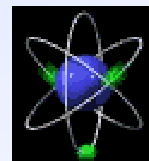


# Terapia ciężkojonowa w onkologii

---

Zygmunt Szefliński  
Uniwersytet Warszawski

Seminarium,  
Kielce, 2005



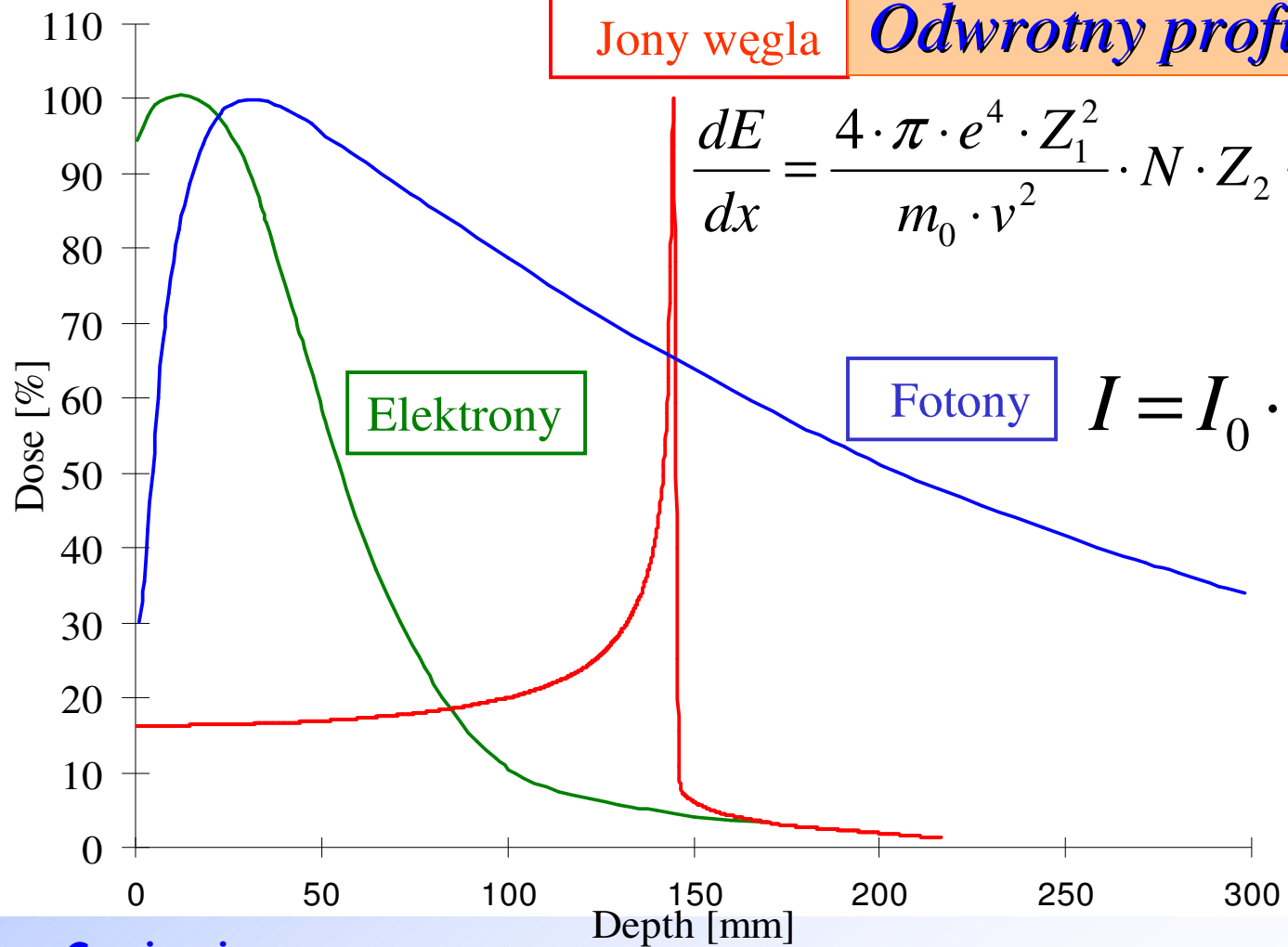
# Terapia nowotworów - ciężkie jony

---

- Skuteczność promieniowania
- Terapia hadronowa
- Terapia ciężkojonowa i określenie dawki za pomocą PET
- Wiązka Cyklotronu do badań radiobiologicznych
- Przyszłość



# Skuteczność promieniowania



Jony węgla

*Odwrotny profil dawki*

$$\frac{dE}{dx} = \frac{4 \cdot \pi \cdot e^4 \cdot Z_1^2}{m_0 \cdot v^2} \cdot N \cdot Z_2 \cdot \ln(v, \varphi_i)$$

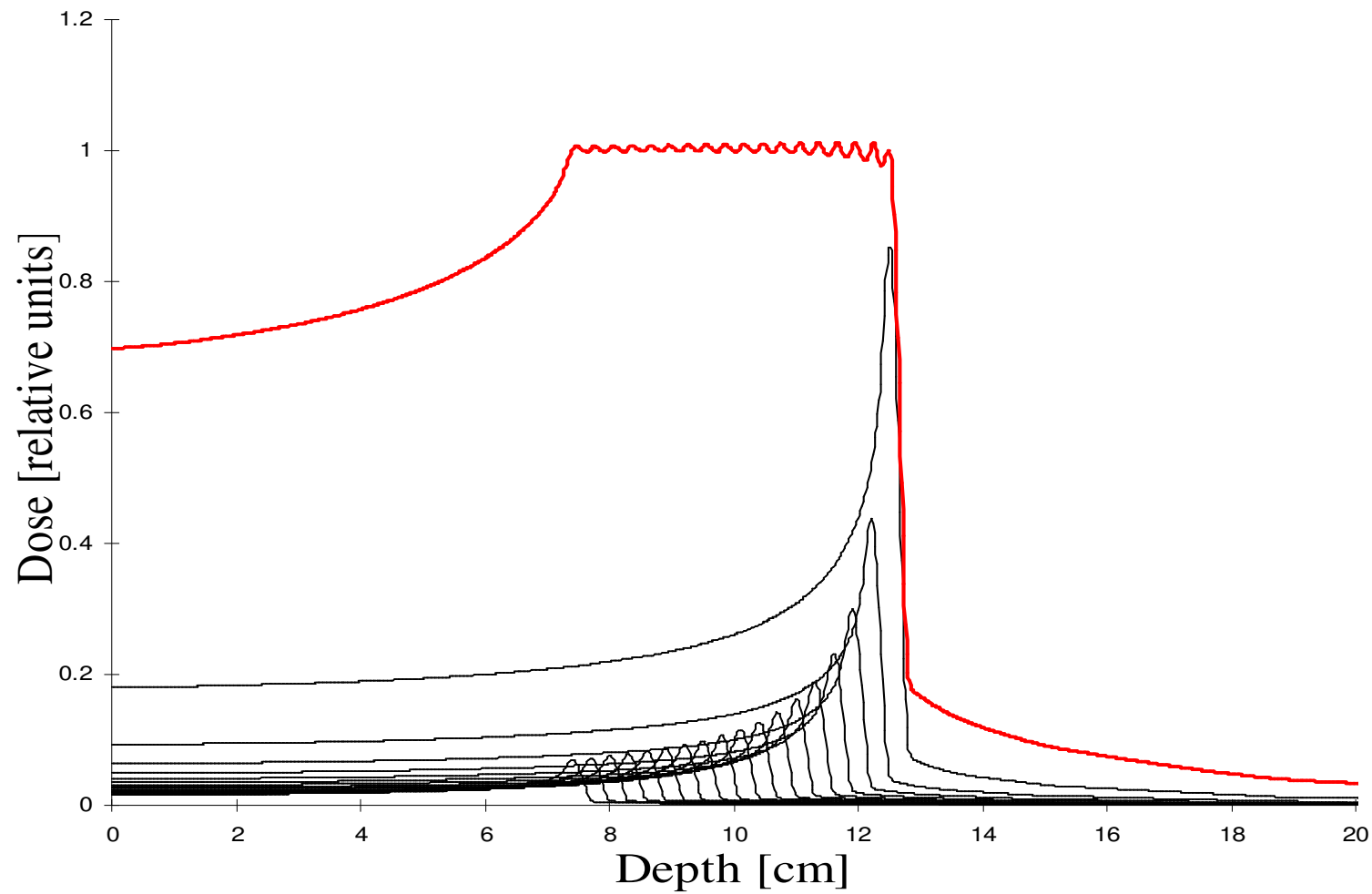
Elektrony

Fotony

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$



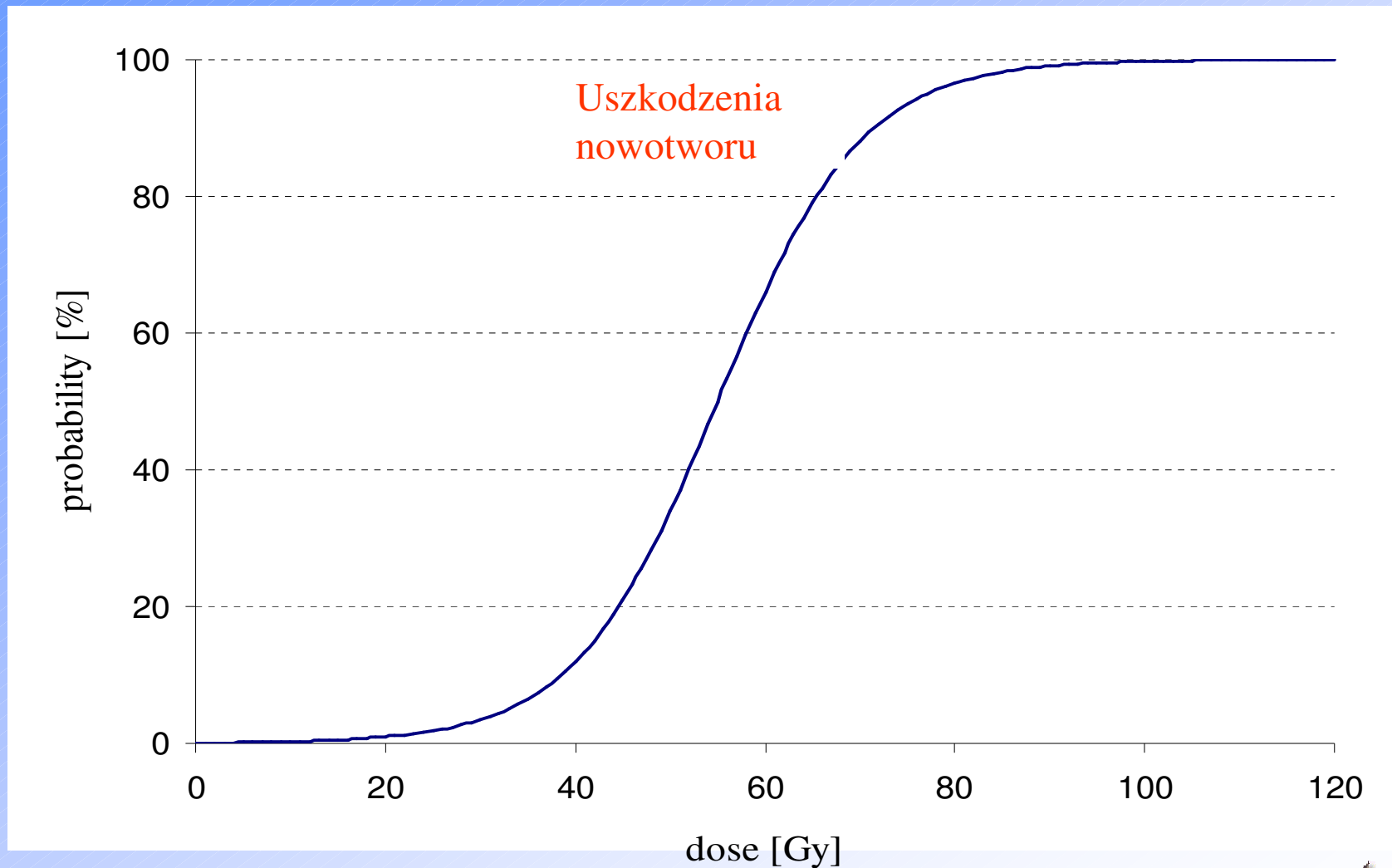
# Longitudinal Bragg-peak spreading



Seminarium  
Kielce, 2005



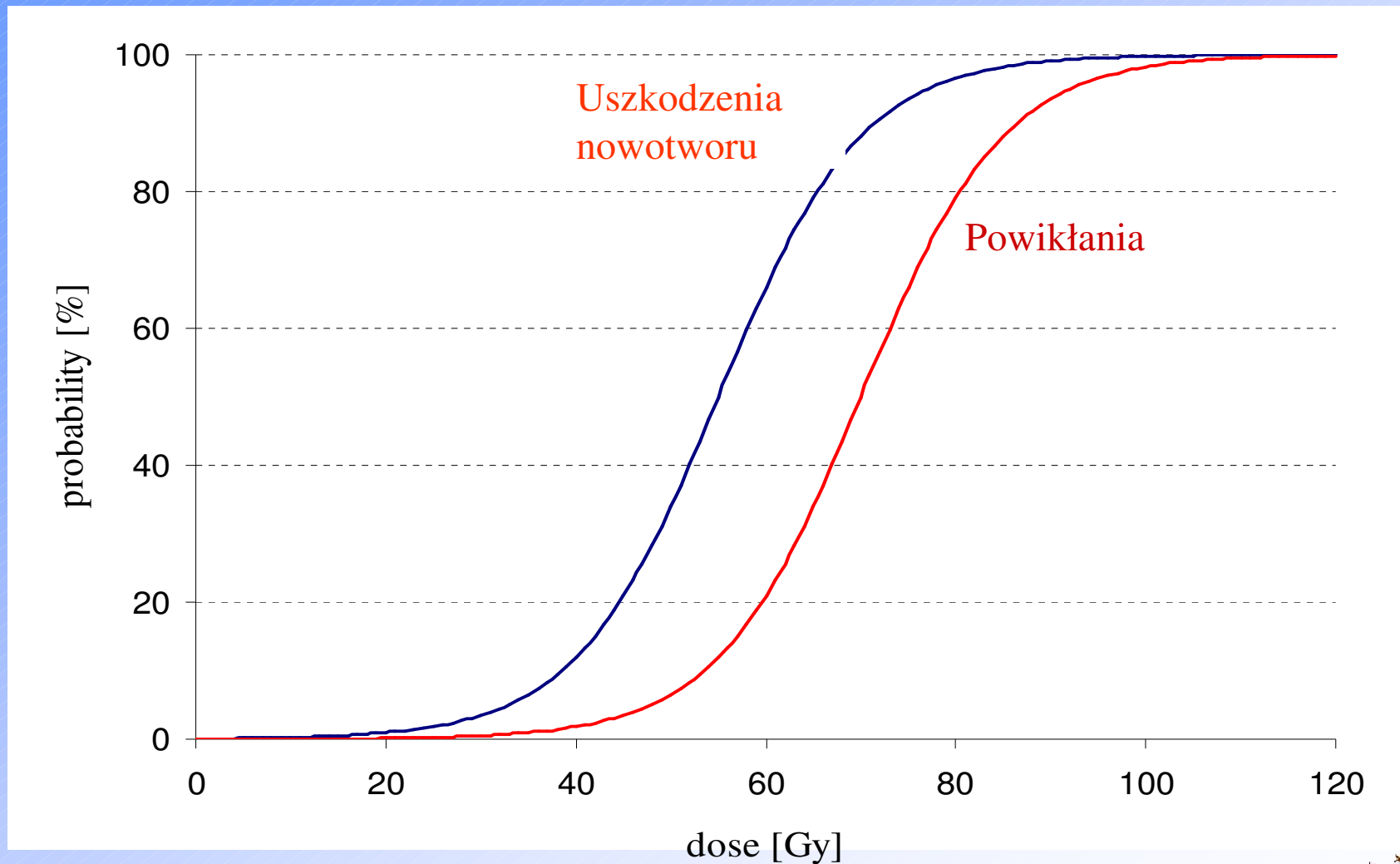
# Reguły prawidłowej radioterapii



Seminarium  
Kielce, 2005



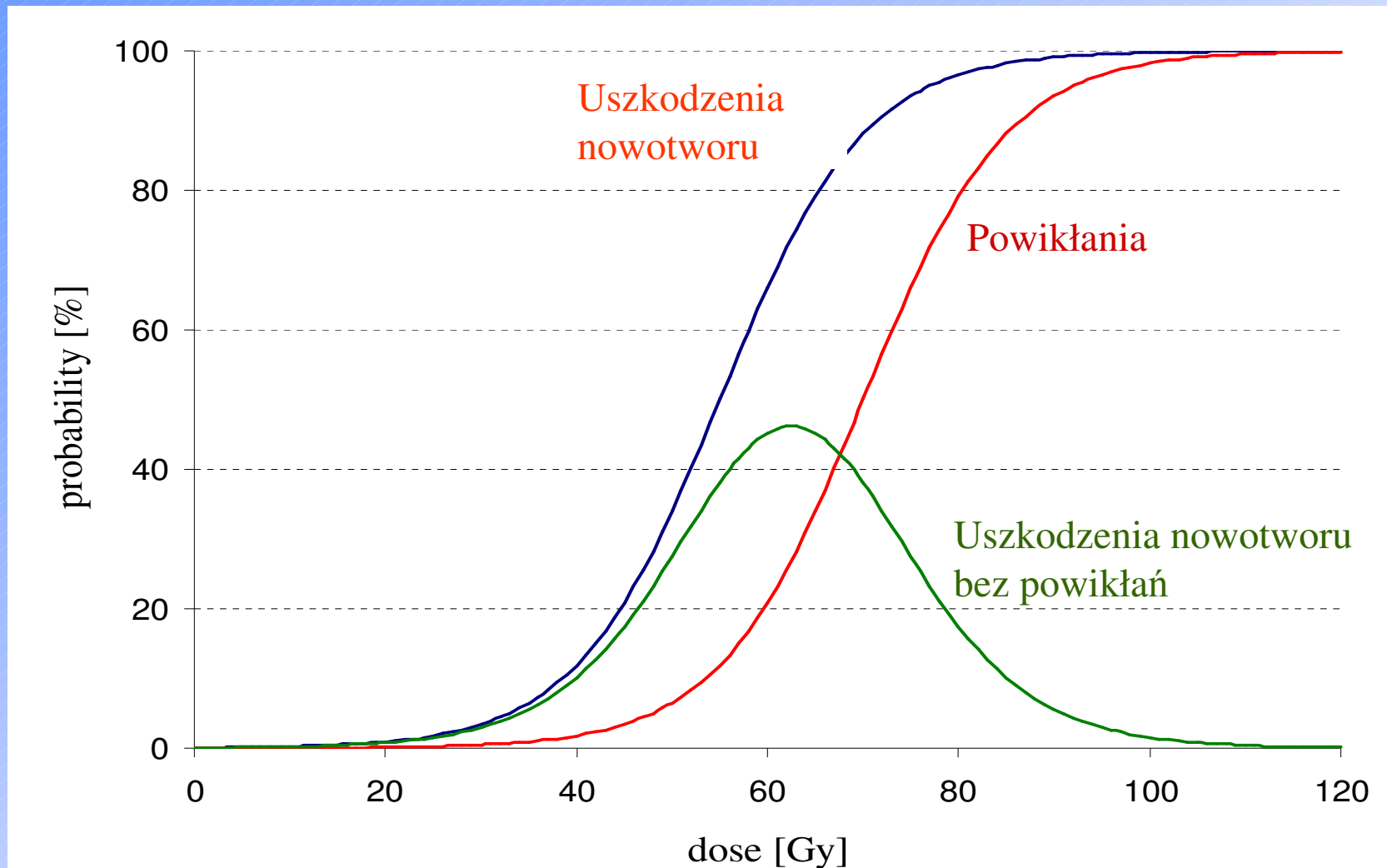
# Reguły prawidłowej radioterapii



Seminarium  
Kielce, 2005



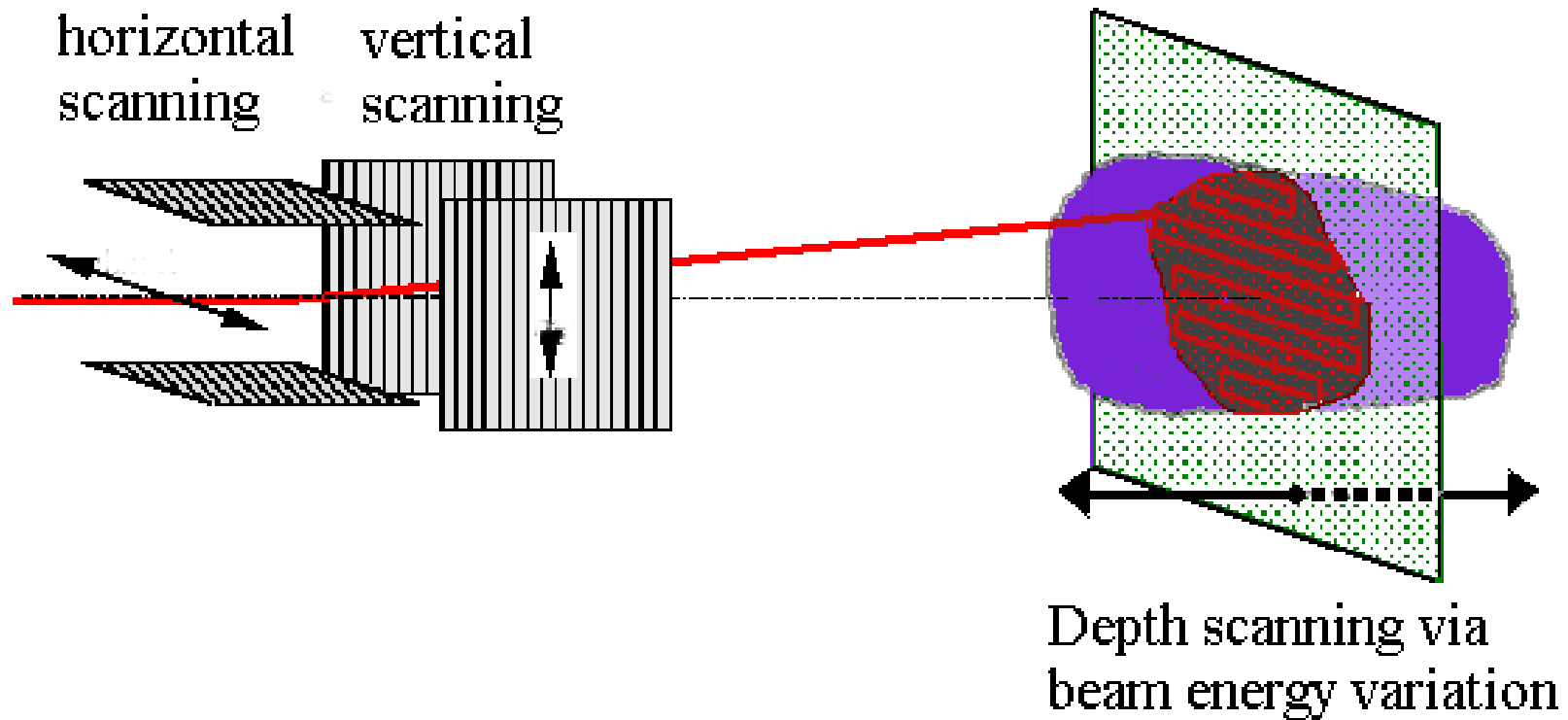
# Reguły prawidłowej radioterapii



Seminarium  
Kielce, 2005

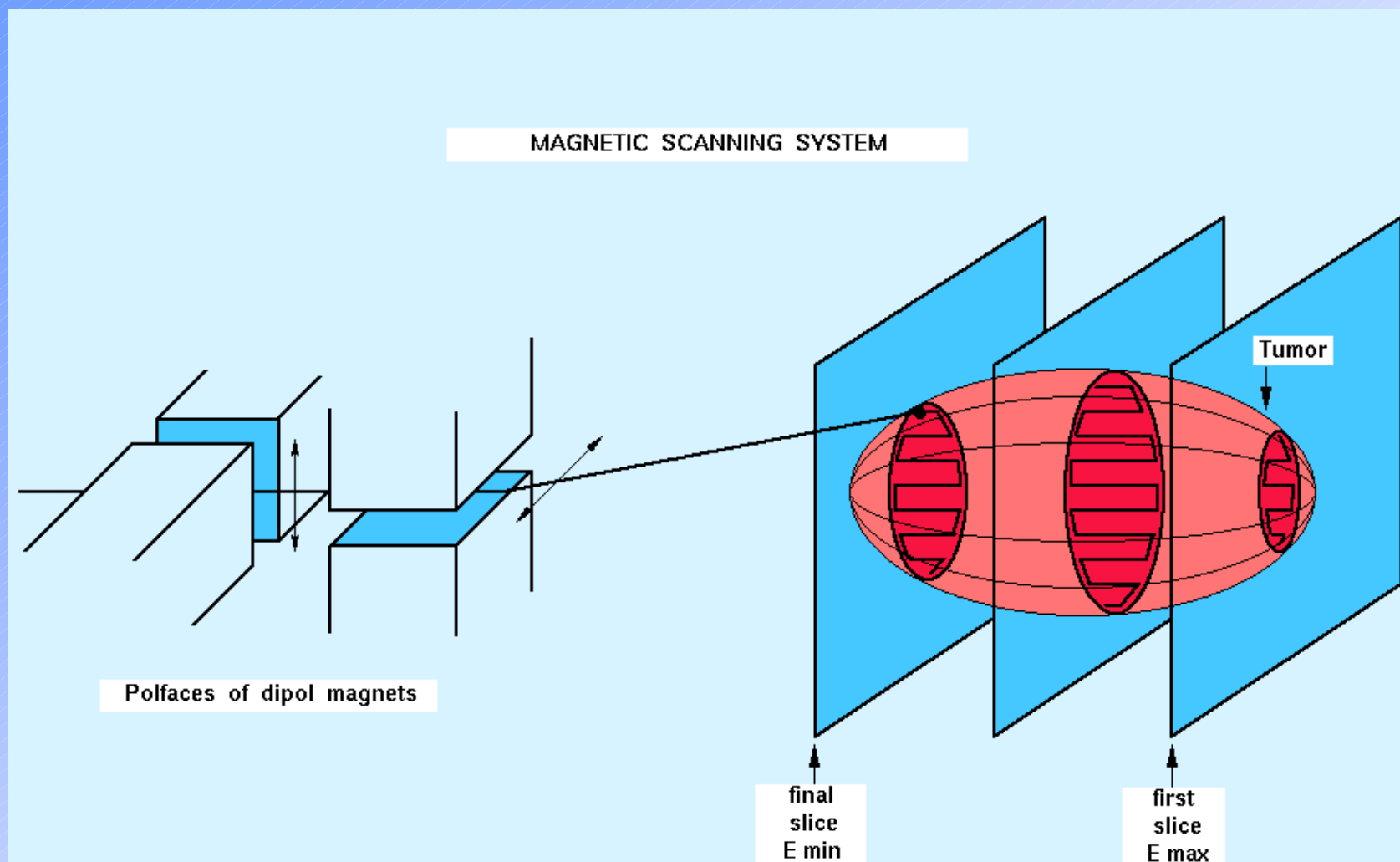


# Zasady terapii ciężkojonowej





# Technika rastrowa skanowania nowotworu

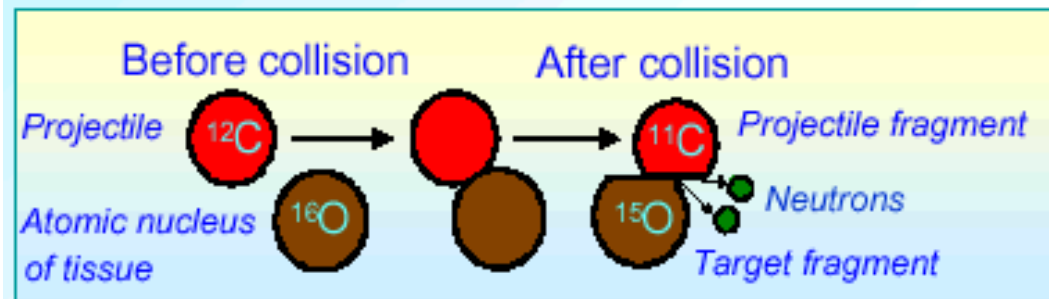


Seminarium  
Kielce, 2005



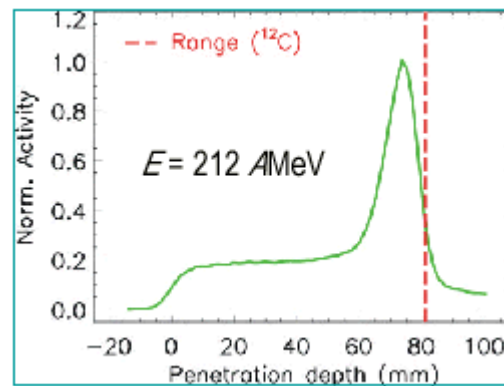
# Reakcije fragmentacije (W. Enghardt, FZR)

## The principle

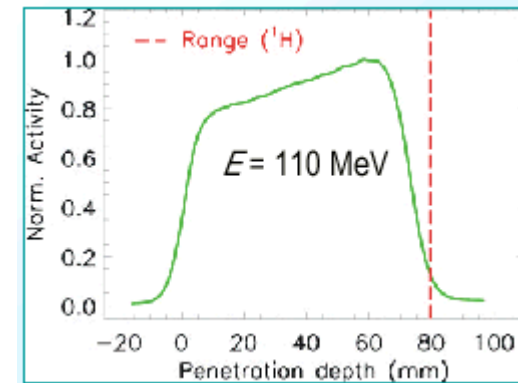


### Cross sections:

$^{12}\text{C}(^{16}\text{O}, \text{X})^{15}\text{O}$ :	84 mb
$^{12}\text{C}(^{12}\text{C}, \text{X})^{11}\text{C}$ :	56 mb
$^{12}\text{C}(^{12}\text{C}, \text{X})^{10}\text{C}$ :	5 mb
$^1\text{H}(^{16}\text{O}, \text{pn})^{15}\text{O}$ :	50 mb
$^1\text{H}(^{12}\text{C}, \text{pn})^{11}\text{C}$ :	40 mb
$^1\text{H}(^{12}\text{C}, \text{p}2\text{n})^{10}\text{C}$ :	2 mb



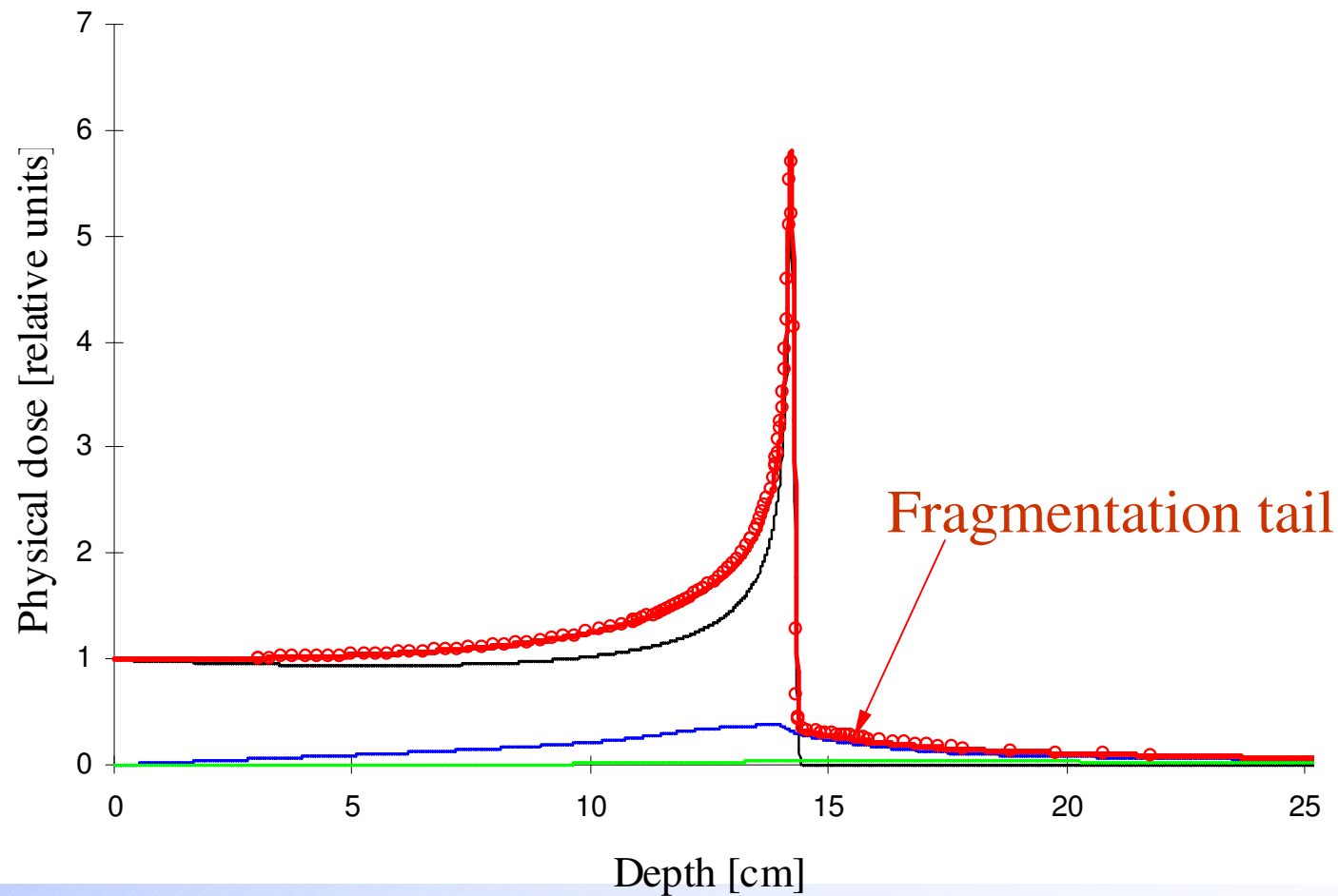
Ion induced  $\beta^+$  activity  
(dominated by projectile f.)



Proton induced  $\beta^+$  activity  
(dominated by target fragm.)



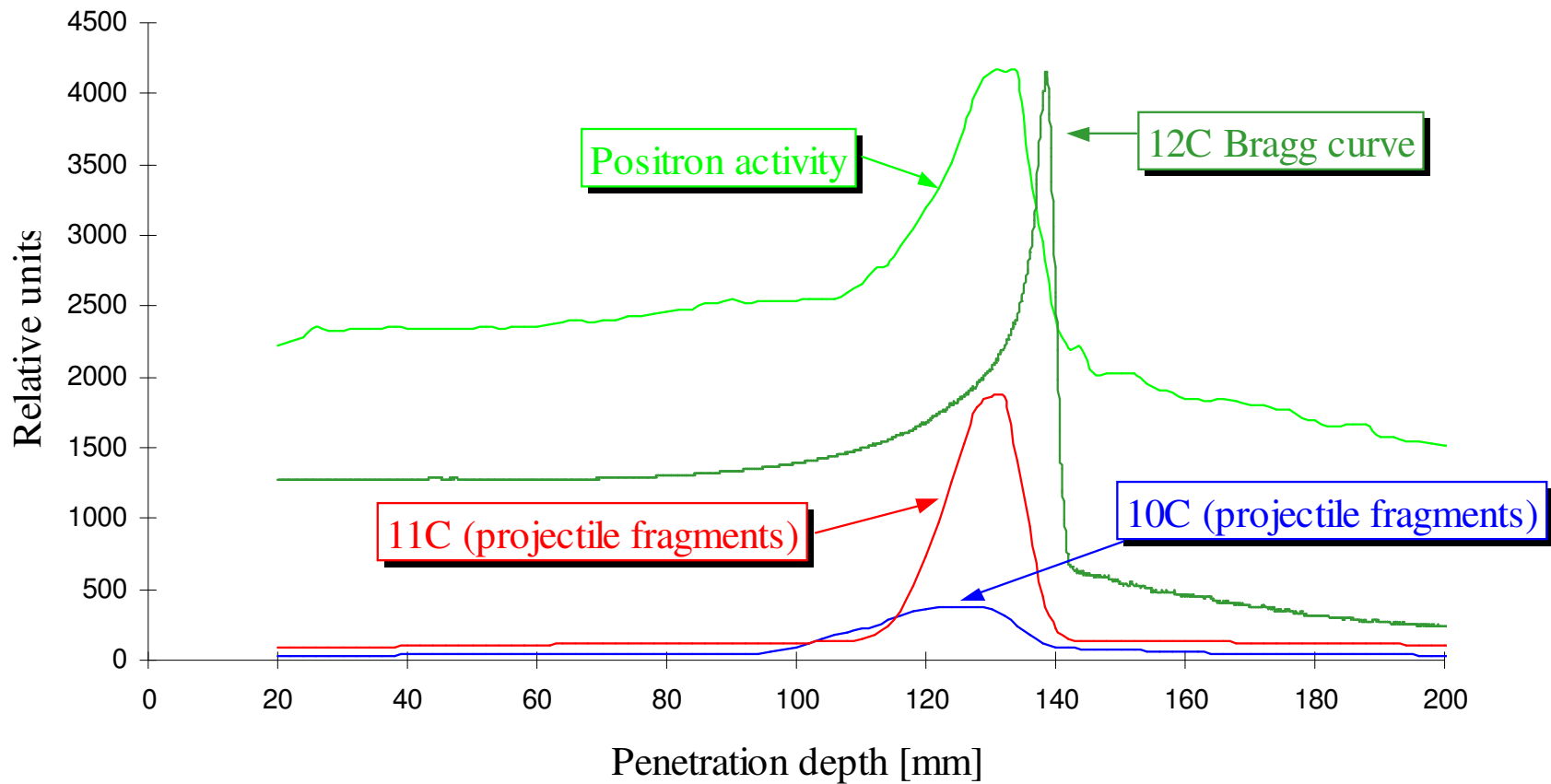
# Profil wiązki po fragmentacji



Seminarium  
Kielce, 2005



# Pochodzenie sygnału PET



---

Wiązka  
 $^{12}\text{C}$ +PET  
@ GSI

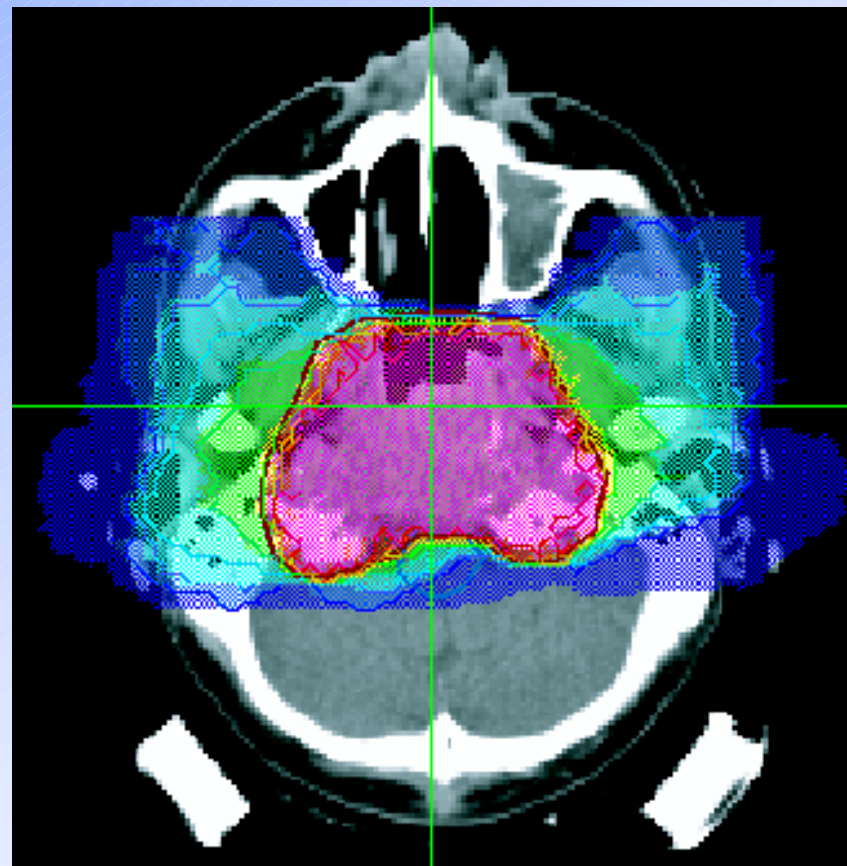
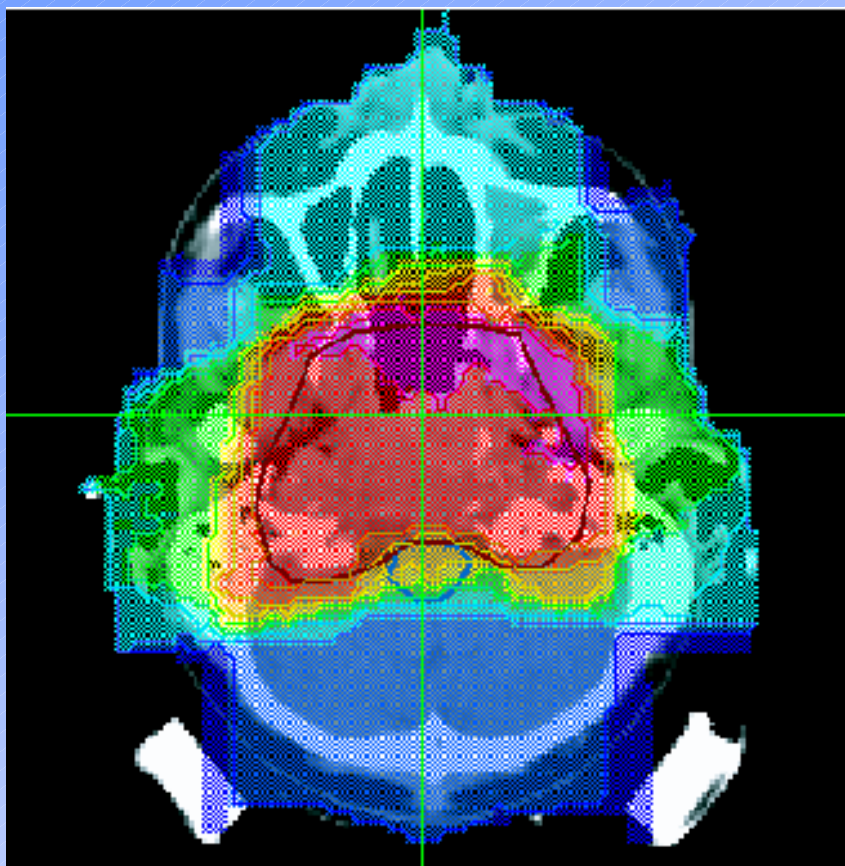
Seminarium  
Kielce, 2005





# Porównanie planów naświetlań: konwencjonalne vs terapia ciężkojonowa

---

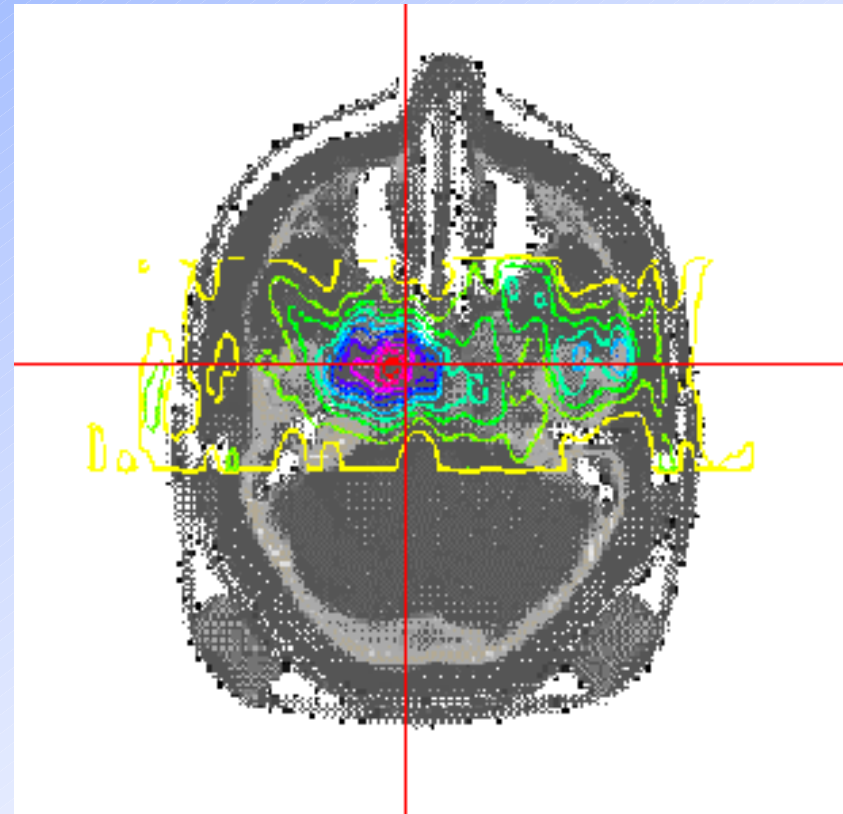
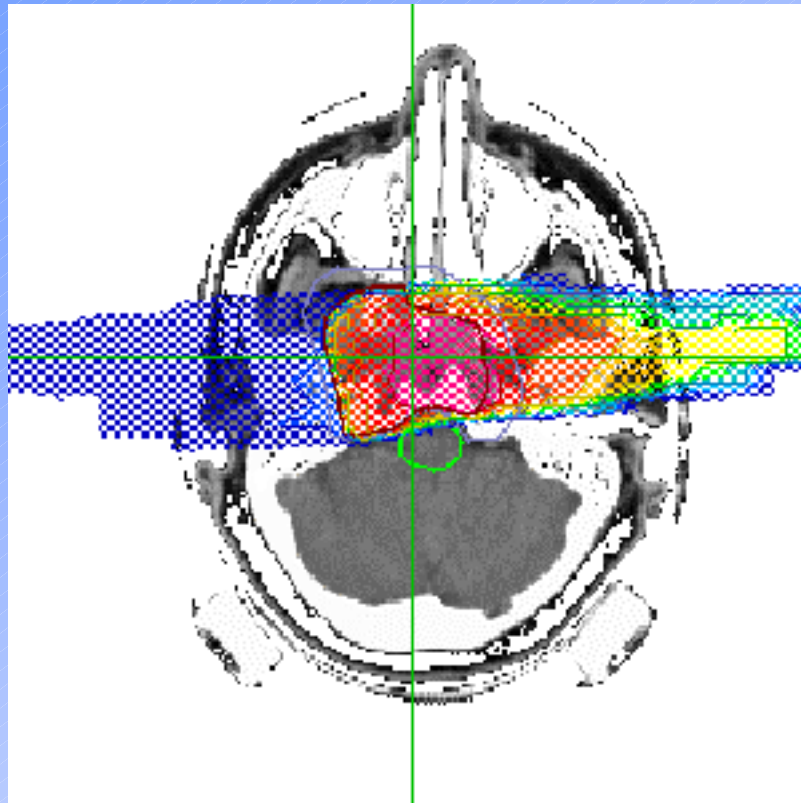


Seminarium  
Kielce, 2005



# Korelacja pomiędzy rozkładem dawki i aktywnością $\beta^+$ ( GSI Darmstadt)

---



Seminarium  
Kielce, 2005



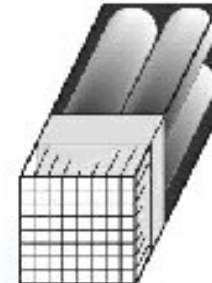


# Some technical details of the GSI in-beam PET installation (courtesy of W. Enghardt, FZR)

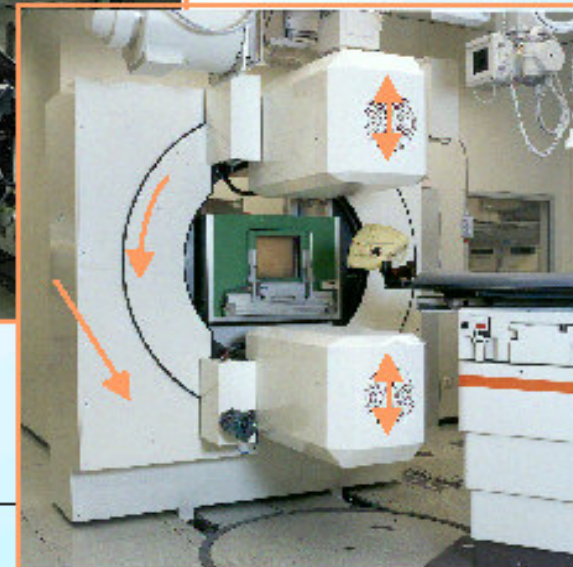
- In-beam, double head scanner:
  - flexible patient positioning
- Detectors:
  - CTI ECAT EXACT block detectors
  - Scintillator: Bismuth Germanate
  - 32 blocks per head
  - ca. 4.2 Mio. LORs
- Data processing:
  - Standard solution of CTI for ECAT EXACT
  - List mode DAQ with time stamps (10 ms)
  - Recording of beam parameters ( $E, F, I$ )
  - Linux-Cluster with 28 Intel Xeon CPU (2 GHz)



2 x 2 PMT



8 x 8 crystals  
6.3 x 6.3 x 20 mm<sup>3</sup>



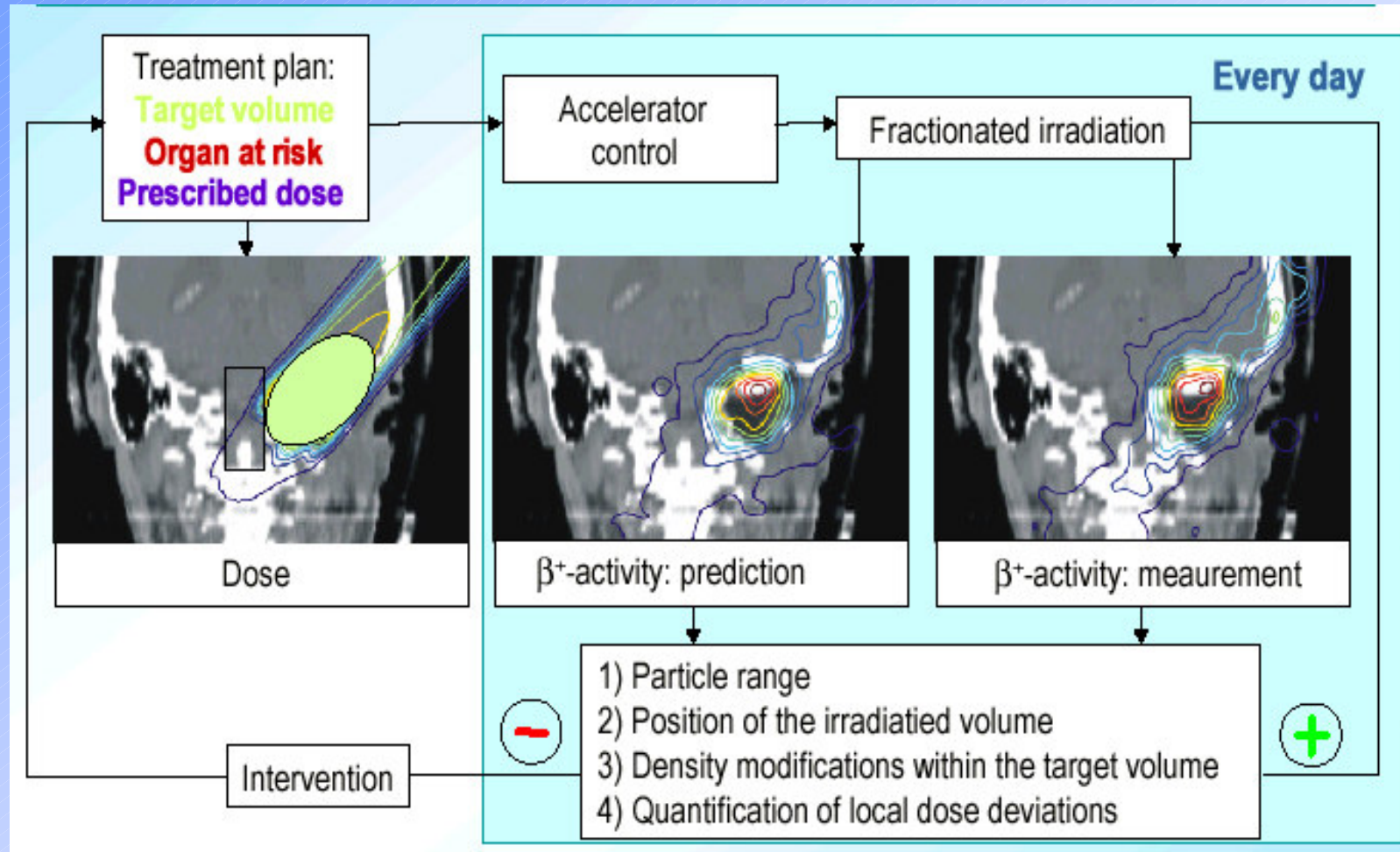
Institut für Kern- und Hadronenphysik

Seminarium  
Kielce, 2005

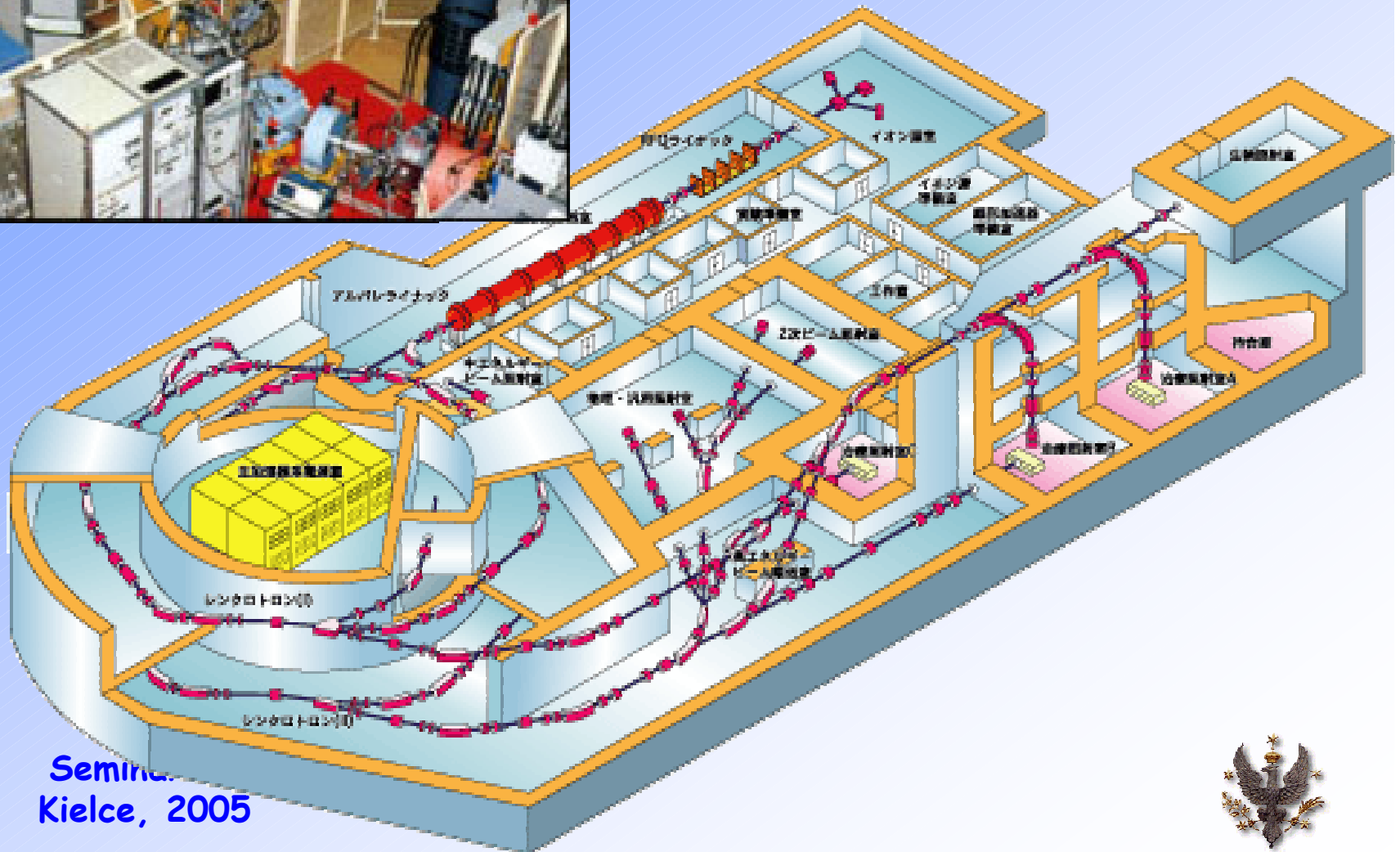




# Role of PET in the heavy-ion therapy (courtesy of W. Enghardt, FZR)



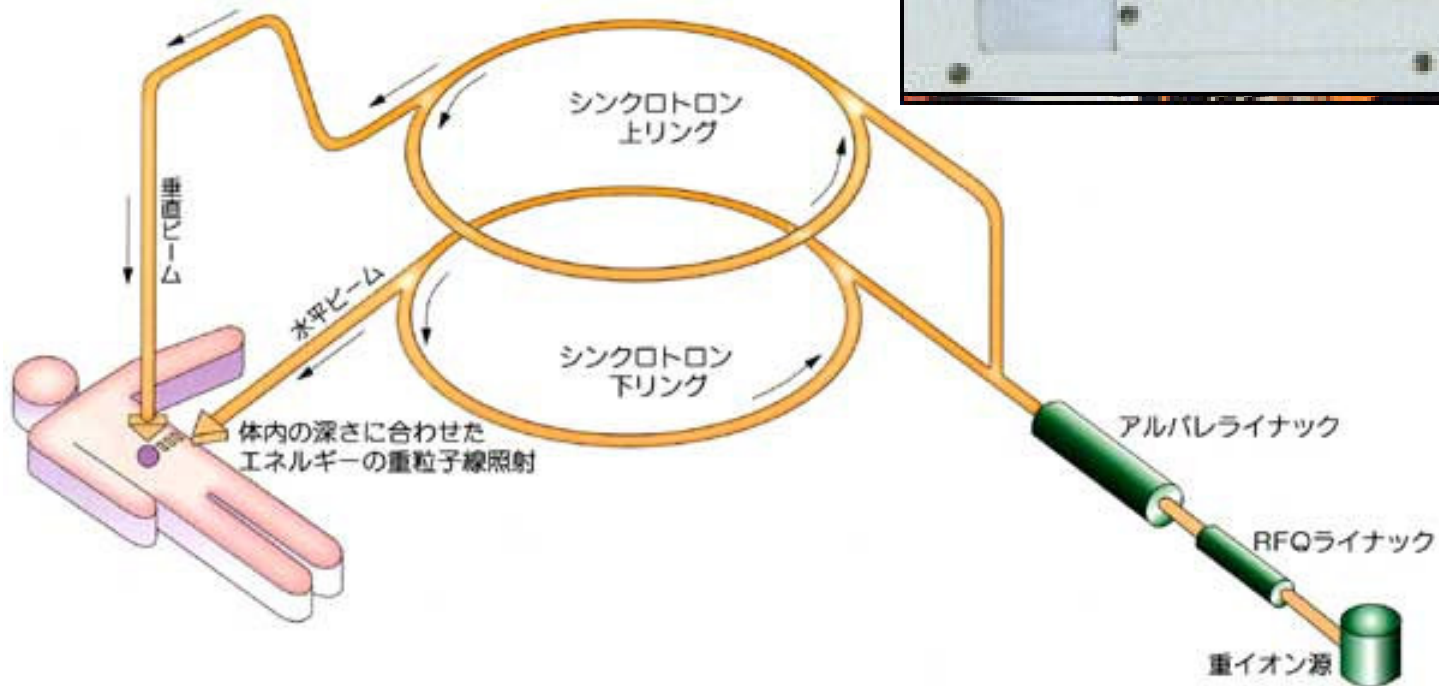
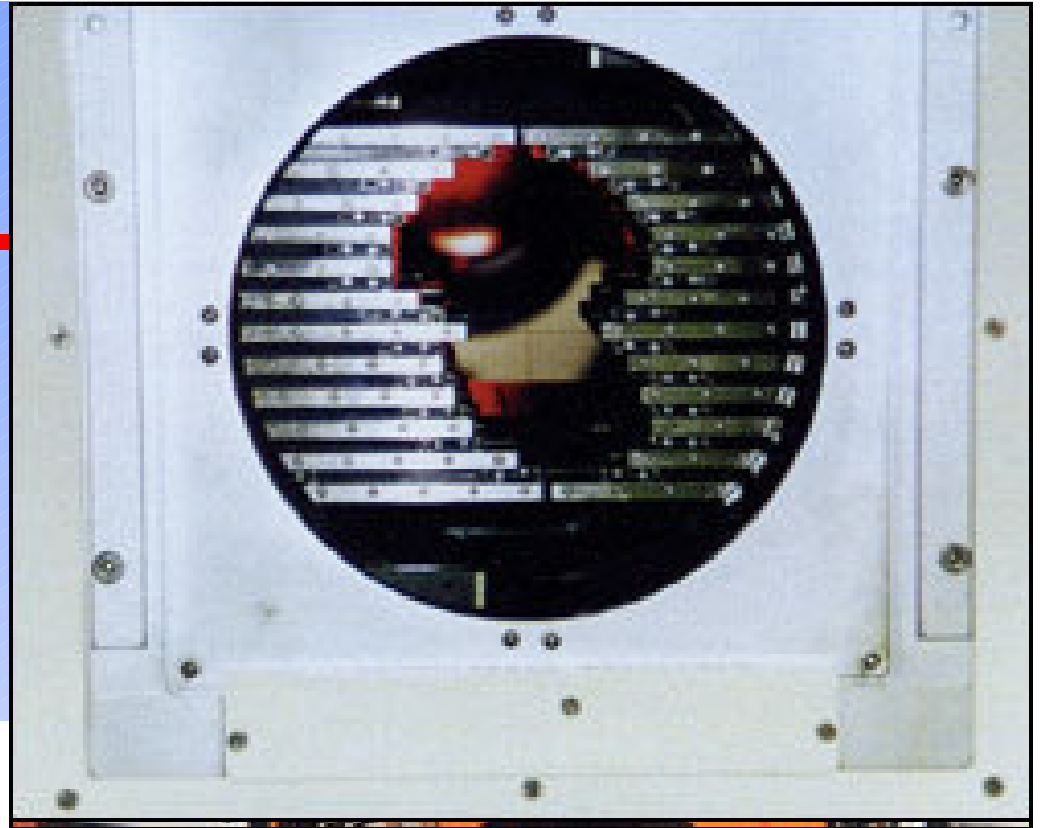
# HIMAC



Seminar  
Kielce, 2005

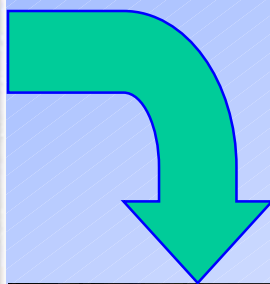


# Wiązka do terapii

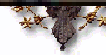
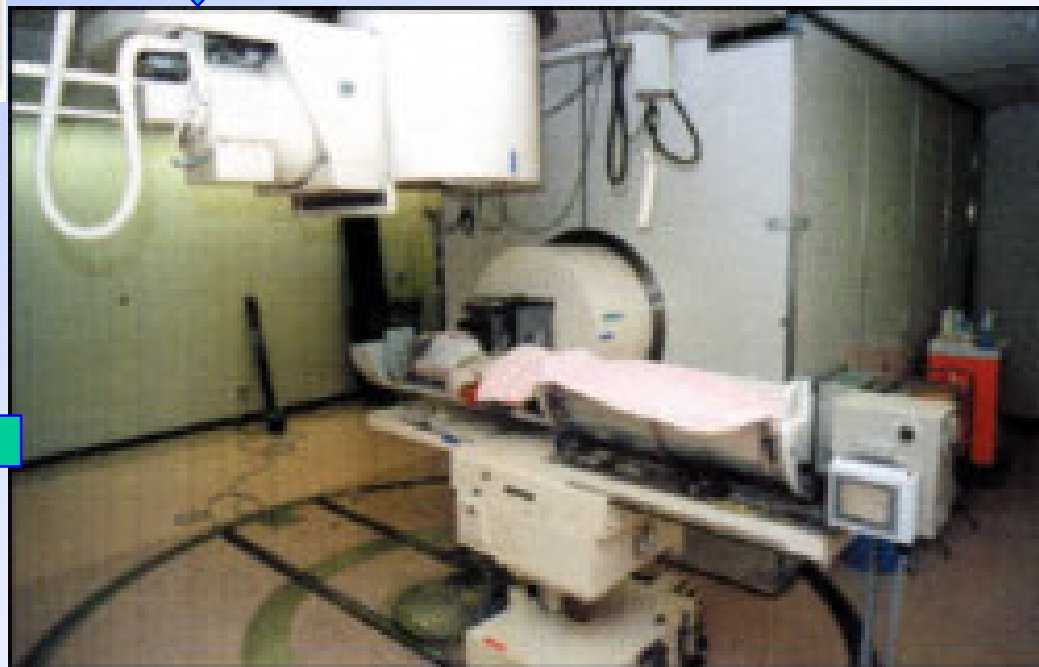




# Stanowisko ~~terapeutyczne~~



10/10/2008

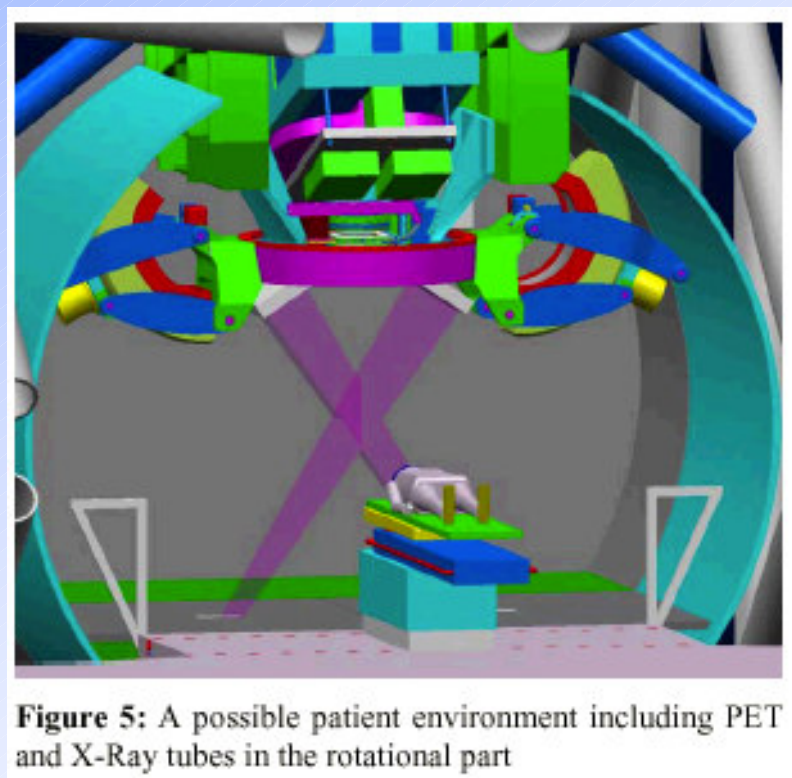
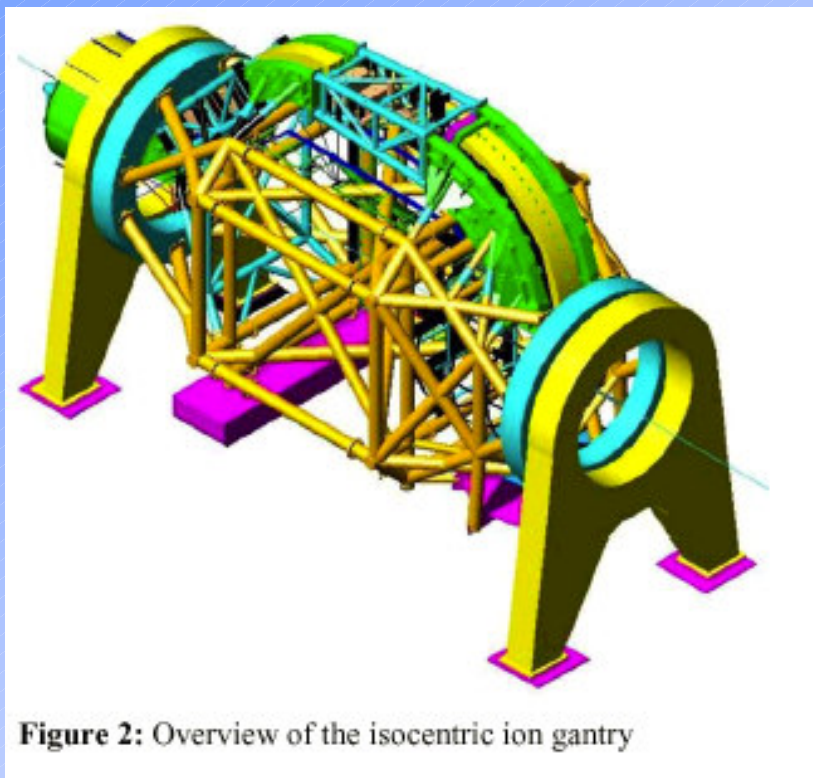




# Propozycje na przyszłość

---

## PET na wiązce



# Zespół

---

## Wiązka Cyklotronu do badań radiobiologicznych

*Sławomir Chojnacki, AŚ w Kielcach, ŚLCJ Warszawa*

*Janusz Braziewicz, Dariusz Banaś, Joanna Czub,*

*Instytut Fizyki AŚ w Kielcach,*

*Marian Jaskóła, Andrzej Korman IPJ Świerk,*

*Ludwik Pieńkowski, ŚLCJ Warszawa,*

*Zygmunt Szepliński, IFD UW i ŚLCJ,*

*Andrzej Wójcik.*

*Instytut Biologii Akademii Świętokrzyskiej w Kielcach*

*Studenci: Jan Dyczewski (V rok) Tomek Adamus (V rok)*



# Cel projektu

---

- Poznanie fizycznych mechanizmów zmian genetycznych indukowanych w jądrze komórkowym w wyniku przejścia ciężkiego jonu przy różnicowaniu liniowego transferu energii ( $dE/dx \leq 1\text{MeV}/\mu\text{m}$ )
- Uzyskanie jednorodności dawki  $\Delta D \leq 3\%$ , w obszarze naświetlania  $6 \times 6 \text{ cm}^2$  i jej monitorowanie w eksperymentach biologicznych



# Uwarunkowania- motywacja

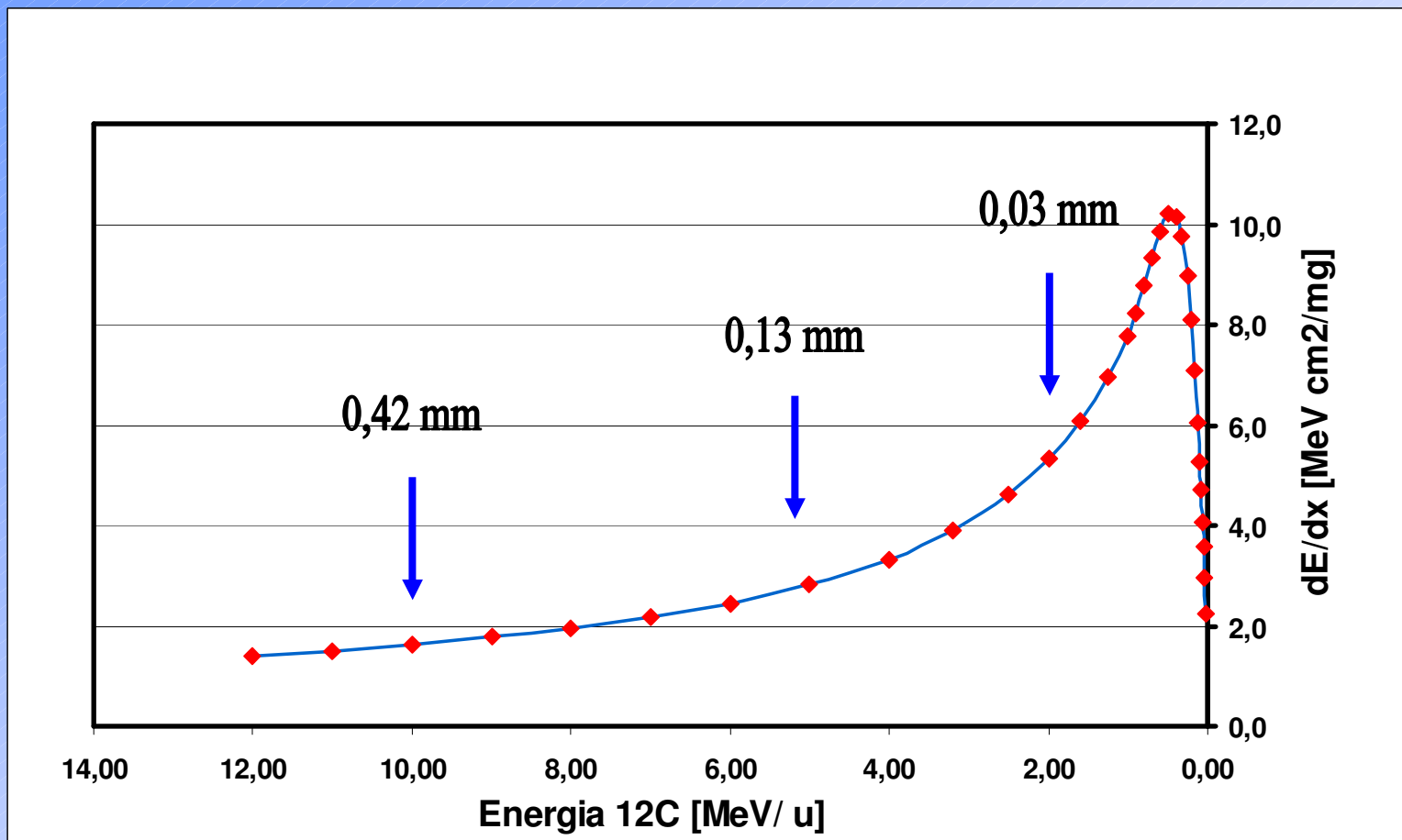
---

- We wszystkich opublikowanych dotychczas badaniach nad osobniczą promienio-wrażliwością napromieniano limfocyty promieniowaniem o niskim LET. Zdumiewa brak danych na temat promieniowania o wysokim LET. Nie wiadomo, czy limfocyty różnych dawców reagują z różną wrażliwością na promieniowania o wysokim LET. Nie wiadomo też, czy istnieje korelacja między wrażliwością limfocytów na promieniowanie o niskim i wysokim LET. Ze względu na wzrastające narażenie ludzi na ciężkie jony wydaje się, że badania nad oceną osobniczej wrażliwości na promieniowanie o wysokim LET są jak najbardziej uzasadnione.



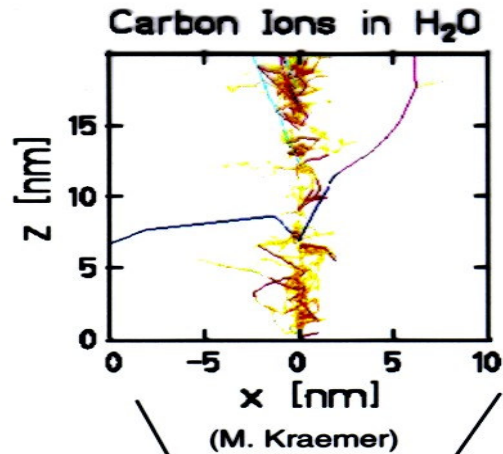


# dE/dx dla jonów węgla



# Physical Characteristics of Ion Beams

- Krämer, Kraft, *Radiat. Environ. Biophys.*, (1994)
- Cucinotta, Nikjoo, Goodhead, *Radiat. Environ. Biophys.*, (1999)
- Scholz, Kraft, *Radiat. Protec. Dosim.*, (1994)
- Holley, Chatterjee, *Radiat. Res.*, (1998)



Emission of  $\delta$ -electrons

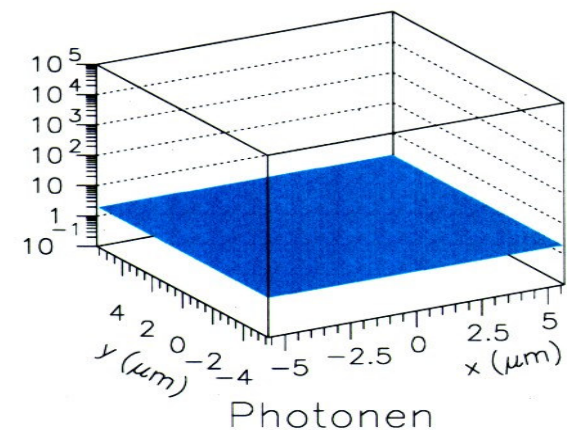
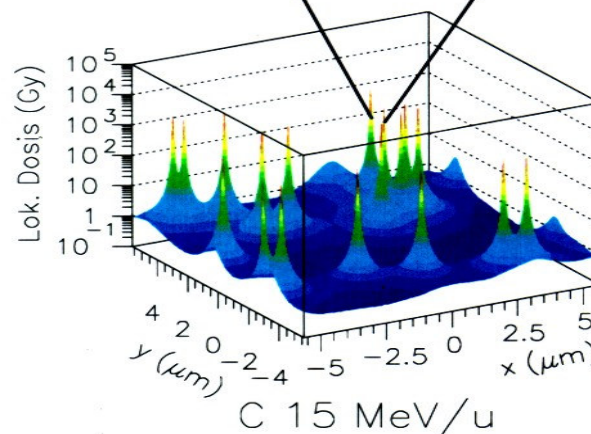
Radial Dose Profile:  
D(r): **Expectation value**

$$D(r) \sim 1/r^2$$

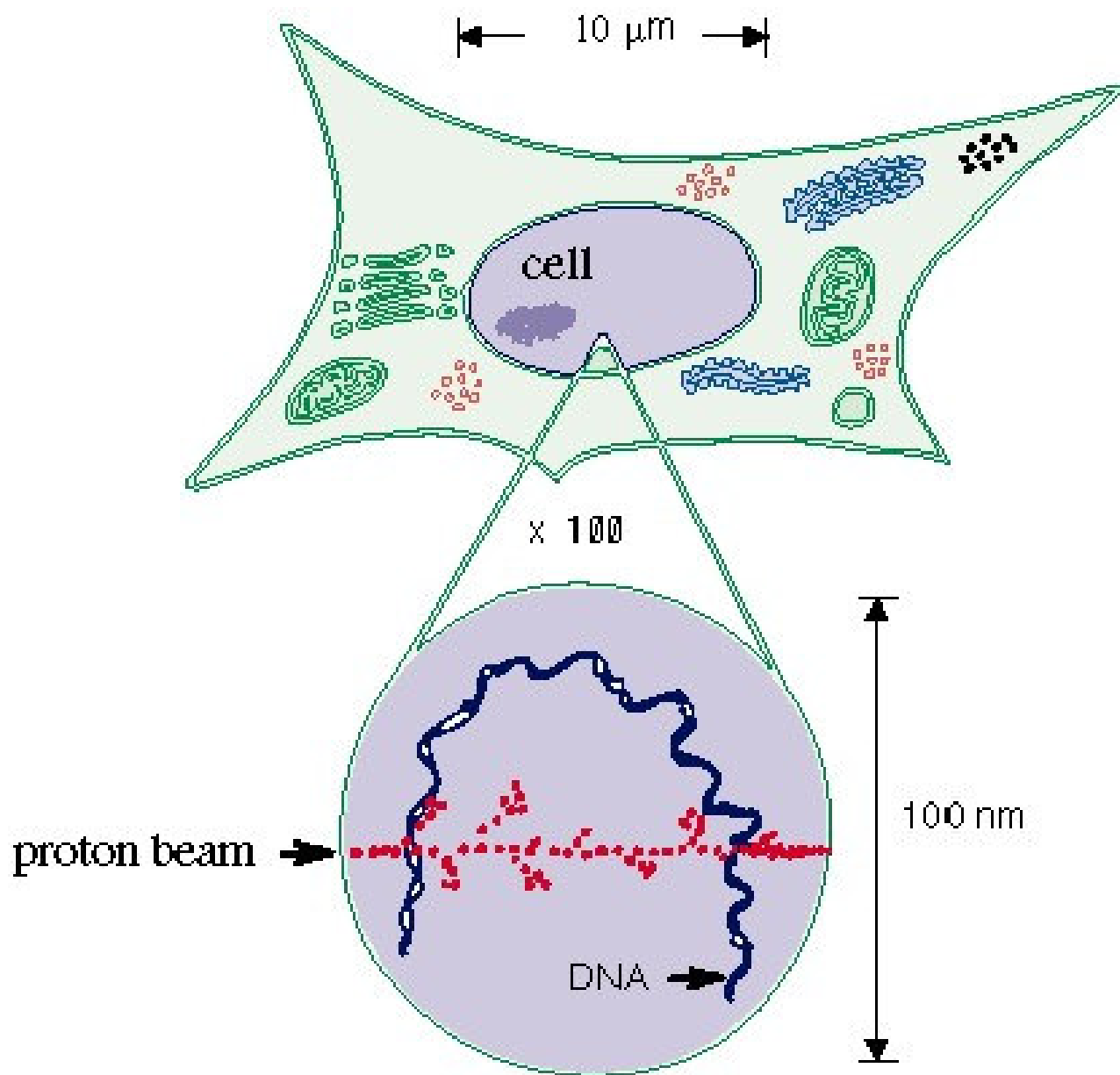
$$R_{\text{Track}} \sim E^c$$

$$c \approx 1.7$$

(empirical !)

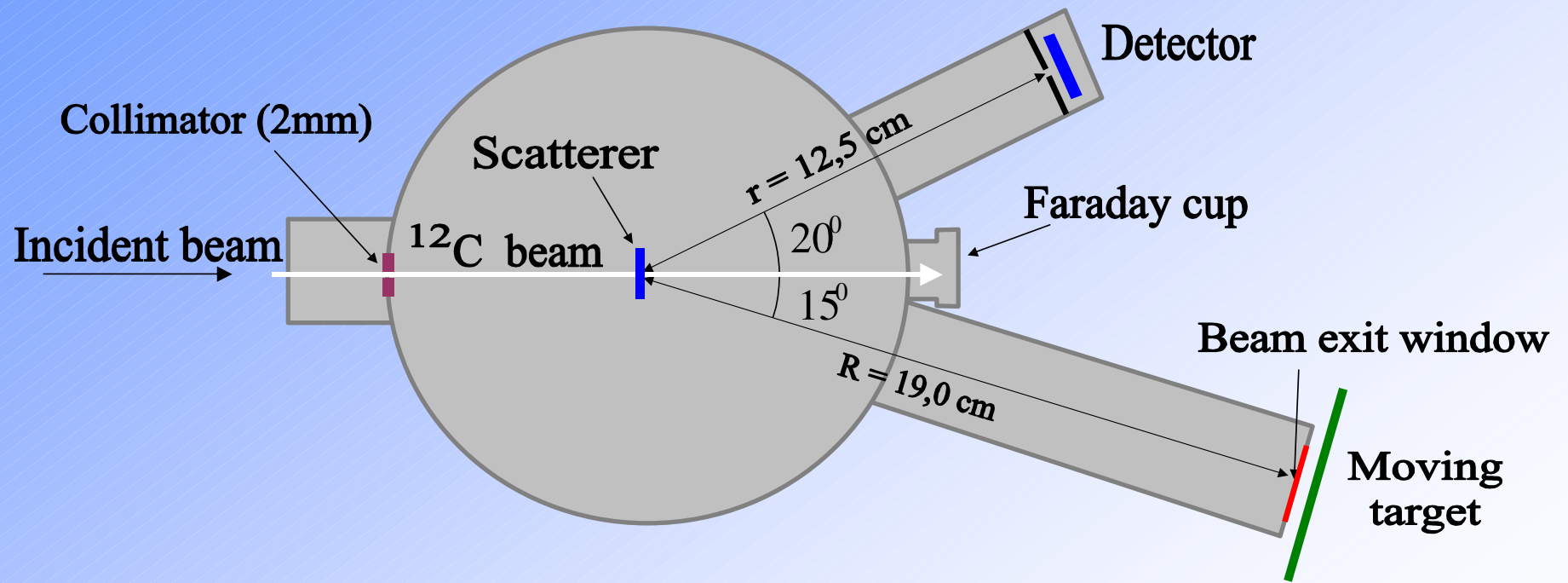


# Uszkodzenia radiacyjne



# Beam line @ Warsaw Cyclotron

(used in June experiment)

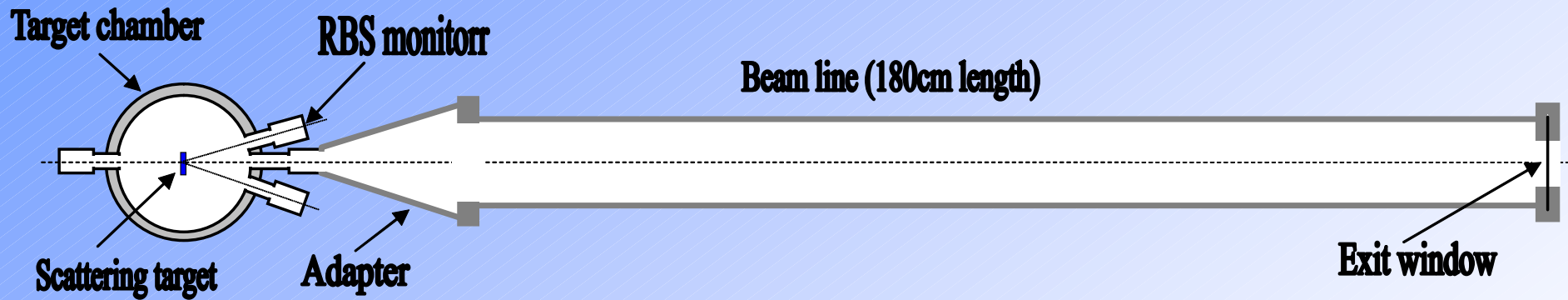


Seminarium  
Kielce, 2005



# Nowa geometria

---



Jonowód A

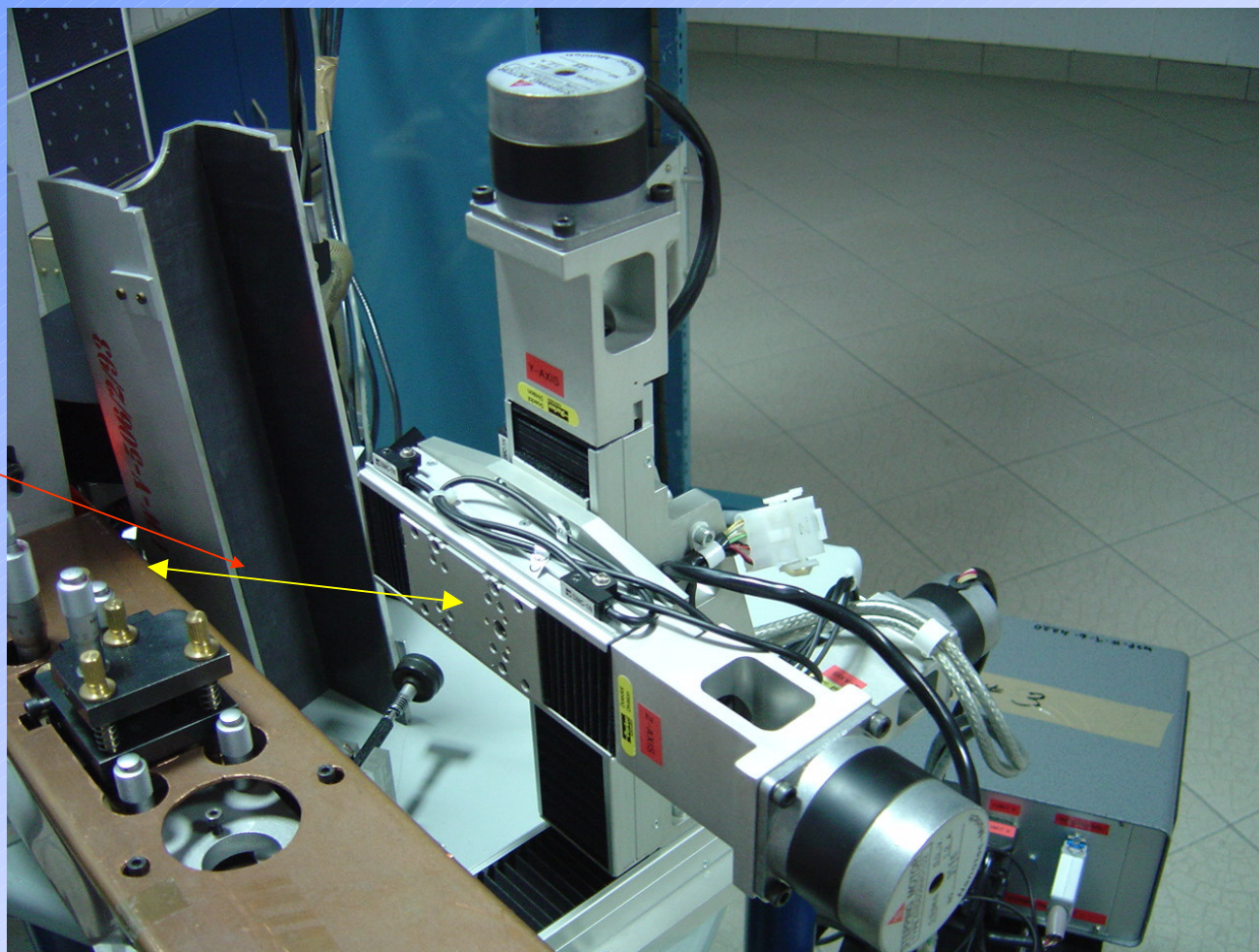




# X-Y skaner (płytkka montażowa)

---

Oś z

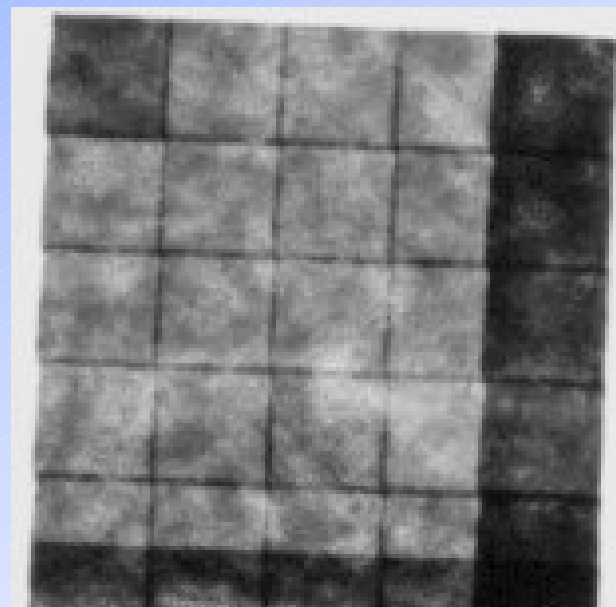
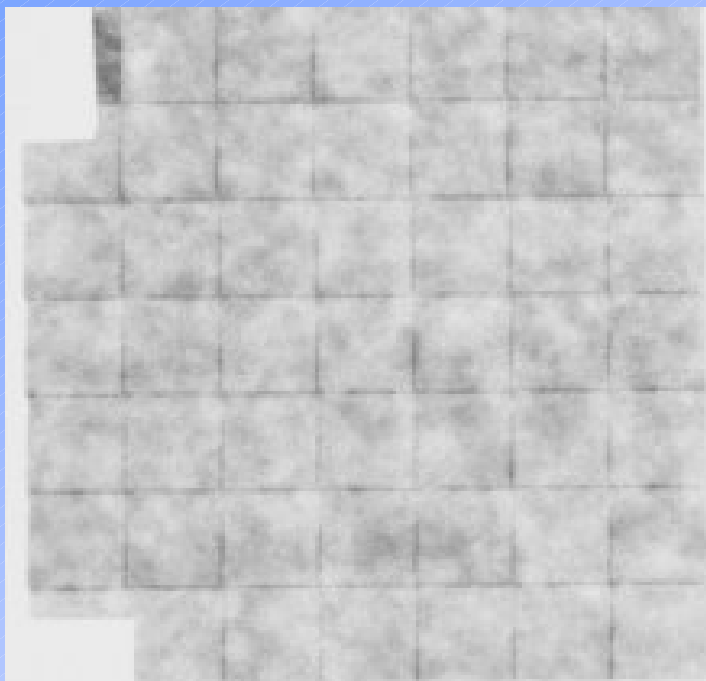


Seminarium  
Kielce, 2005



# Naświetlanie kliszy rtg

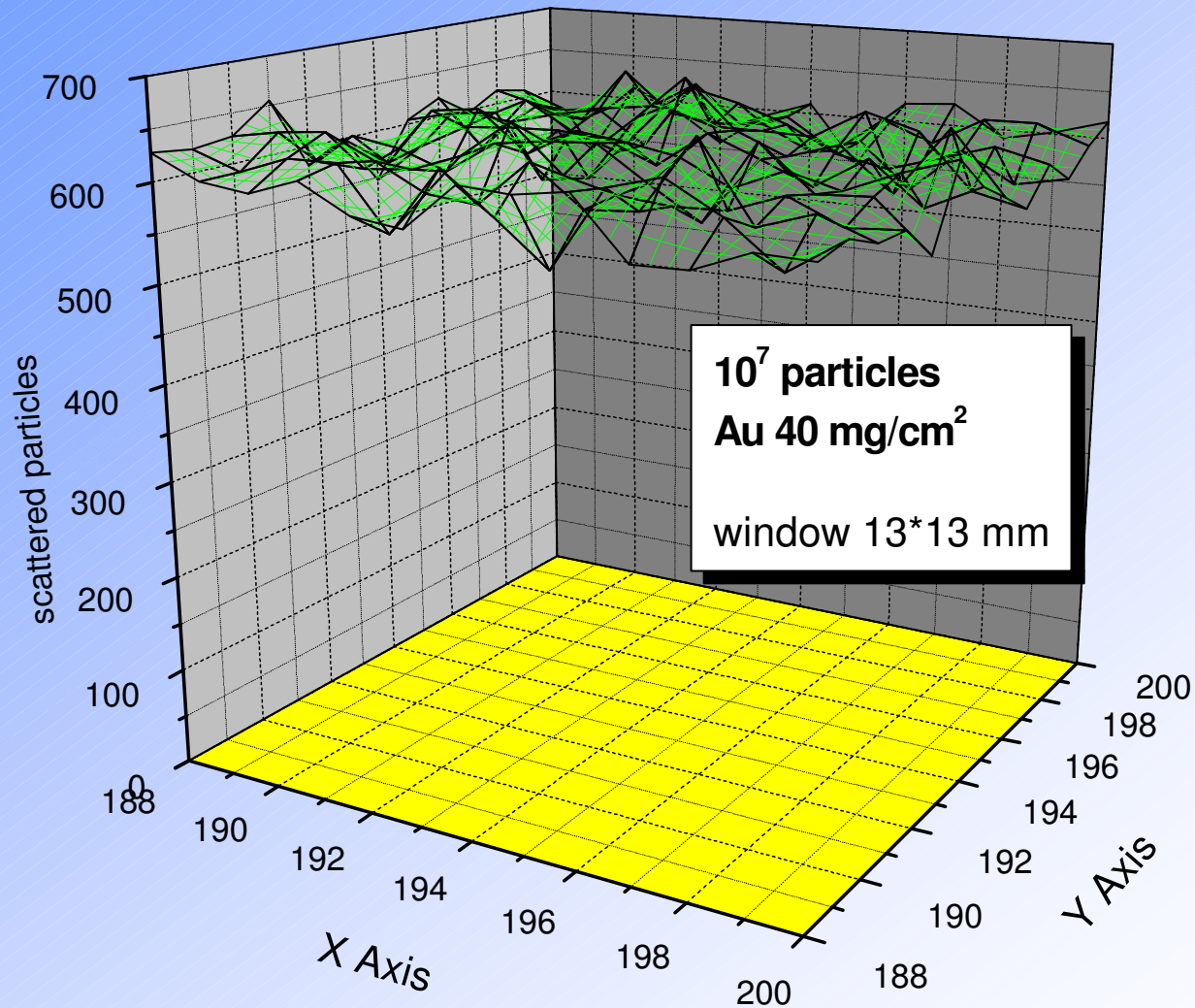
---



Seminarium  
Kielce, 2005



# Symulacja rozkładu wiązki

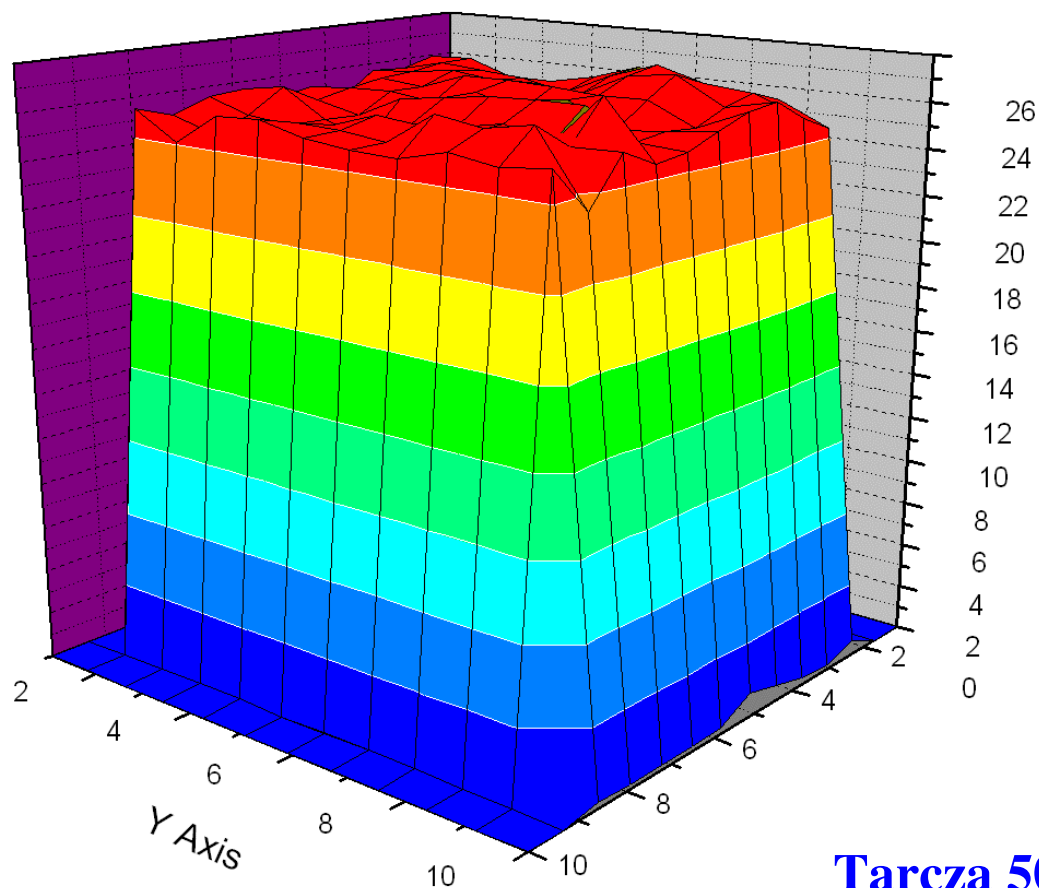


Seminarium  
Kielce, 2005





# Uzyskany rozkład wiązki



**Tarcza 50mg/cm<sup>2</sup>**  
**Przesunięcie co 1 mm**  
**Kolimator  $\Phi=2$ mm**  
**Skan - detektor krzemowy**

**Seminarium**  
**Kielce, 2005**



# Przykład aberacji chromosomowych

---



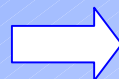
Seminarium  
Kielce, 2005



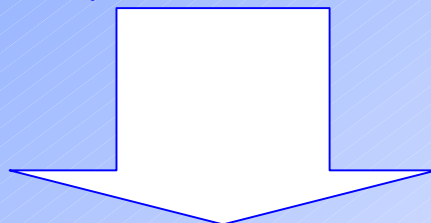
# Przyszłość terapii

---

Chiba (Japonia)  
Darmstadt (Niemcy)



Znaczące rezultaty  
w terapii klinicznej



- German Cancer Centre i Heidelberg
- Francuski ETOILE (European Light Ion Oncological Treatment Centre) projekt w Lyonie
- Projekty Mediolanie Sztokholmie i Wiedniu

