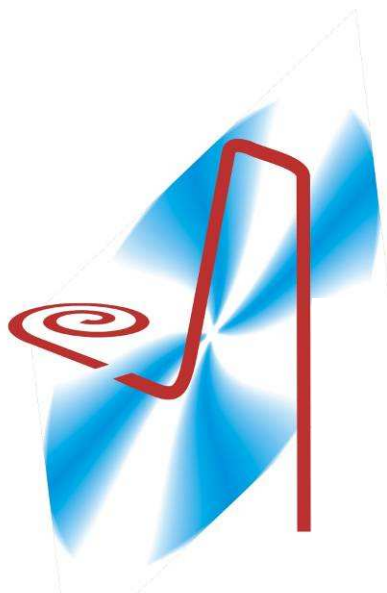




Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego
Polskiej Akademii Nauk

Aspekty fizyczne i techniczne radioterapii protonowej w IFJ PAN

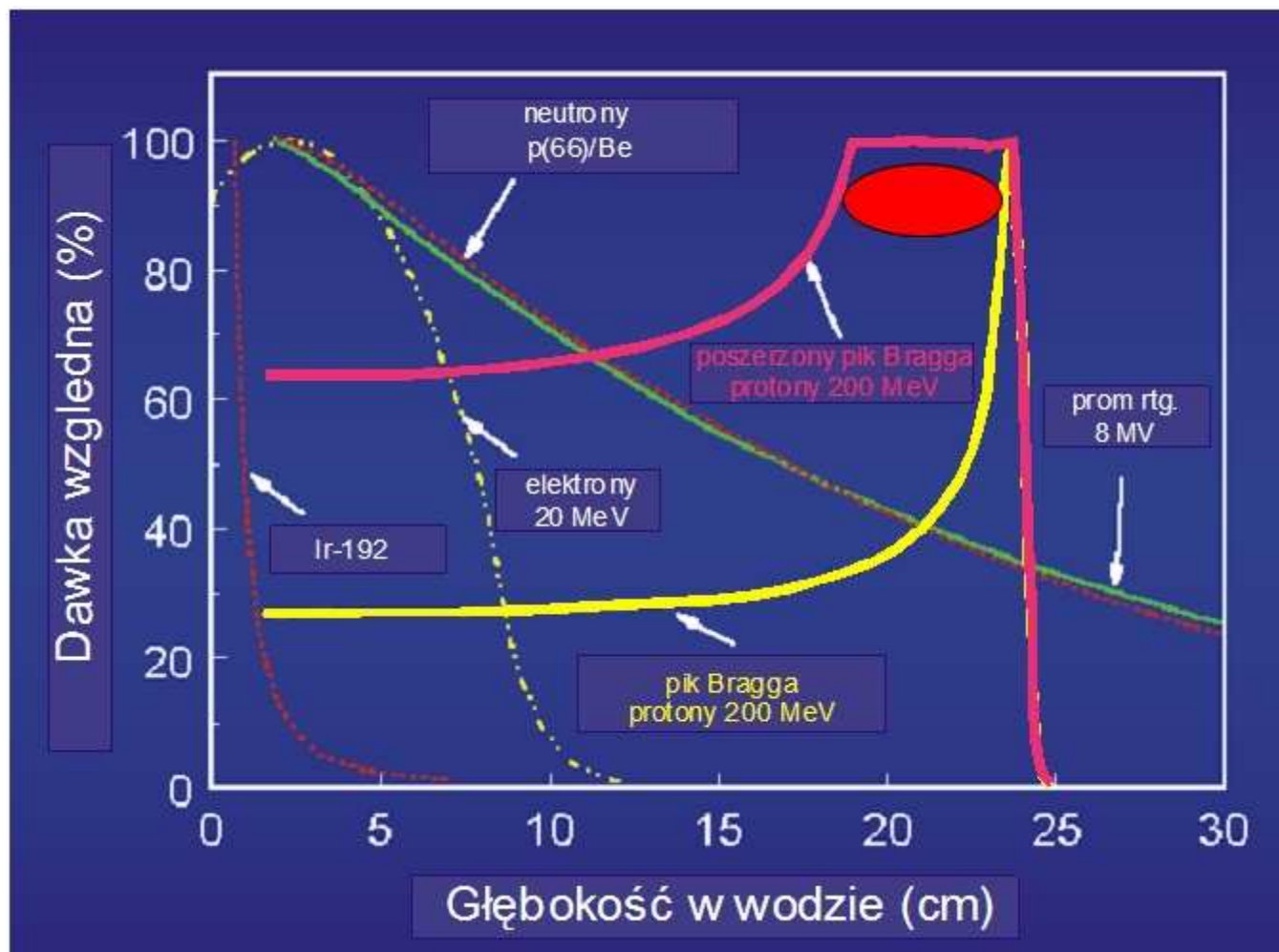


Jan Swakoń



Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

Idea radioterapii protonowej





Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

Pierwsze zastosowanie wiązki protonów do radioterapii

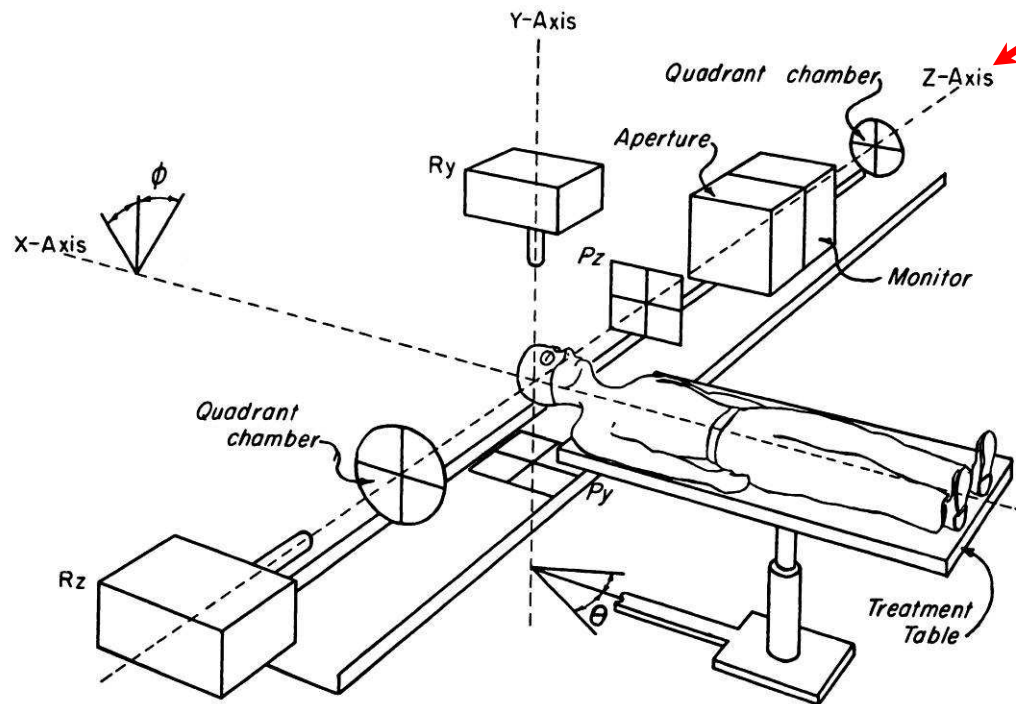


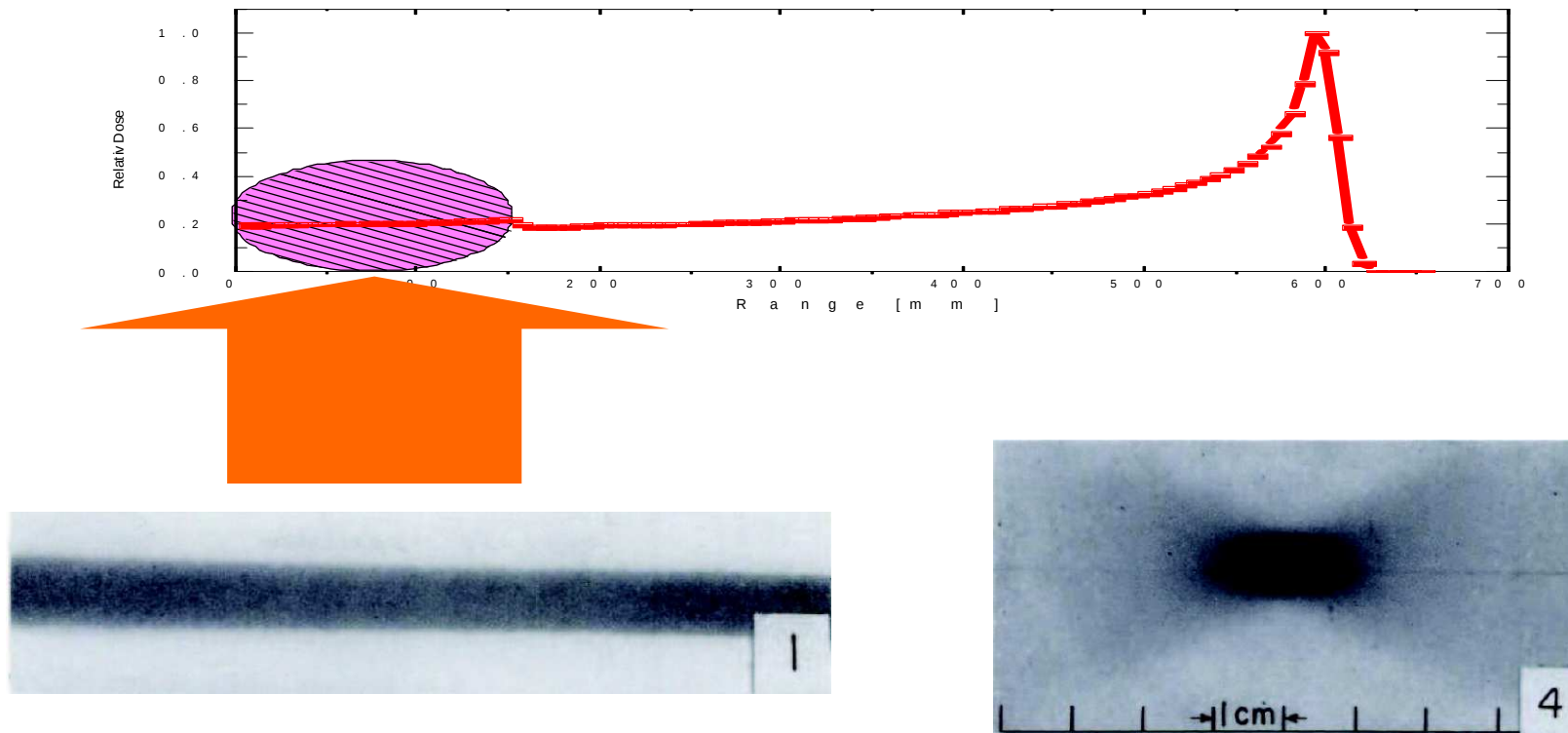
CHART 3.—A schematic drawing of the apparatus for proton irradiation of the human hypophysis

*C. A. Tobias, J. H. Lawrence, J. L. Born, et al.
Cancer Res 1958;18:121-134*



Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

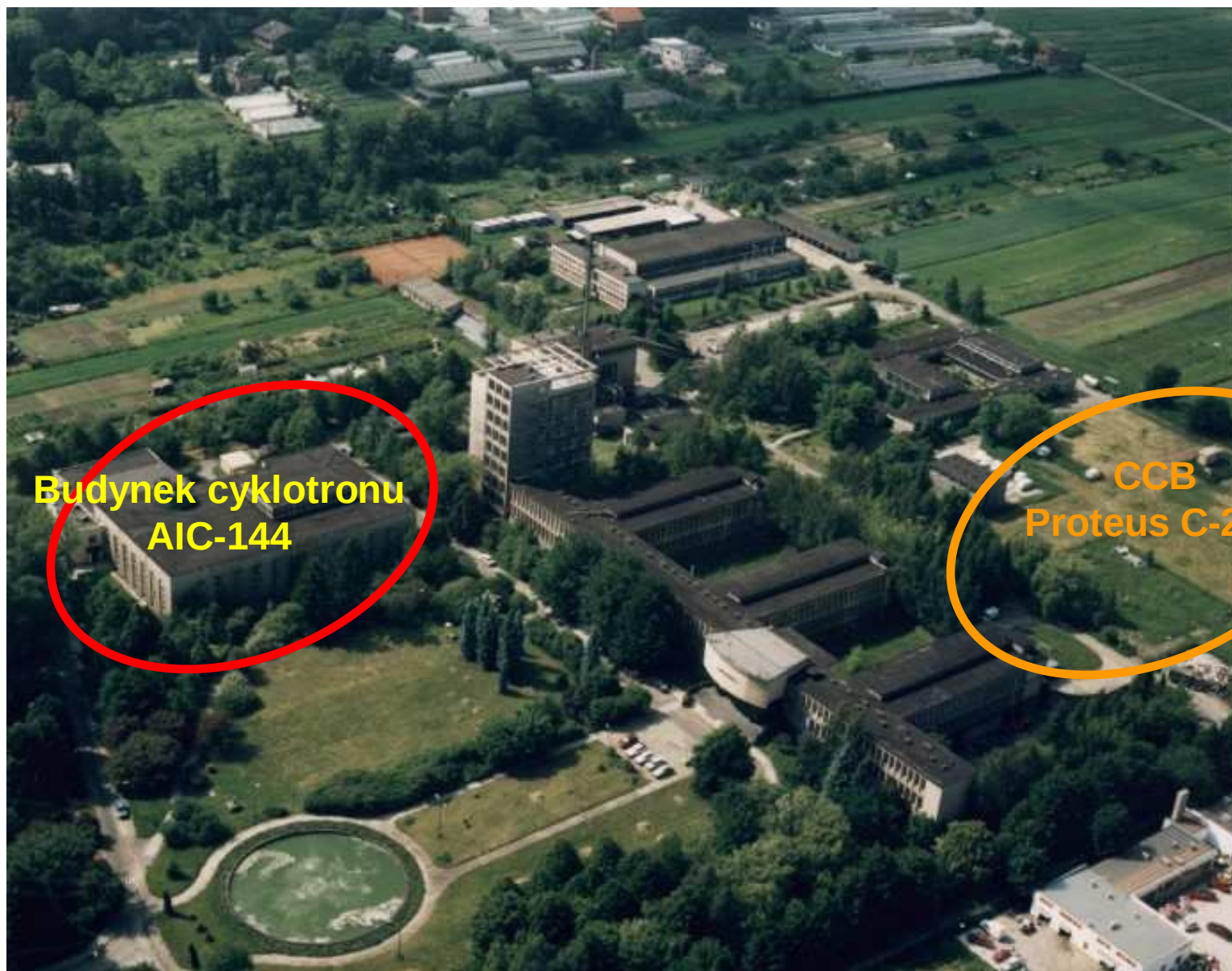
Pierwsze zastosowanie wiązki protonów do radioterapii



*C. A. Tobias, J. H. Lawrence, J. L. Born, et al.
Cancer Res 1958;18:121-134*



Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk





Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

Cyklotrony w IFJ PAN

- pierwszy cyklotron zbudowany w Polsce w IFJ, C-48 (1956), energia protonów 3MeV, wykorzystywany do badań z fizyki i techniki jądrowej
- klasyczny cyklotron U-120 (otwarty 22.11.1958, pracował do 1994), zastosowania:
 - Eksperymenty fizyczne
 - Radioterapia
 - Radiobiologia
 - Produkcja izotopów
- **cyklotron izochroniczny AIC-144** (budowany od lat 80'tych) protony 60 MeV, deuterony, cząstki alfa, Modernizacja na potrzeby zastosowań medycznych



cyklotron izochroniczny AIC-144



Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

Historia projektu radioterapii protonowej w IFJ PAN

- 1994 - pierwszy projekt budowy stanowiska do radioterapii protonowej nowotworów oka;
- 1996 - przeniesienie cyklotronu AIC-144 na halę cyklotronu U-120;
- 1998 - instalacja generatora HF 28 MHz
- 2000 - budowa pomieszczenia terapii;
- 04.2004 - wiązka protonów o energii 44 MeV doprowadzona do pomieszczenia terapii;
- 06.2005 - wiązka protonów o energii 55 MeV doprowadzona do pomieszczenia terapii;
- 2006-2007 - zamówienie i instalacja wyposażenia medycznego;
- 2008-2009 - testy stanowiska i wystąpienia o uzyskanie zgody na prowadzenie terapii;
- 2010 - pierwsze „próbné terapie”, zgrywanie zespołów, zgoda Komisji Etyki na przeprowadzenie procedury radioterapii protonowej;
- 02.2011 - **pierwsze napromieniania pacjentów**
- 04.2012 - **15 pacjentów poddanych radioterapii protonowej**



Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

Partnerzy

**Klinika Okulistyki i Onkologii Okulistycznej Collegium
Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego**

- Klinika Okulistyki leczy praktycznie wszystkich pacjentów z nowotworami oka z terenu Polski*
- ponad 200 pacjentów rocznie*

Szpital Uniwersytecki w Krakowie

Centrum Onkologii oddział w Krakowie



**Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego
Polskiej Akademii Nauk**

Współpraca międzynarodowa

**Charité, Universitätsmedizin Berlin, Niemcy
HZB Helmholtz Zentrum Berlin, Niemcy**

Clatterbridge Centre for Oncology NHS, Wielka Brytania

Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej

Joint Institute for Nuclear Research, Rosja



Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

Zespół



D. Adamczyk



dr T. Cywicka- Jakiel



dr J. Dąbrowska



B. Fent



L. Grzanka



dr T. Horwacik



T. Kajdrowicz



M. Korcyl



L. Malinowski



dr B. Michalec



T. Nowak



M. Ptaszkiewicz



U. Sowa



L. Stolarczyk

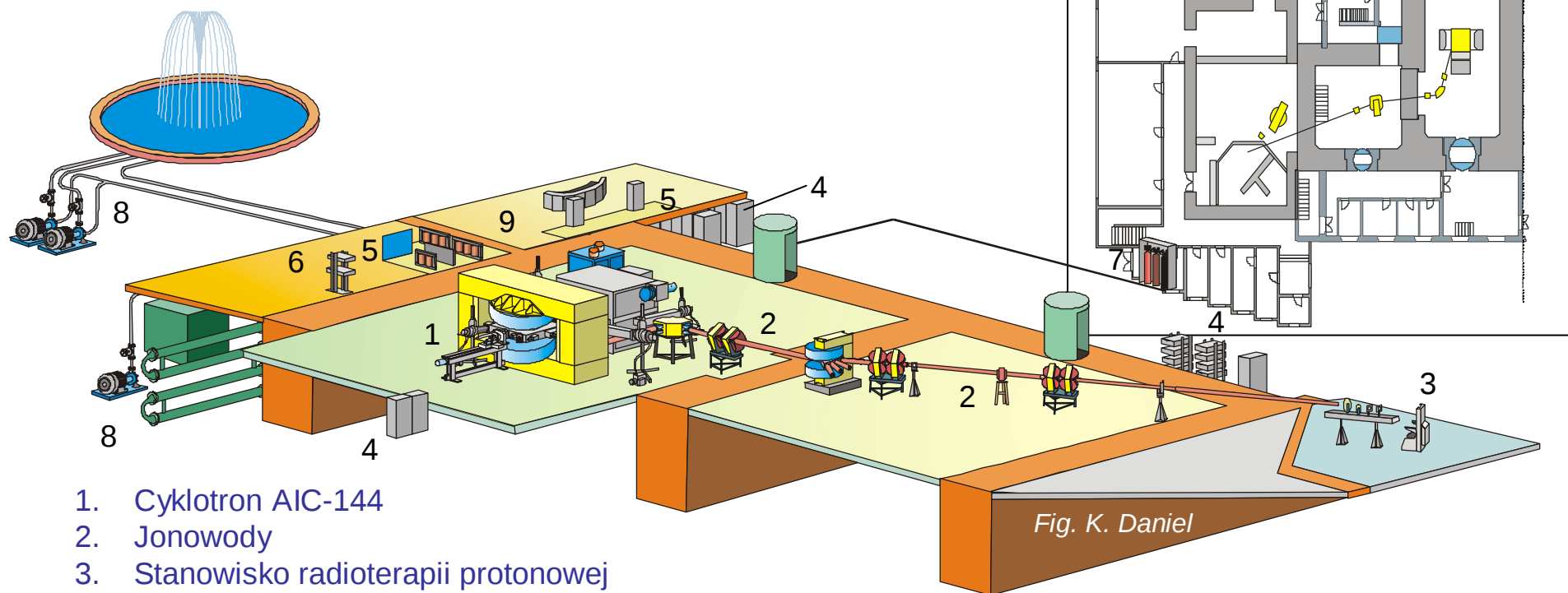


dr J. Swakoń



Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

Infrastruktura



1. Cyklotron AIC-144
2. Jonowody
3. Stanowisko radioterapii protonowej
4. Zasilacze
5. Generator HV
6. Zasilanie generatora HV
7. Instalacje gazowe (wodór, hel, azot)
8. System chłodzenia
9. Sterownia cyklotronu



Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

Stanowisko radioterapii protonowej zbudowane w IFJ PAN





Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

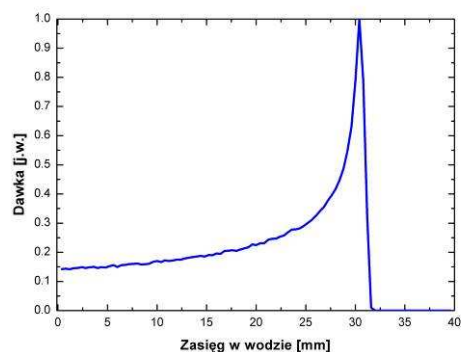
Układy formowania i monitorowania wiązki



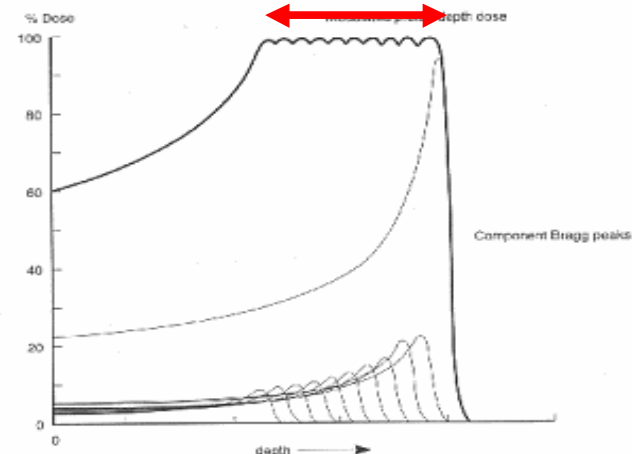


Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

Układy formowania i monitorowania wiązki



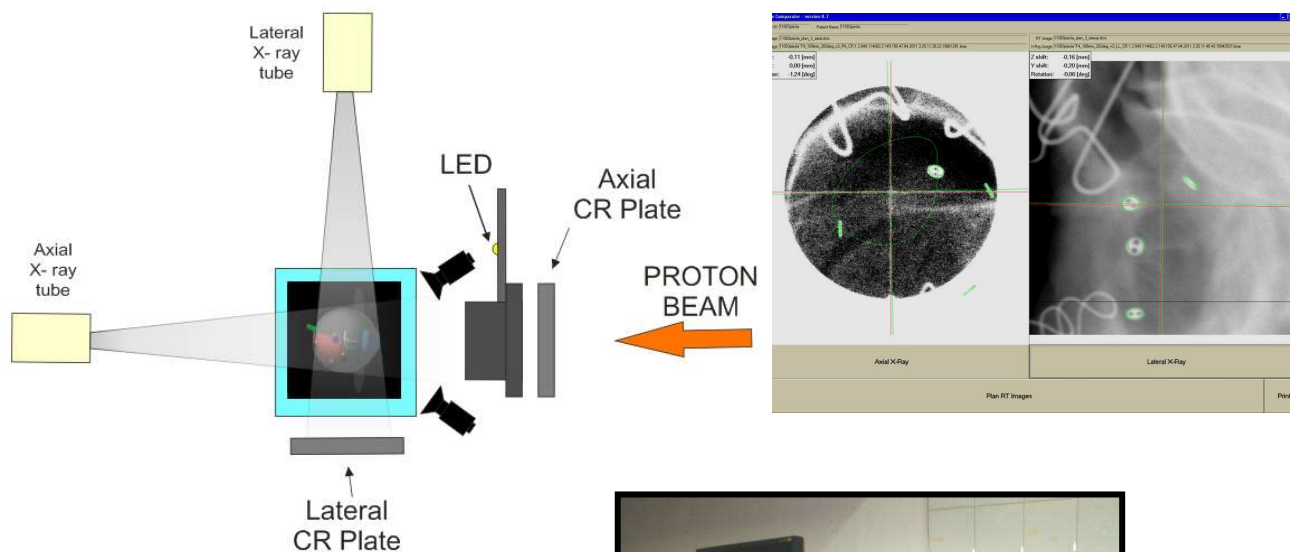
Modulacja





Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

System pozycjonowania pacjenta



Lampy rentgenowskie RAD-14 Diamond
Varian Medical Systems



System radiografii komputerowej
Kodak POC CR 260

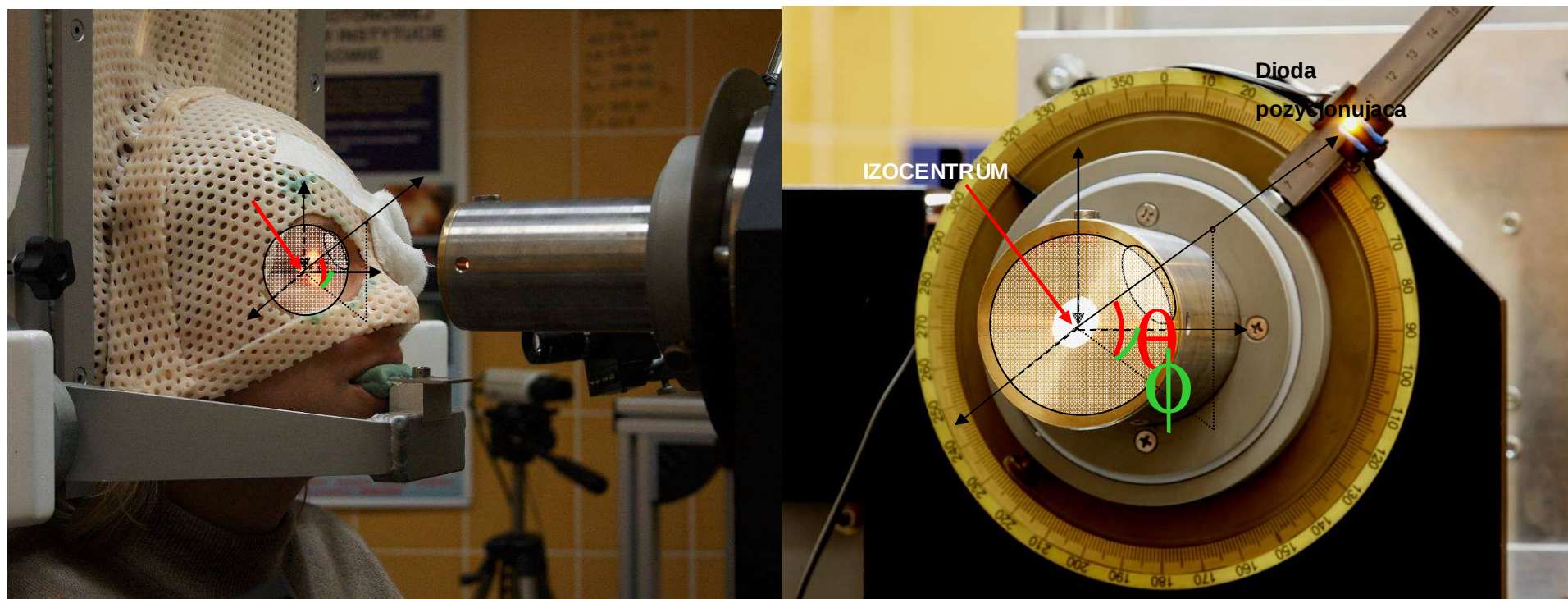


Fotel terapeutyczny
Schaer Engineering Ltd.



Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

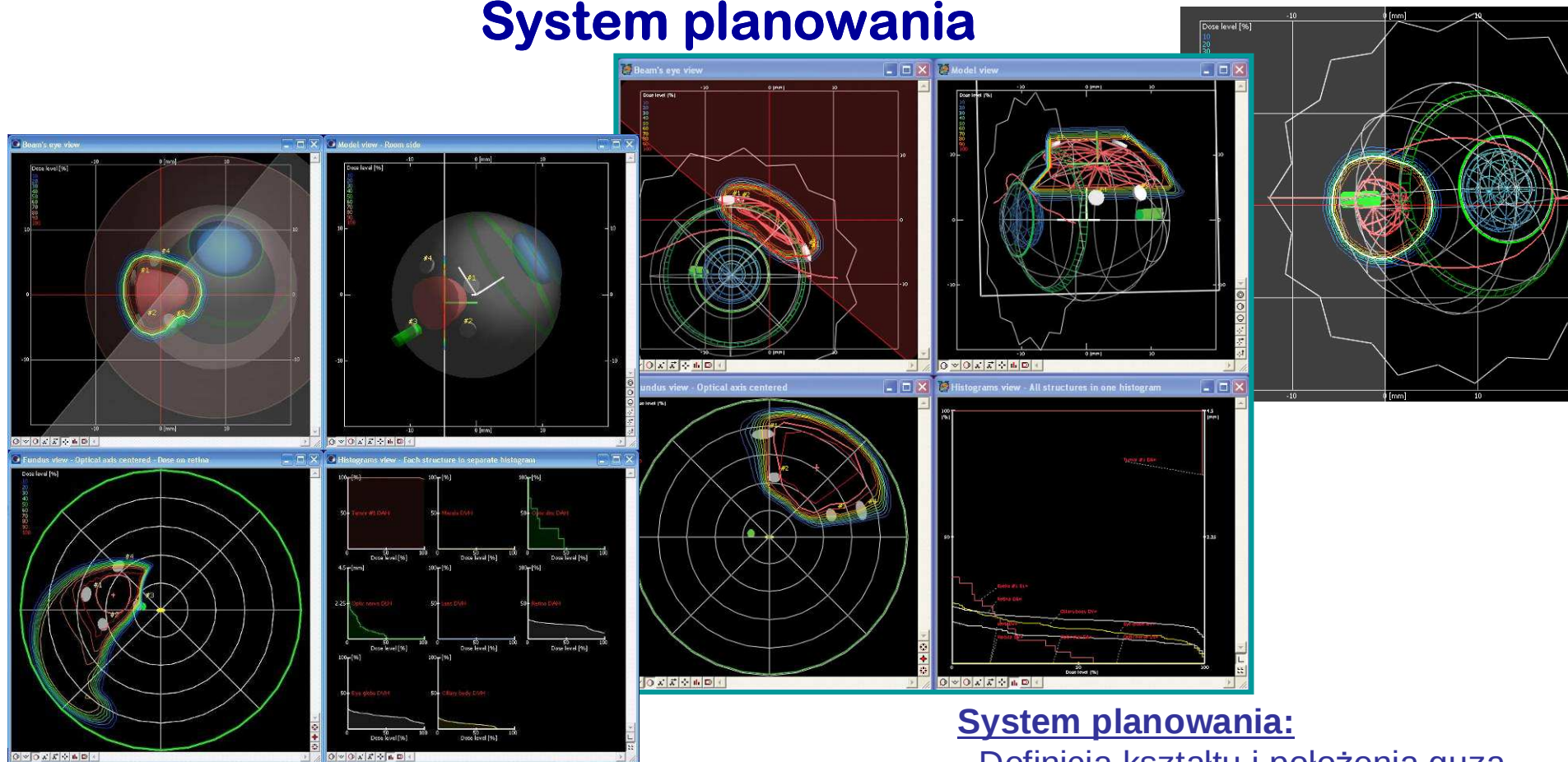
Układ fiksacji oka





Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

System planowania



System planowania:

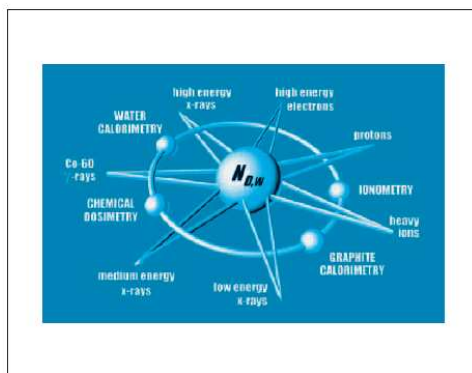
- Definicja kształtu i położenia guza
- Pozycja oka
- Rozkłady dawki
- Zasięg wiązki protonów
- Modulacja (SOBP)
- Kształt kolimatora dla pacjenta

Eclipse Ocular Proton Planning
Varian Medical Systems
Certyfikat FDA



Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

Kalibracja stanowiska wykonywana zgodnie z protokołem IAEA (TRS 398)



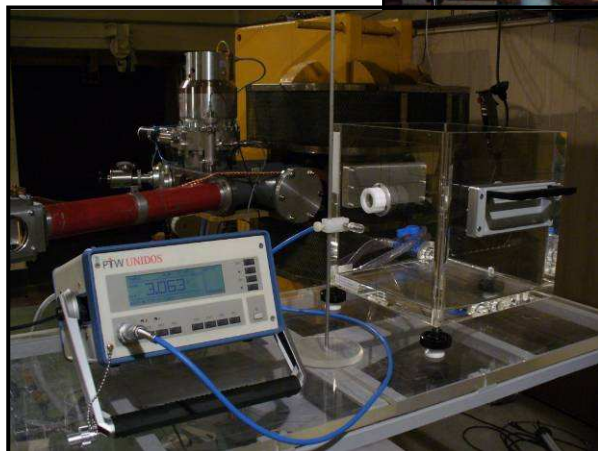
TECHNICAL REPORTS SERIES No. 398

**Absorbed Dose Determination in
External Beam Radiotherapy**
An International Code of Practice for Dosimetry
Based on Standards of Absorbed Dose to Water

Sponsored by the IAEA, WHO, PAHO and ESTRO



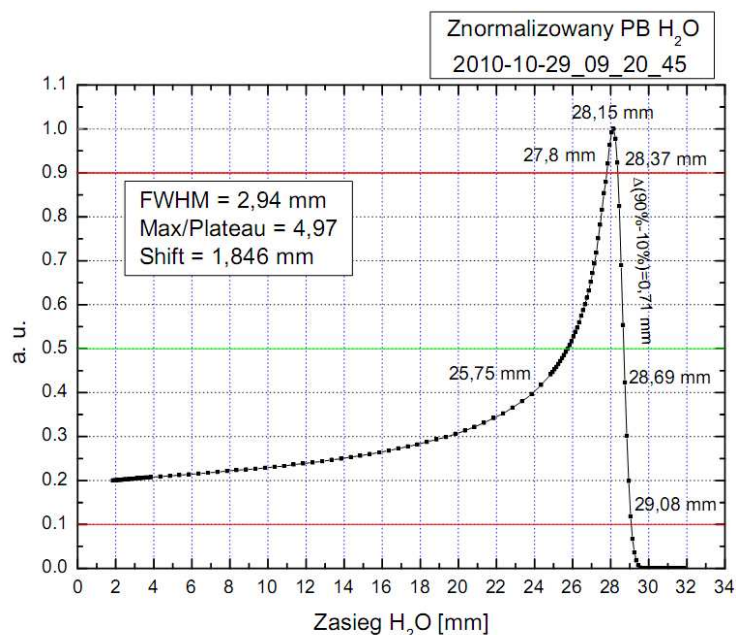
INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 2000



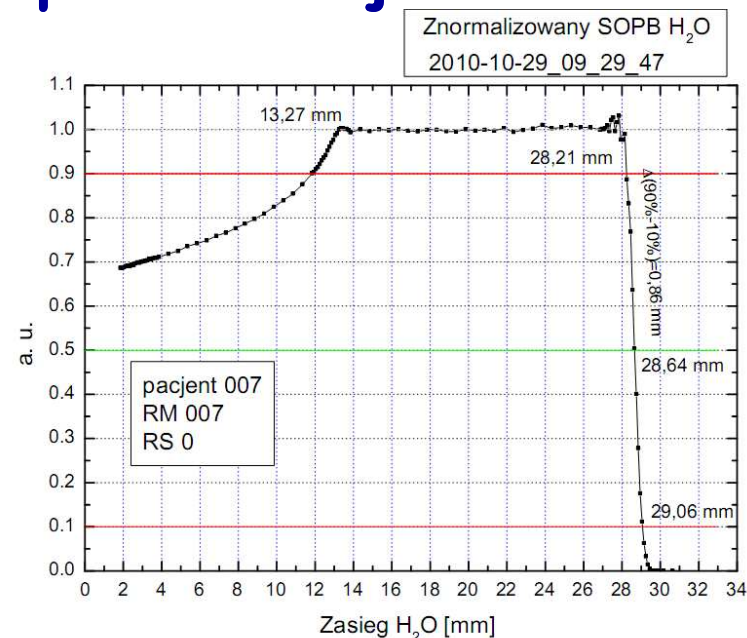


Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

Parametry wiązki protonowej



Pierwotny pik Bragga



Modulowany pik Bragga (SOBP)

Energia wiązki na wyjściu z cyklotronu AIC-144	60 MeV
Zasięg w wodzie	29,4 mm
Spadek dawki za pikiem Bragga ($d_{90\%-10\%}$)	0,75 mm
FWMH	3,0



Porównanie parametrów wiązki

OŚRODEK	Zasięg w H ₂ O [mm]	Energia kliniczna [MeV]	Max/Plateau	F.W.H.M. [mm]	Distal fall off d _{90%-10%} [mm]
CATANA	30,6	60,2	4,68	3,29	0,81
CCO	31,0	60,4	4,85	3,65	0,80
PSI	30,0	60	4,47	-	1,10
IFJ	28,3 (29,4)	~60	4,90	3,0	0,75



Procedura radioterapii protonowej nowotworów oka

ETAPY WYKONYWANIA PROCEDURY:

Diagnoza i skierowanie do wykonania radioterapii protonowej;

Zabieg naszycia markerów tantalowych;

Wykonanie planu terapii (*Eclipse Ocular Proton Planning*);

Pozycjonowanie pacjenta;

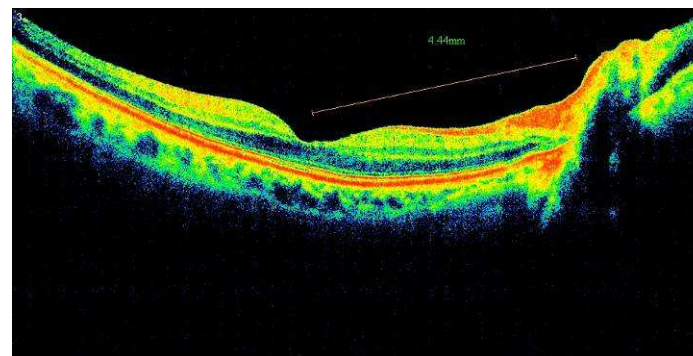
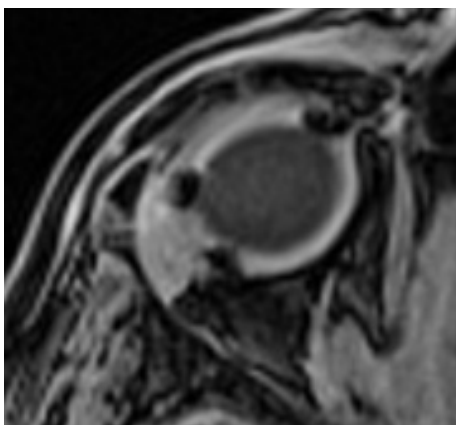
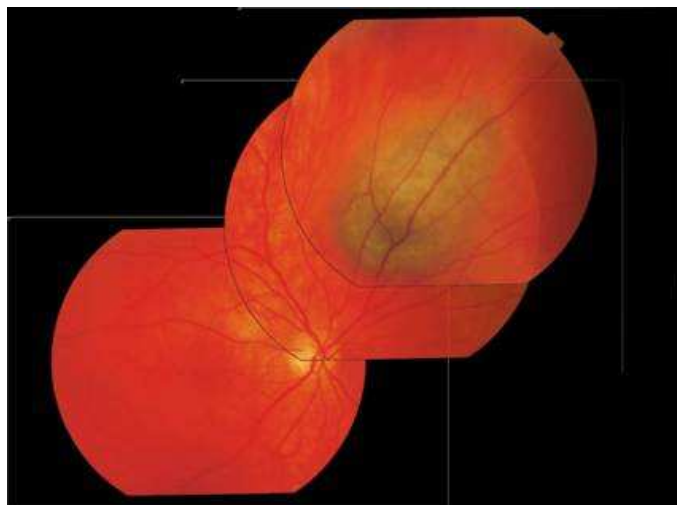
Napromienienie guza (Dawka 4 x 15CGE /Cobalt Gray Equivalent/);

**Czas potrzebny na przeprowadzenie procedury
(od naszycia markerów do zakończenia napromieniania)
to minimum 3 tygodnie**



Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego
Polskiej Akademii Nauk

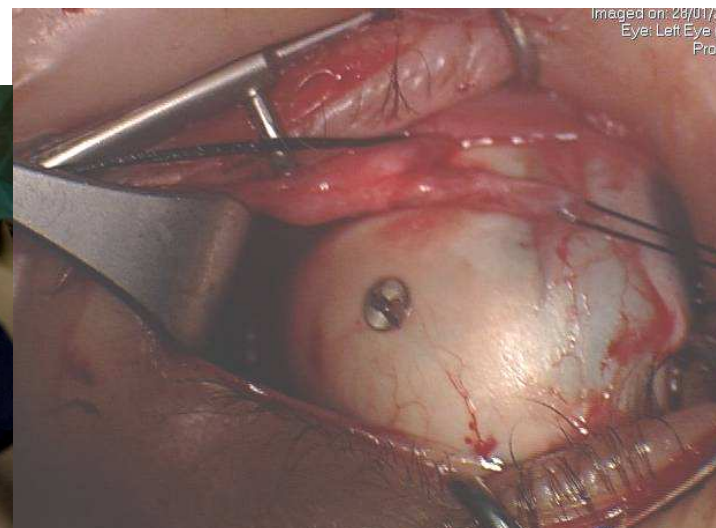
Diagnoza i skierowanie do wykonania radioterapii protonowej





**Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego
Polskiej Akademii Nauk**

Zabieg naszycia markerów tantalowych





Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

Wykonanie planu terapii

VARIAN
Eclipse Color Proton Planning ver. 8.8.08

10004SH (10004SH)

Summary

General			
Plan ID	Plan #1	ID	10004SH
Last modification date	2010/10/14 10:56:54	Patient data	Name 10004SH
Approval status	unapproved	Birth date	
Referenced simulation ID	Simulation #5		
Plan complete	yes		
Course setup version	5516 FS258C2		

Treatment prescription

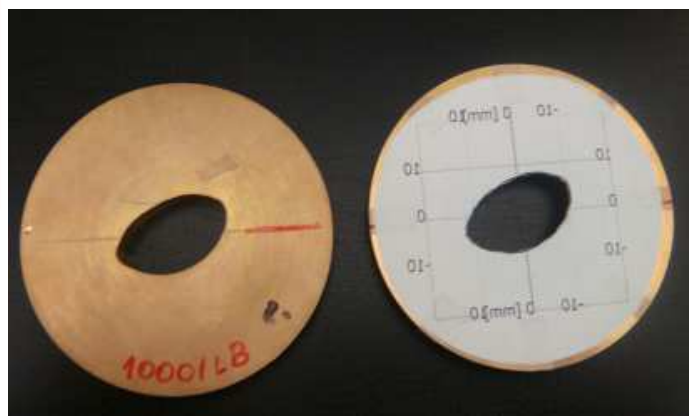
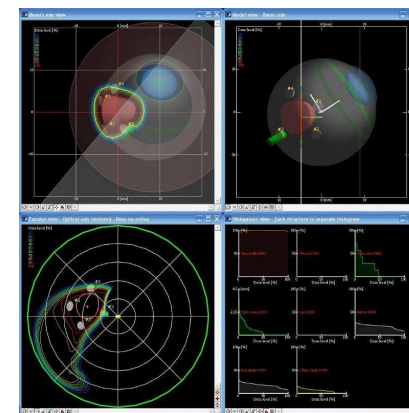
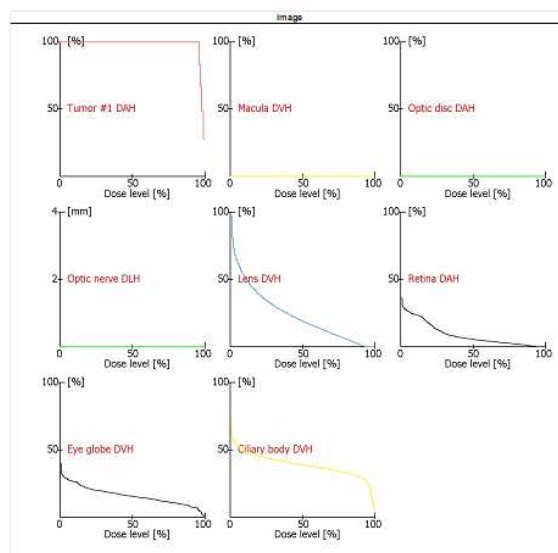
Planned eye position			
Eye center	X	2.62 mm	Treated eye right
	Y	+2.25 mm	Fixation eye treated
Chair position	Z	-9.37 mm	Fixation right: Polar 90.00 mm
	Longitudinal	-6.15 mm	Fixation right: Azimuthal 145.00 deg
Chair position	Lateral	+1.35 mm	Torsion 0.18 deg
	Height	112.52 mm	Head fixation angle 0.00 deg
Chair pitch angle		0.00 deg	Head height 189.01 mm

Tumor (Tumor #1)			
Max base diameter	11.55 mm	Apex height	3.35 mm
Min base diameter	6.48 mm	Volume	0.13 cm ³
Distance to disc edge	20.12 mm	Distance to macula edge	20.03 mm
Anterior margin	10.22 mm	Ciliary body involvement	yes
Complete	yes		

Dose conditions			
Range penetration	7.00 mm	Range	Distal 2.50 mm
Range modulation	7.00 mm	margins	Proximal 2.50 mm
Skin plane	8.00 behind cornea/surface	Block margin	2.50 mm

Dose calculations			
	20%	50%	90%
Tumor #1 DAH	100.00 %	100.00 %	100.00 %
Macula DVH	0.00 %	0.00 %	0.00 %
Optic disc DAH	0.00 %	0.00 %	0.00 %
Optic nerve DLH	0.00 mm	0.00 mm	0.00 mm
Lens DVH	38.25 %	16.75 %	1.03 %
Retina DAH	18.62 %	5.50 %	0.87 %
Eye globe DVH	21.04 %	15.43 %	7.62 %
Ciliary body DVH	45.30 %	38.85 %	29.45 %

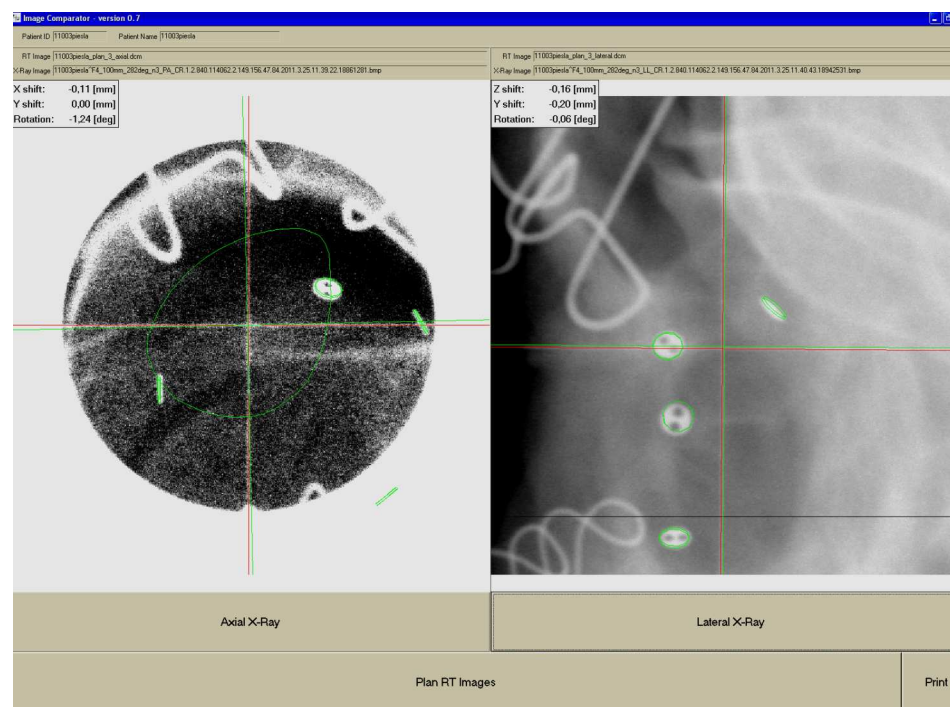
Treatment			
Diagnosis	choroidal melanoma		
Total dose	0.00 cGy	Number of fractions	0





Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

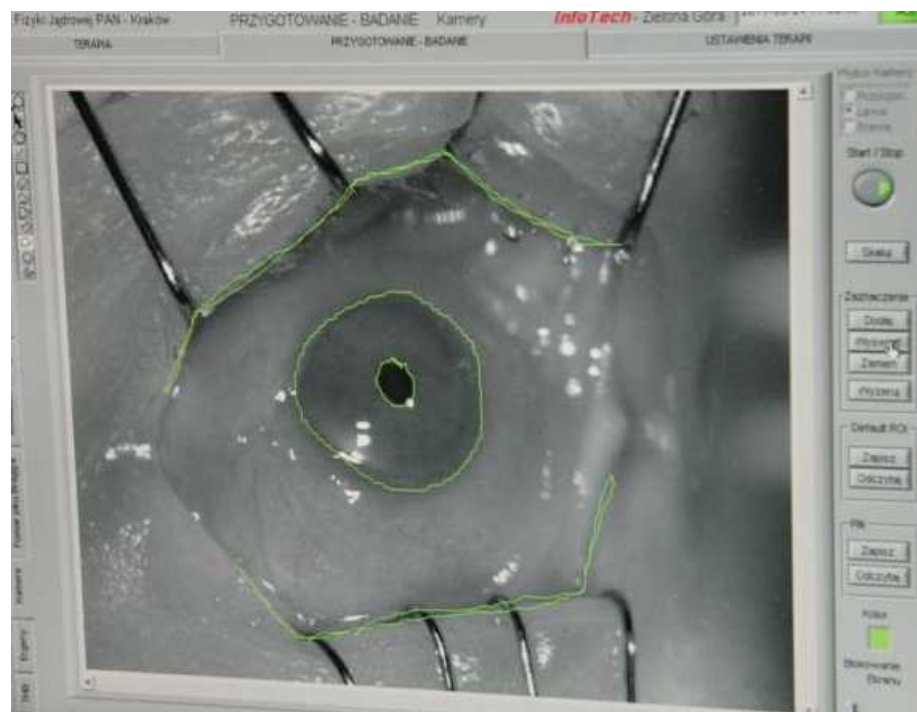
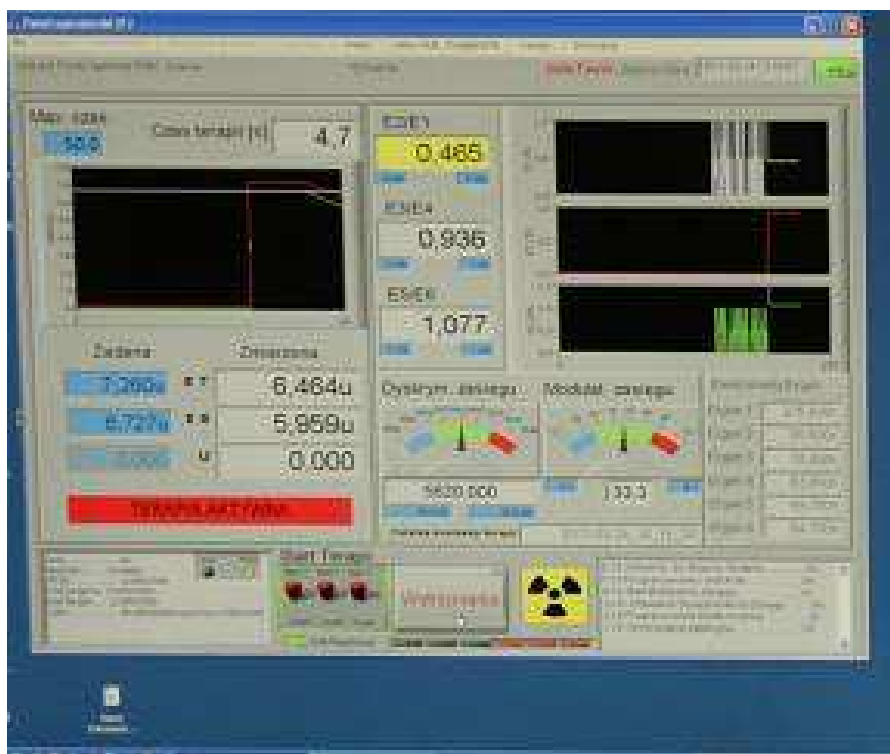
Pozycjonowanie pacjenta





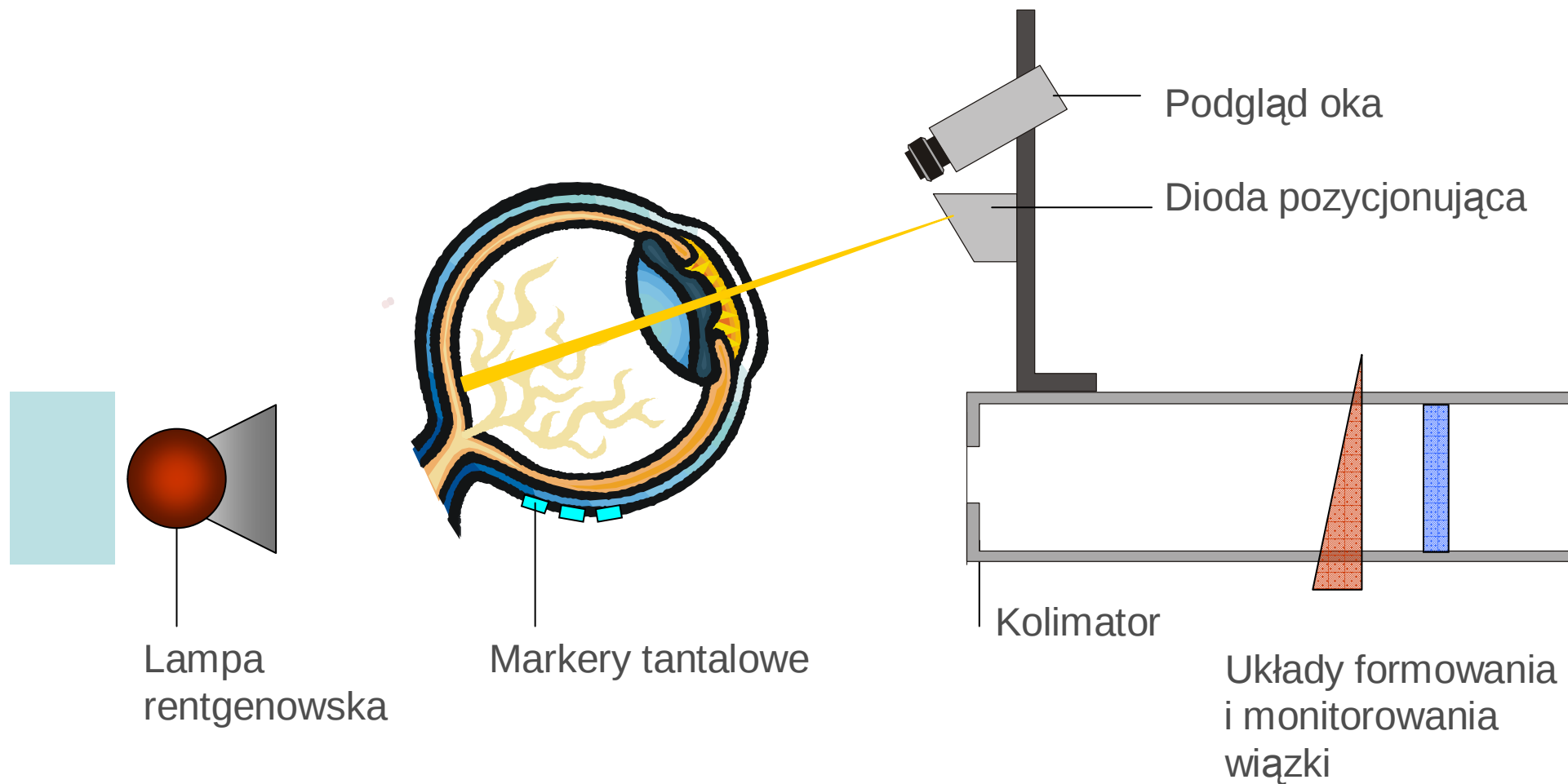
Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

Napromienienie guza



Napromienianie

*Cztery frakcje po 15 CGE
czas trwania jednej frakcji około 40s*



Napromienienie nowotworu



**Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego
Polskiej Akademii Nauk**

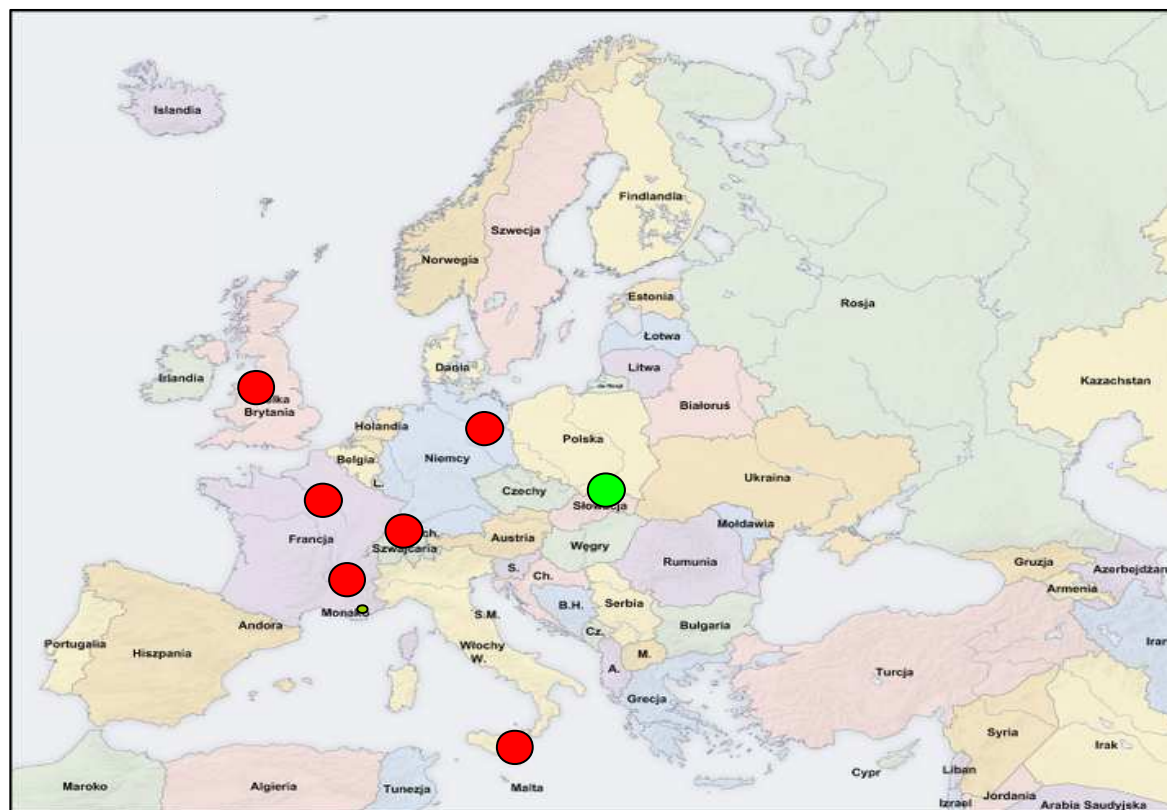
Pierwsza sesja napromieniania 15 - 18.02.2011





Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

Ośrodki radioterapii protonowej nowotworów oka działające w Europie





W 2011/2012 przeprowadzono 6 sesji radioterapii:

Luty 2011	- 2 pacjentów
Marzec 2011	- 4 pacjentów
Kwiecień 2011	- 3 pacjentów
Grudzień 2011	- 2 pacjentów
Luty 2012	- 2 pacjentów
Marzec 2012	- 2 pacjentów

napromienianiu poddano 15 pacjentów



Radioterapia protonowa nowotworów oka w IFJ PAN – podsumowanie:

- Pod względem technicznym i organizacyjnym, wszystkie przeprowadzone w tym roku sesje radioterapii protonowej przebiegły dobrze;
- Wyniki napromieniania pacjentów są zgodne z oczekiwaniami medycznymi;
- Oczekujemy, że w 2012 Agencja Oceny Technologii Medycznych wyda pozytywną opinię, co umożliwi rozpoczęcie finansowania radioterapii protonowej nowotworów oka przez NFZ;



Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

NCRH - CCB





Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk





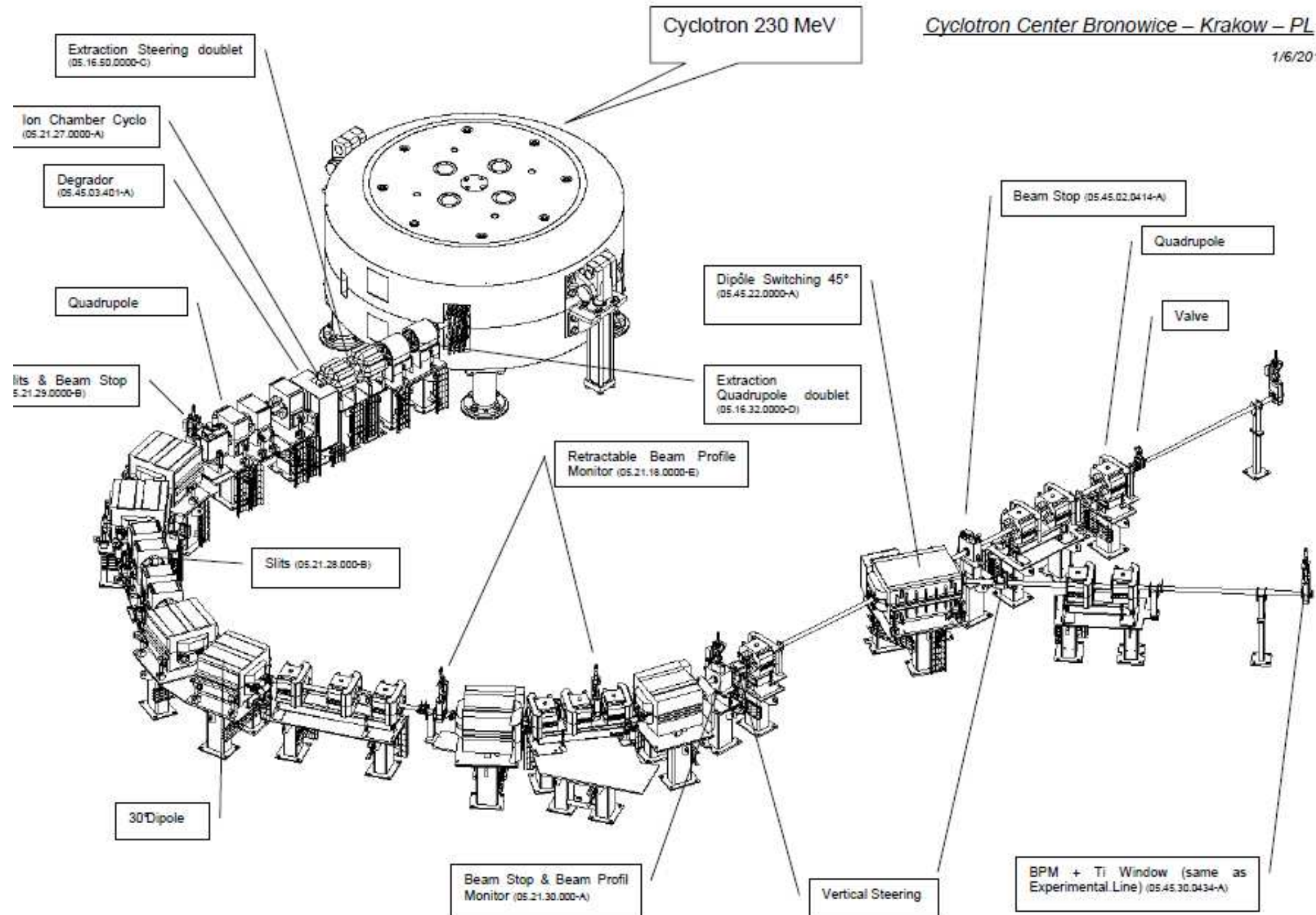
Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

17.03.2011











Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk



Instalacja magnesów linii prowadzenia wiązki 11.04.2012



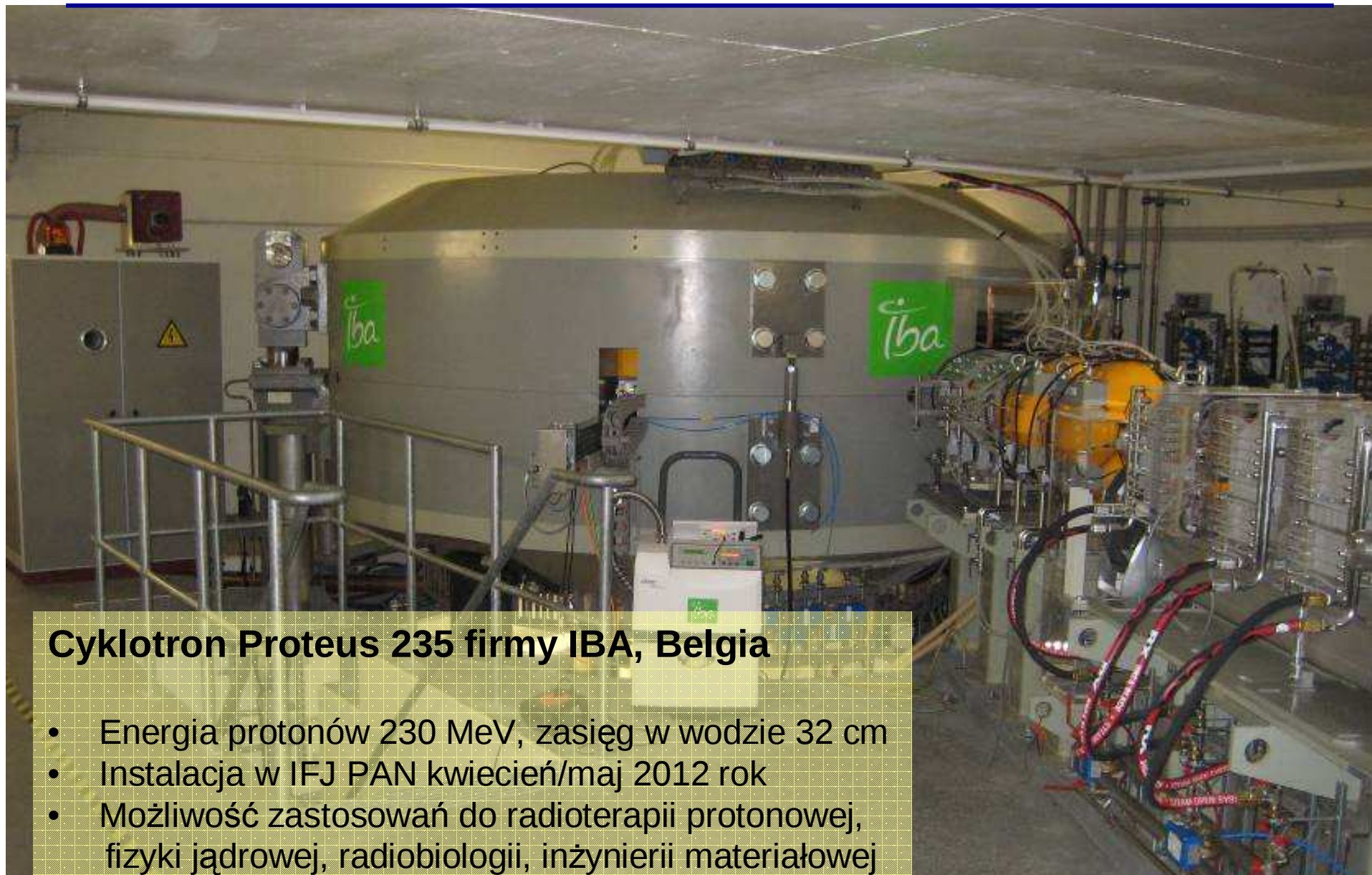
Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk



Instalacja magnesów w hali eksperymentów 11.04.2012



Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk



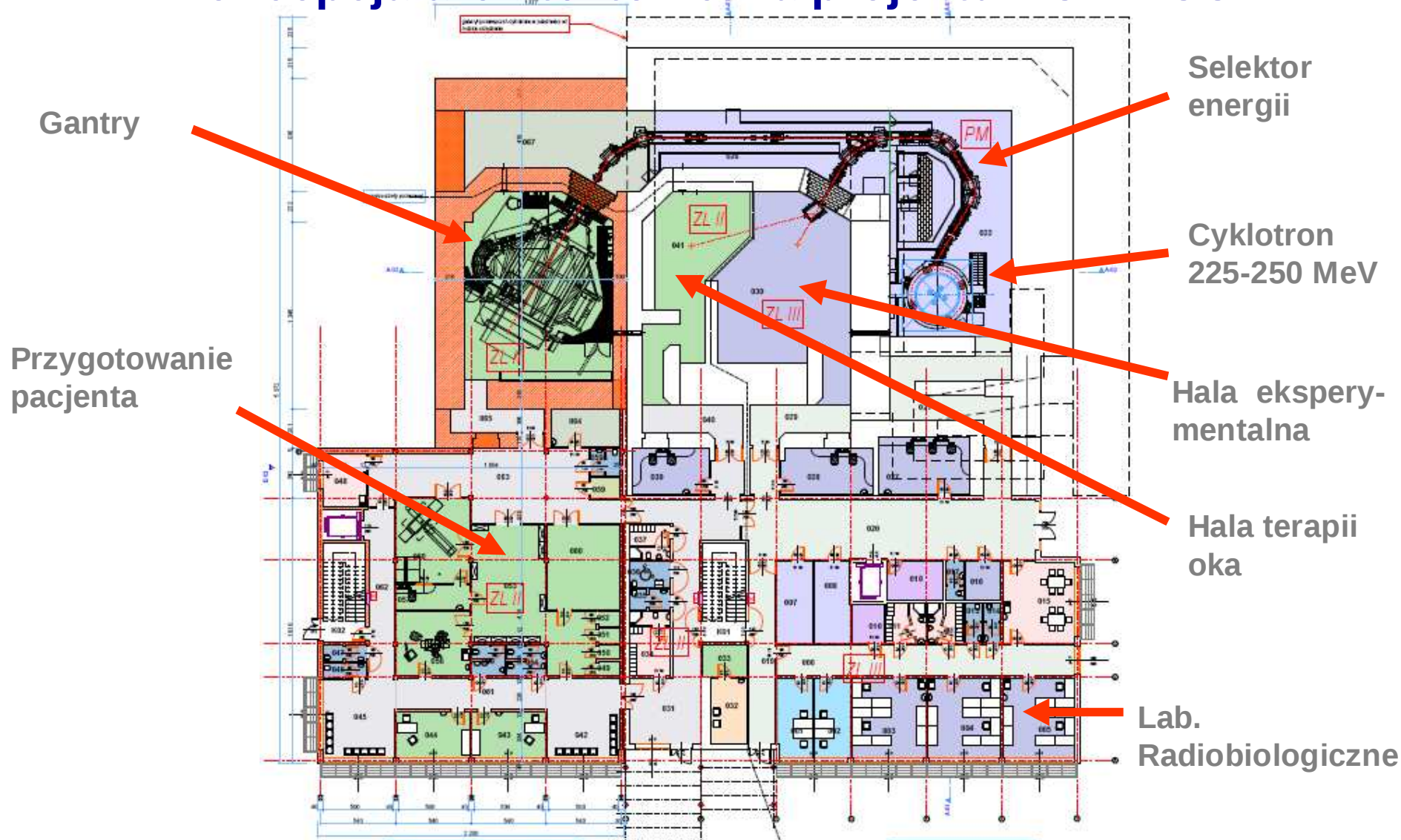
Cyklotron Proteus 235 firmy IBA, Belgia

- Energia protonów 230 MeV, zasięg w wodzie 32 cm
- Instalacja w IFJ PAN kwiecień/maj 2012 rok
- Możliwość zastosowań do radioterapii protonowej, fizyki jądrowej, radiobiologii, inżynierii materiałowej



Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

Koncepcja architektoniczna projektu NCRH-CCB



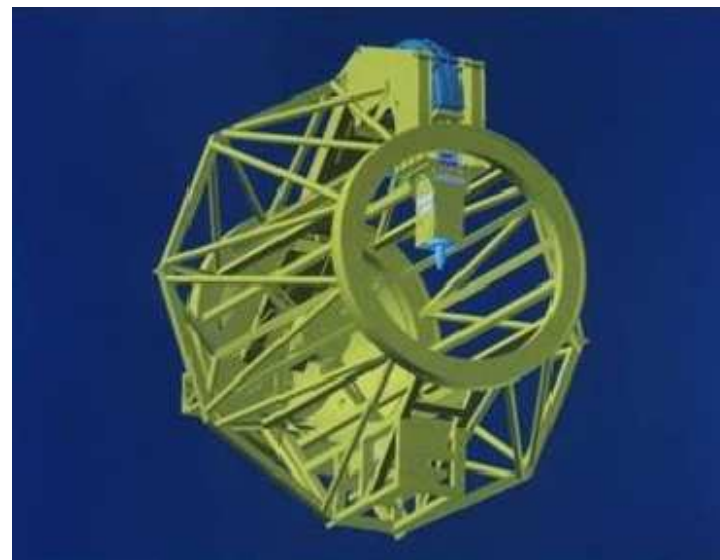


Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

Do czego służy gantry?

Aby napromienić precyzyjnie
leżącego pacjenta trzeba mieć możliwość
obrotu wiązkę protonów wokół pacjenta

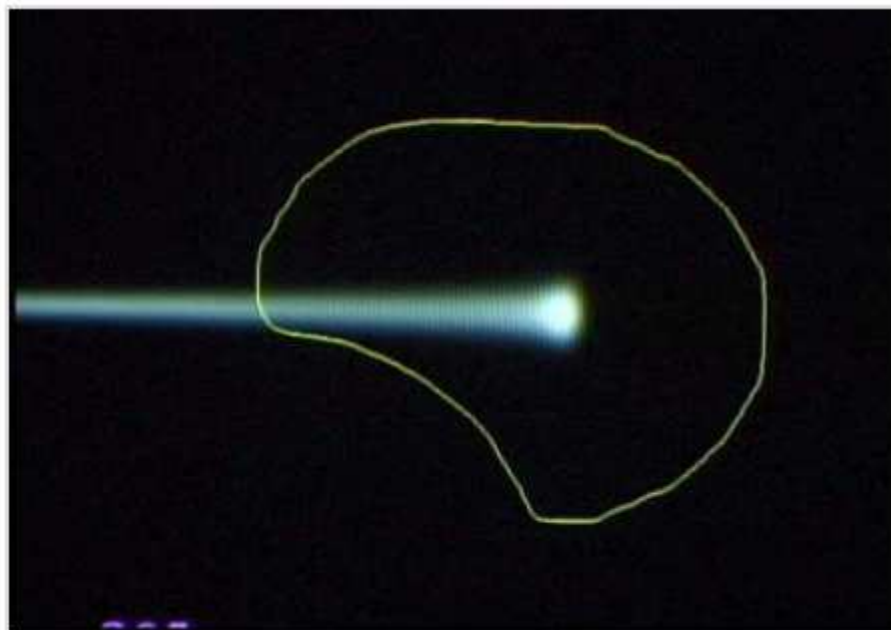
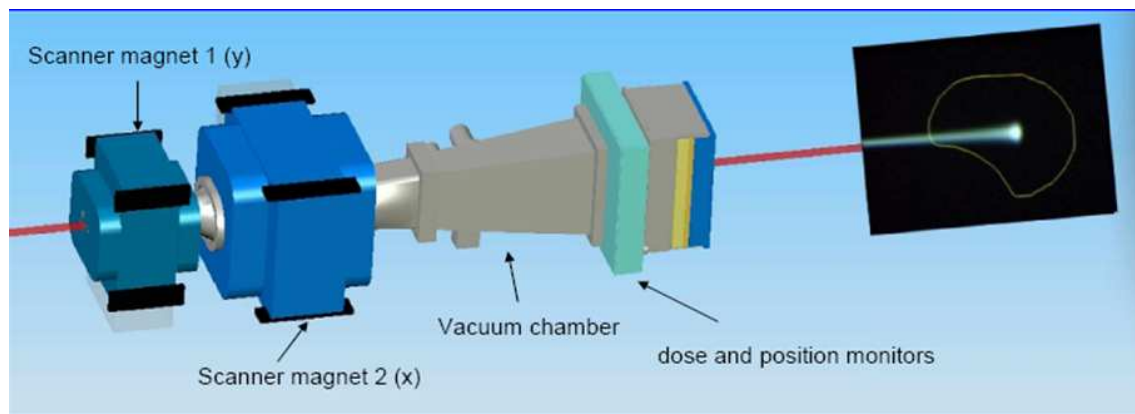
- waga magnesów ok. 10 ton
- waga konstrukcji 100 ton
- średnica konstrukcji 11 metrów
- precyzja napromieniania:
lepszą niż 1 mm





Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

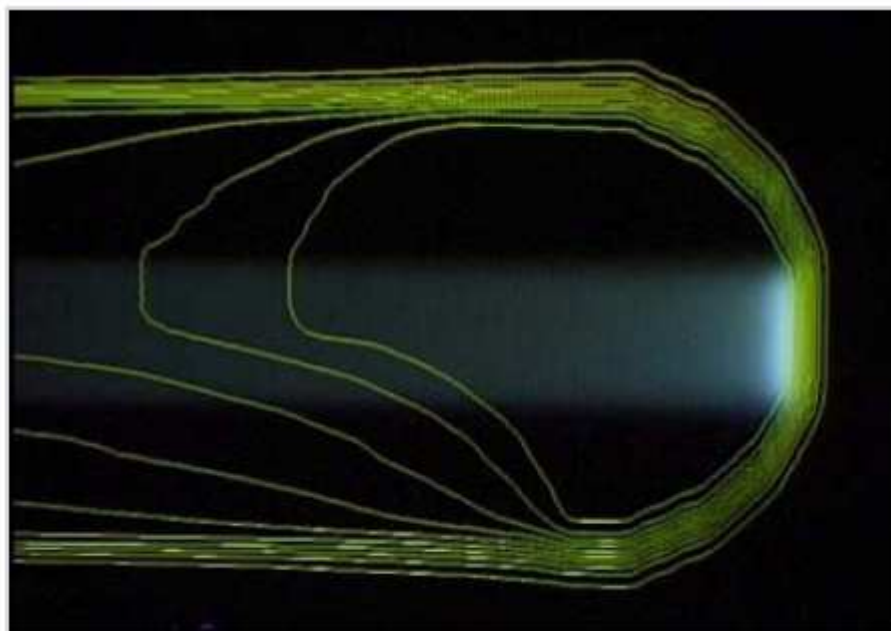
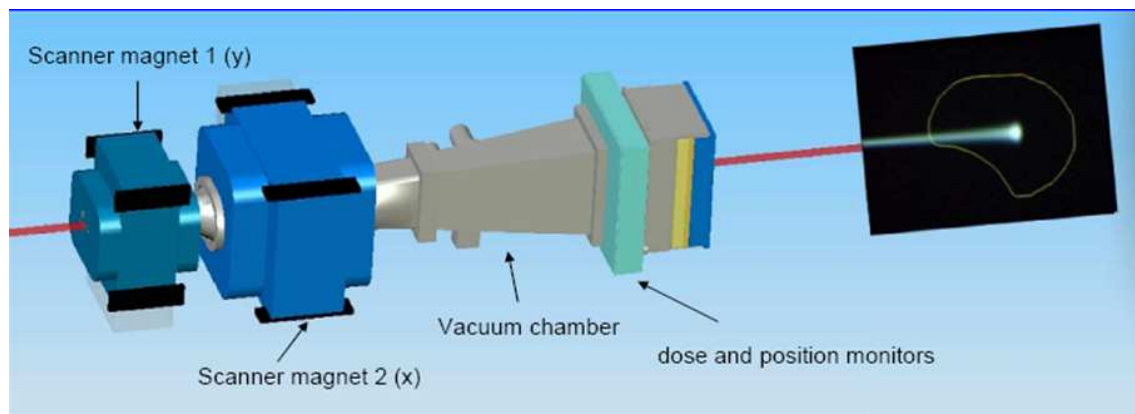
Wiązka skanująca





Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

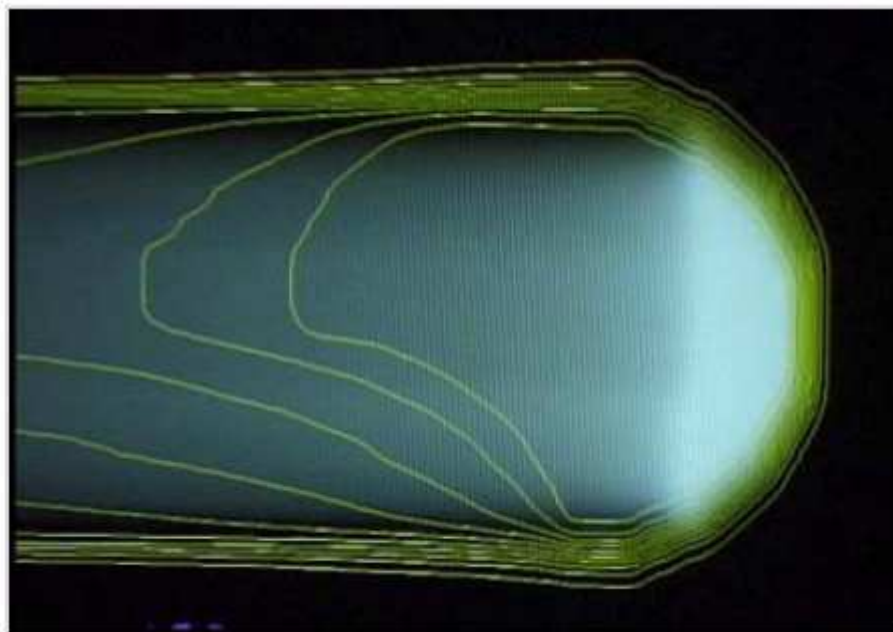
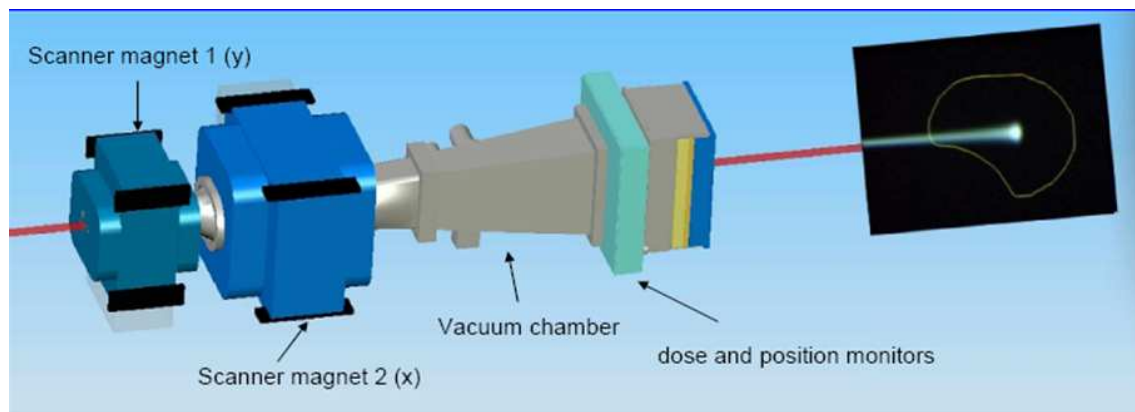
Wiązka skanująca





Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

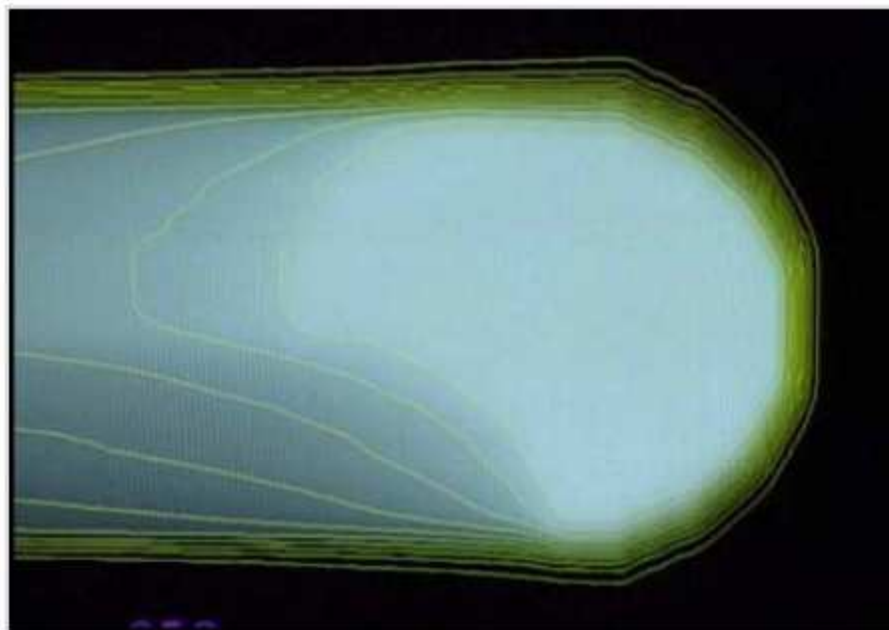
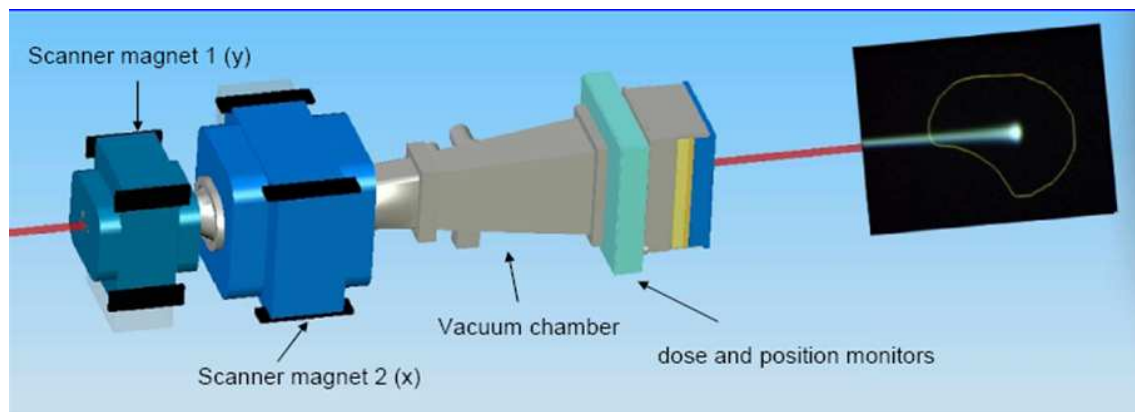
Wiązka skanująca





Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk

Wiązka skanująca





Podsumowanie

1. Rozwój metod hadronoterapii stał się możliwy dzięki postępowi współczesnej fizyki. Trwa wyścig naukowy (liczne projekty przy współudziale fizyków) i technologiczny w dziedzinie technik akceleracji, metod detekcji, planowania terapii etc.
2. W IFJ PAN zbudowano i uruchomiono stanowisko radioterapii protonowej nowotworów oka. Na potrzeby radioterapii protonowej wykorzystywana jest wiązka protonów z cyklotronu izochronicznego AIC-144
3. Klinika Okulistyki i Onkologii Okulistycznej CM UJ, Centrum Onkologii w Krakowie wraz z IFJ PAN rozpoczęły w 2011 radioterapię protonową nowotworów oka na stanowisku radioterapii przy cyklotronie AIC-144.
4. W 2012 zostanie oddany do użytku w IFJ PAN nowoczesny ośrodek cyklotronowy, który umożliwi rozszerzenie możliwości badawczych i leczniczych (projekt Narodowego Centrum Radioterapii Hadronowej, NCTR).
5. Gantry zostanie oddane do użytku w połowie 2014 roku