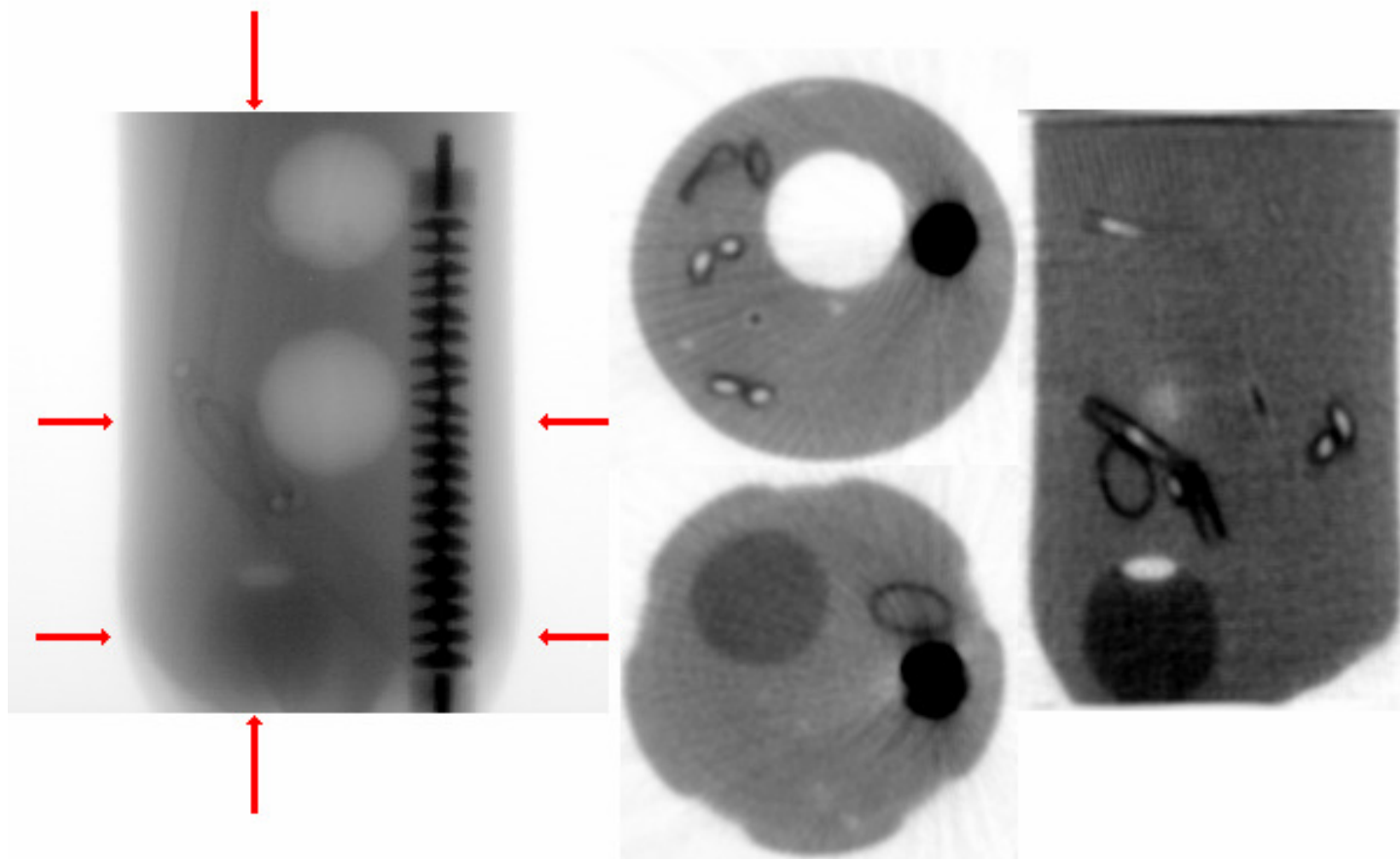
Изображение фантома и его томограммы



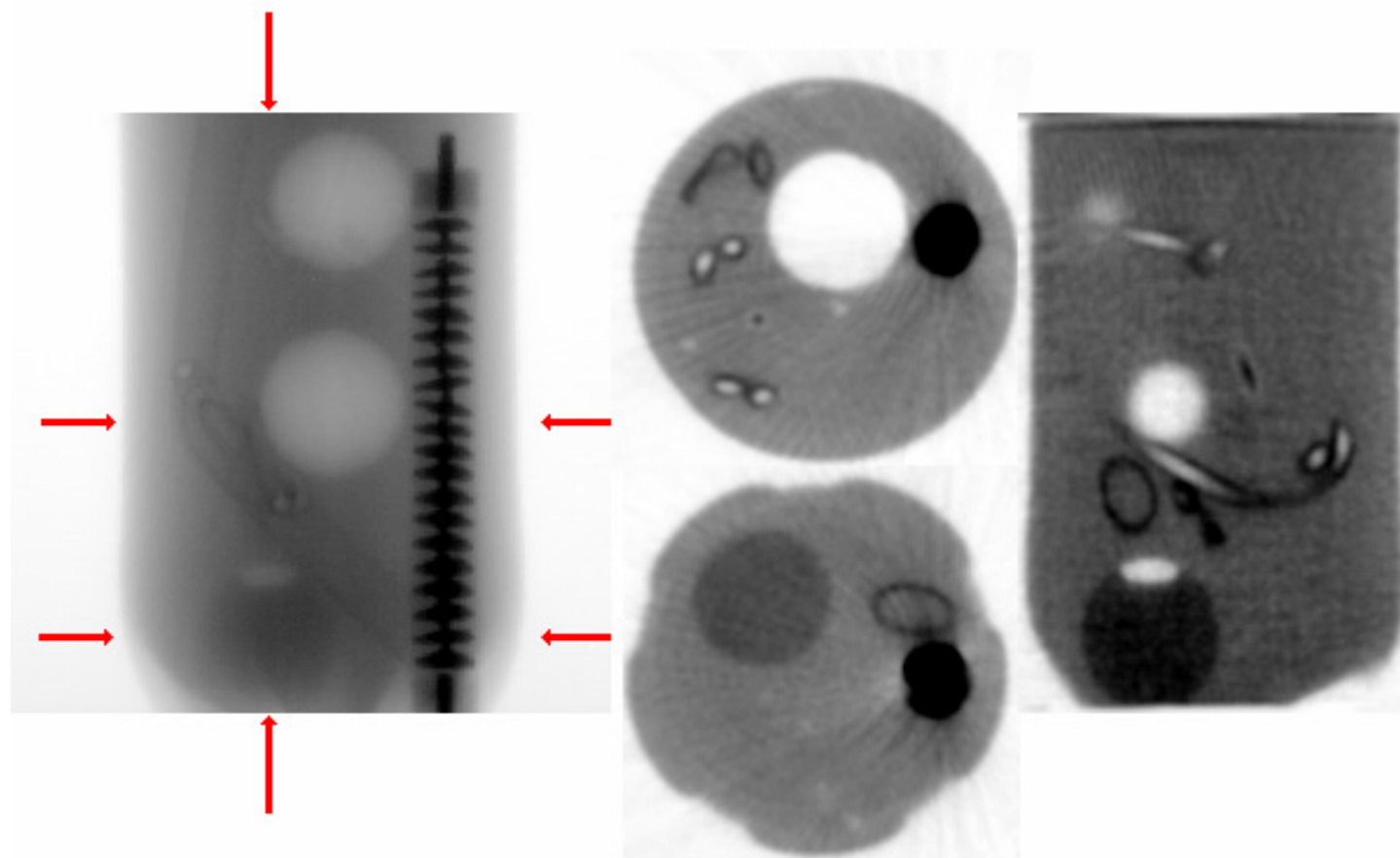
Изображение фантома и его томограммы



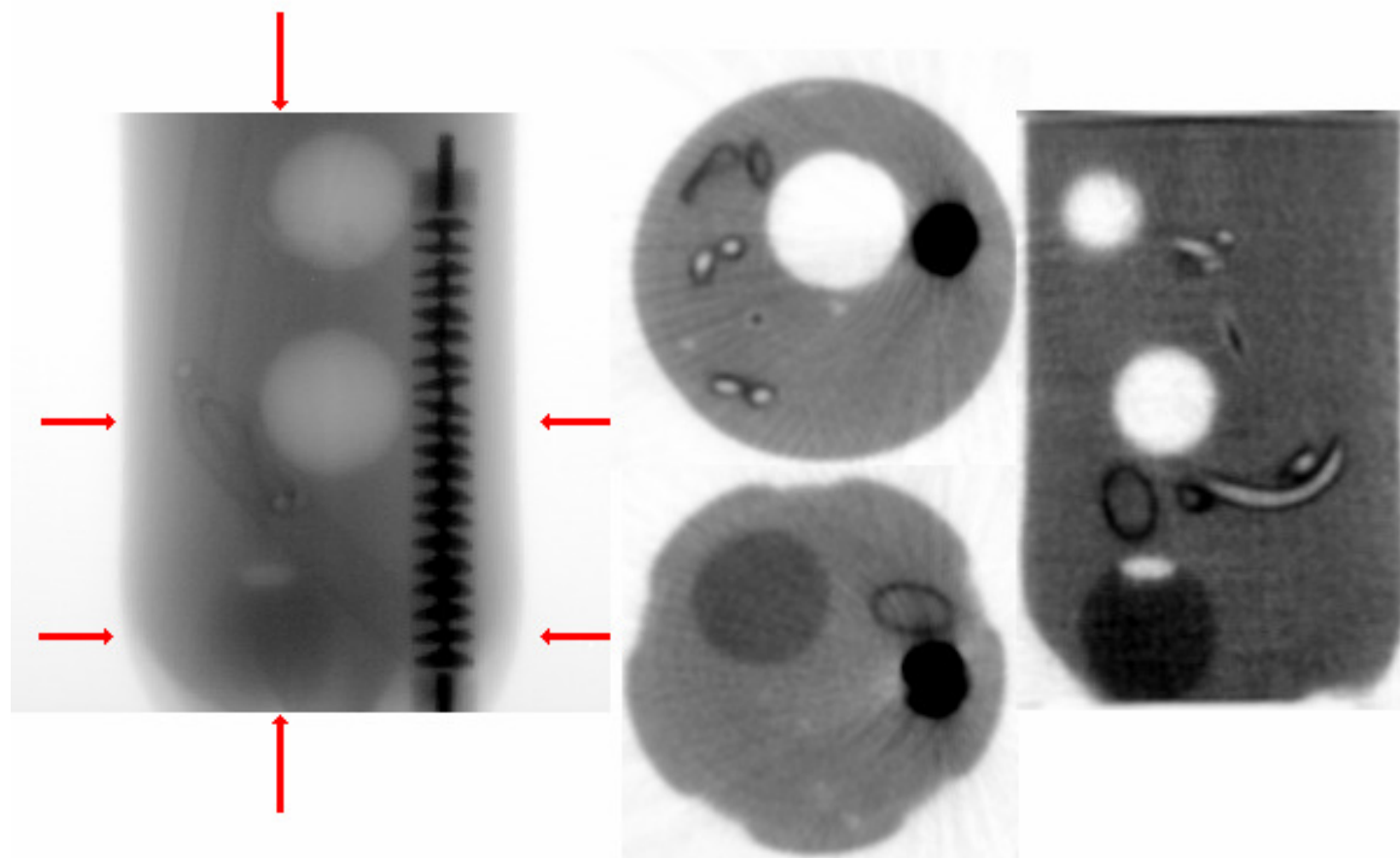
Изображение фантома и его томограммы



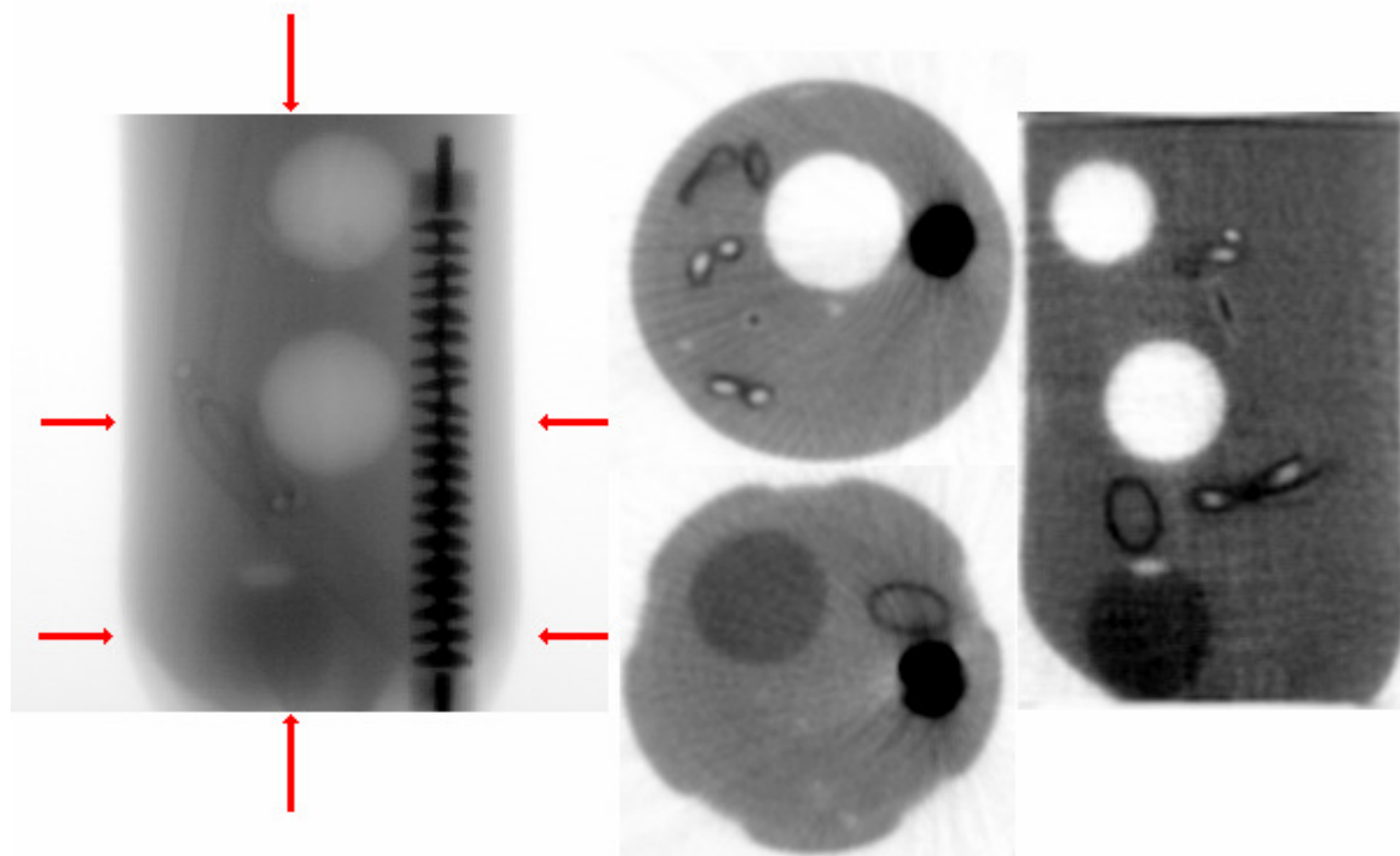
Изображение фантома и его томограммы



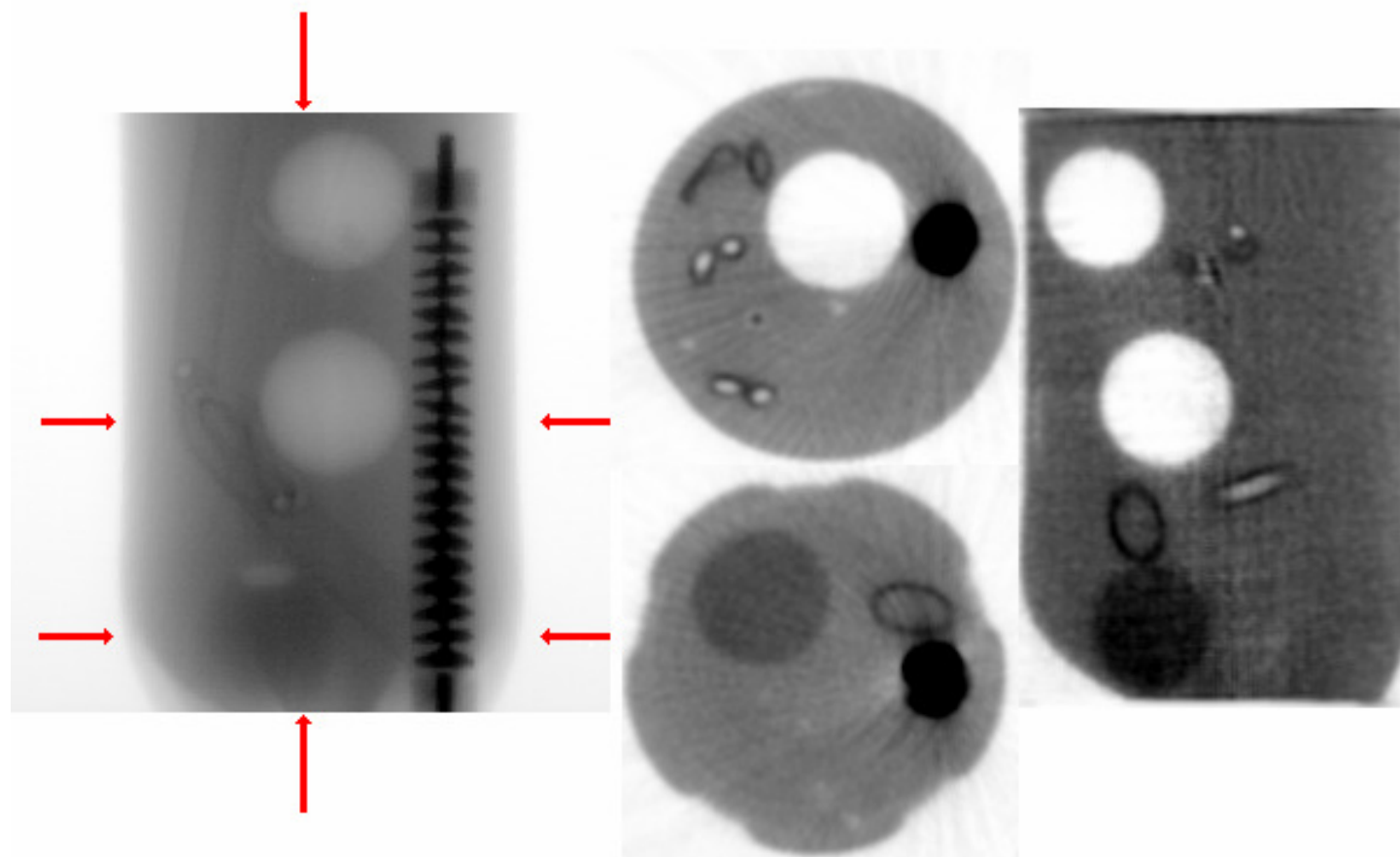
Изображение фантома и его томограммы



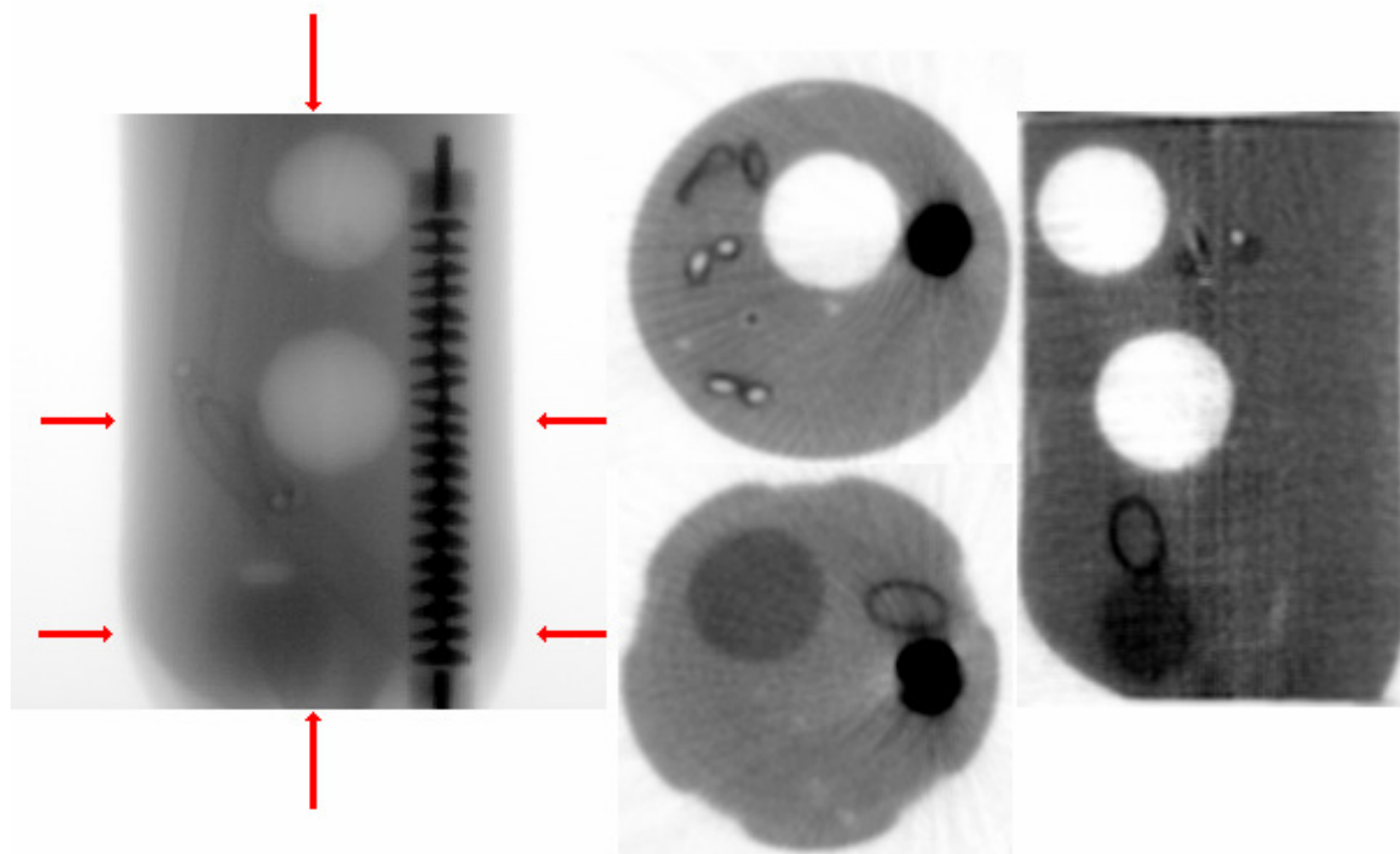
Изображение фантома и его томограммы



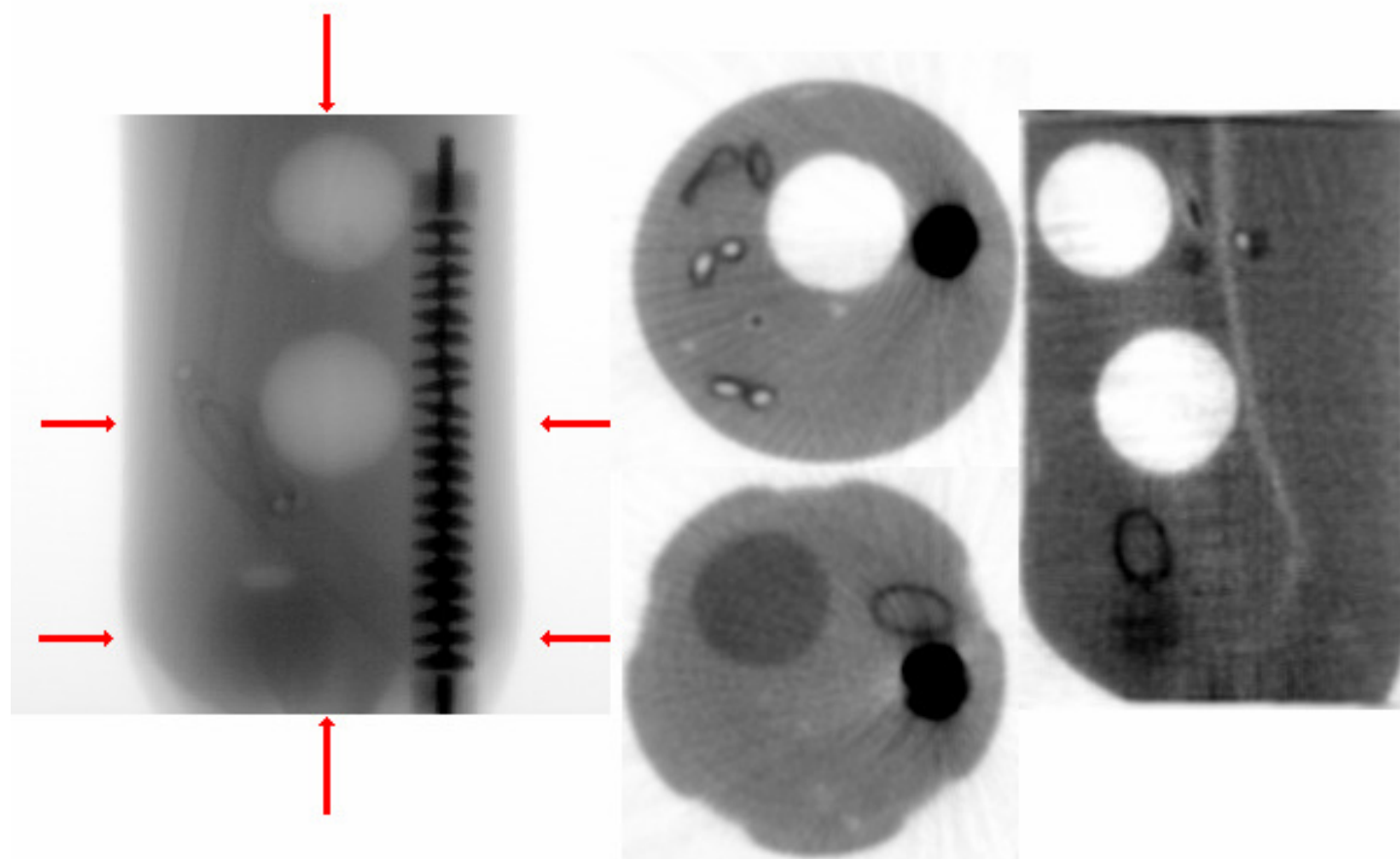
Изображение фантома и его томограммы



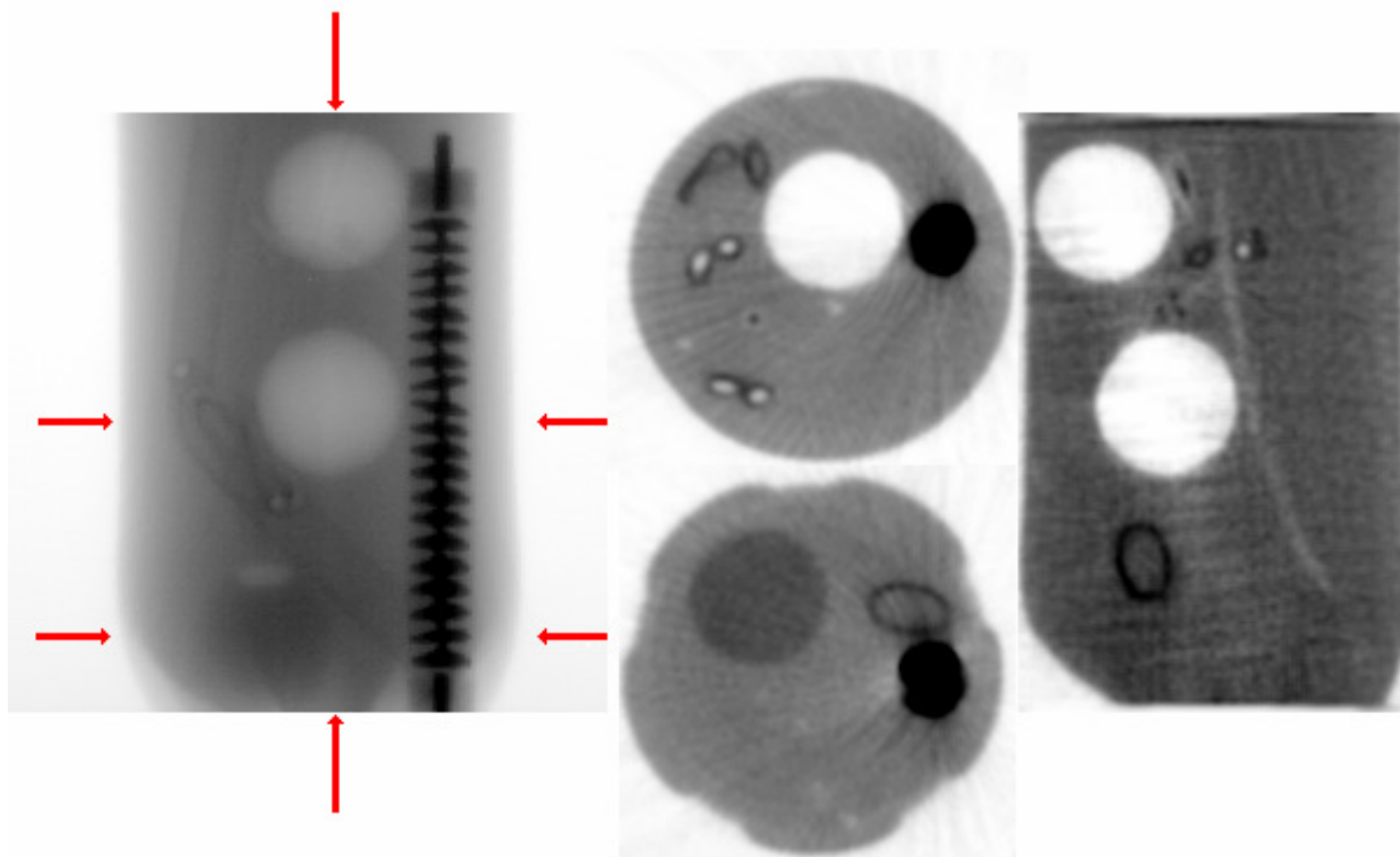
Изображение фантома и его томограммы



Изображение фантома и его томограммы



Изображение фантома и его томограммы



**Сборка госпитального образца ускорительного комплекса на
производственно-испытательной площадке ФИЯФ СО РАН
(г.Протвино, Московской обл.).**

**Со временем большинство из 5 тысяч электронных
ускорителей будут заменены на протонные.**

Объем рынка составляет десятки миллиардов долларов США.







ORDINE MAURIZIANO
OSPEDALE MAURIZIANO "UMBERTO I" DI TORINO
Direzione Sanitaria

Largo Turati, 62
10128 TORINO - ITALY

Branch of Institute of Nuclear Physics,
Post Box 113/1
Protvino, Moscow region,
142281, RUSSIA

Torino, 22.04.2

Dear Prof. Vladimir Balakin,

the Ordine Mauriziano has just stated a collaboration with European Oncological Institute (IEO) of Milan. Scope of this collaboration is to study the set-up of 1(2) facilities for proton-therapy to settle in Turin and in Milan. The idea is to have two identical machines to contribute to give proton-therapy a major impact in Italy. Dr. Scielzo and Dr. Gabriele, after some visit in Russia at you centre expressed good evaluations of your project. Since new development have took place in the last time a new delegation, composed by member of both the institutions has been set-up, for a new visit in Russia. In this visit it will be possible to discuss about possibility of purchase two proton-therapy facilities.

As regard the delegation the following members compose it:

Ordine Mauriziano-IRCC Torino-Candiolo:

Dr. G.Scielzo Medical Physics Dept. Head

Dr. P.Gabriele Radiotherapy Dept.

IEO Milano

Dr. G.Tosi Medical Physics Dept. Head

Dr. R.Orecchia Radiotherapy Dept. Head

Best Regards.

General Director
Avv. G. Zanetta



A.B.N. 87 095 006 223

Proton Therapy-Tomography Technology Pty. Ltd.

204 Young Street, Unley, South Australia, 5061, Australia

tel/fax: 61(8) 8365-0959 fax: 61(8) 8271-8320

e-mail: pttt@bettanet.net.au

30 July 2004

Professor V.E. Balakin
Director, Physics Technical Centre,
Physics Institute of Academy of Science,
P.O. Box 113-01, Protvino, Moscow Region,
Russian Federation, 142 281

Dear Professor Balakin,

As you know, our company has a strong interest in the Proton Therapy System developed by your organisation. At present we have a firm intention to purchase at least two of these systems, one for installation in Australia and the other one in the United States. This is only the initial intent, and if our plans for those two systems are successful, our aim is to purchase even more of your systems in the future.

However, prior to us being able to place any such purchase orders, we would require demonstration of your system in its operating condition. We understand that you are currently in the process of bringing up at least one of your systems to the operational status. Please advise us of the earliest opportunity when this system would be available for demonstration.

Thank you for your cooperation and please accept our best regards.

Yours sincerely,

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'D.D. Sivan', written in a cursive style.

Dr D.D. Sivan
Executive Director

Competitive advantage

Major advantage is the superior technical design of the Russian proton accelerator which allows the major reduction in size and cost of the proton therapy unit.

The Russian technology is estimated as 5-10 years ahead of its competitors allowing a substantial opportunity to build a dominant market position and sell with a relatively high profit margin.

Business Opportunity and Strategy

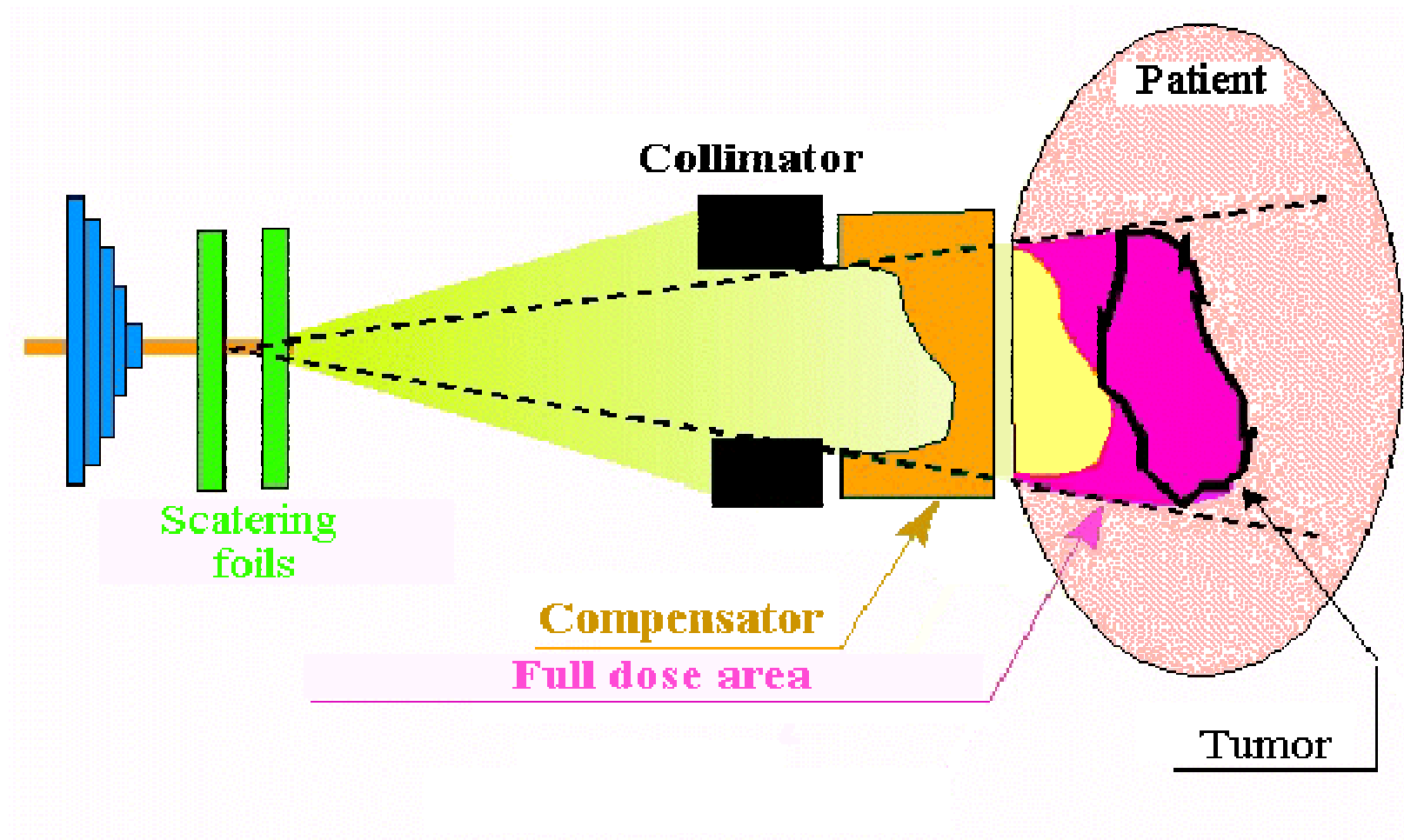
The basic opportunity is to develop a proton therapy unit superior to all competitors which can be manufactured and delivered to the market at a cost of \$A10-20 million whilst other competitors are selling for \$A80 million.

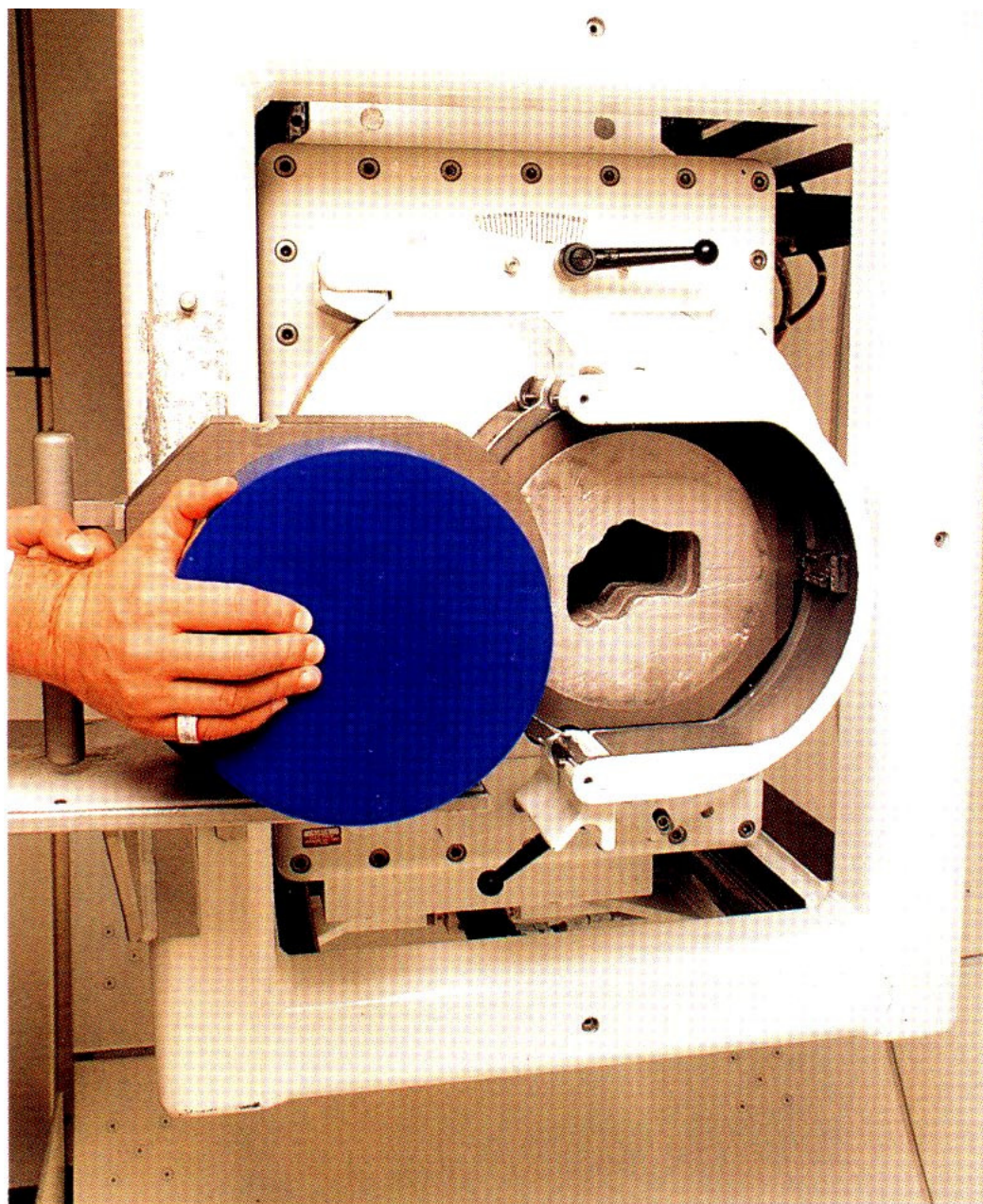
The size of the potential world market is dependent on price

- 2-3 per year based on the current price of \$A80 million (there are approximately 15 in various planning stages around the world)
- 10-20 per year based on a price of \$A20million
- 100-1000 per year if a price of \$A2.5-5 million was achieved (ie comparable to conventional radiotherapy equipment)

The standard irradiation scheme.

(Loma Linda (USA), Boston (USA), Kashiwa (Japan), ...)







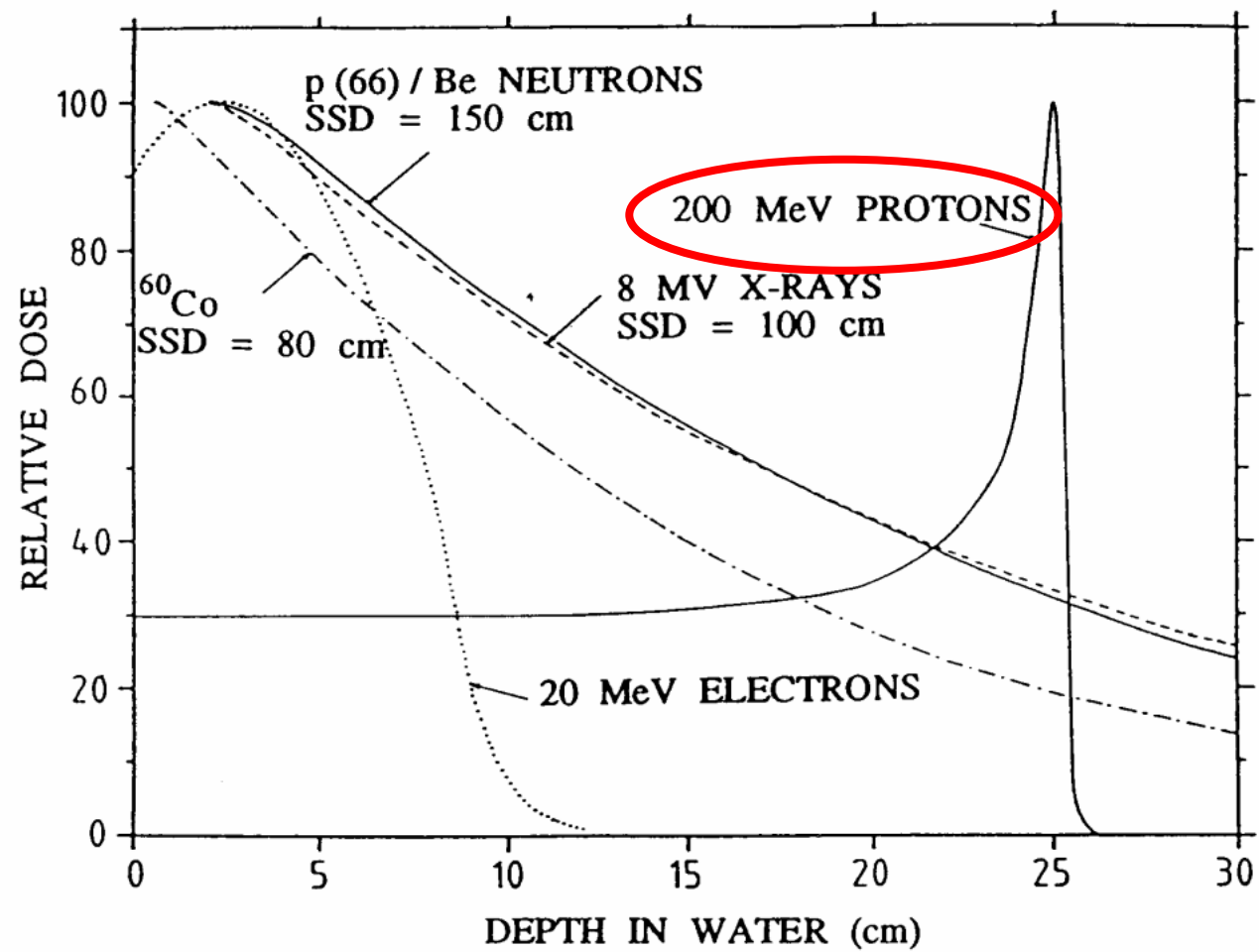
Помещение для организации серийного производства терапевтических комплексов.

На заднем плане – радиационно–защищенные бункеры для испытаний серийных образцов комплекса. г. Протвино.

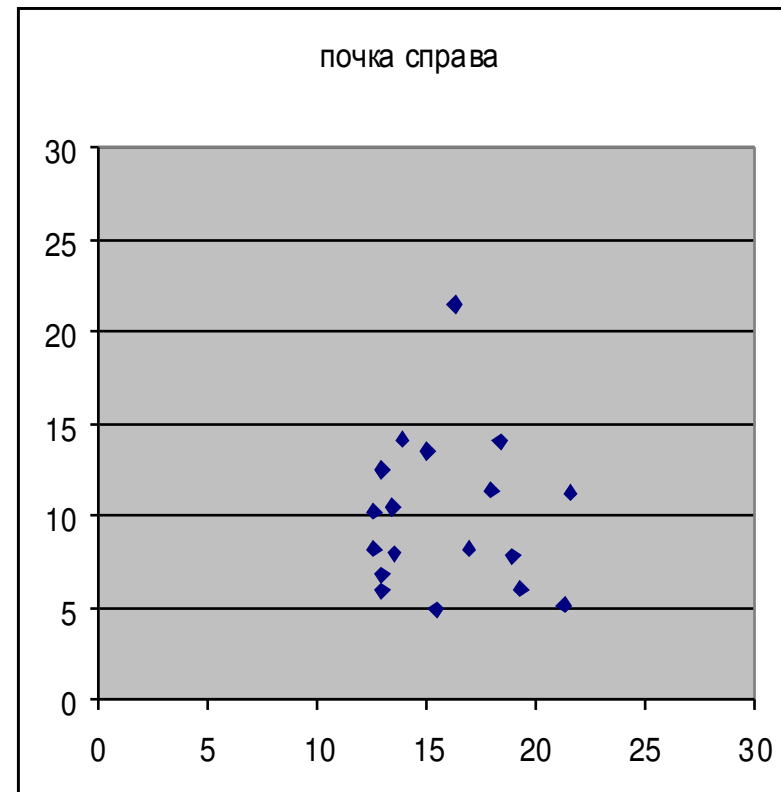
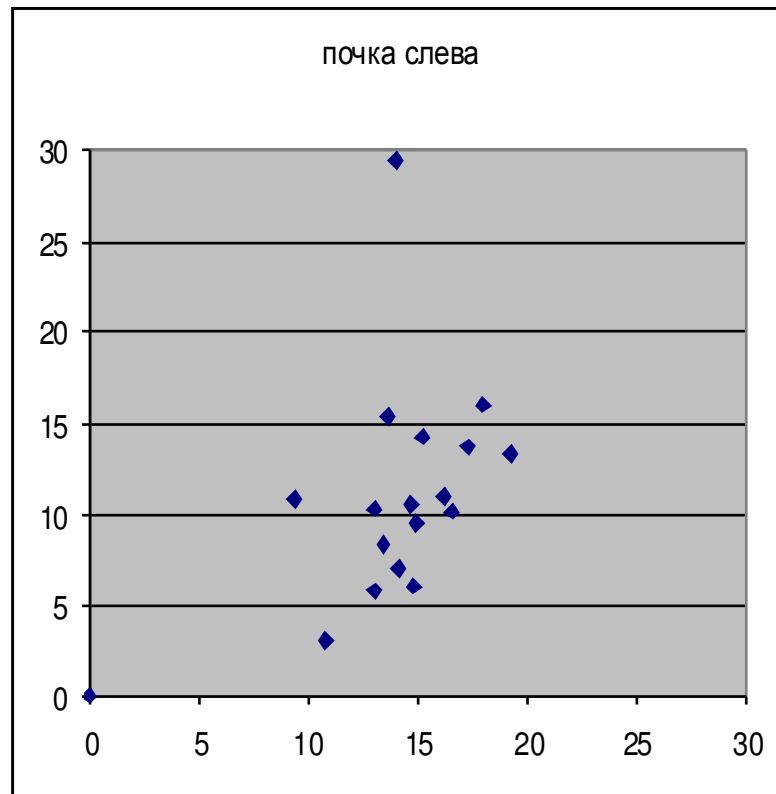




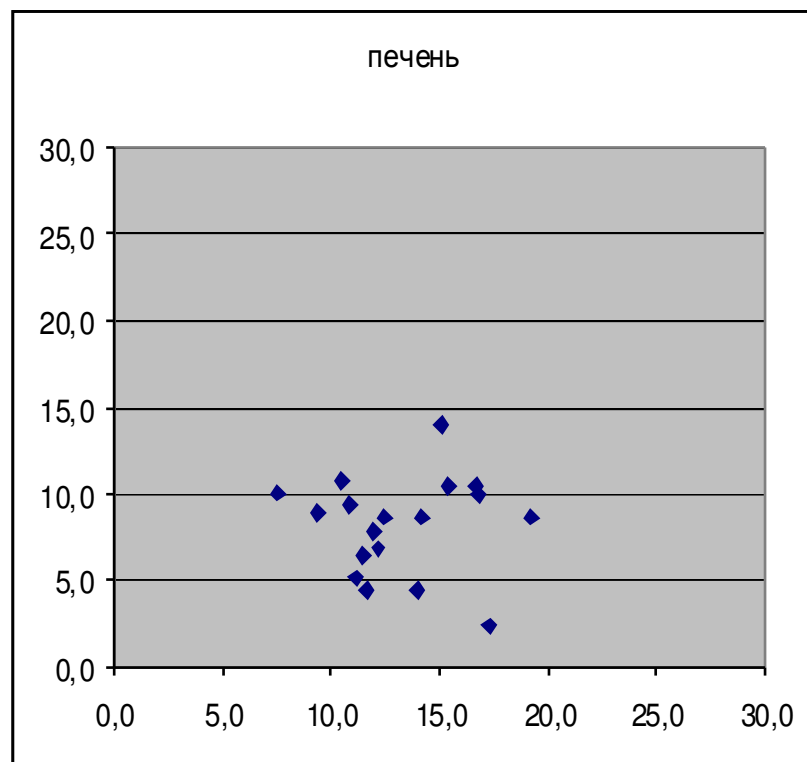
**синхротрон имеет
гибкий режим
многократного
ускорения и
торможения пучка в
одном цикле, что
является необходимым
свойством при
создании
оптимального дозного
поля облучения,
специфичного для
каждого пациента.**



Амплитуда перемещения внутренних органов из-за дыхания пациента.



Амплитуда перемещения внутренних органов при дыхании пациента.



Лабораторный образец протонного терапевтического комплекса



