



Projekt Narodowego Centrum Radioterapii Hadronowej

Paweł Olko

IFJ PAN





Plan prezentacji

- 1. Podstawy fizyczne radioterapii wiązkami jonów**
 - **Projekt radioterapii oka w IFJ**
 - **Postępy w technice radioterapii**
- 4. Konsorcjum Narodowe Centrum Radioterapii Hadronowej, NCRH**
- 5. Projekt NCRH – Faza I Centrum Cyklotronowe Bronowice**
 - **akcelerator**
 - **lokalizacja i plan architektoniczny**
 - **harmonogram inwestycji**
 - **program naukowy i medyczny**



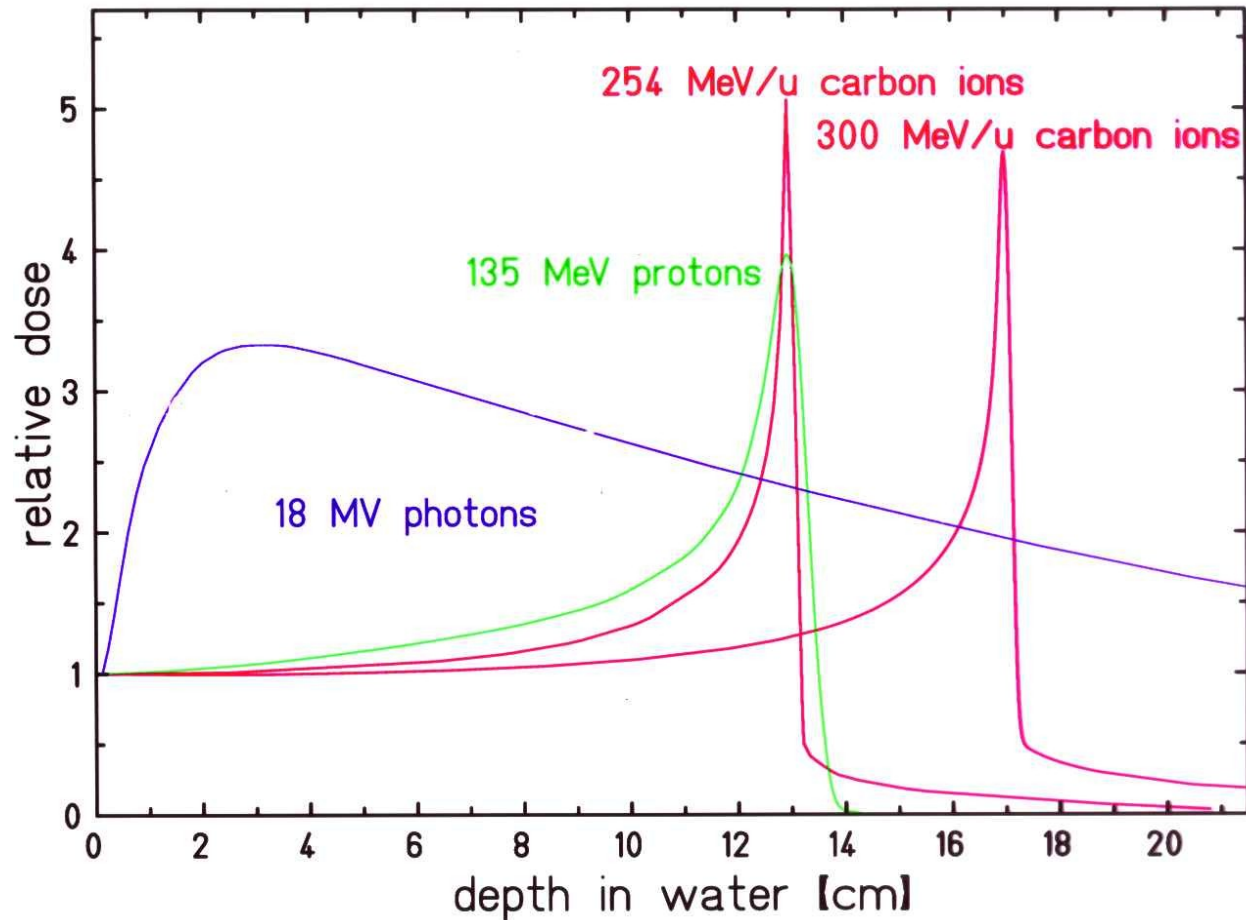
Zalety wiązek jonowych dla radioterapii

- Dobrze zdefiniowany zasięg (lepiej dla protonów)

- Małe rozproszenia wiązki (lepiej dla ^{12}C)

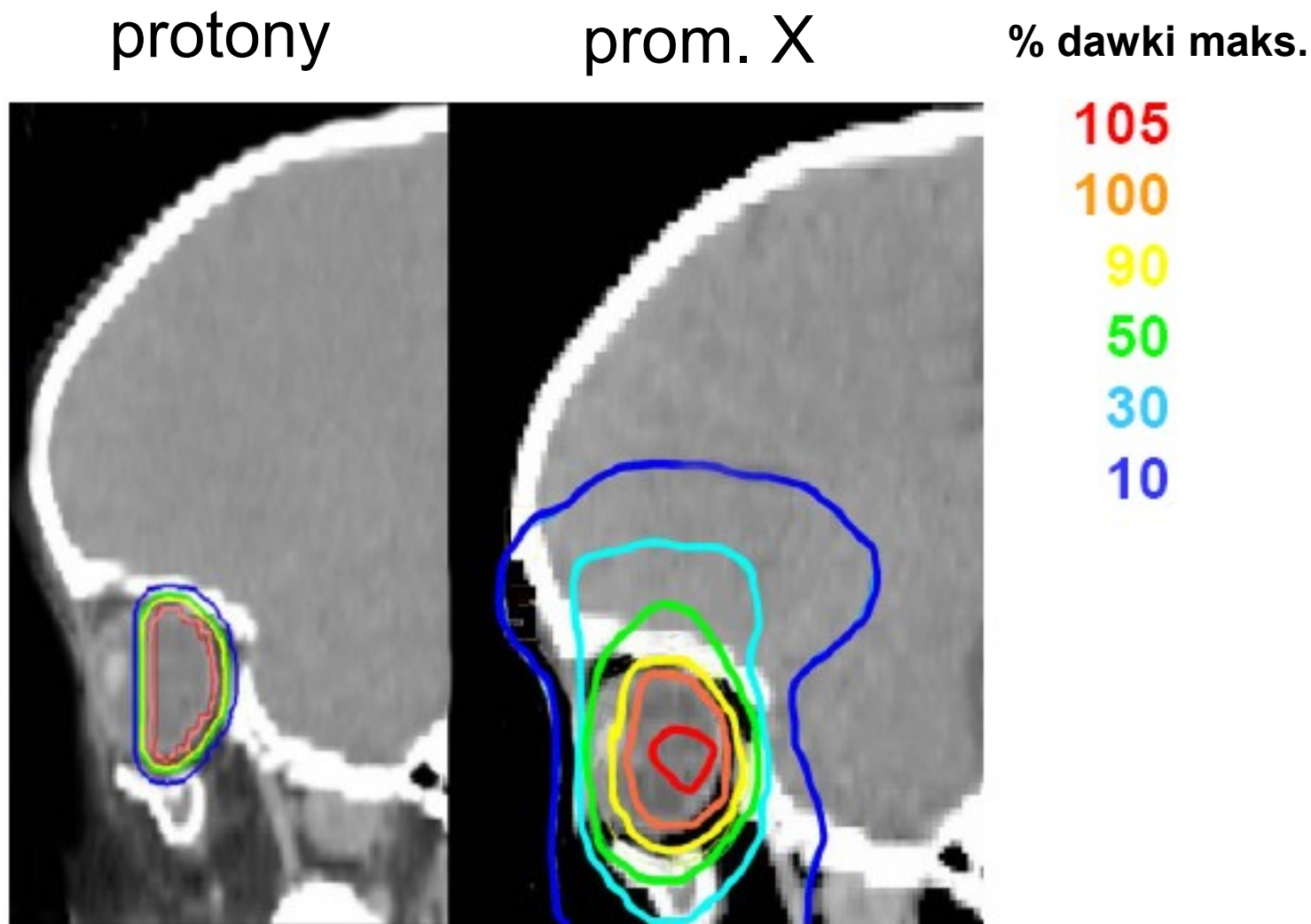
- Radiobiologia dla protonów i wiązek konwencjonalnych podobna

- Wysoka gęstość jonizacji ^{12}C ważna w leczeniu niektórych nowotworów radioopornych





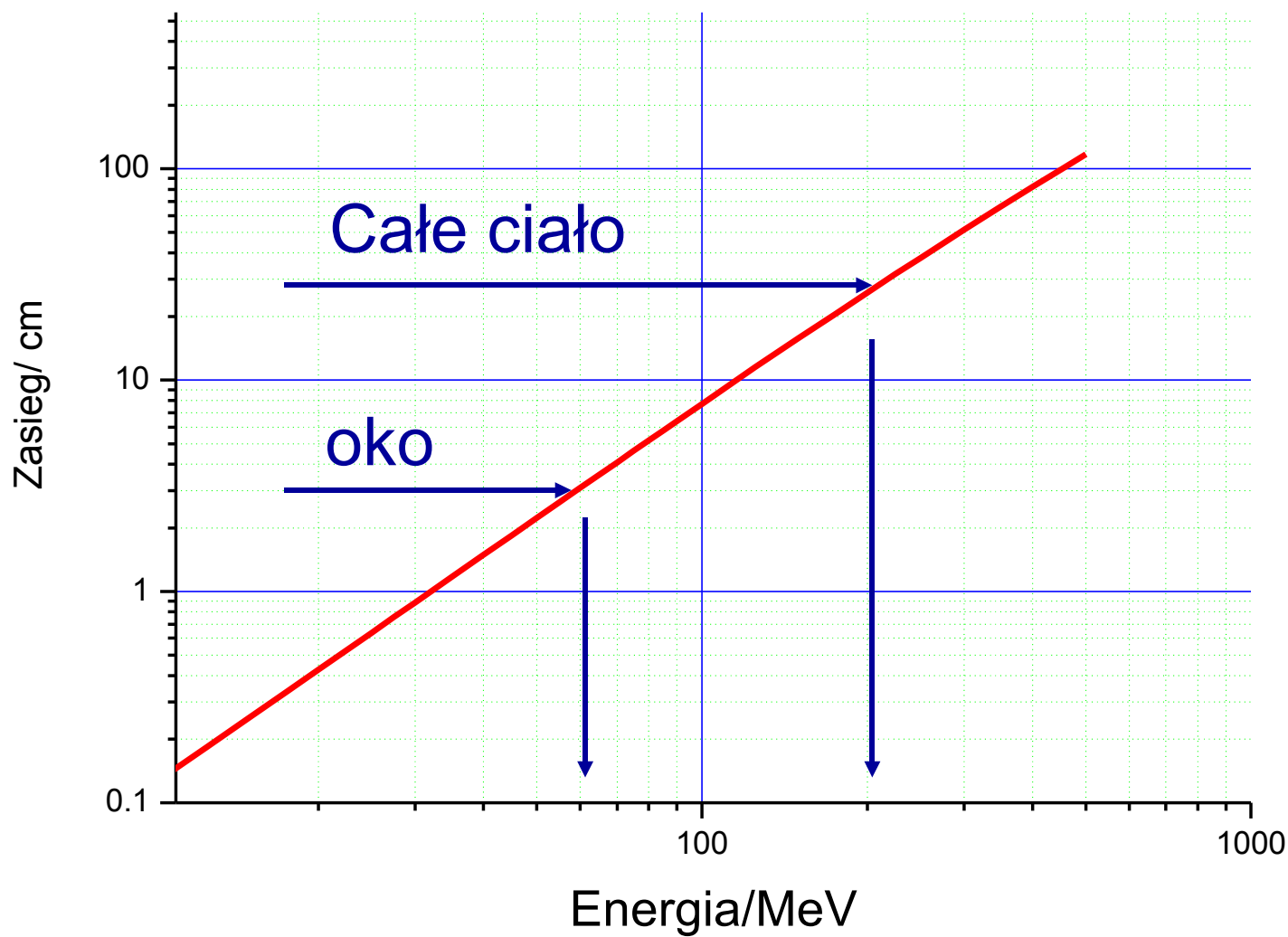
Porównanie możliwości formowania wiązki: protony i fotony



Nowotwór obszaru głowy i szyi



Zasięg protonów w wodzie



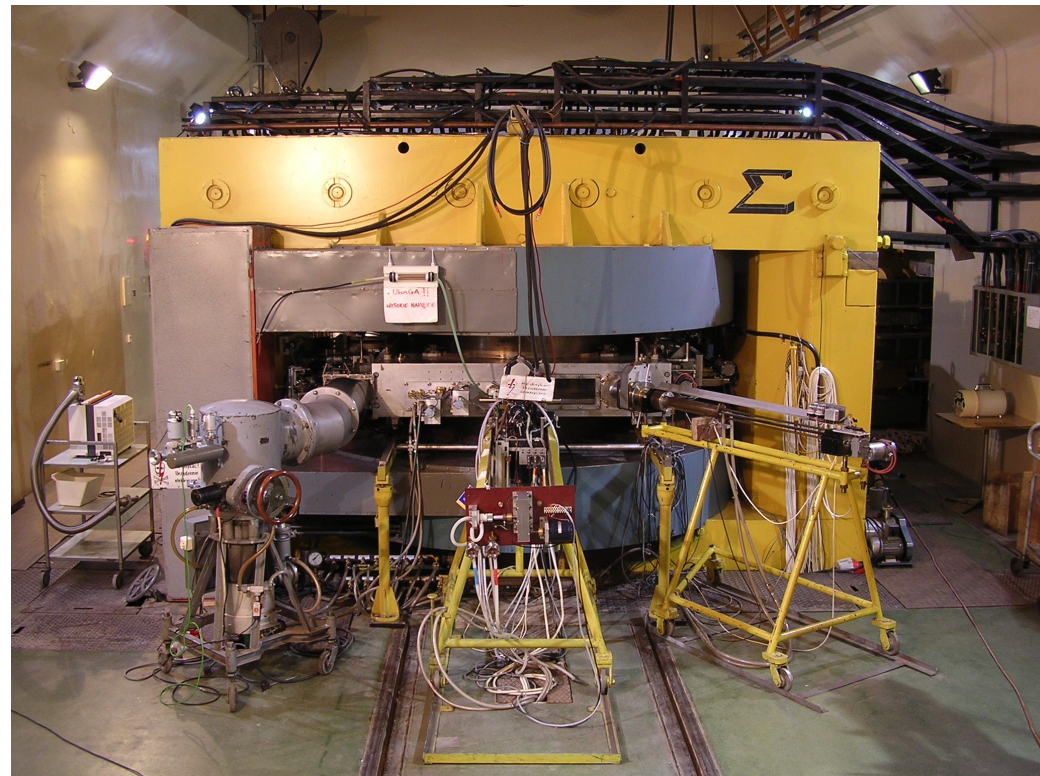
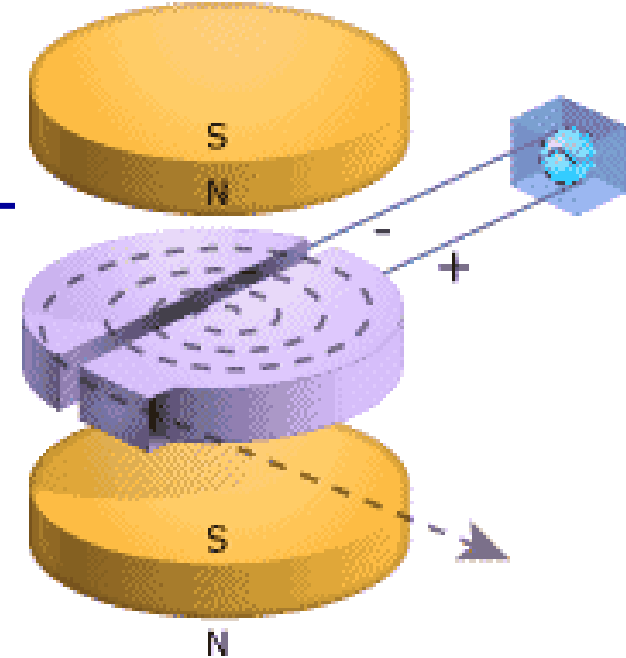
Cyklotrony w IFJ

- pierwszy cyklotron w Polsce
skonstruowany w Krakowie, 48 cm
(1955, po 1990 dla UMCS Lublin)

- cyklotron klasyczny U-120
(uruchomiony 22.11.1958,
zatrzymany grudzień 1994)

-cyklotron izochroniczny AIC-144
(od 1980-tych)

J. Schwabe
E. Bakewicz
J. Sulikowski
K. Guguła
G. Polok



Radioterapia szybkimi neutronami IFJ 1978-1993



**-Pacjenci Centrum Onkologii Kraków
Lekarz- onkolog Prof. Jan Skołyszewski
- 550 pacjentów, nowotwory głowy i szyi**



Zastosowania cyklotronu AIC-144

Parametry wiązki

$E = 56$ MeV protony

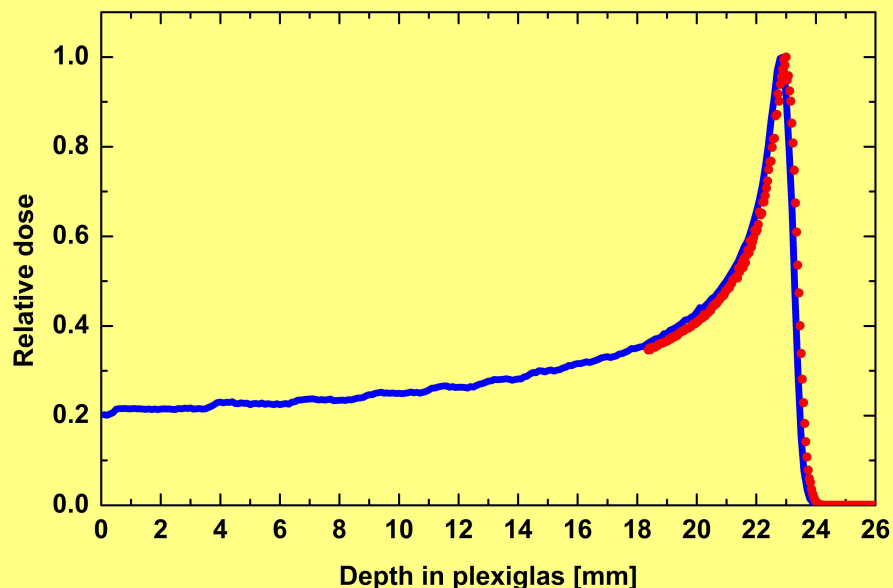
Wiązka wewnętrzna $20\ \mu\text{A}$

Wiązka wyprowadzona $1\ \mu\text{A}$

Zastosowania:

- Produkcja radioizotopów
- Protonowa analiza aktywacyjna (J.W. Mietelski)
- Radioterapia oka (J. Swakon)

J. Swakoń, T. Nowak, 2004



Radioizotopy cyklotronowe (B. Petelenz, E. Ochab, J. W. Mietelski)

- Wyprodukowano 16 różnych izotopów
- Eksport do Monaco (IAEA, ^{73}As), Węgry (Technical Uni., ^{85}Sr)
- Próby produkcji ^{123}I , ^{67}Ga , ^{18}F dla celów medycznych



Inicjatywy radioterapii protonowej w IFJ Kraków

(1994)

Projekt Centrum Radioterapii Hadronowej (Fundacja Polsko-Niemieckie Pojednanie)

(1999)

Strategiczny Program Rządowy Izotopy i Akceleratorzy

II.1.5 Zainstalowanie w cyklotronie AIC-144 stanowisk radioterapii protonowej czerniaka złośliwego oka i radioterapii neutronowej (IFJ)

(2001)

WIELOLETNI PROGRAM INSTYTUTÓW ATOMISTYKI

KOD I.3. Tytuł zadania: Stanowisko z wiązką 250 MeV protonów dedykowaną dla celów medycznych

(2003)

OFFSET F-16 Ośrodek radioterapii protonowej (IFJ)

(2006)

Doc. Bożena Romanowska –Dixon, CM UJ 4 mln zł na stanowisko radioterapii protonowej oka



Projekt radioterapii protonowej oka

Partnerzy

B. Romanowska –Dixon,
Katedra Okulistyki Collegium Medicum UJ

M. Waligórski,
Centrum Onkologii Oddział Kraków

M. Radwańska,
AGH Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej





Pracownia radioterapii protonowej IFJ PAN



dr T. Cywicka- Jakiel



dr J. Swakoń



**mgr U.
Sowa**



dr J. Dąbrowska



mgr B. Dulny



**dr B.
Michalec**



mgr T. Nowak

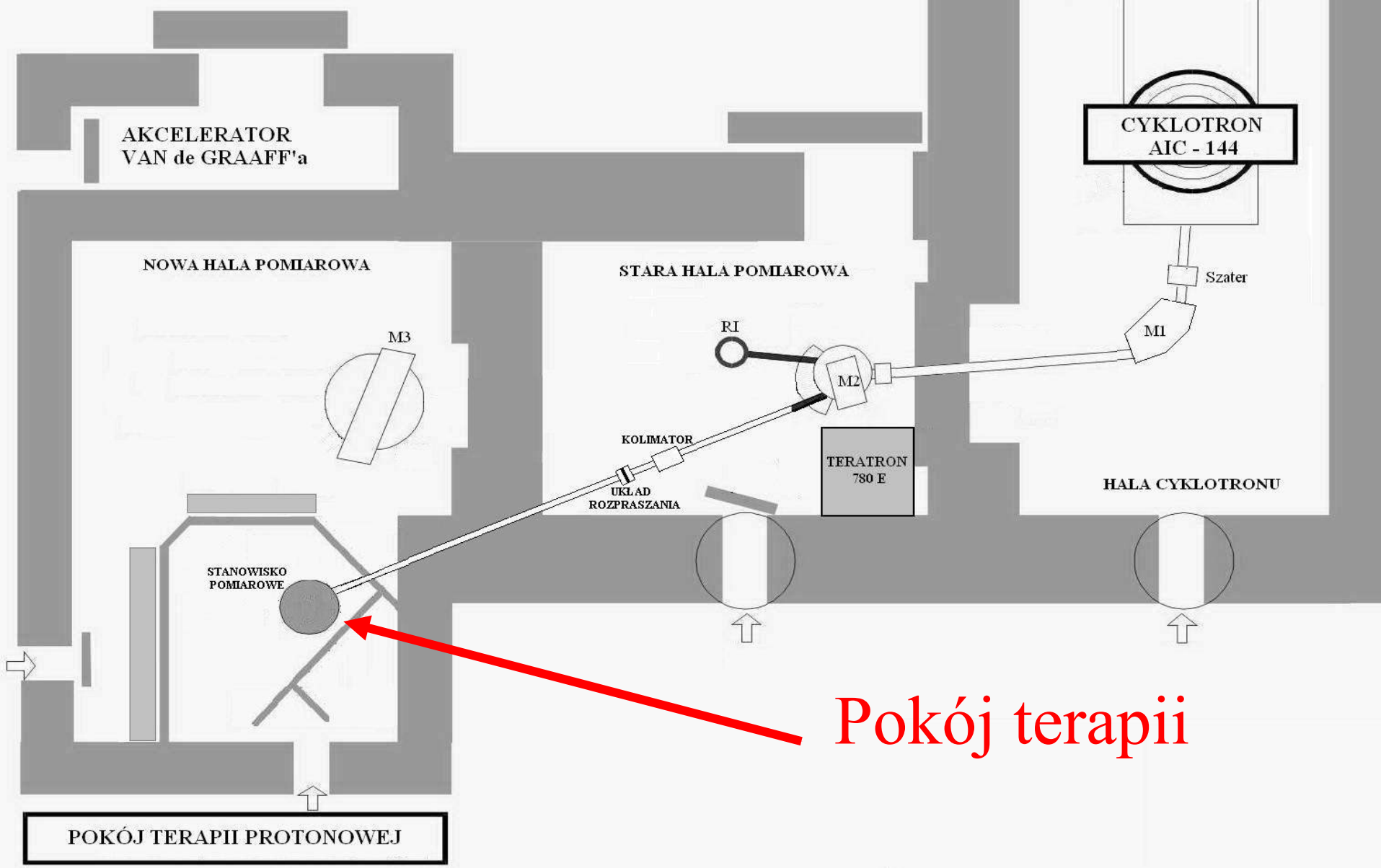
- **Katedra Okulistyki w Krakowie jest wiodącym (od lat 60-tych) ośrodkiem onkologii okulistycznej w Polsce**
- **Rosnąca liczba chorych: 120 -150 nowych przypadków rocznie**
- **Radioterapia protonowa czerniaka gałki ocznej: 90-95% wyleczalności**
- **Pacjent zachowuje użyteczne widzenie**



RI - stanowisko do otrzymywania izotopów

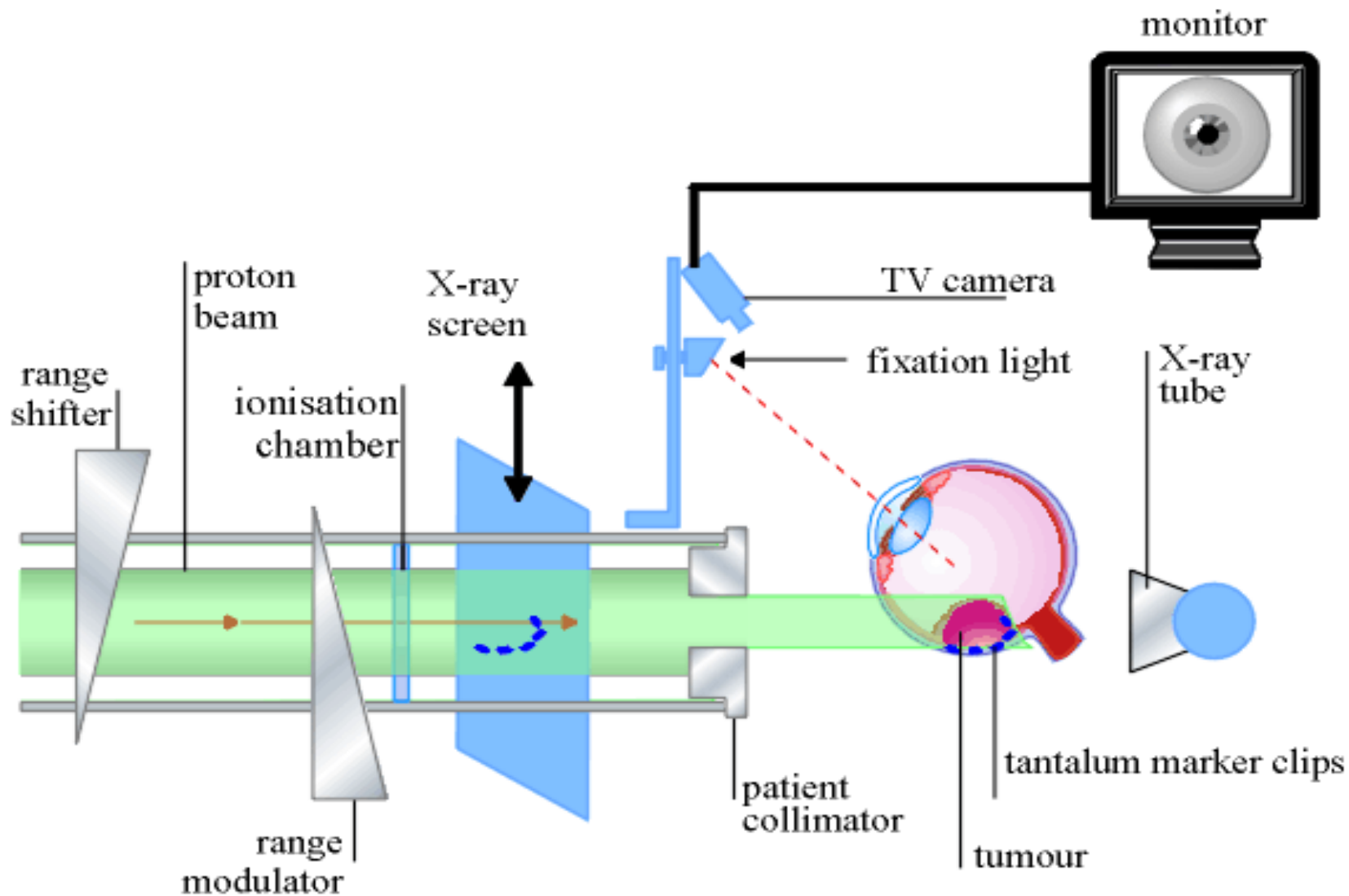
M1, M2, M3 - magnesy zakrzywiające

Infrastruktura





Schemat stanowiska protonoterapii oka





Stanowisko radioterapii protonowej w IFJ PAN

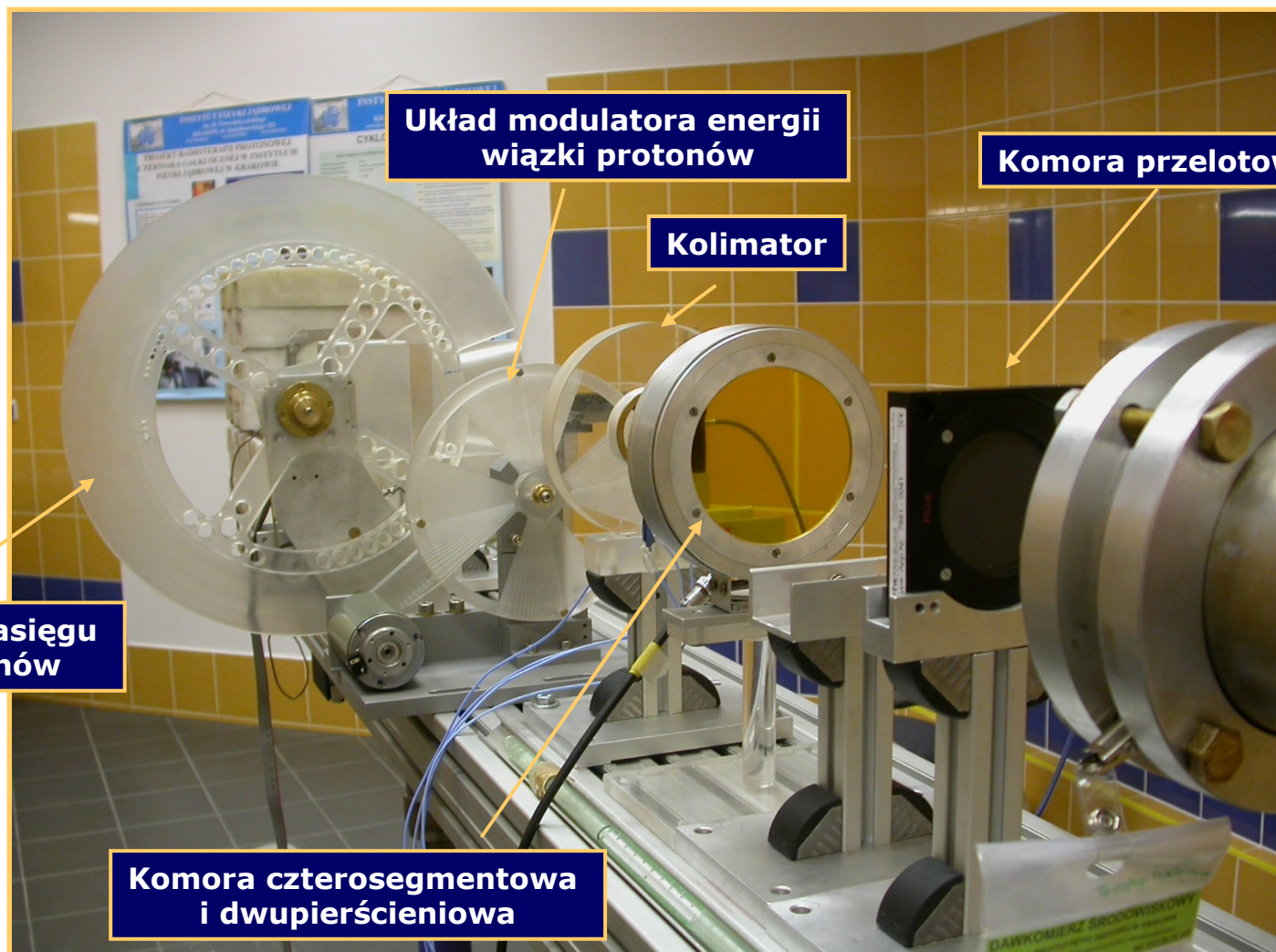
Aparat rtg.

Fotel

Kompletowanie stanowiska do marca 2008
Pierwszy pacjent luty 2009



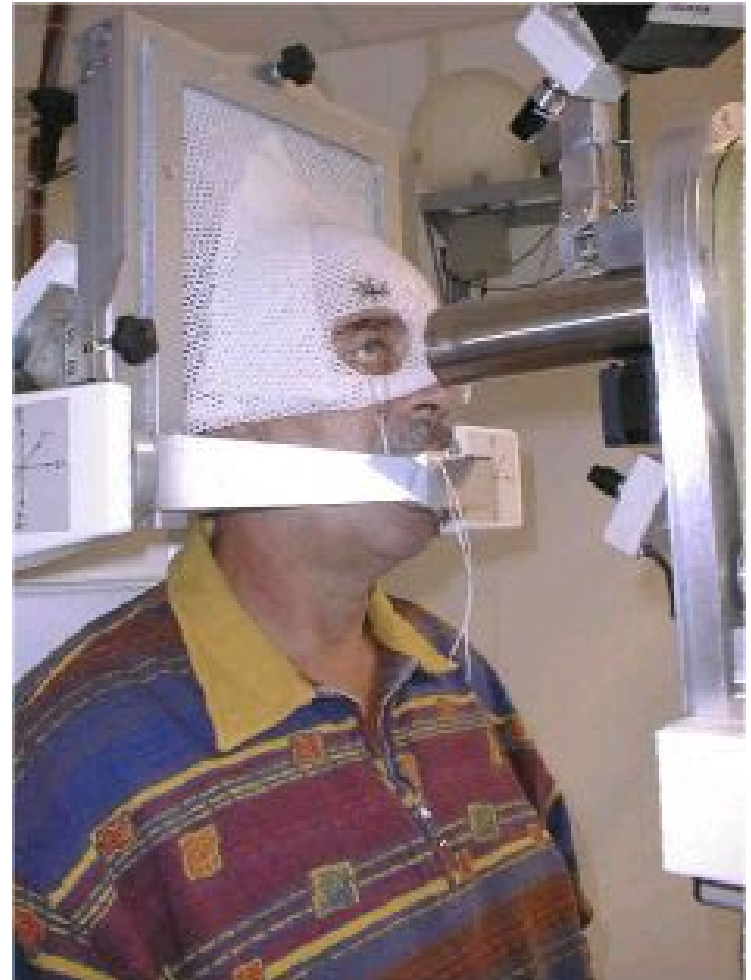
Stanowisko formowania i diagnostyki wiązki





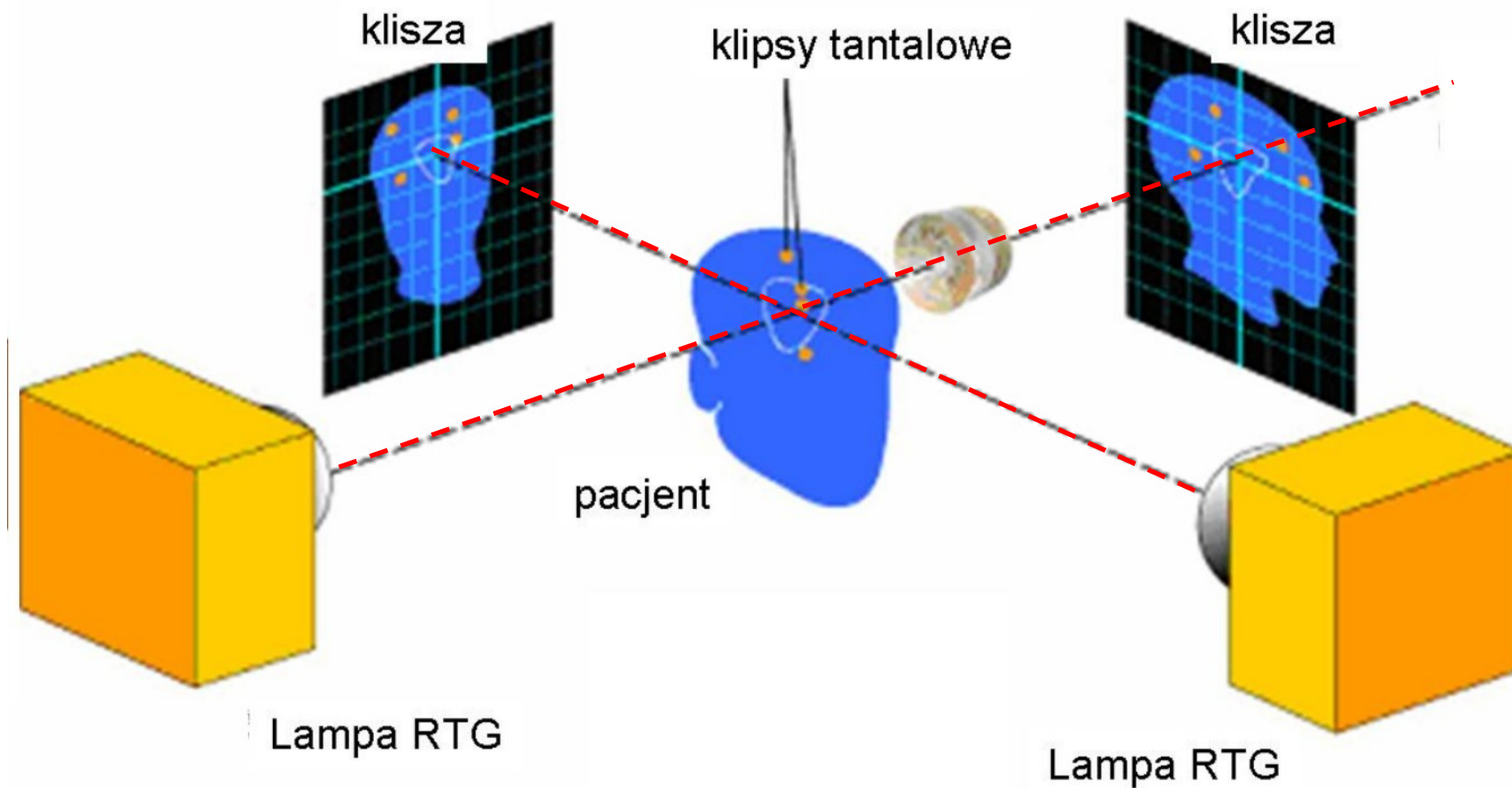
Zestaw powtarzalnego pozycjonowania

- Fotel pacjenta
- Maski termoutwardzalna
- Zacisk doustny (bite block)
- Układ prostopadłych lamp RTG
- Lampka kontrolna
- Monitoring





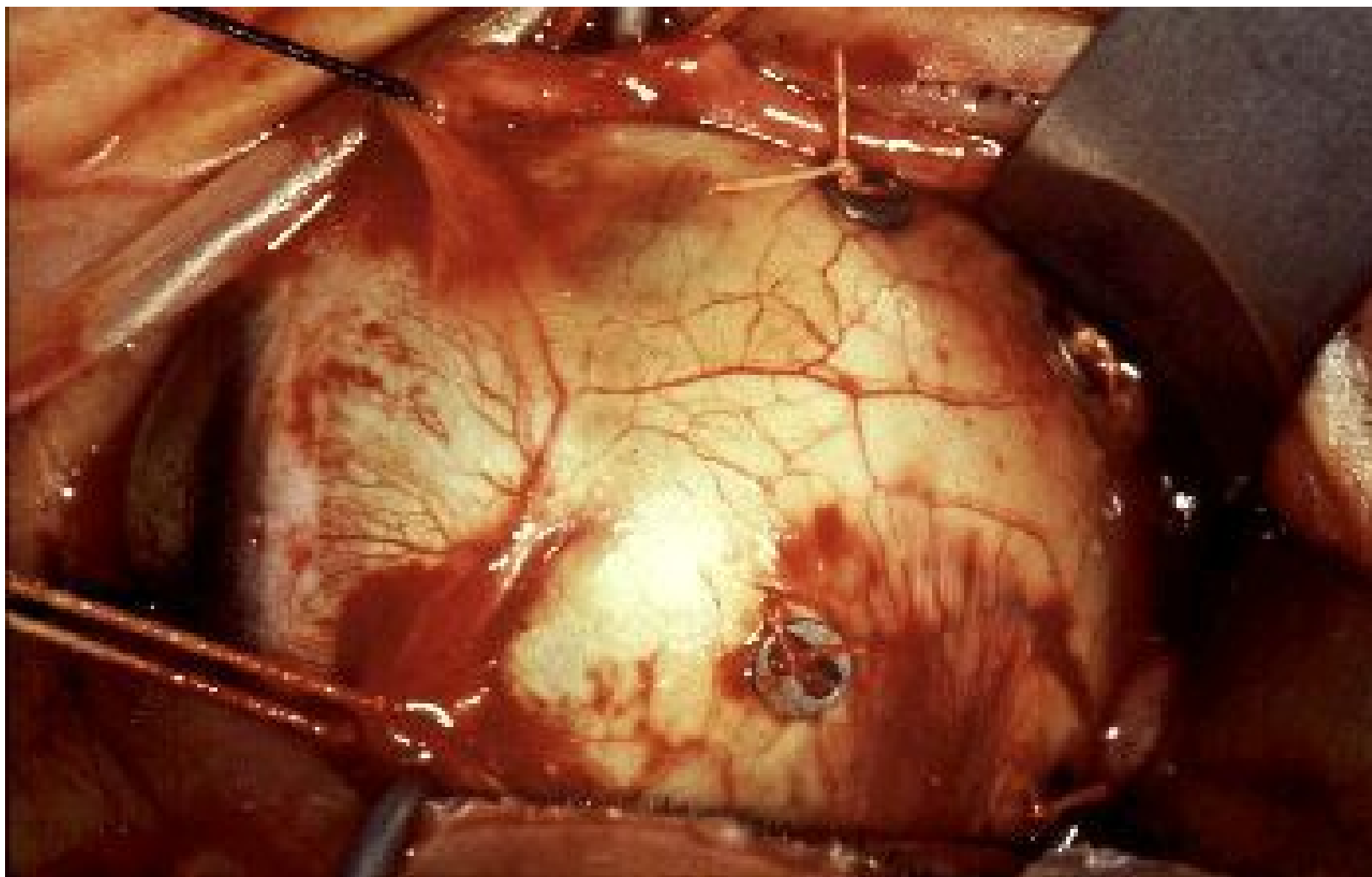
Zasada pozycjonowania pacjenta



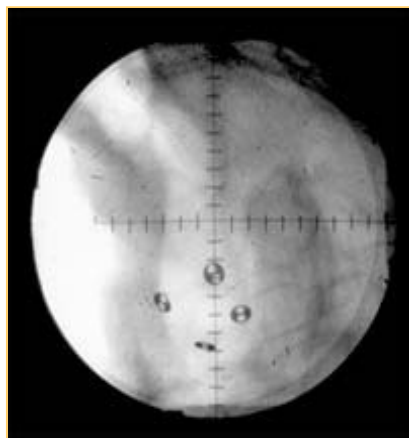
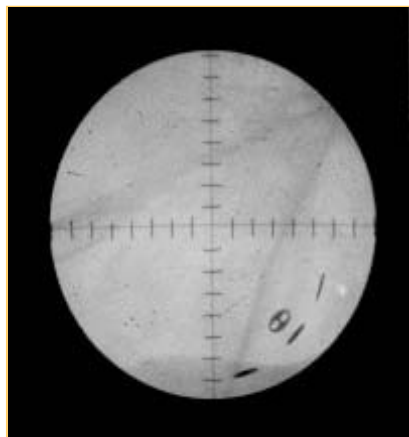
Zdjęcia rtg wykonane równocześnie z dwóch kierunków pozwalają ustalić położenie guza



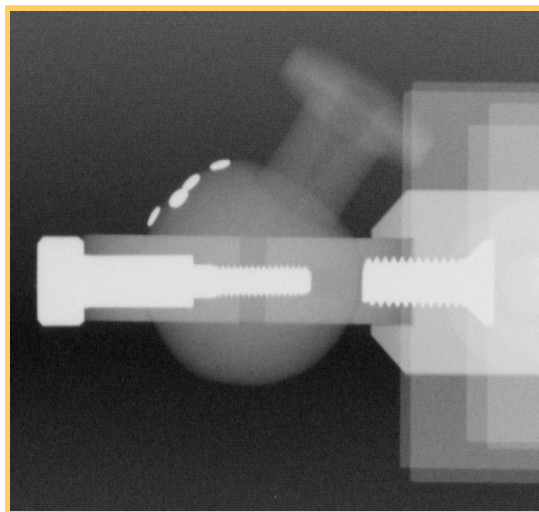
Aplikacja klipsów



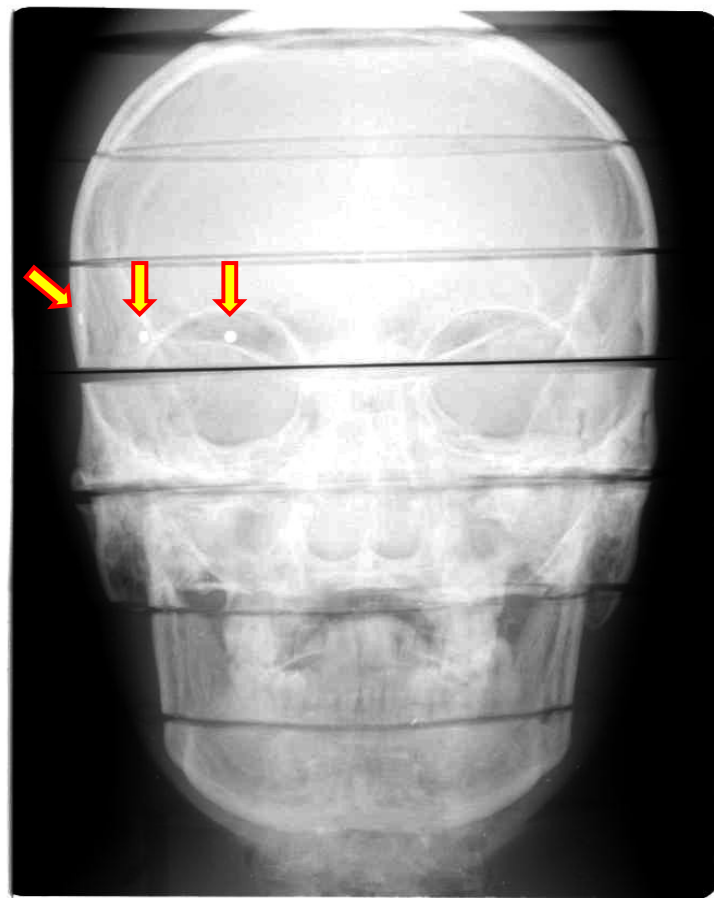
Obrazy rtg. znaczników



HMI Berlin



Fantom oka
IFJ PAN



Fantom głowy
IFJ PAN



System planowania leczenia Varian Eclipse Ocular Proton Planning



M. Bajer



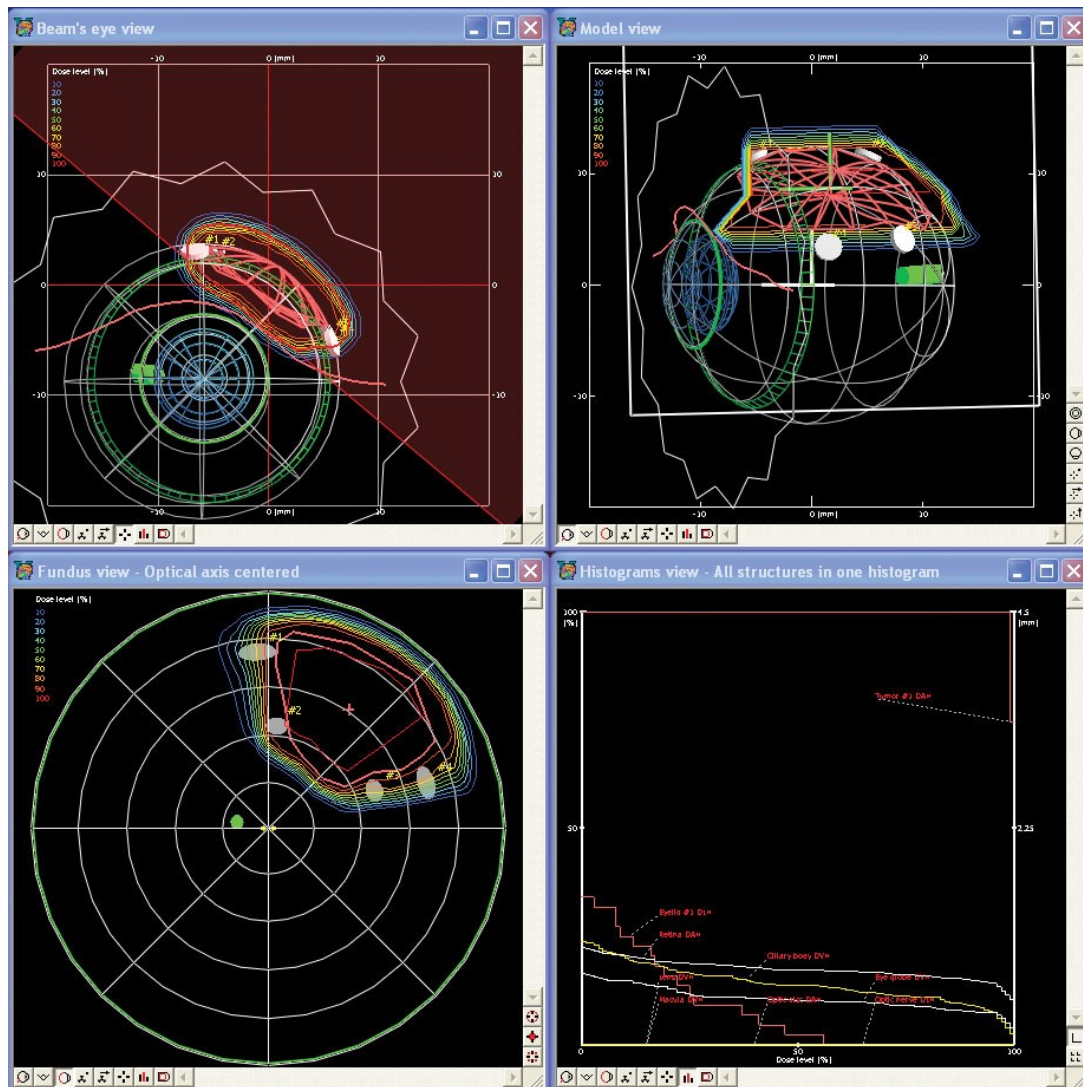
T. Kajdrowicz

**Współpraca AGH-IFJ-
VARIAN**

dr Mariusz Kopeć

Plan leczenia:

- kształt i lokalizacja guza
- pozycja oka
- rozkład dawki
- zasięg protonów
- modulacja SOBP
- kształt kolimatora



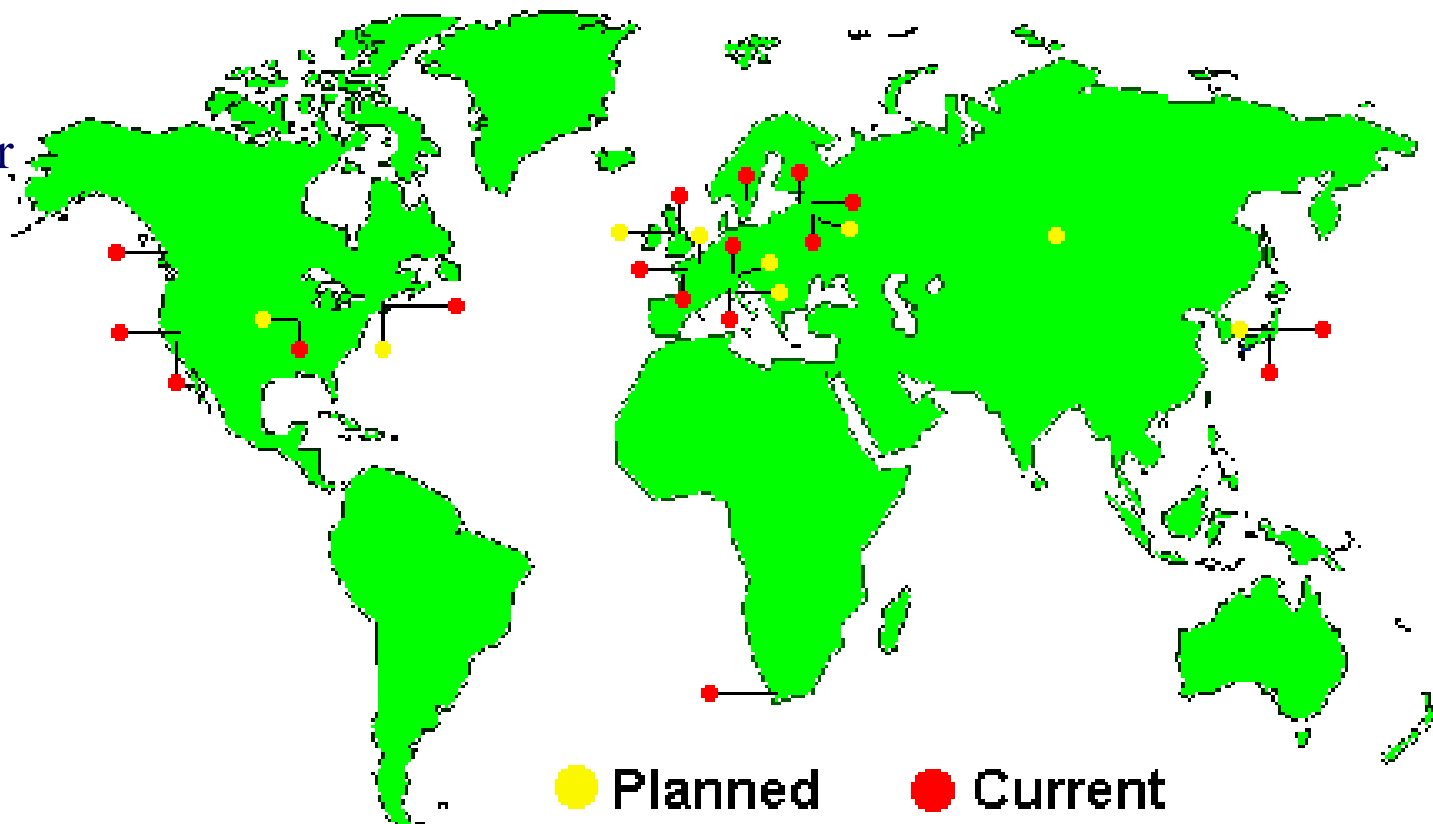


Pierwsze centra jonoterapii

budowano w oparciu o istniejące ośrodki akceleratorowe

Lata 90-te XX w.

- MGH, Boston
- Indiana University
- Triumph, Vancouver
- Orsay
- Nicea
- Clatterbridge
- HMI, Berlin
- PSI Villigen
- GWI, Uppsala
- GSI Darmstadt
- St. Petersburg
- ITEP, Moskwa
- ZIBJ, Dubna
- NAC (RPA)
- Tsukuba
- HIMAC, Chiba



27 500 pacjentów “protonowych” do roku 2000



Postępy w technice hadronoterapii

1. Wydajne, dedykowane akceleratory protonowe (ACCEL, IBA)
2. System selekcji energii
3. Skanowanie wiązką (PSI, GSI)
4. Nowoczesne „gantry” – (IMRT)
5. PET dla wiązki ^{12}C (GSI)





Postępy w technice hadronoterapii

Nowoczesne cyklotrony

Cyklotron IBA -235 MeV

The Proteus-235 Cyclotron



Cyklotron Accel -250 MeV
Nadprzewodzący, zamknięty
obieg helu, moc 450 kW





Postępy w technice hadronoterapii

Zmienna energia z cyklotronu?

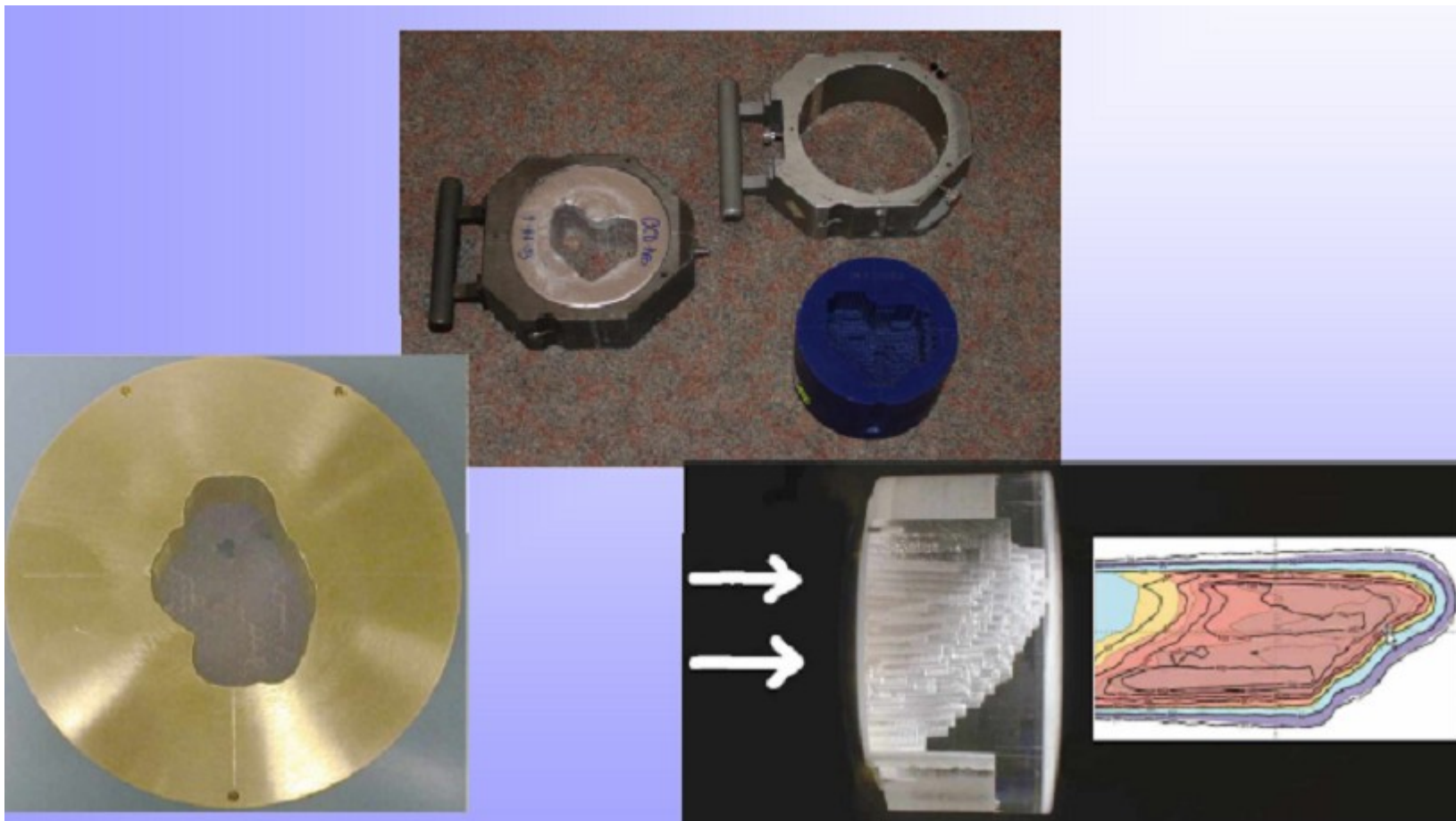


Selektor energii firmy IBA (70 – 235 MeV)



Postępy w technice hadronoterapii

Tradycyjne formowanie wiązki



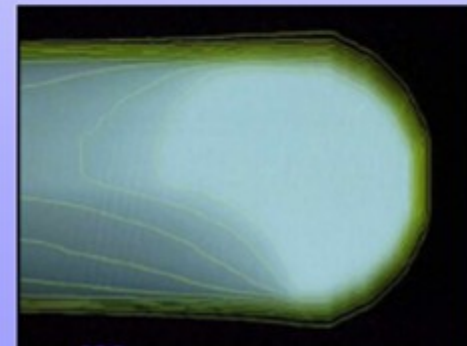
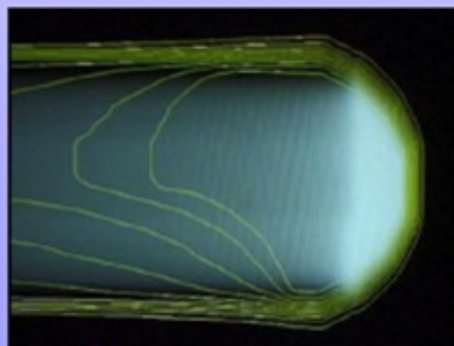
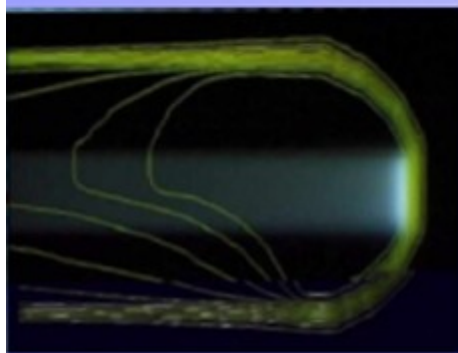
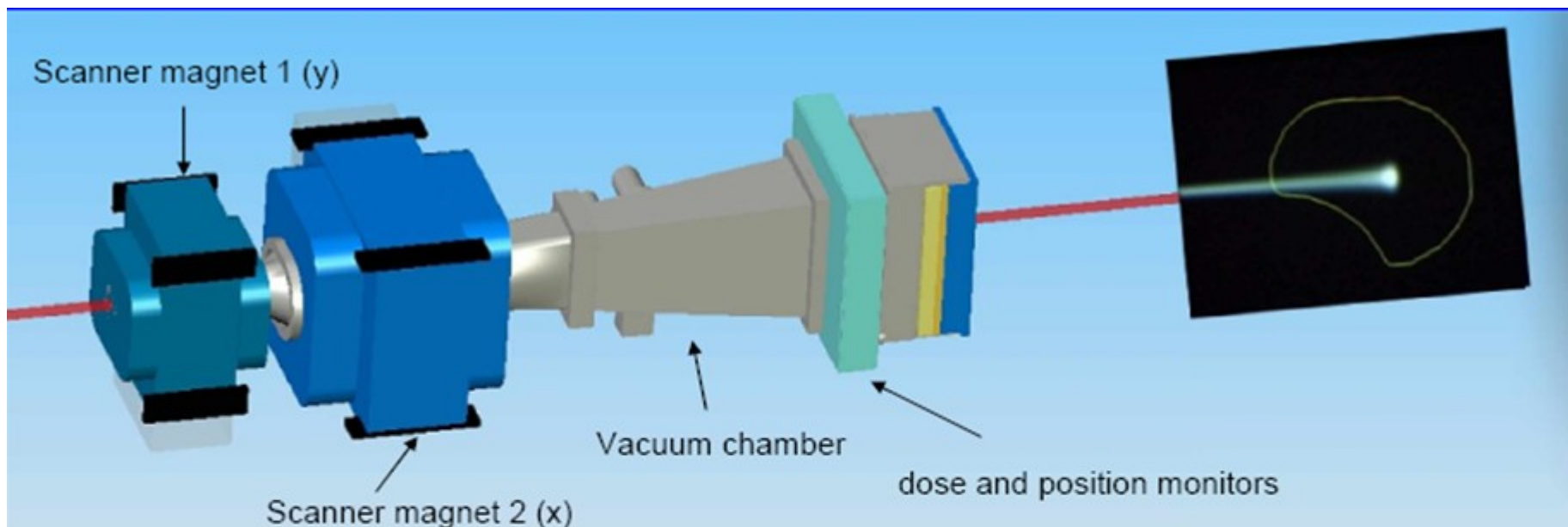
kolimator

kompensator zasięgu



Postępy w technice hadronoterapii

Skanowanie wiązki



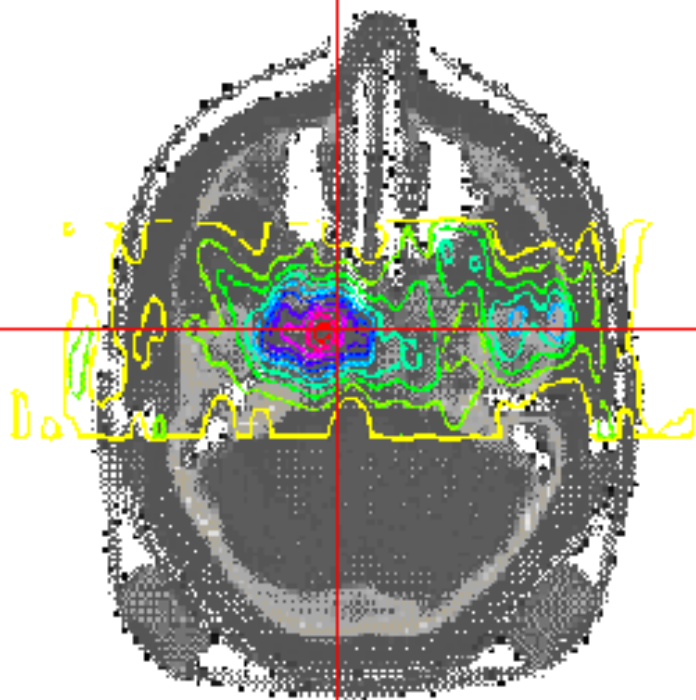


Postępy w technice hadronoterapii

obraz PET weryfikuje rozkład dawki

Produkowane izotopy β^+
 ^{15}O , ^{10}C , ^{11}C umożliwiają
kontrolę gdzie „była” wiązka

Wiązka ^{12}C , GSI Darmstadt

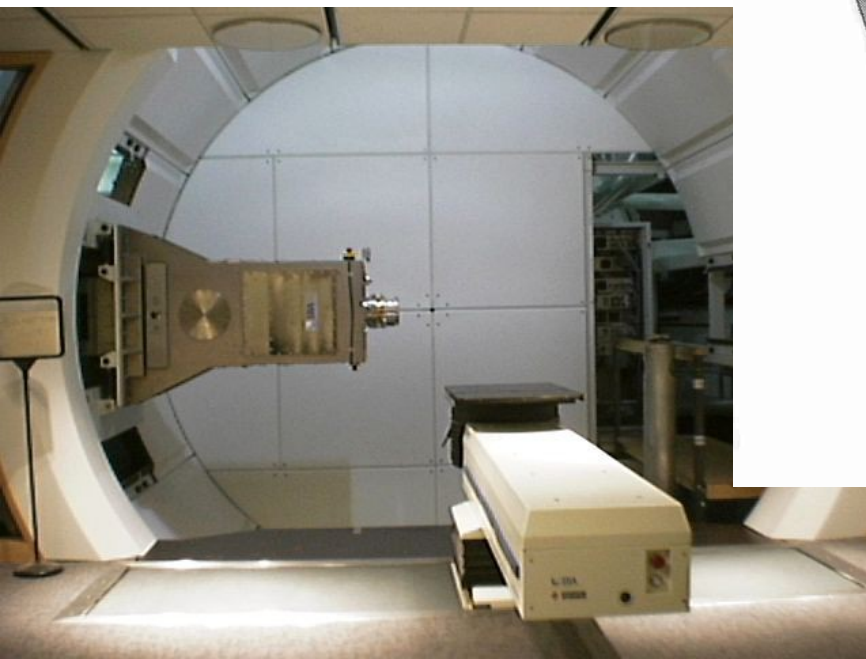
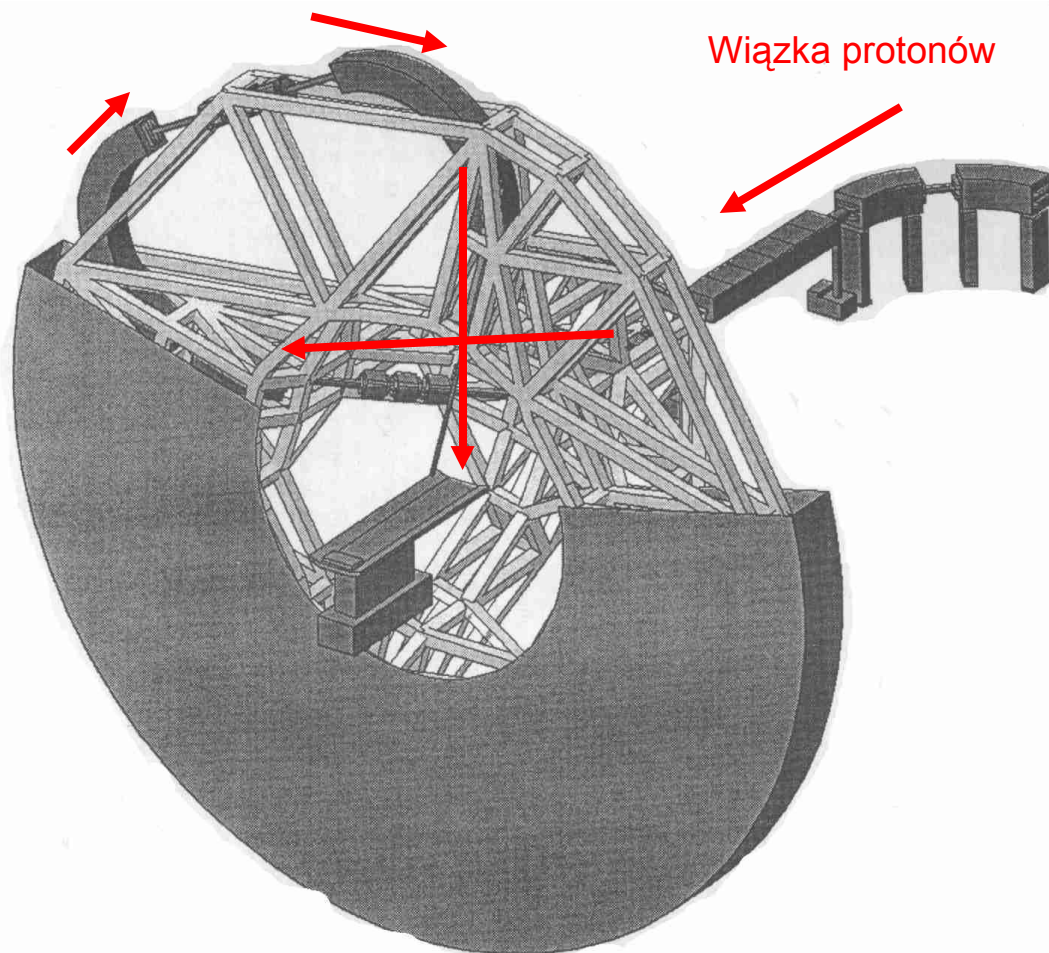




Postępy w technice hadronoterapii

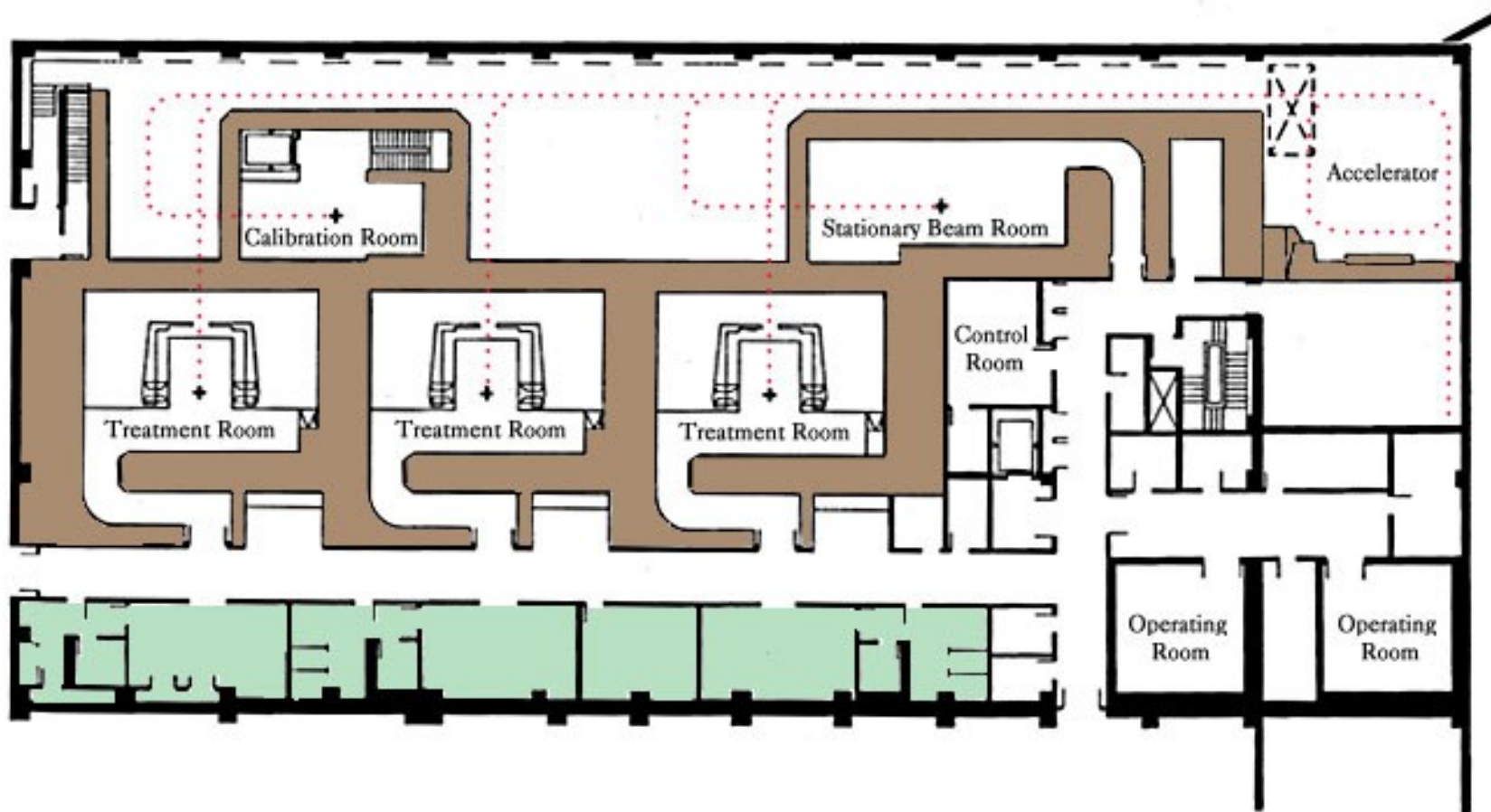
Gantry

Gantry umożliwia
obrót wiązki
dokoła pacjenta





Pierwszy dedykowany ośrodek radioterapii protonowej – Loma Linda, USA (1990)



do 2006 roku leczono 11,500 pacjentów
synchrotron protonowy 230 MeV



Dynamiczny rozwój ośrodków hadronoterapii w Europie

Gotowe lub w budowie

- Monachium
- Essen
- **Heidelberg (DKFZ)**
- Kiel
- Pawia (TERA)
- **PSI Villigen**
- **Uppsala**
- Praga
- **Orsay**





Wady cyklotronu AIC-144

- Wyprowadzona energia 56 MeV umożliwia leczenie tylko płytko położonych guzów (ok. 60 - 70 % przypadków). Nie da się leczyć tzw. guzów pozagałkowych.
- Liczne awarie cyklotronu utrudniają systematyczną pracę dla potrzeb terapii. Szereg podzespołów, zasilaczy, systemy chłodzenia – ma 50 lat.
- Koszty energii elektrycznej zbyt wysokie dla komercyjnej produkcji radioizotopów np. F-18 (fluorodeoksyglukoza, FDG) dla PET



Konsorcjum Narodowe Centrum Radioterapii Hadronowej, NCRH

Utworzone: 12.09.2006

IFJ PAN Kraków – koordynator

Akademia Górniczo-Hutnicza

Akademia Medyczna w Warszawie,

Centrum Onkologii – Oddział w Warszawie

Centrum Onkologii - Oddział w Krakowie

Instytut Problemów Jądrowych

Politechnika Warszawska

Uniwersytet Śląski

Uniwersytet Warszawski





Ustalenia konsorcjum NCRH

Cel konsorcjum:

Budowa infrastruktury oraz wykorzystanie jej do badań i radioterapii

Realizacja w dwóch etapach:

Etap I: Zakup dla IFJ cyklotronu protonowego 230-250 MeV dla celów badawczych, terapii i szkolenia kadr NCRH-CCB

Etap II: Budowa w Warszawie dedykowanego ośrodka klinicznego z wiązką protonową i ^{12}C (2 gantry + wiązka pozioma)



Plany NCRH faza II- Dedykowany szpital



Lokalizacja: Warszawa

Wiązki: $p + {}^{12}\text{C}$

Stanowiska: 2 gantry protonowe + wiązka pozioma

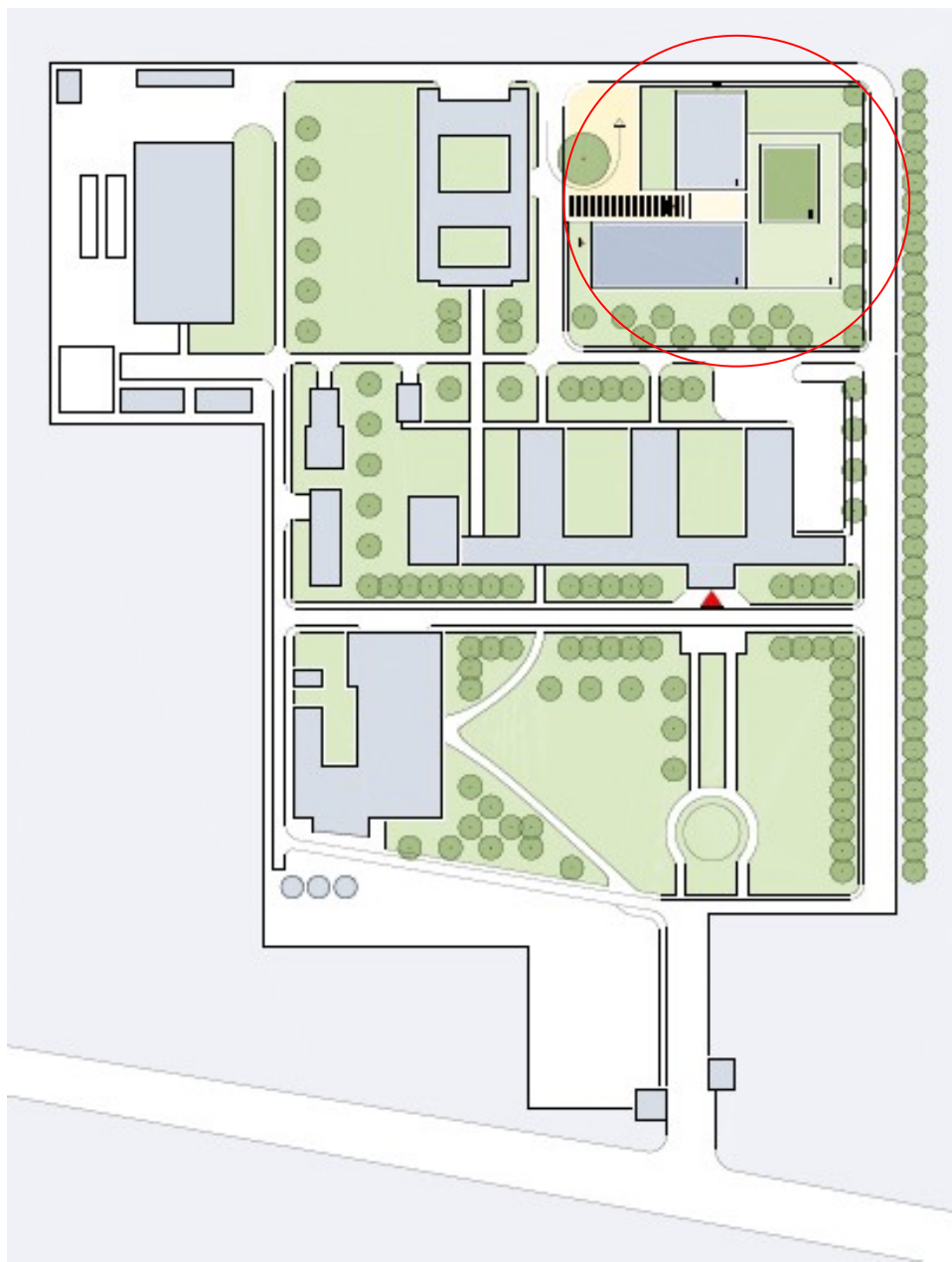
Akcelerator: raczej synchrotron

Koszt: 130 mln Euro





Wizja architektoniczna 1 (wersja pierwotna)







MINISTERSTWO ROZWOJU REGIONALNEGO

Indykatywne wykazy indywidualnych projektów kluczowych w ramach NSRO 2007-2013 w zakresie PO IiŚ i PO IG

Konferencja prasowa
27 sierpnia 2007 r.

Ministerstwo Rozwoju Regionalnego



Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka

Projekty badawczo-rozwojowe

Priorytet	Liczba projektów
I	44*
II	13

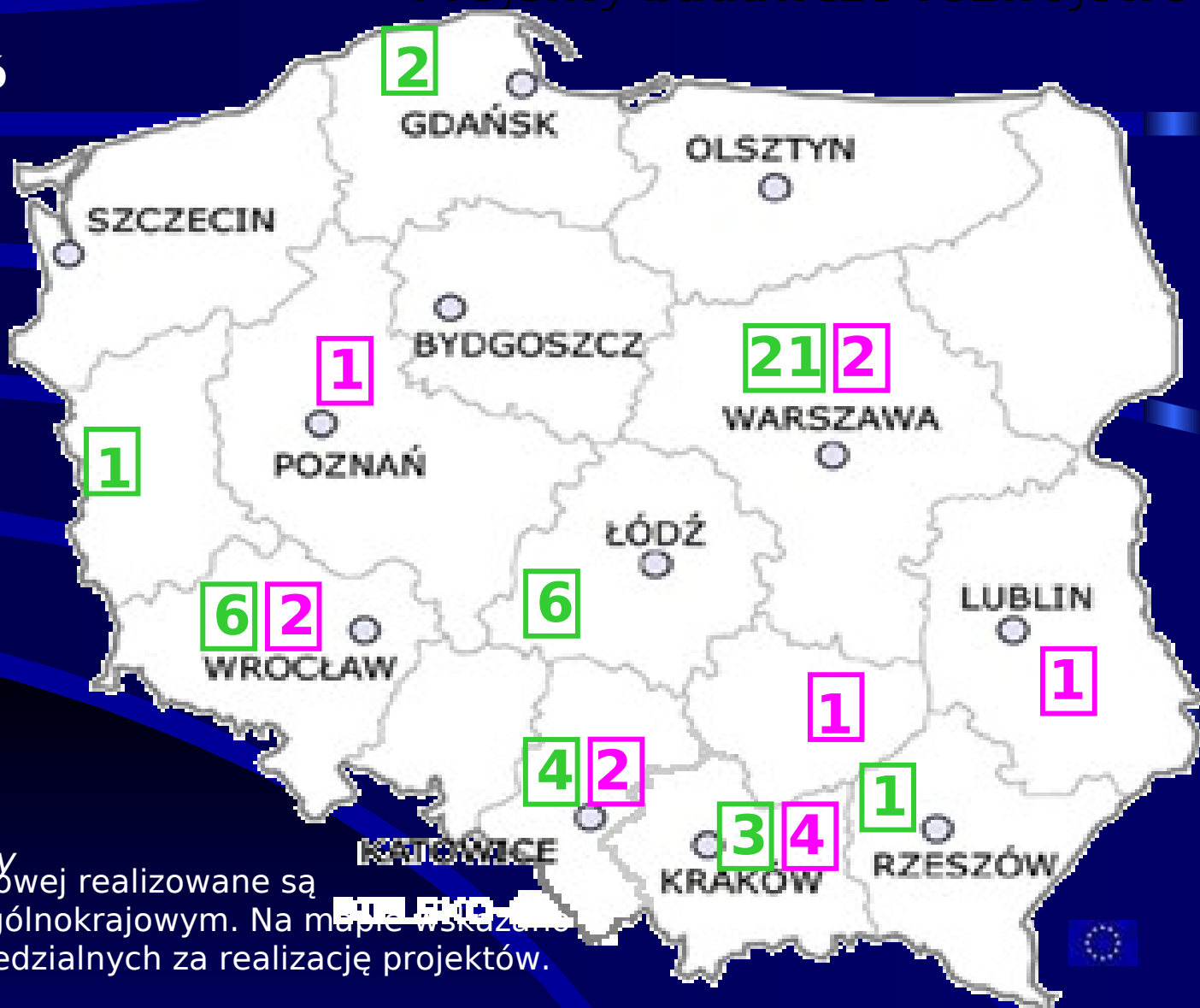
Liczba projektów podstawowych w województwie w ramach

I osi priorytetowej
Badania i rozwój

Liczba projektów podstawowych w województwie w ramach

II osi priorytetowej
Infrastruktura sfery B+R

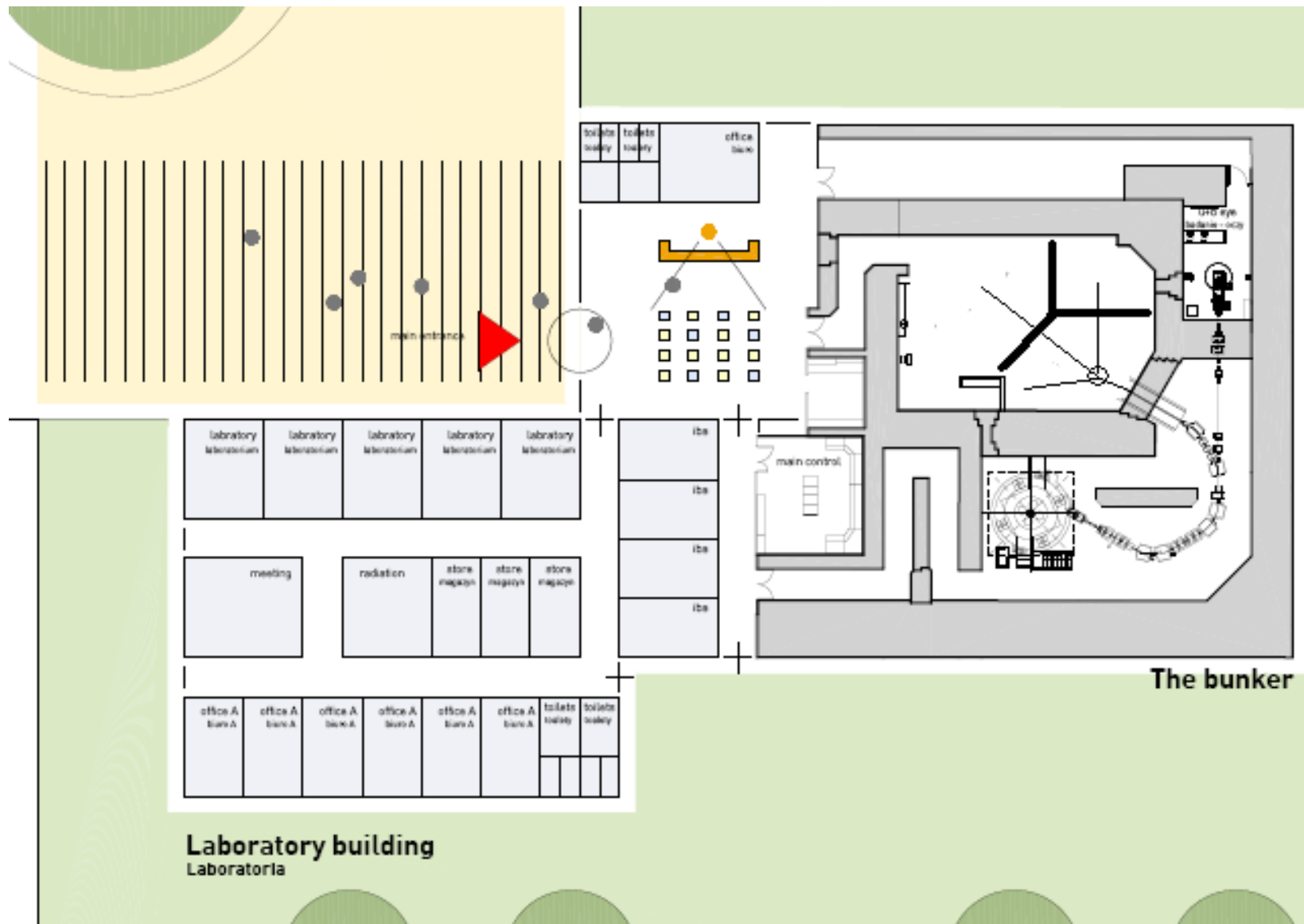
* W ramach I osi priorytetowej realizowane są projekty B+R o zasięgu ogólnokrajowym. Na mapie wskazano siedziby instytucji odpowiedzialnych za realizację projektów.



Lp.	Nazwa projektu*	Orientacyjny koszt całkowity projektu (maksymalne dofinansowanie ze środków EFRR) ² (mln euro)*	Przewidywany okres realizacji	Miejsce realizacji projektu	Instytucja odpowiedzialna za realizację projektu
1	2	3	4	5	6
55	Narodowe Centrum Radioterapii Hadronowej Faza 1 Centrum Cyklotronowe Bronowice	25 (21,25)	2007-2012	małopolskie	Instytut Fizyki Jądrowej PAN



Wizja architektoniczna (wersja obecna)





Zakres projektu

Za obecne fundusze:

1. Cyklotron (230-250 MeV)
2. Selektor energii
3. Transport wiązki do hali eksperymentalnej i pomieszczenia terapii
4. Bunkier z halą eksperymentalną 15 x 15 m²
5. Wyposażenie terapii oka (przeniesione)
6. Budynek laboratoryjny (500 m²)

Jeśli zdobędziemy dodatkowe 15 mln Euro:

7. Bunkier na gantry
8. Gantry z wiązką skanującą
9. Budynek medyczny



Harmonogram projektu (pesymistyczny)

Uzyskanie decyzji lokalizacyjnej	10.2008
Ogłoszenie przetargu głównego	02.2009
Rozstrzygnięcie przetargu głównego	11.2009
Uzyskanie pozwolenia na budowę	12.2010
Budynek gotowy	06.2012
Cyklotron uruchomiony	09.2013



Zespół IFJ realizujący projekt

Dyrekcja IFJ

Dział Współpracy Europejskiej
M. Zawora
M. Lewandowska

Dział Zamówień Publicznych
M. Zydek
A. Knera

Dział Spraw Budowlanych
B. Stachniak

Dział Zaopatrzenia
A. Konstanty

Grupa d.s.
Raportu Środowiskowego

Pracownia Radioterapii
Protonowej J. Swakoń

Fizyka Jądrowa
A. Maj, B. Fornal

Radiobiologia
W. Kwiatek, A. Cebulski -Wasilewska

Dozymetria P.Bilski, B. Marczeńska

Lekarze i Fizycy Medyczni:
Krzysztof Małecki, onkolog
Bożena Romanowska –Dixon, okulista
Michał Waligórski



Część naukowa

- Dozymetria, mikrodozymetria, fizyka medyczna (P. Bilski, B. Marczevska)
- Radiobiologia
- Fizyka jądrowa (A. Maj, B. Fornal)
- GRID (M. Turała)

Część medyczna

- Radioterapia gałki ocznej (leczenie ok. 100 pacjentów/rok)
 - guzy pozagałkowe
 - guzy w okolicach nerwu wzrokowego
- Gantry: leczenie grupy ok. 500 pacjentów rocznie, wszystkie lokalizacje

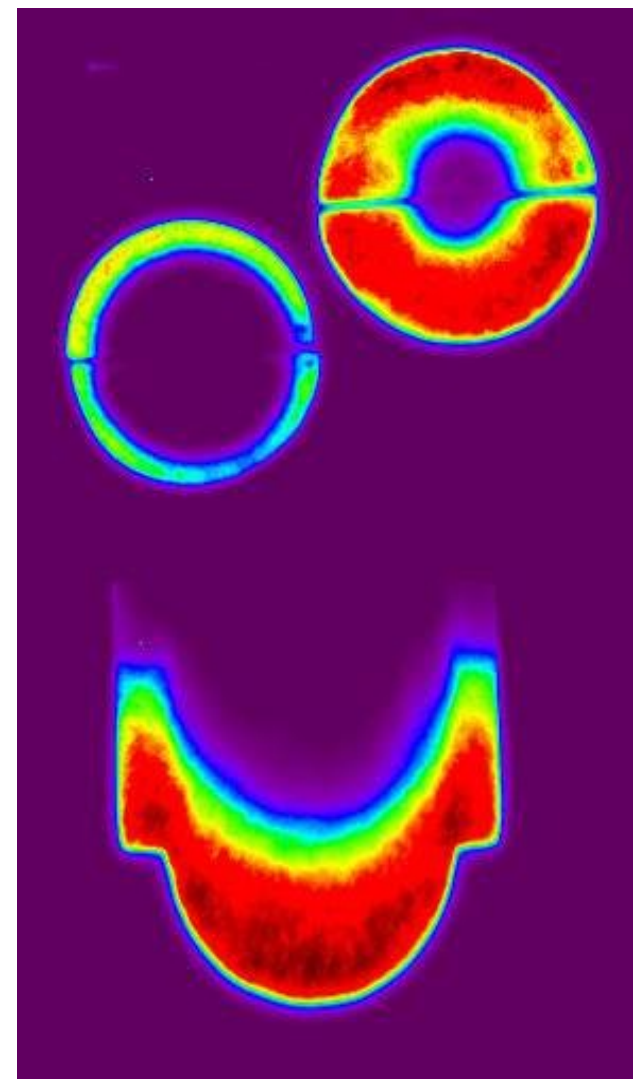
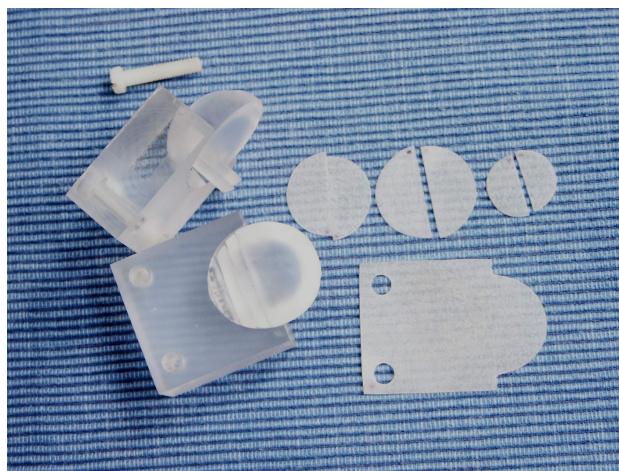


Dozymetria 2-wymiarowa TLD

Czytnik z
kamerą CCD



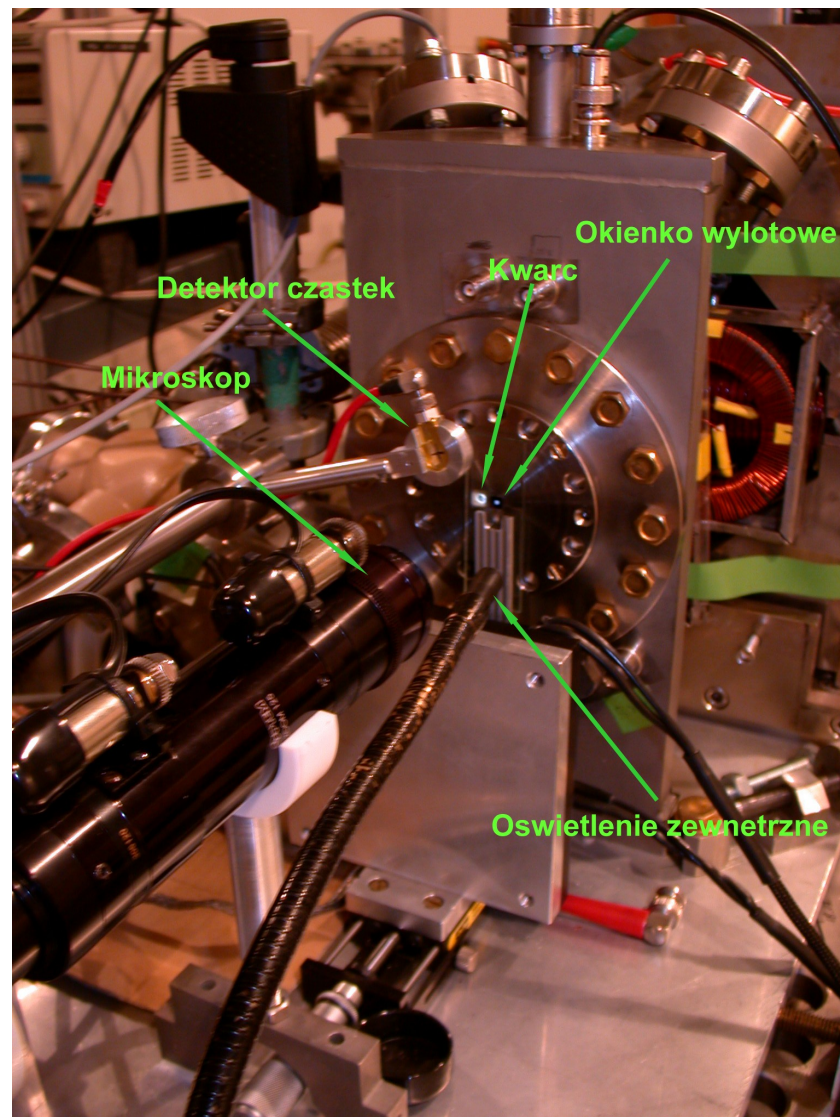
Czytnik z
kamerą CCD



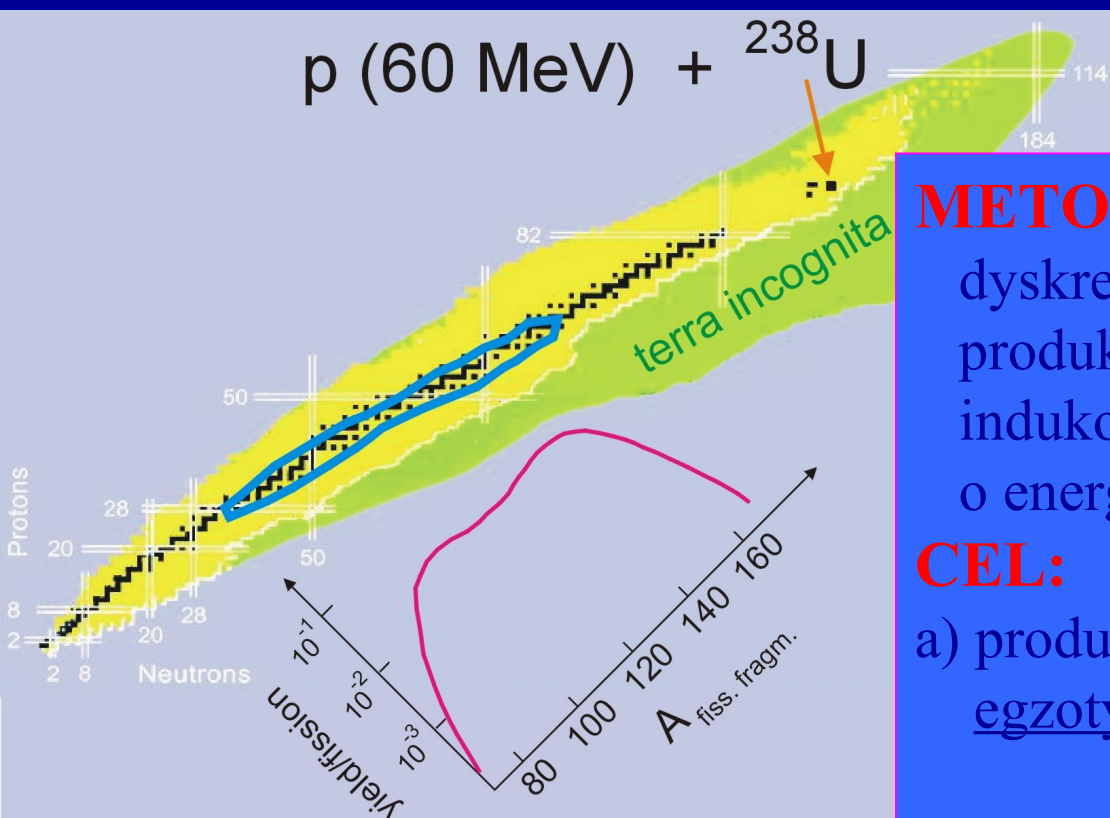


Źródła promieniowania dla radiobiologii dostępne w IFJ

- Lampa rtg do 300 kVp
Philips ok. 1 Gy/min
- aparat terapeutyczny
Theratron 780 (^{60}Co -) ok..
1 Gy/min (80 cm)
- stanowisko do —————→
naświetlania pojedynczymi
protonami (2.5 MeV) z
akceleratora VdG
- protony o energii 56 MeV
z AIC-144
- ^{137}Cs - od 200 nGy/h - 1
Gy/h



ROZKŁADY (A,Z) PRODUKTÓW ROZSZCZEPIENIA - STRUKTURA EGZOTYCZNYCH JĄDEŁ



METODA:

dyskretna spektroskopia gamma
produktów rozszczepienia
indukowanego protonami
o energii 60 – 250 MeV

CEL:

- produkcja i badanie struktury egzotycznych jąder
- pomiar izotopowych rozkładów produktów rozszczepienia dla różnych tarcz - potencjalne zastosowanie w procesach transmutacji odpadów radioaktywnych

Przykład: pomiar rozkładu izotopowego produktów reakcji $p + {}^{238}\text{U}$ dla $E_p \in (60, 250 \text{ MeV})$

GRUPY ROBOCZE

Tematyka naukowa:

A. Maj, B. Fornal, M. Kmiecik, R. Broda, J. Styczeń, P. Bednarczyk, K. Mazurek,...

Projekt stanowiska eksperymentalnego:

M. Kmiecik, W. Męczyński, P. Bednarczyk,
A. Czermak, M. Ziębliński, W. Królas, T. Pawłat, ...

**Każdy
kto chciałby się
przyłączyć
będzie mile widziany!**



Podsumowanie

- Ukończono przygotowywanie stanowiska radioterapii oka w IFJ Kraków
Przyjęcie pierwszego pacjenta planowane w pierwszej połowie 2009
- Projekt Narodowe Centrum Radioterapii Hadronowej został wpisany na listę indykatywną dużych projektów z Funduszy Strukturalnych na lata 2007-2013 z kwotą 25 mln Euro.
- Projekt przewiduje budynku składającego się z bunkra cyklotronu, hali eksperymentalnej, stanowiska terapii oka oraz zakup akceleratora przyspieszającego protony do energii 230-250 MeV, selektora energii systemu rozprowadzenia wiązki.
- Będziemy podejmować starania o pełne wykorzystanie możliwości cyklotronu poprzez instalację obracanego ramienia typu gantry oraz budowę budynku medycznego. Obecnie formułowany jest program naukowy przedsięwzięcia, obejmujący dozymetrię, fizykę medyczną, radiobiologię, fizykę jądrową, GRID,...
- Konsorcjum NCRH podejmuje starania aby zbudować w Warszawie dedykowaną klinikę hadronoterapii z C-12