

# Modelowanie koincydencji przypadkowych w Jagiellońskim Pozytonowym Tomografie Emisyjnym



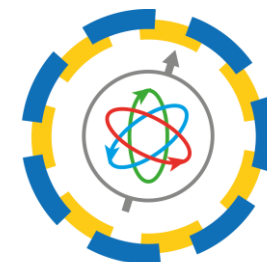
UNIWERSYTET  
JAGIELLOŃSKI  
W KRAKOWIE

**Szymon Parzych**

w imieniu grupy J-PET

*XVI Rzeszowska Konferencja Młodych Fizyków*

02.06.2023, Rzeszów



**J-PET**

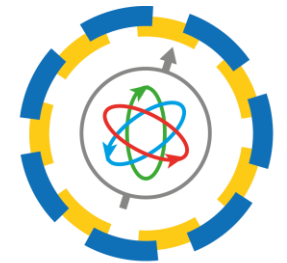


# Grupa J-PET z Uniwersytetu Jagiellońskiego

**J-PET = Jagiellonian Positron Emission Tomography**



UNIWERSYTET  
JAGIELLOŃSKI  
W KRAKOWIE



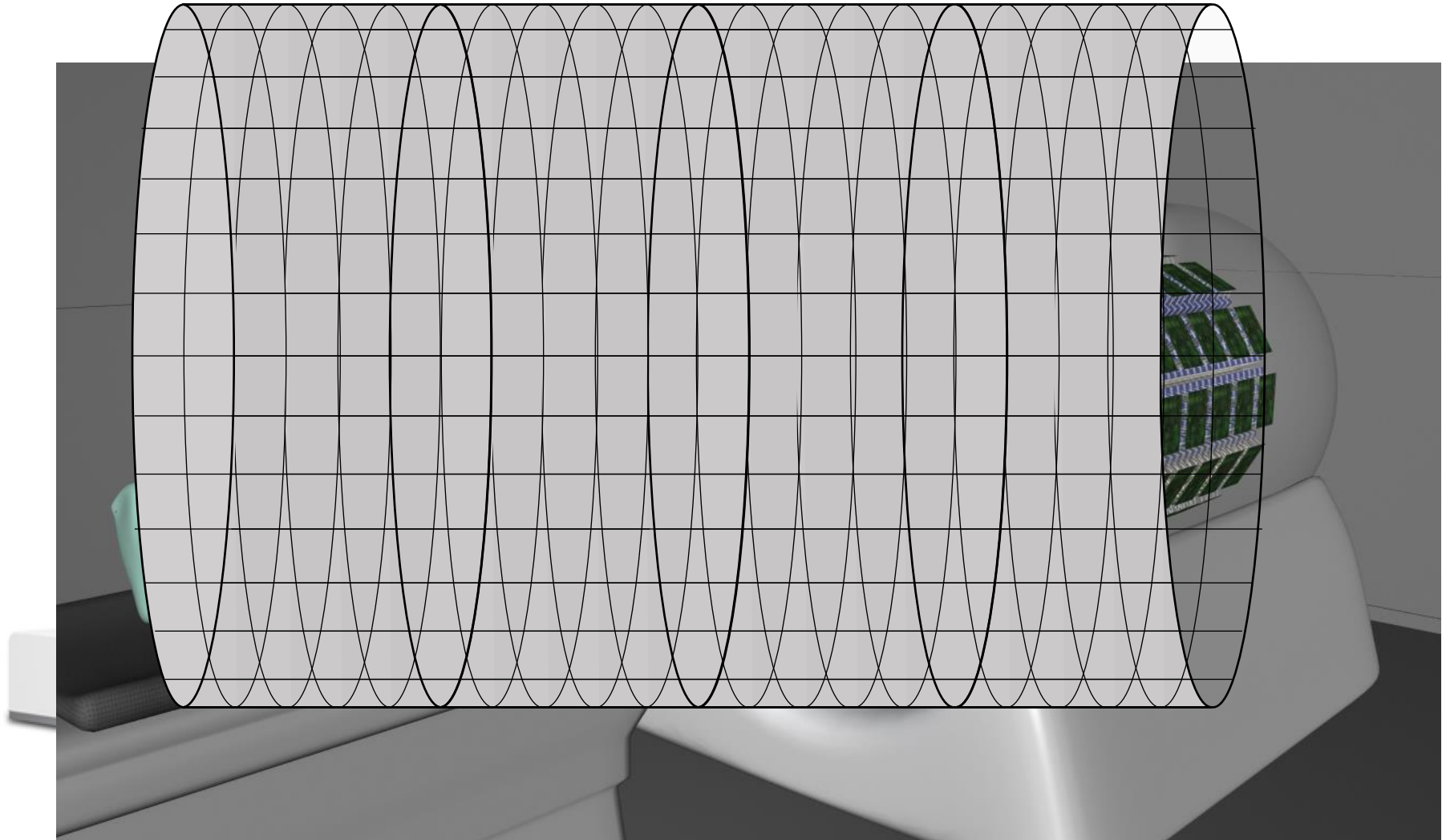
**J-PET**

<http://koza.if.uj.edu.pl/pet/>

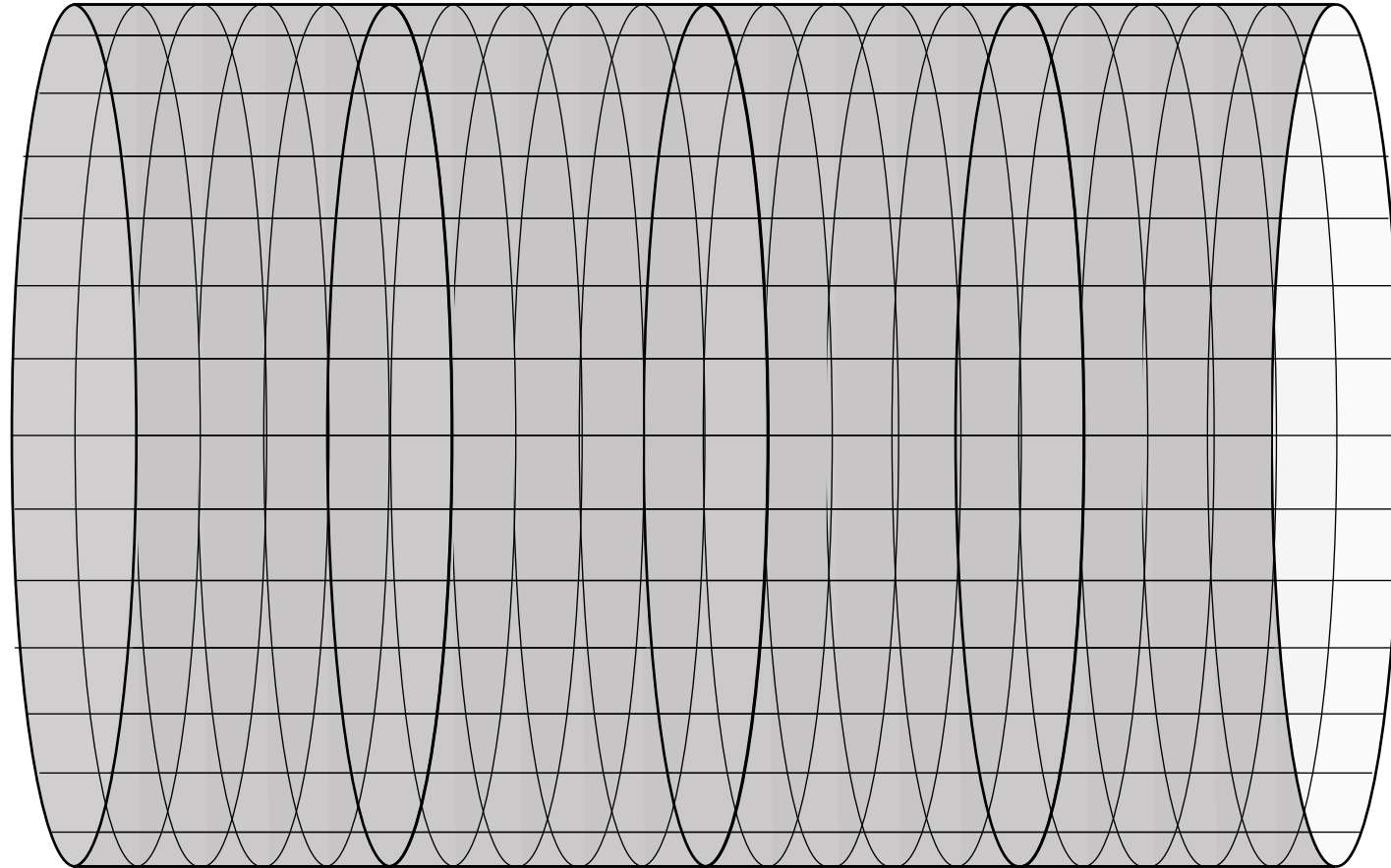
# Pozytonowa Tomografia Emisyjna PET

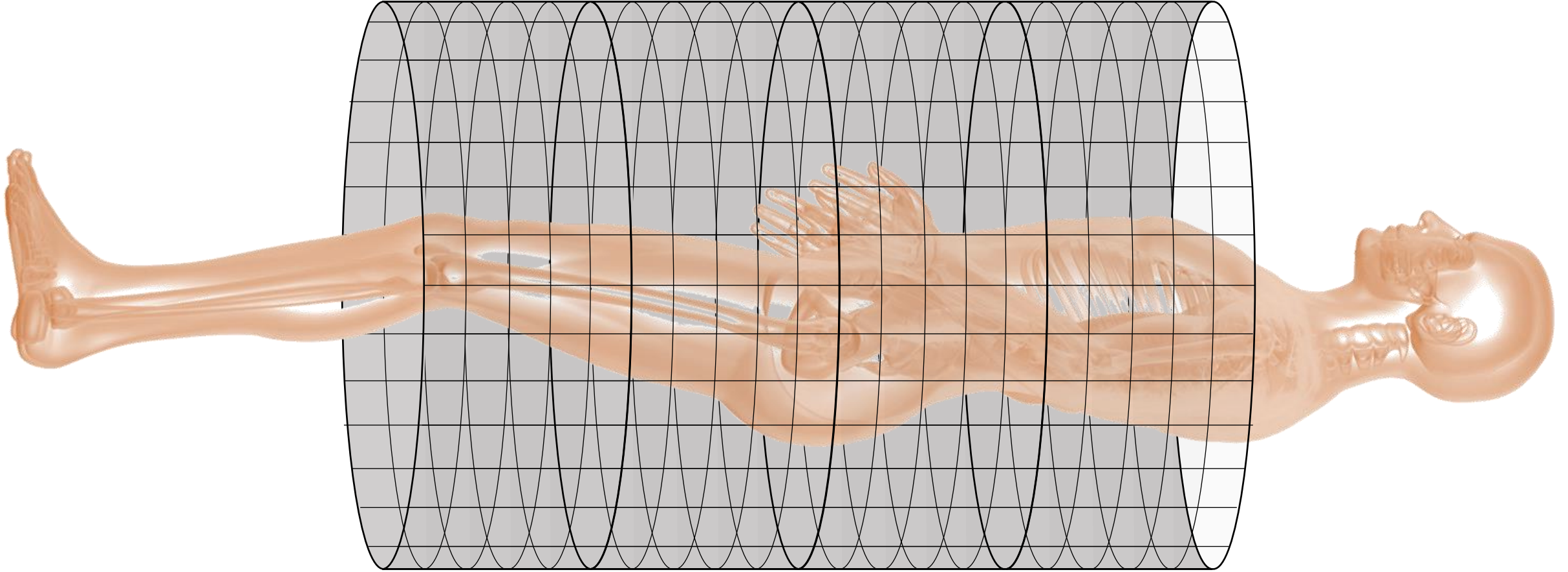
- Z ang. Positron Emission Tomography
- Jedna z najbardziej zaawansowanych technologicznie metod diagnostycznych
- Zapewnia nieinwazyjne obrazowanie zachodzących w organizmie procesów fizjologicznych
- Pozwala określić przestrzenny i czasowy rozkład stężenia wybranej substancji w organizmie

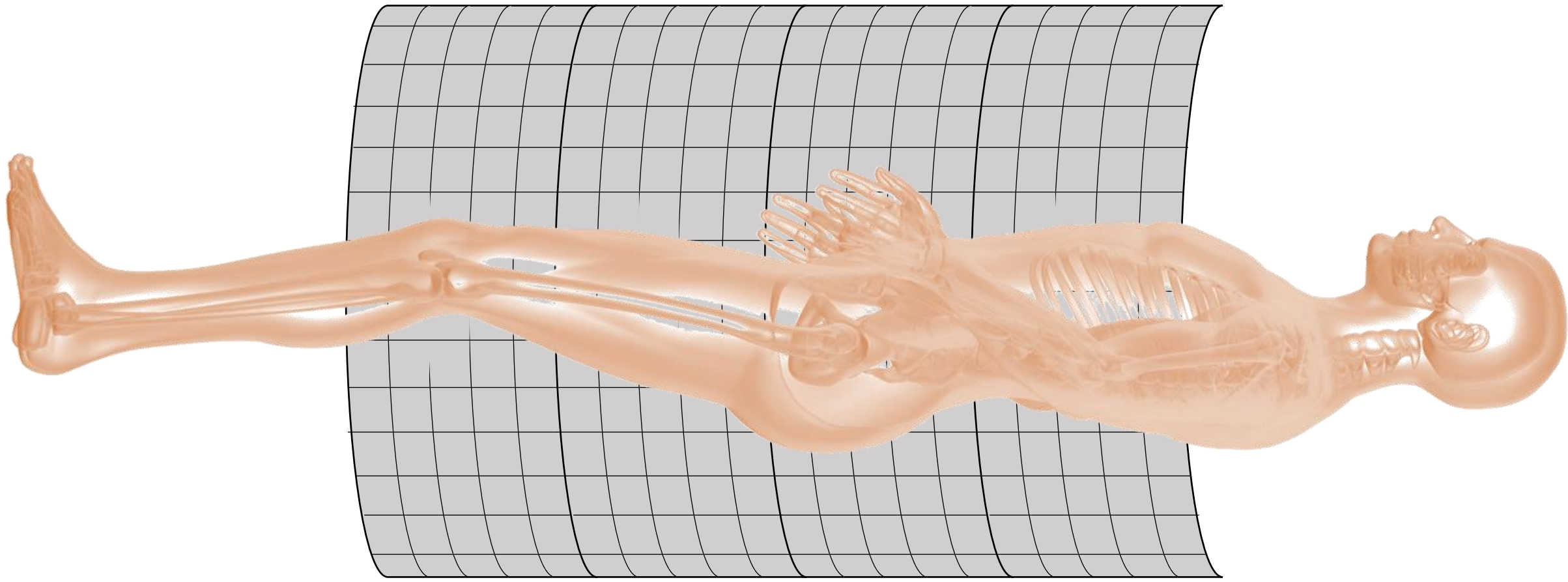
# Pozytonowa Tomografia Emisyjna PET

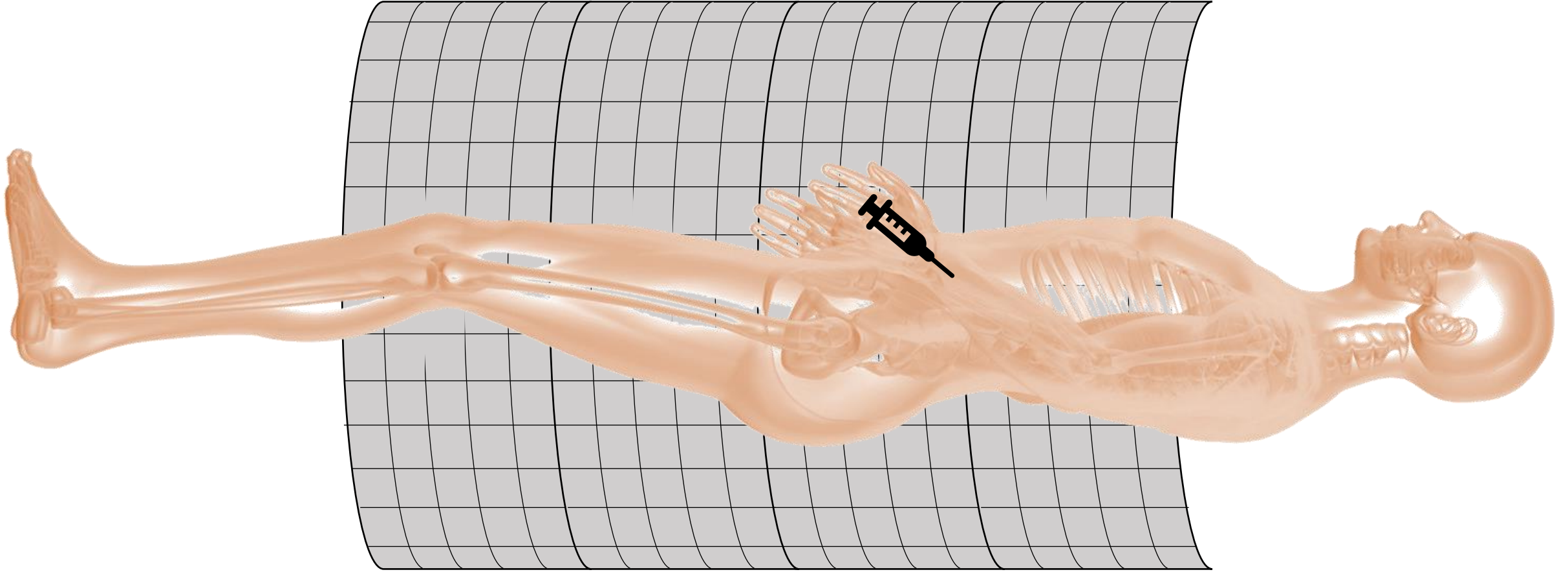




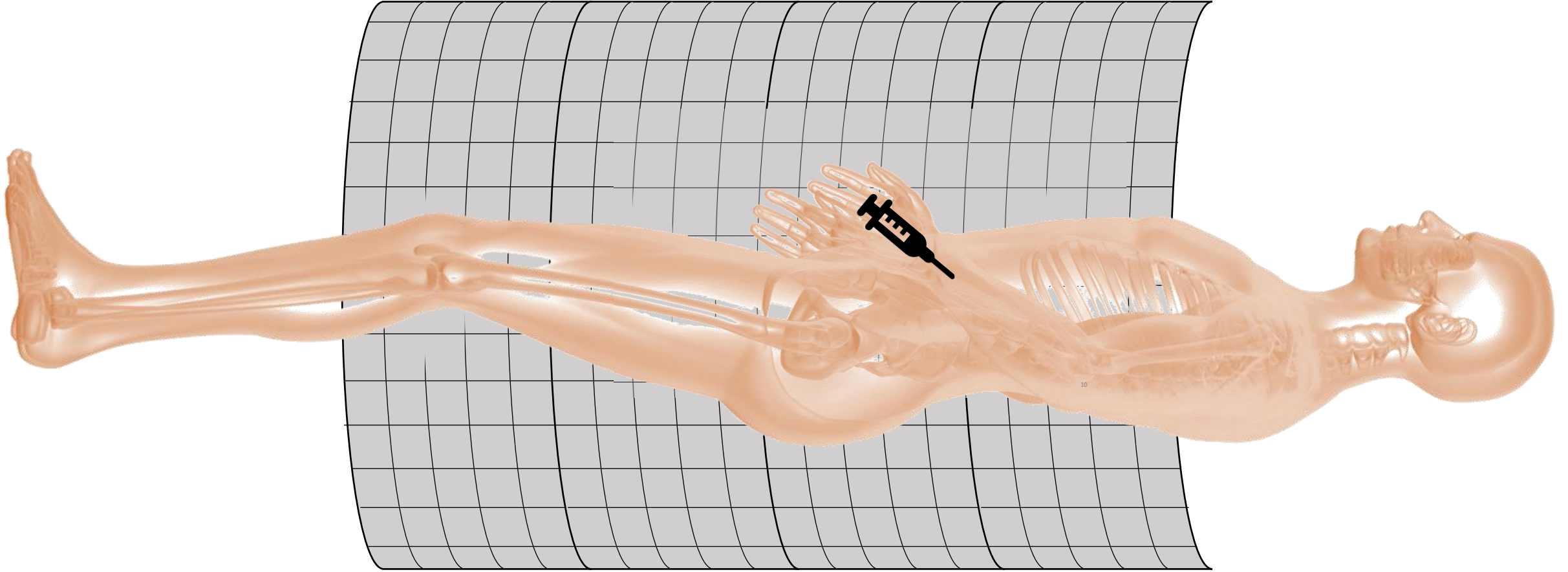


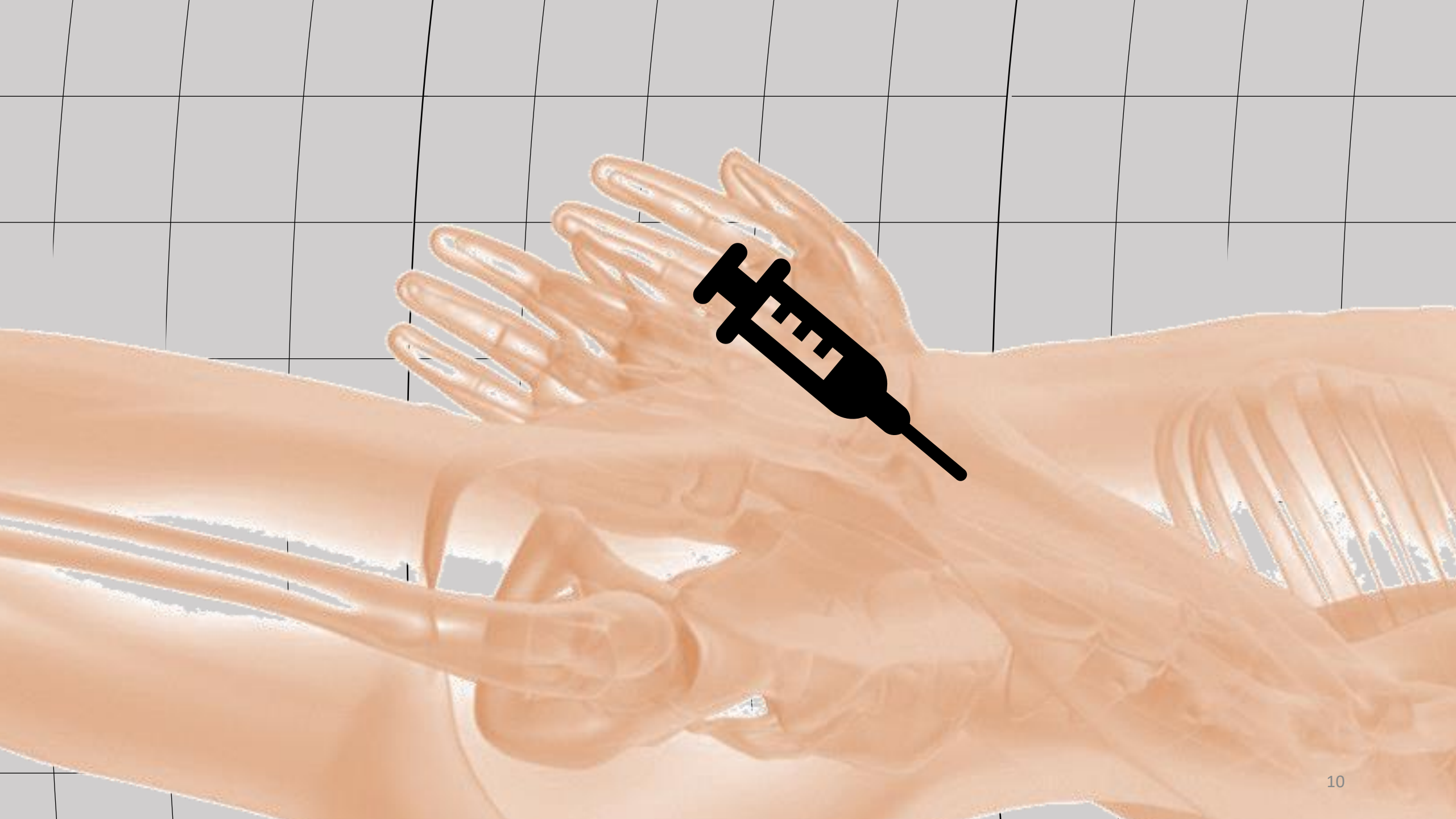




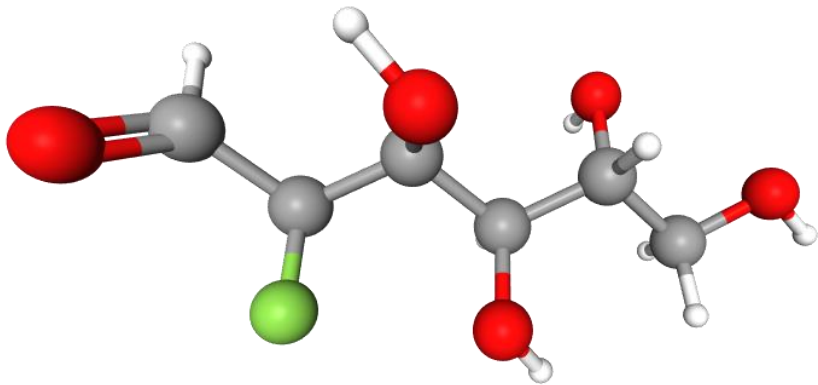








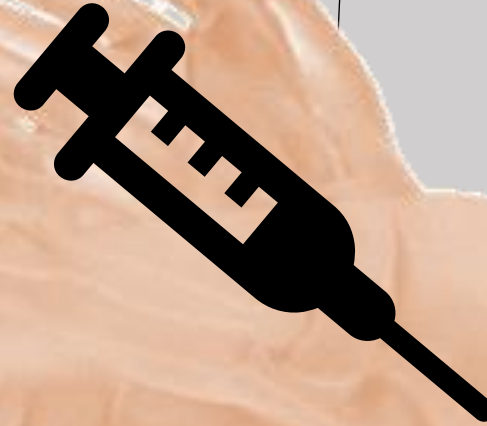
- Radiofarmaceutyk = Ligand + Radioizotop
- Ligand → Akumulacja w komórkach nowotworowych
- Radioizotop → Rozpad  $\beta^+$

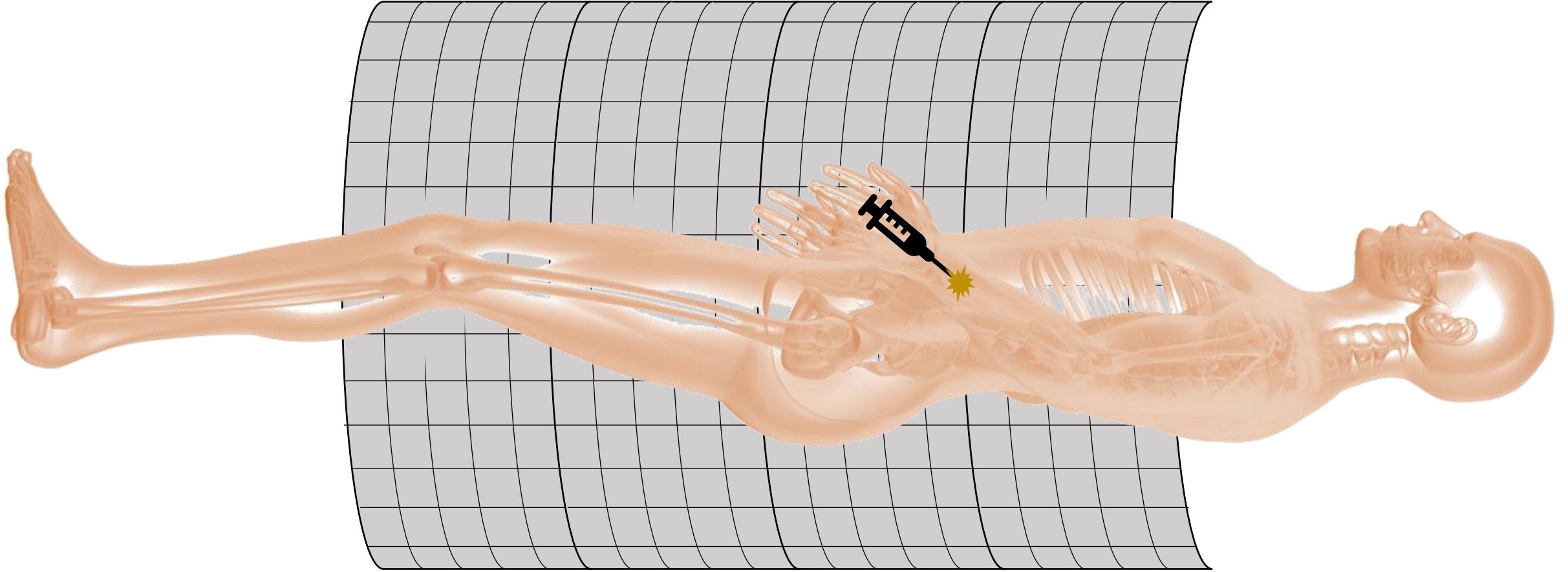


$^{18}\text{F}$  – Fluorodeoksyglukoza  
(FDG)

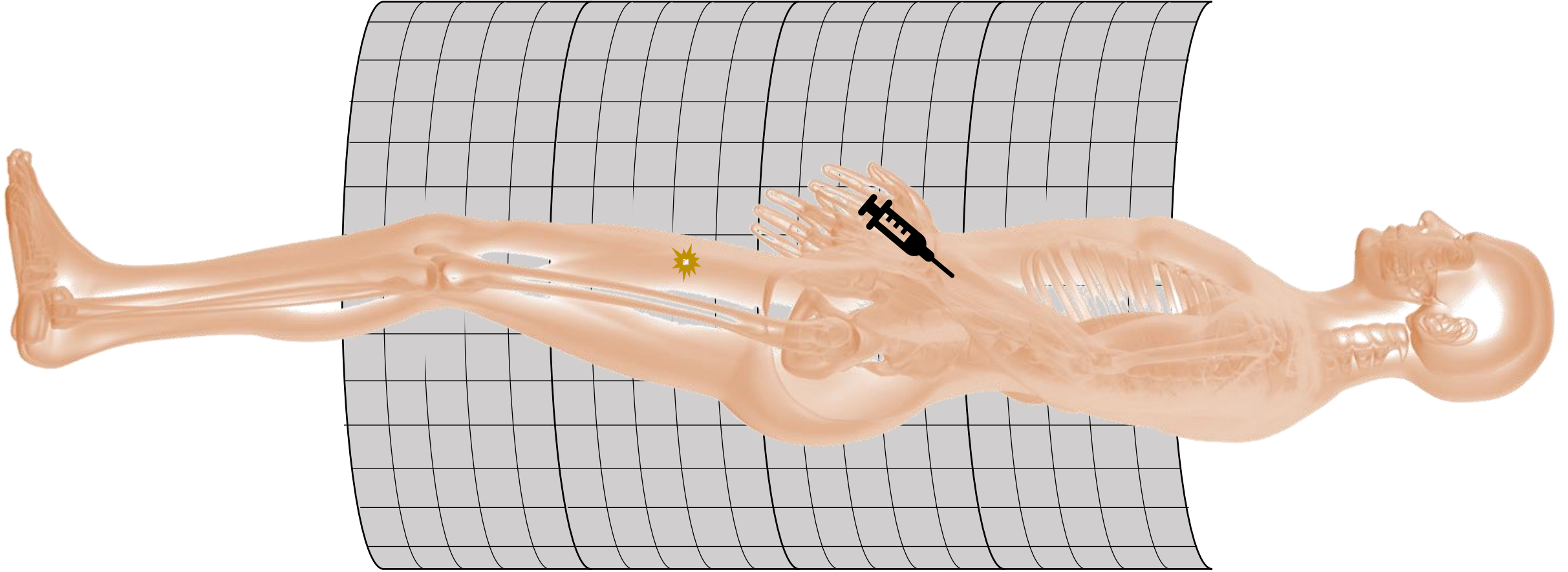
C6H11FO5

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/68614>

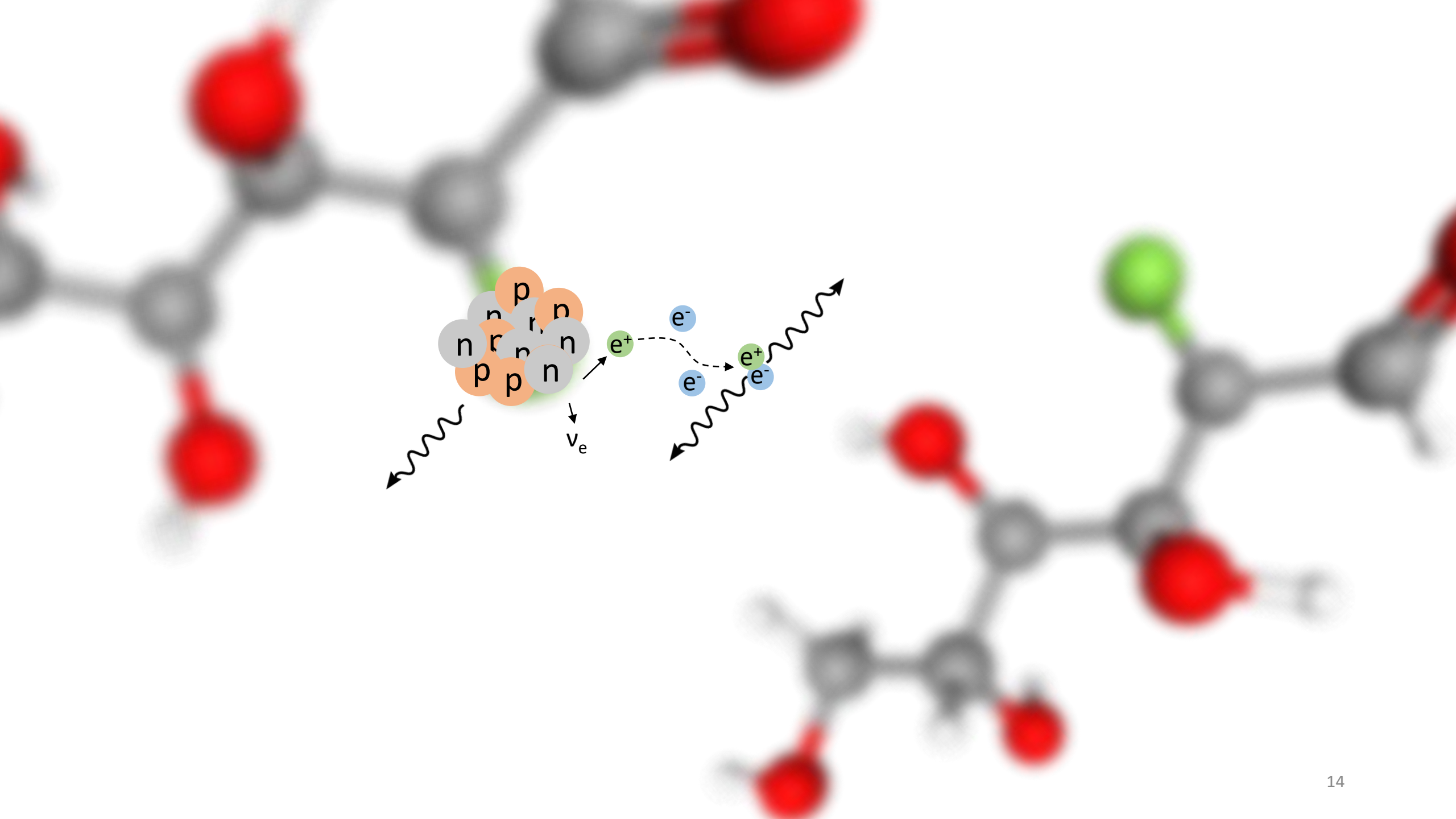


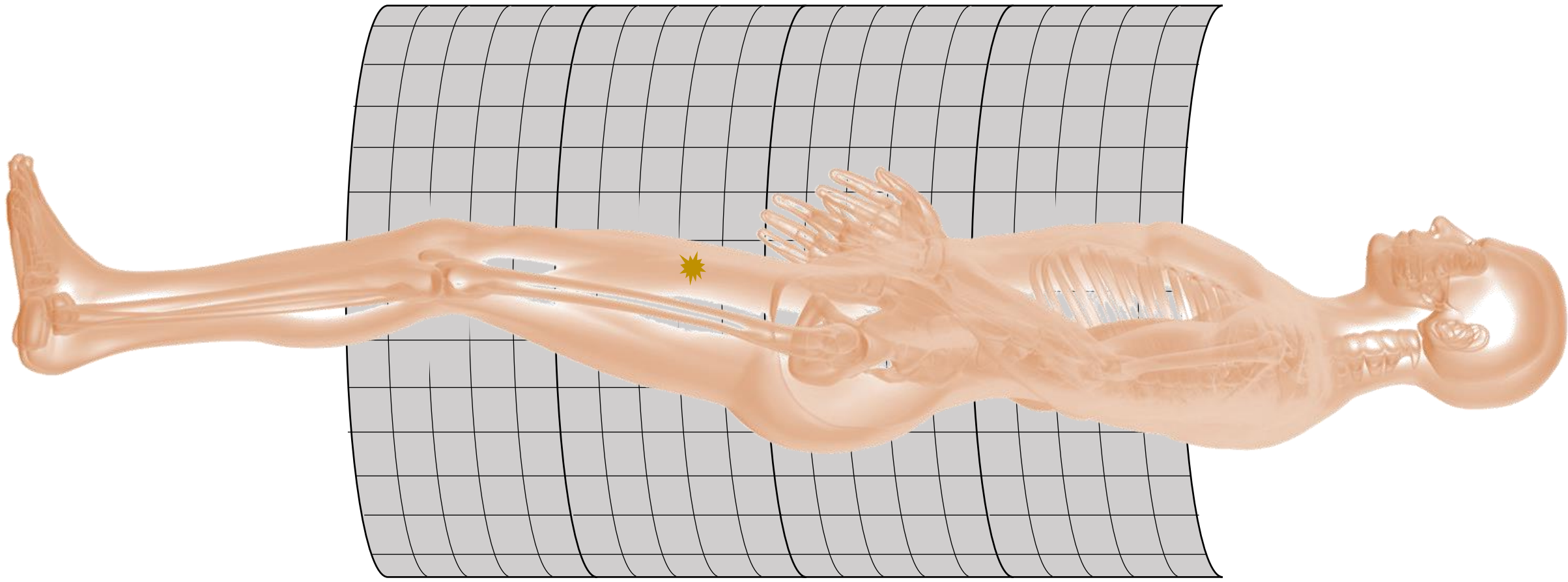




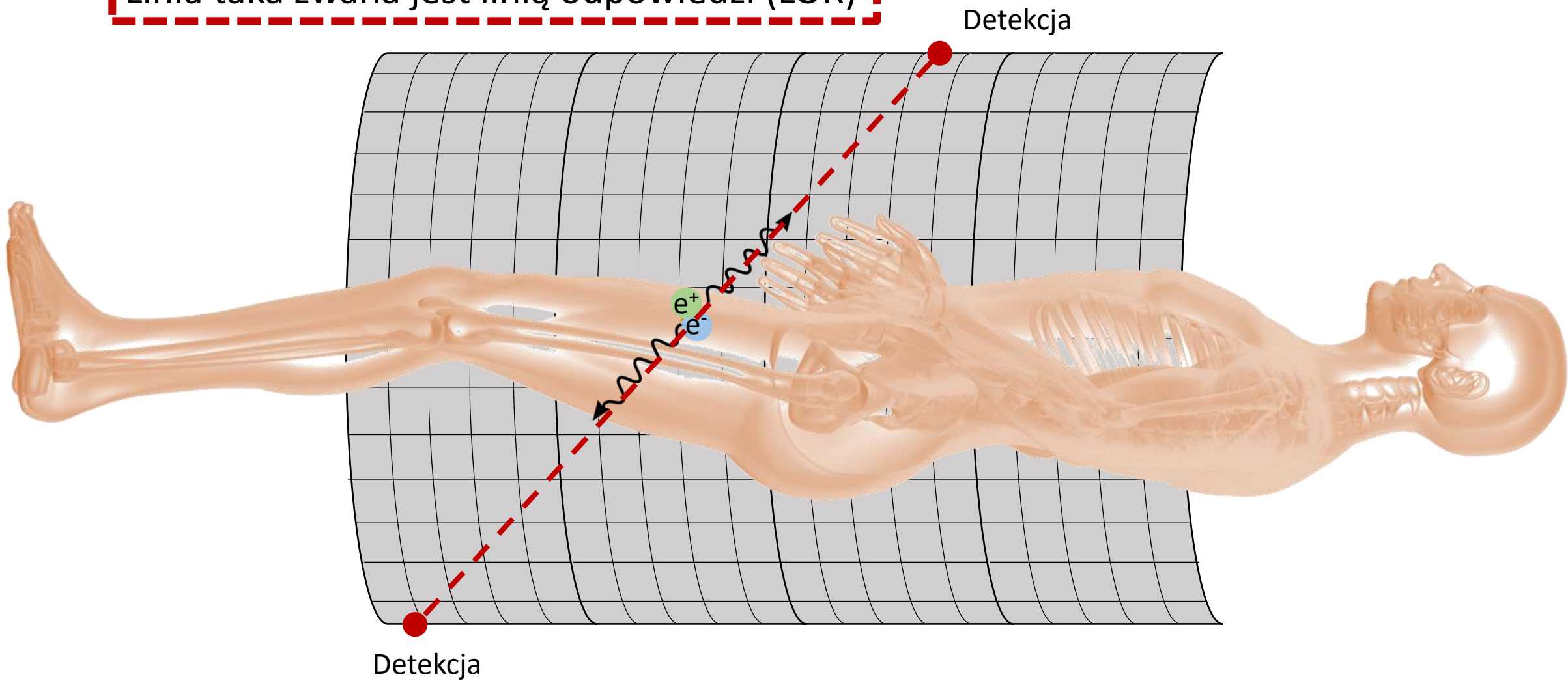


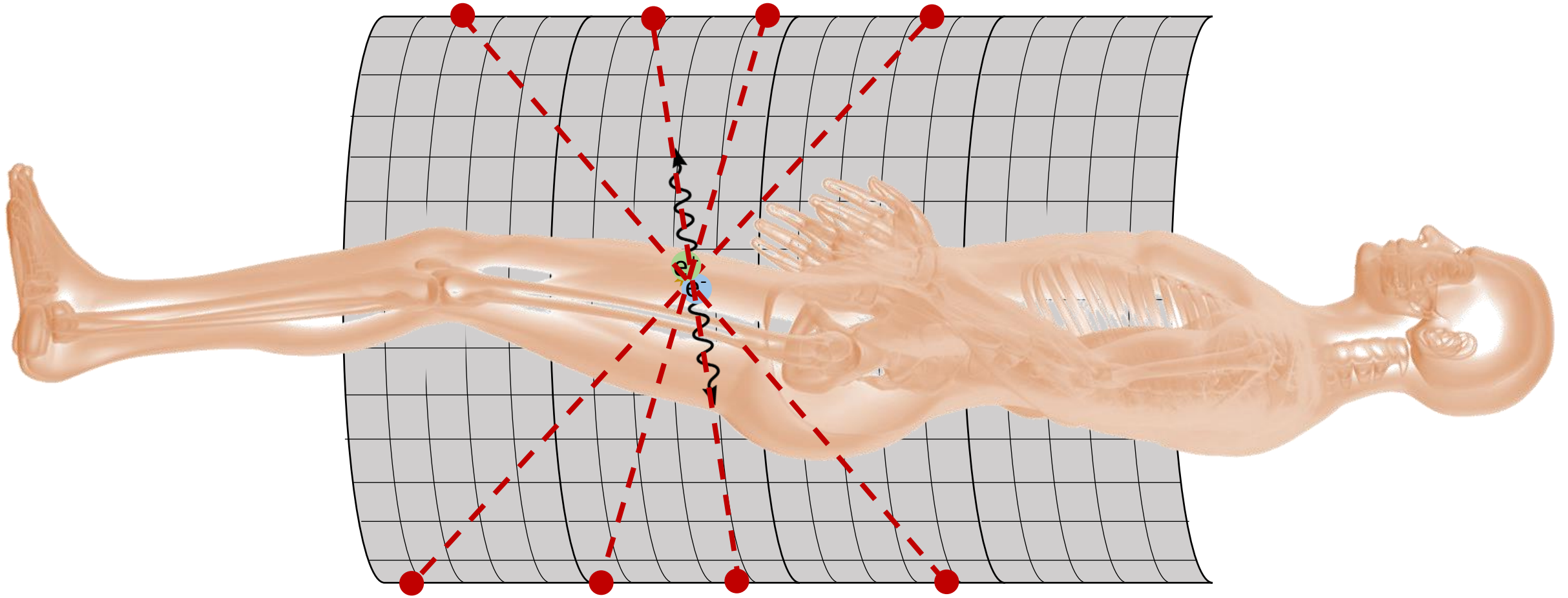


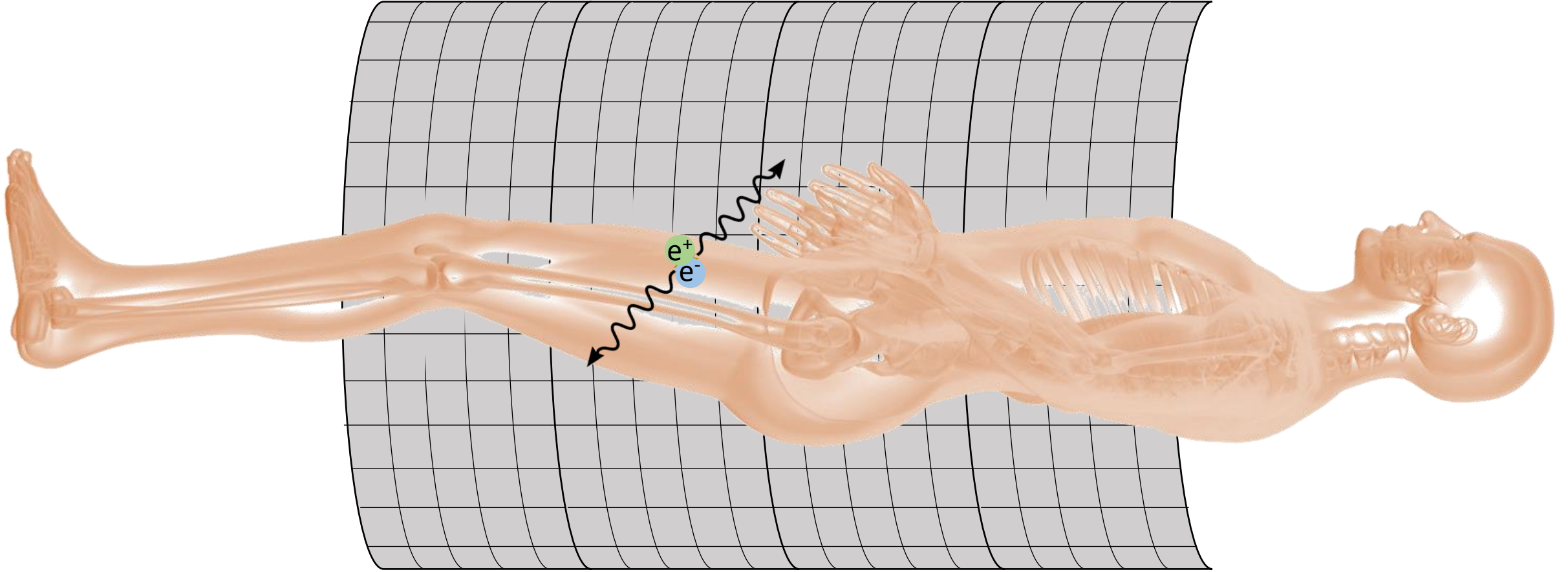




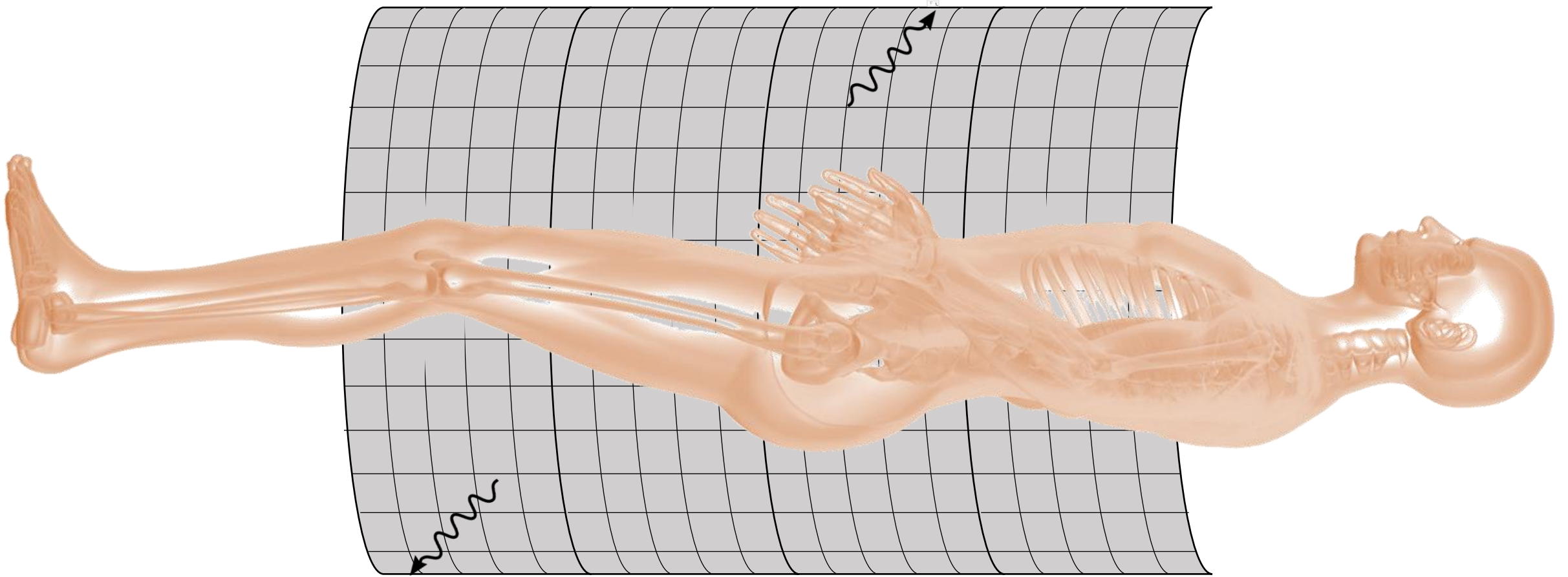
Linia taka zwana jest linią odpowiedzi (LOR)



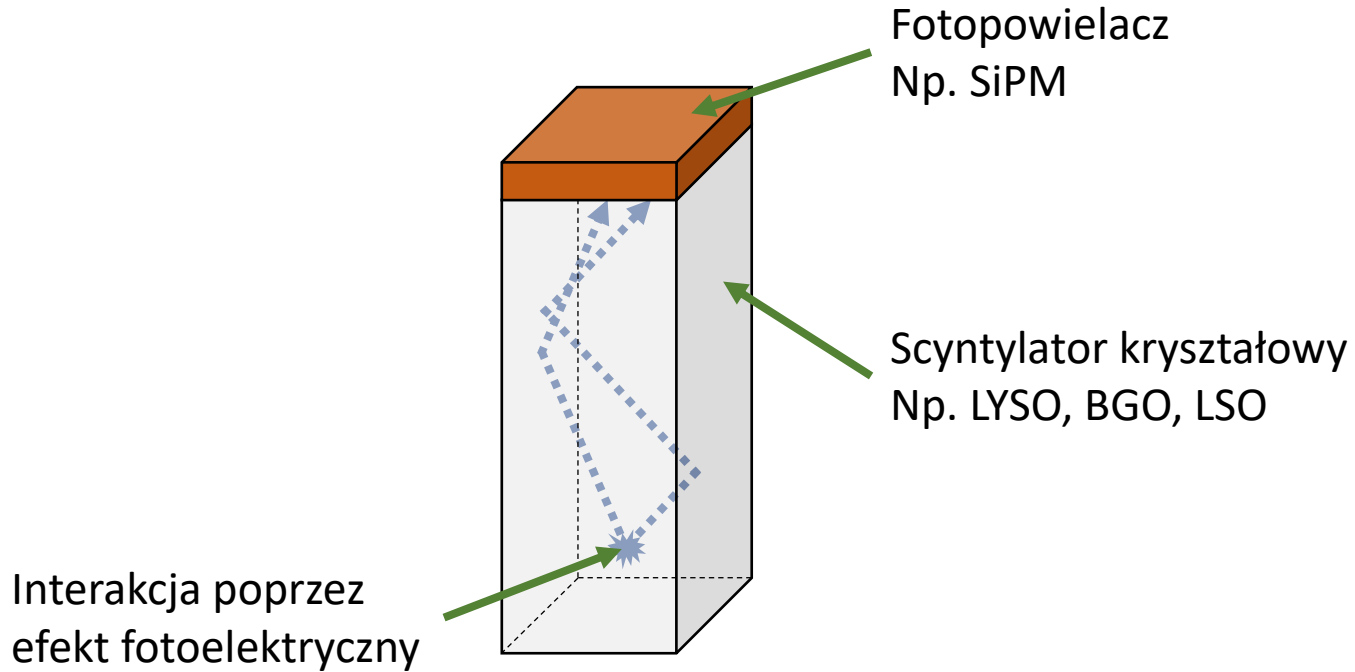




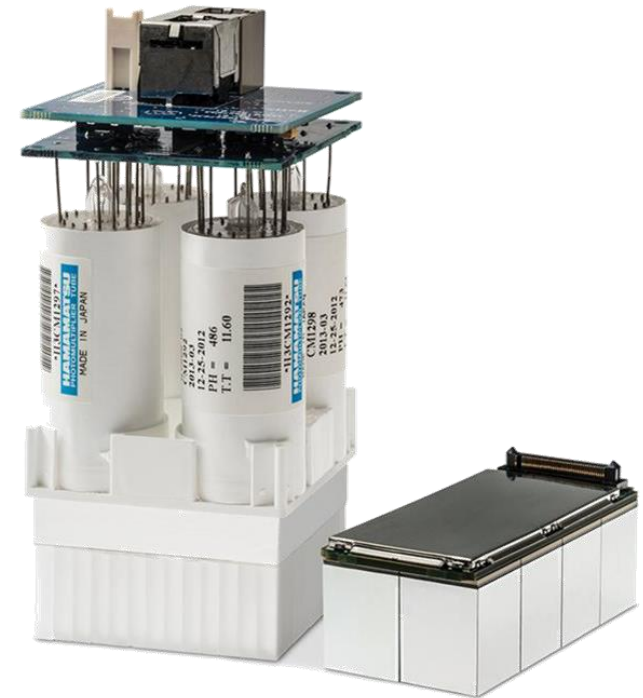




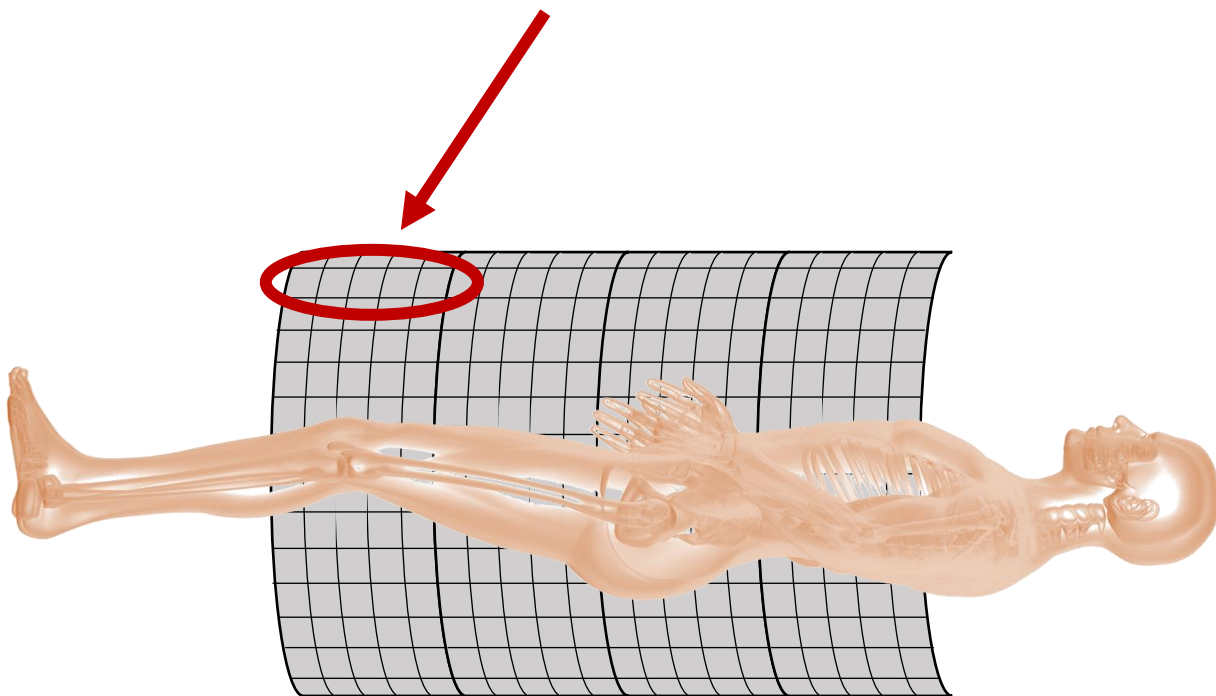
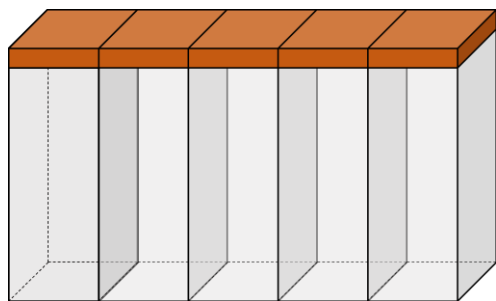
# Detekcja w standardowym scyntylatorze kryształowym



## Przykłady scyntylatorów



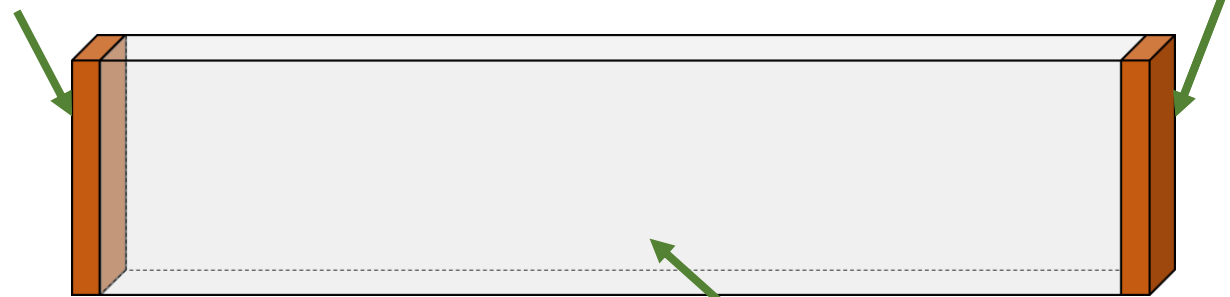
# Standardowy PET



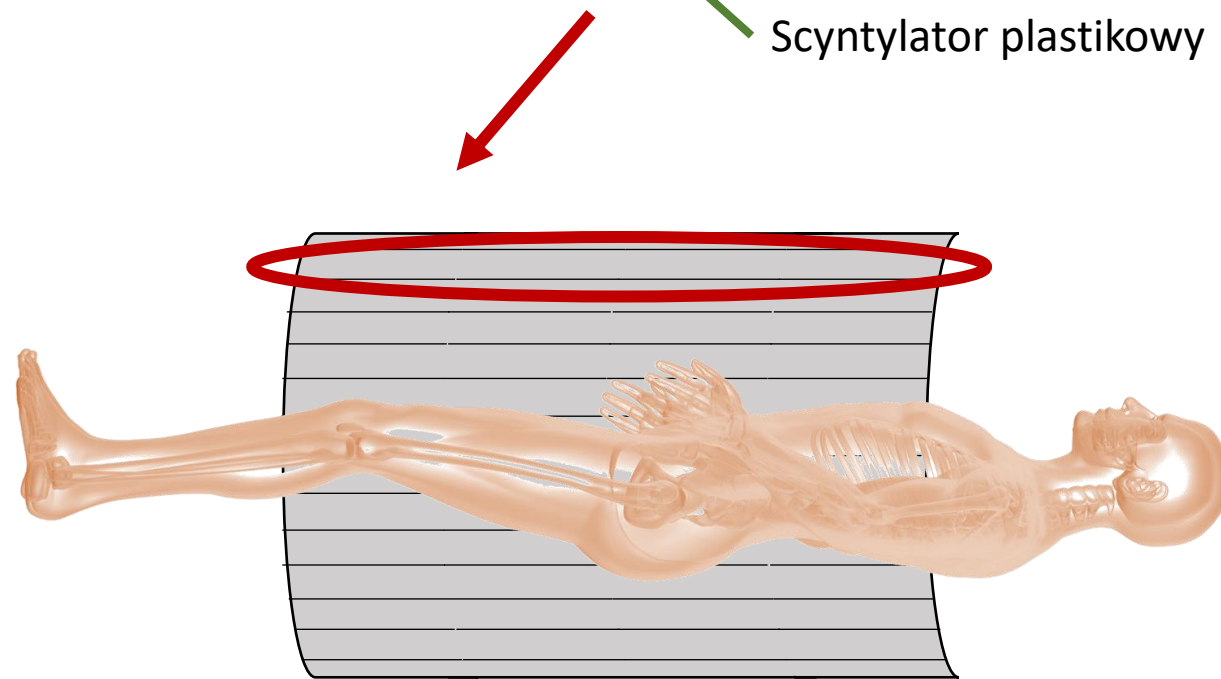
# „Plastikowy” PET – J-PET

Fotopowielacz  
SiPM

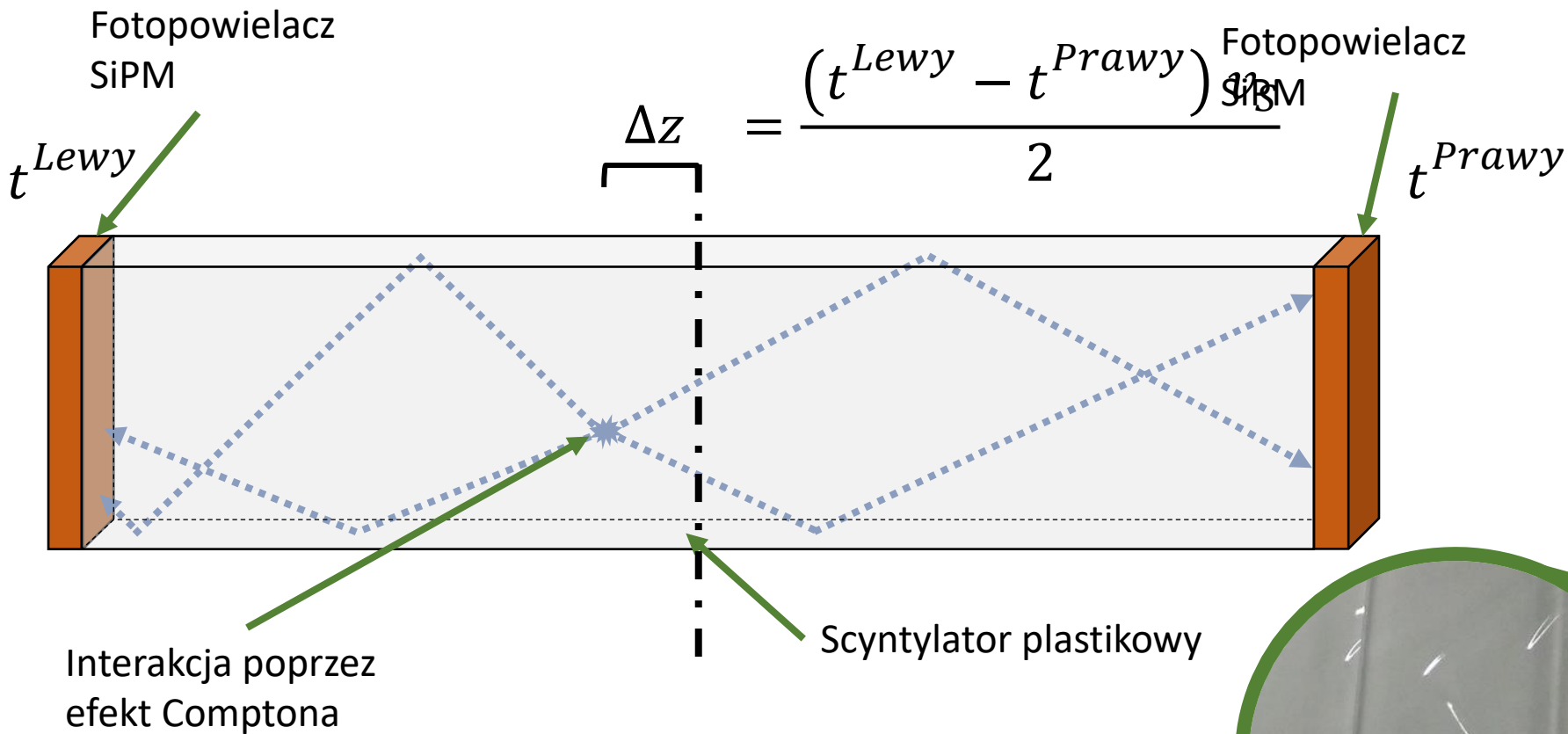
Fotopowielacz  
SiPM



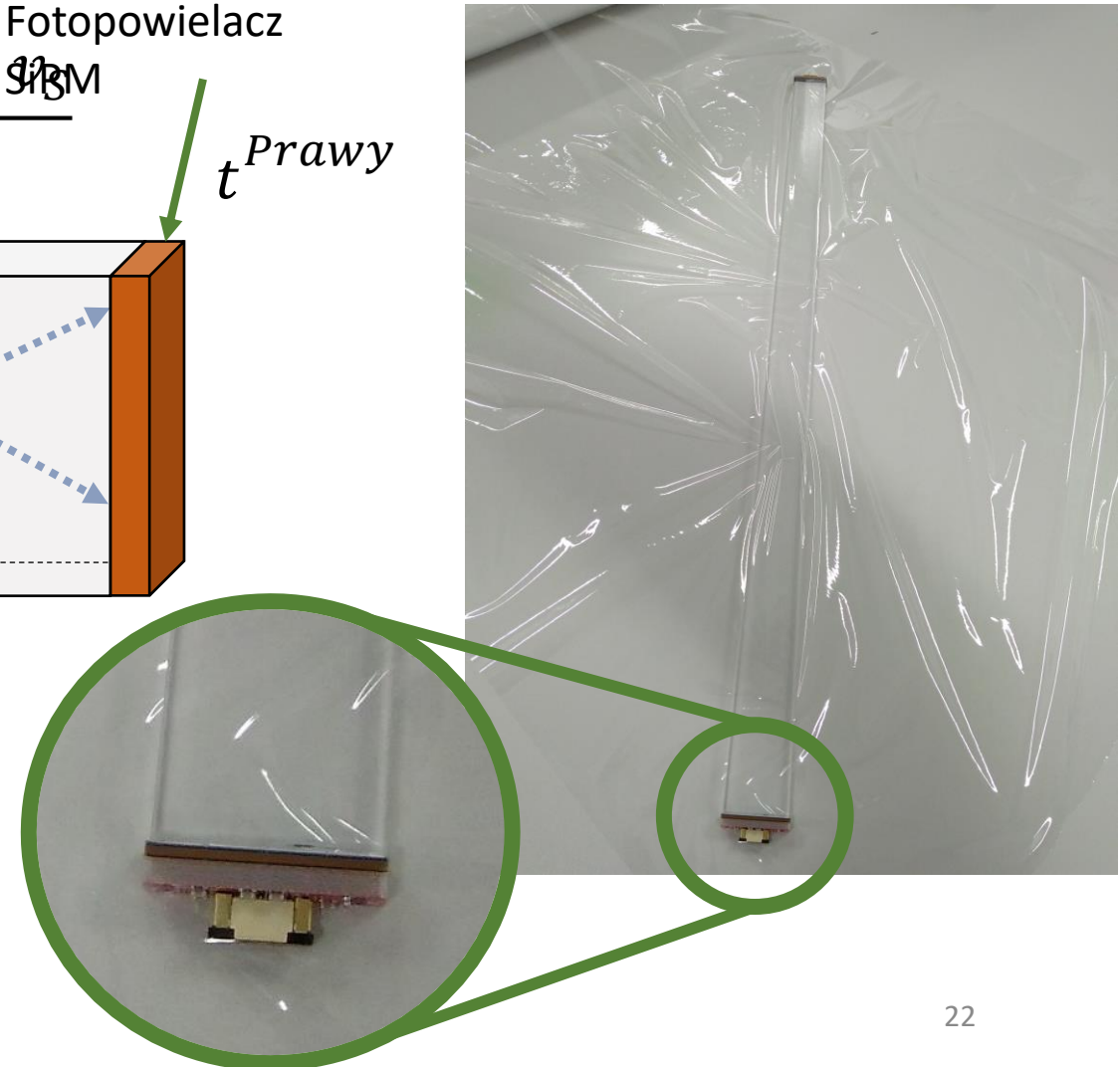
Scyntylator plastikowy



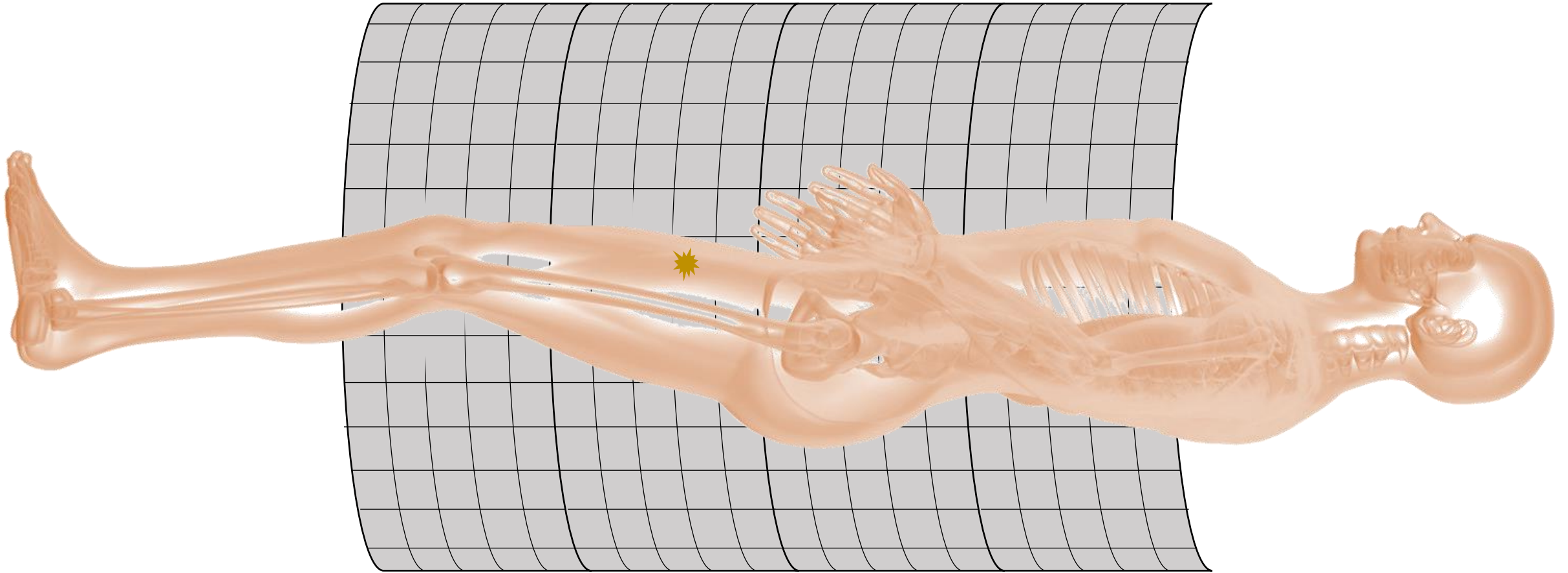
# Detekcja w scyntylatorze plastikowym



## Przykład

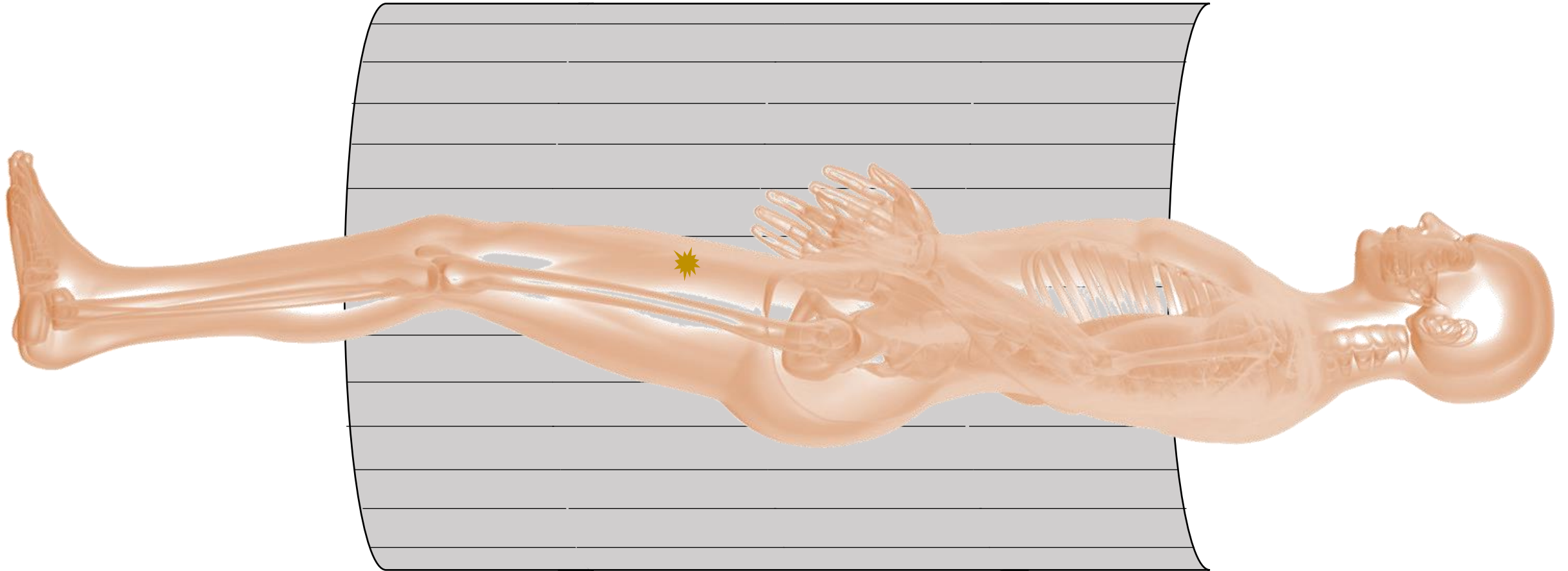


# Standardowy skaner PET kryształowy





# Tomograf J-PET



# Modularny Tomograf J-PET

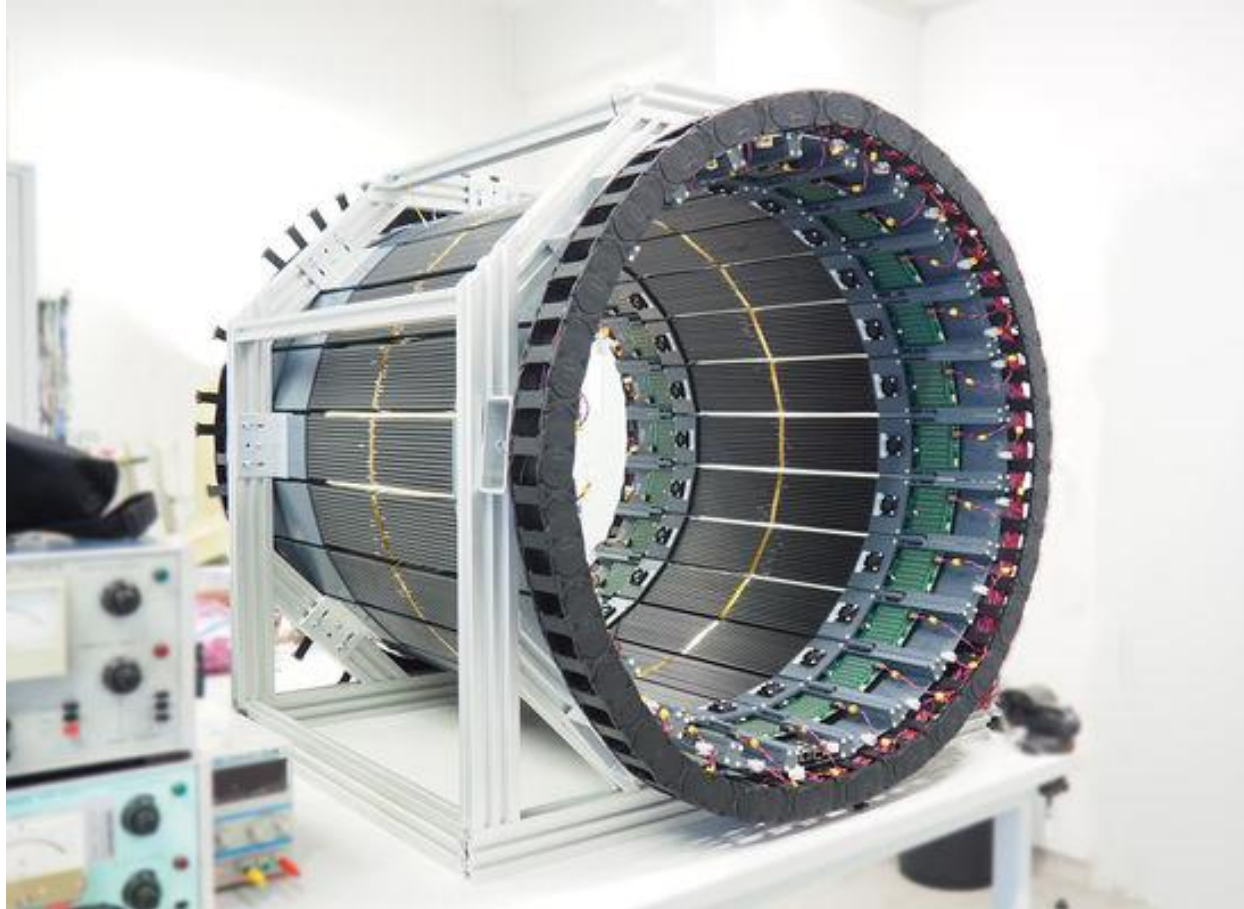
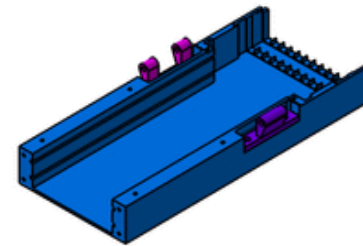


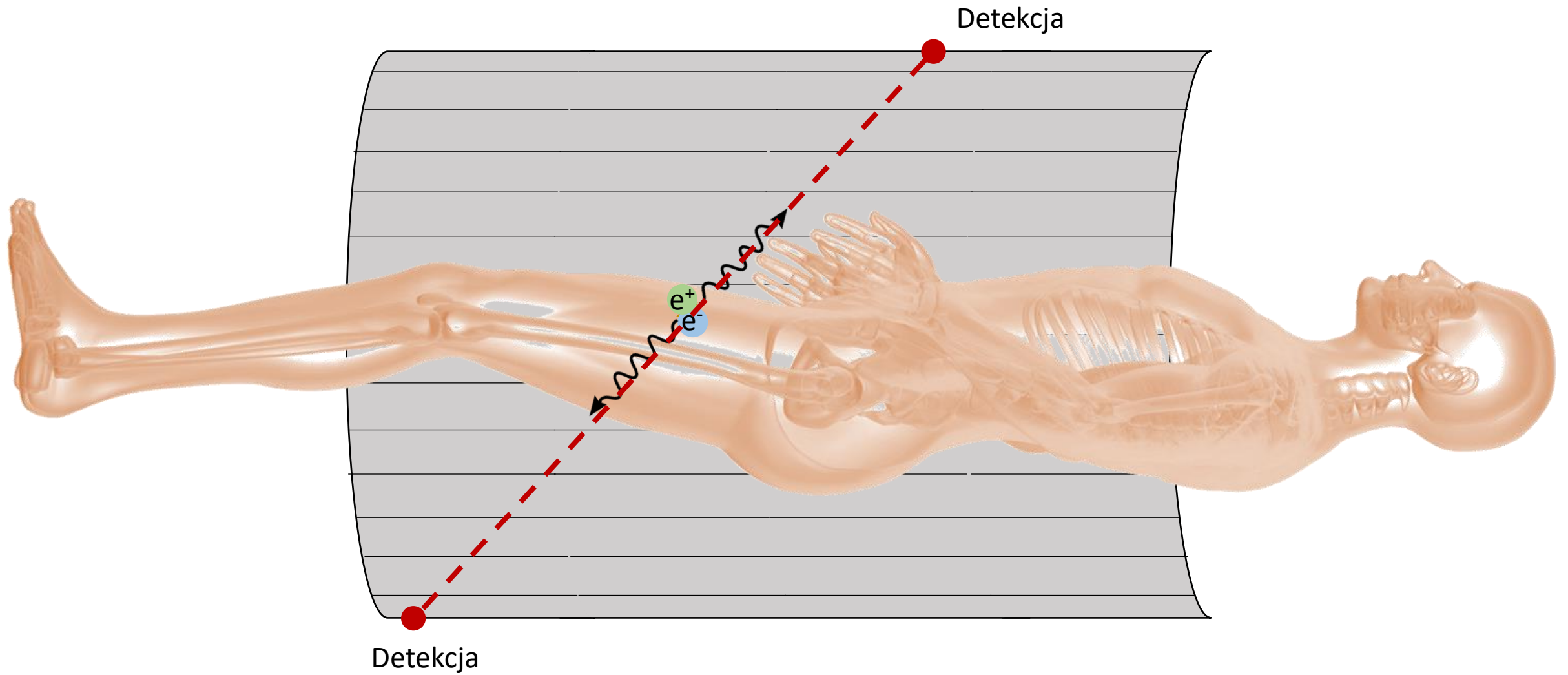
Fig. 11



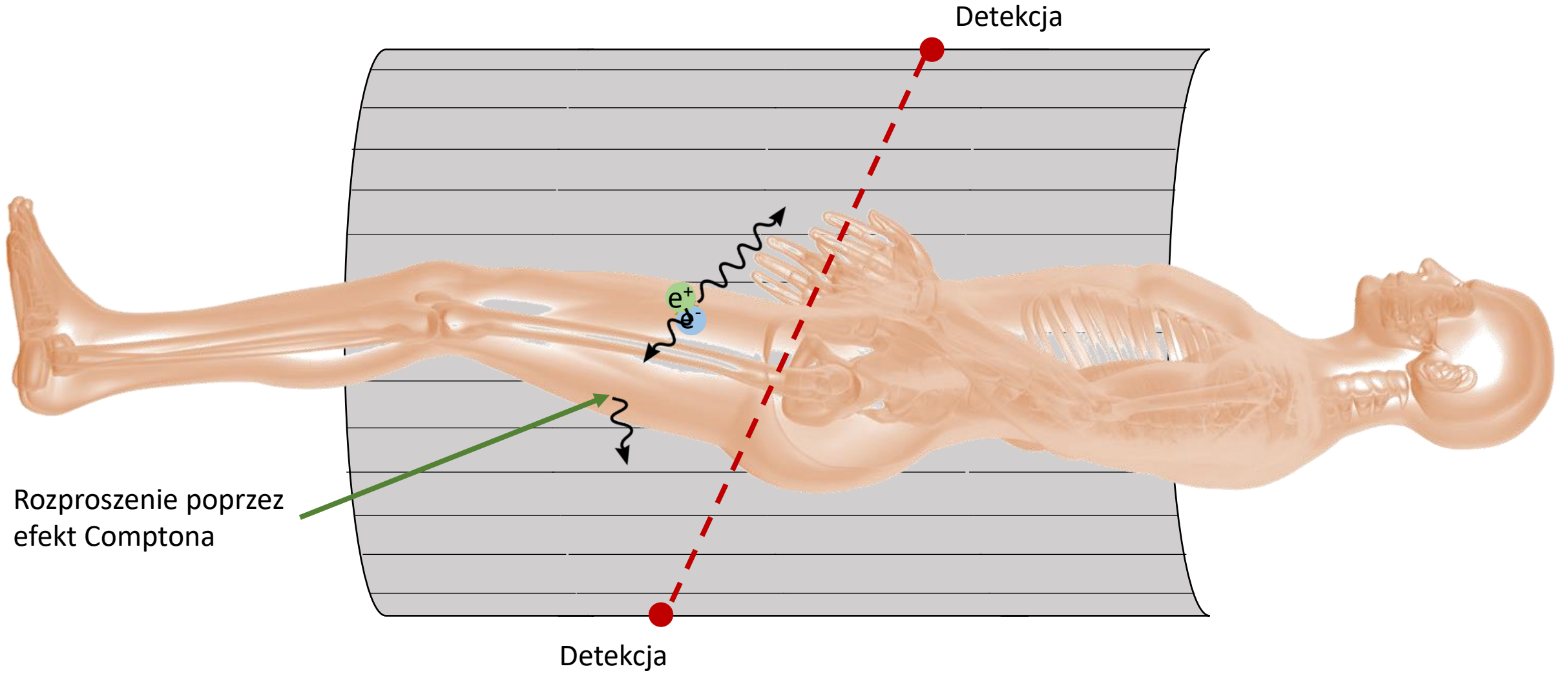
<http://koza.if.uj.edu.pl/pet/>

# Rodzaje detekcji w koincydencji w tomografii PET

# Koincydencja prawdziwa

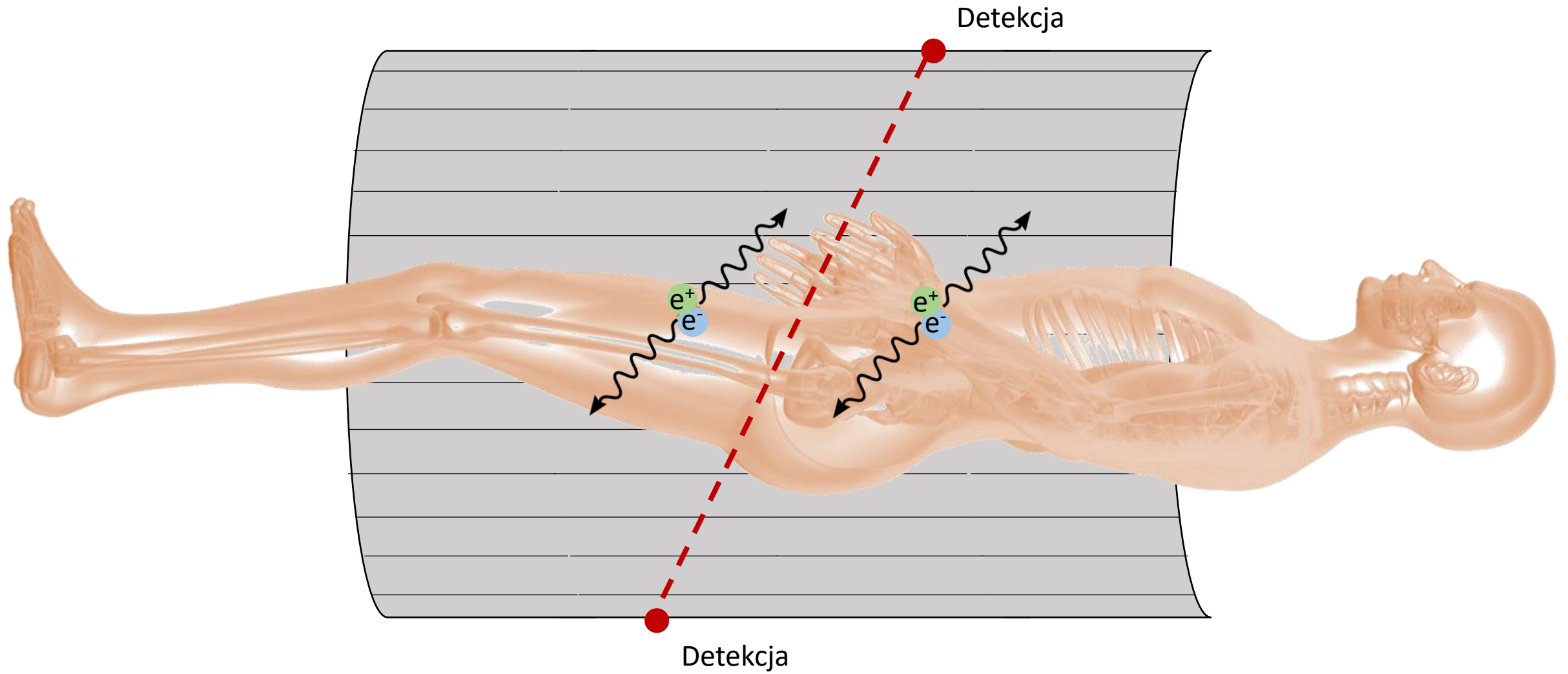


# Koincydencja rozproszona





# Koincydencja przypadkowa



# Modelowanie koincydencji przypadkowych

Metody modelowania:

- Singles Rate (SR)

Ta metoda używa informacji o szybkości detekcji fotonów w parze detektorów tomografu PET, co pozwala na wyznaczenie liczby koincydencji przypadkowych na daną linię odpowiedzi LOR

$$R_{i,j}^{SR} = 2\tau R_i R_j$$

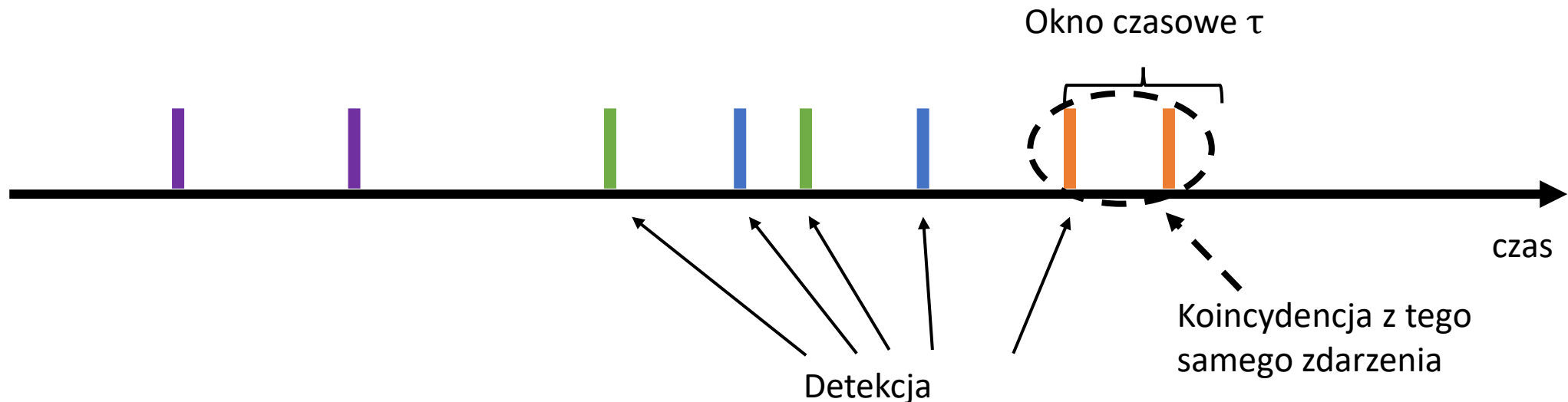
,gdzie  $R_i$  to szybkość zliczeń w detektorze  $i$ , a  $\tau$  jest oknem czasowym na koincydencje

# Modelowanie koincydencji przypadkowych

Metody modelowania:

- Singles Rate (SR)
- Delayed Time Window (DTW)

Każdy kolor reprezentuje interakcje fotonów pochodzących z różnych zdarzeń anihilacyjnych

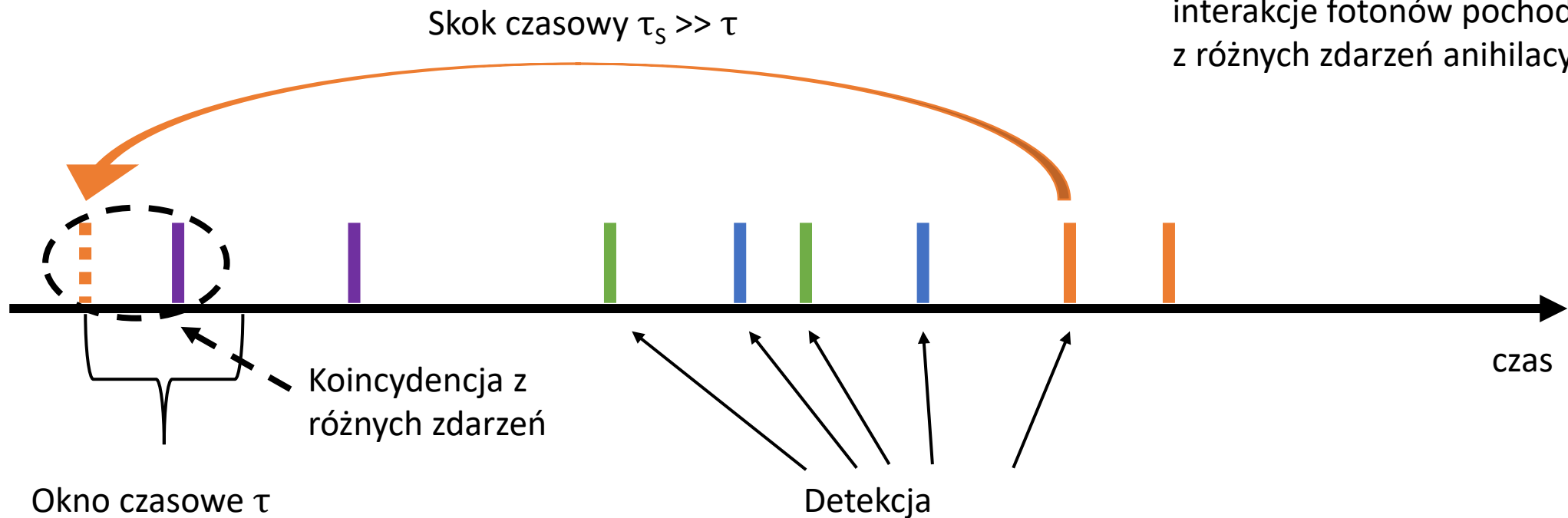


# Modelowanie koincydencji przypadkowych

Metody modelowania:

- Singles Rate (SR)
- Delayed Time Window (DTW)

Każdy kolor reprezentuje interakcje fotonów pochodzących z różnych zdarzeń anihilacyjnych



# Modelowanie koincydencji przypadkowych

Metody modelowania:

- Singles Rate (SR)
- Delayed Time Window (DTW)
- Singles-Prompts (SP)

Rozszerzenie metody Singles Rate poprawiające jej działanie w przypadku dużych liczb detekcji w krótkim czasie

$$R_{ij}^{SP} = \frac{2\tau e^{-(\lambda+S)\tau}}{(1 - 2\lambda\tau)^2} (S_i - e^{(\lambda+S)\tau} P_i)(S_j - e^{(\lambda+S)\tau} P_j)$$



# Oprogramowanie do symulacji Monte Carlo

- Geant4 Application for Tomographic Emission (GATE)
- Wersja 9.0
- Opensource software
- Pozwala na generowanie rozpadów źródeł promieniotwórczych i badanie interakcji ich produktów wraz z symulacją skanerów PET i ich odpowiedzi



# Modularny Tomograf J-PET

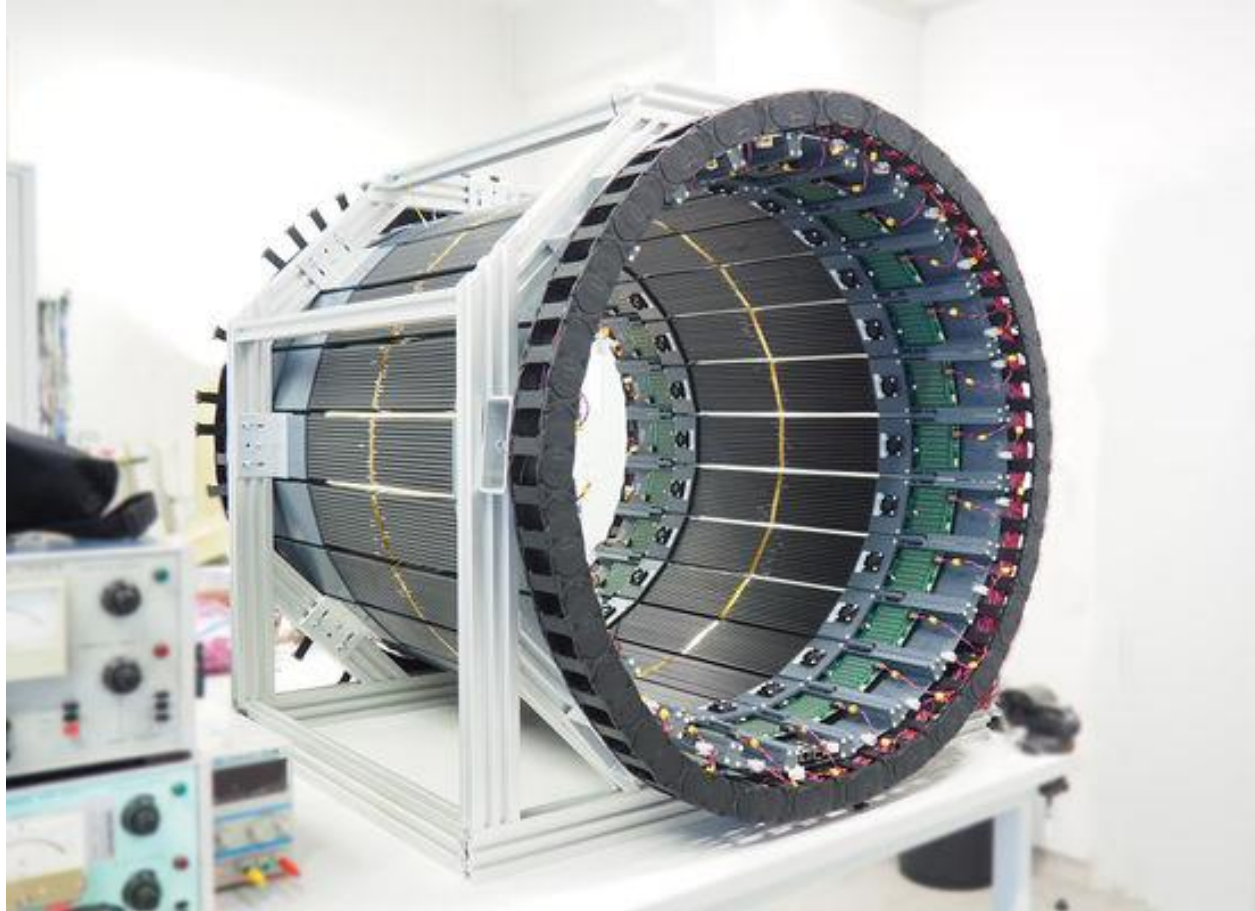
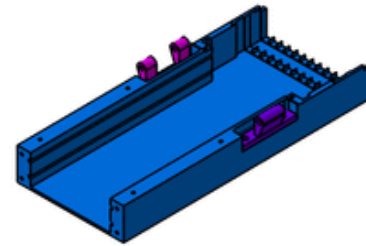


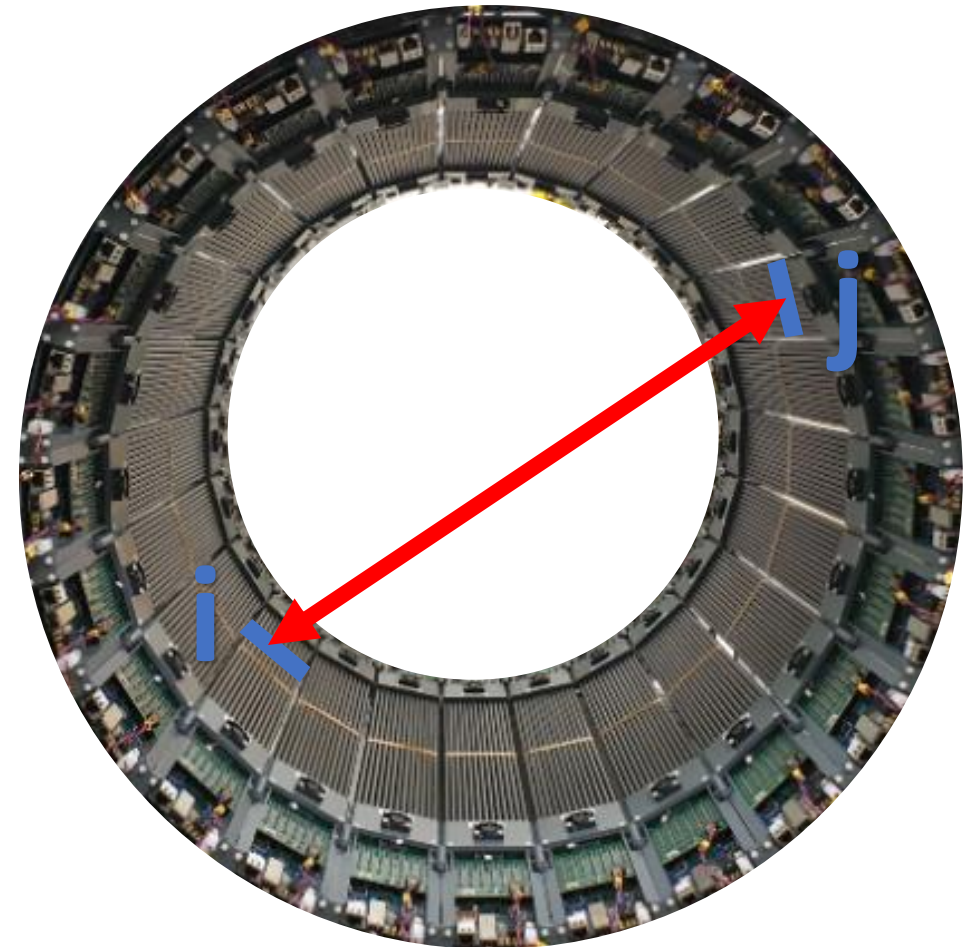
Fig. 11



<http://koza.if.uj.edu.pl/pet/>

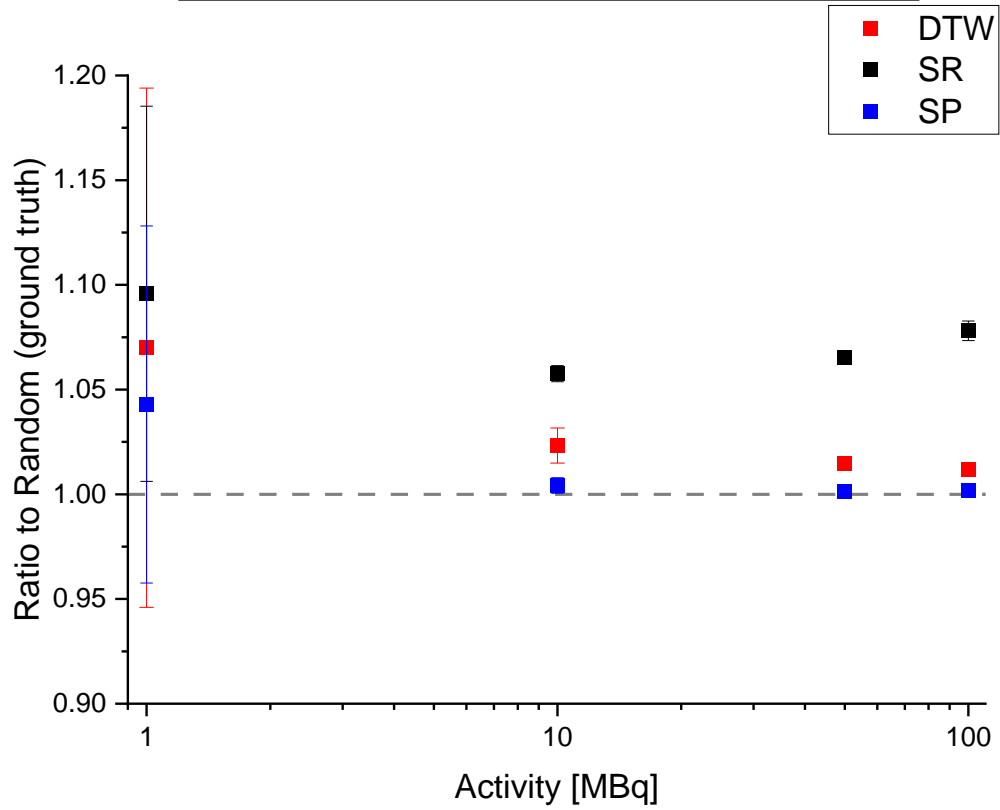
# Modularny Tomograf J-PET

- Podział tomografu na małe „detektory”  
celem otrzymania skończonej liczby  
projekcji linii odpowiedzi LOR
- W płaszczyźnie poprzecznej -> 24 moduły
- We współrzędnej osiowej ->  $50 \times 10$  mm  
sekcje
- W całości 1200 „detektory”
- $R_{i,j}$  – szybkość zliczeń koincydencji na  
projekcję LOR łączącą detektory  $i$  i  $j$

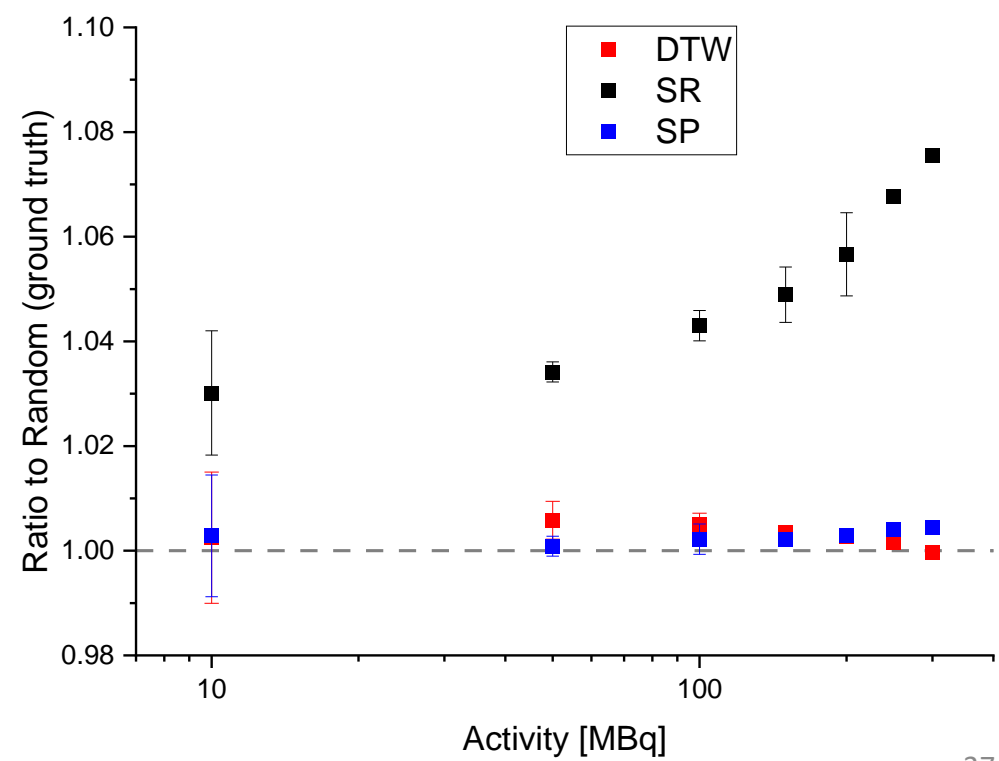


# Stosunek liczby oszacowanych koincydencji przypadkowych do faktycznej ich liczby

Wodny cylinder o wymiarach 15 cm (promień), 22 cm (wysokość)



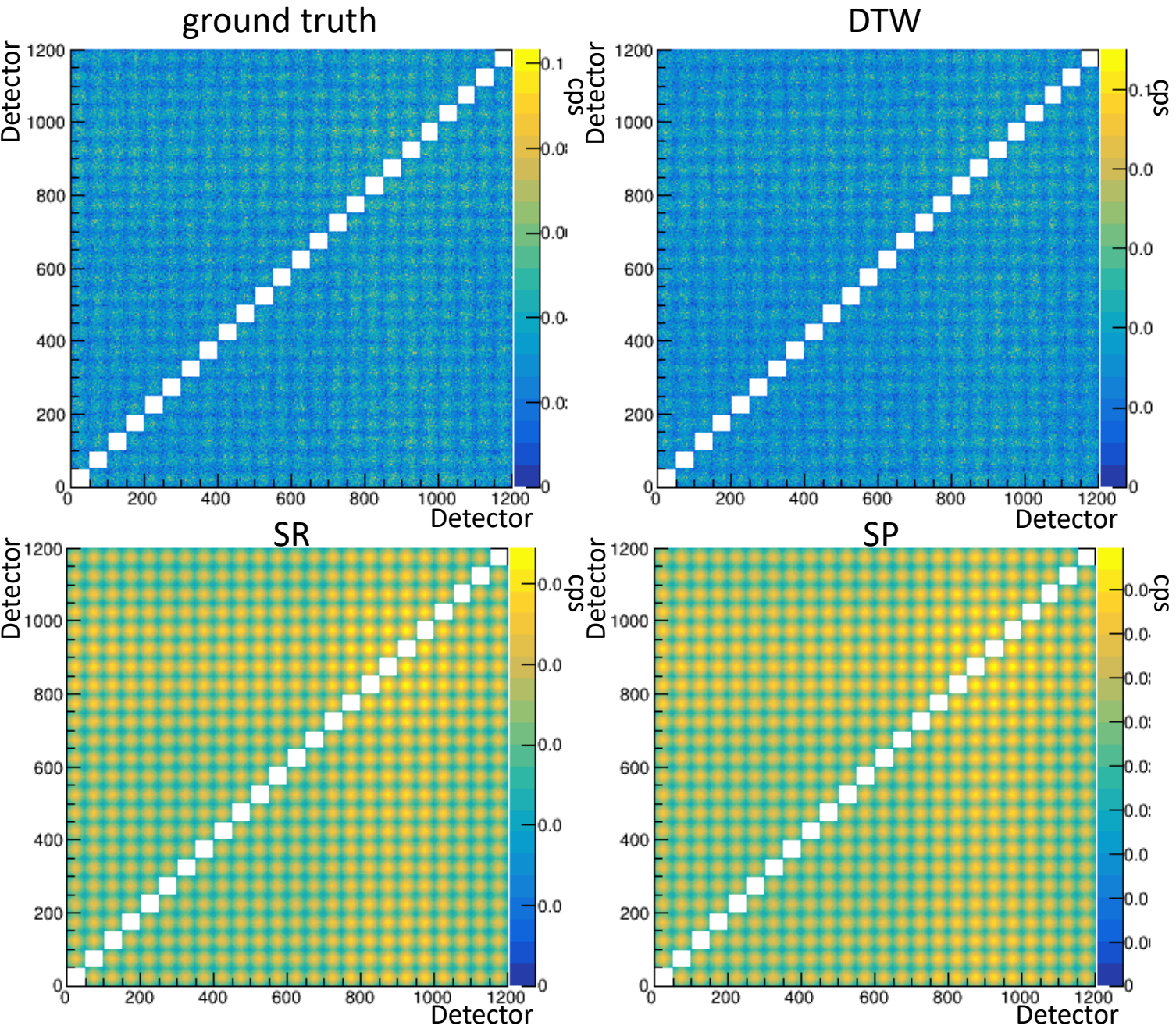
Wodny cylinder o wymiarach 10.555 cm (promień), 168 cm (wysokość) BMI=22.6\*



\*Z Med Phys. 2021 Aug;31(3):305-315. doi: 10.1016/j.zemedi.2021.01.006. Epub 2021 Feb 13. PMID: 33593642.

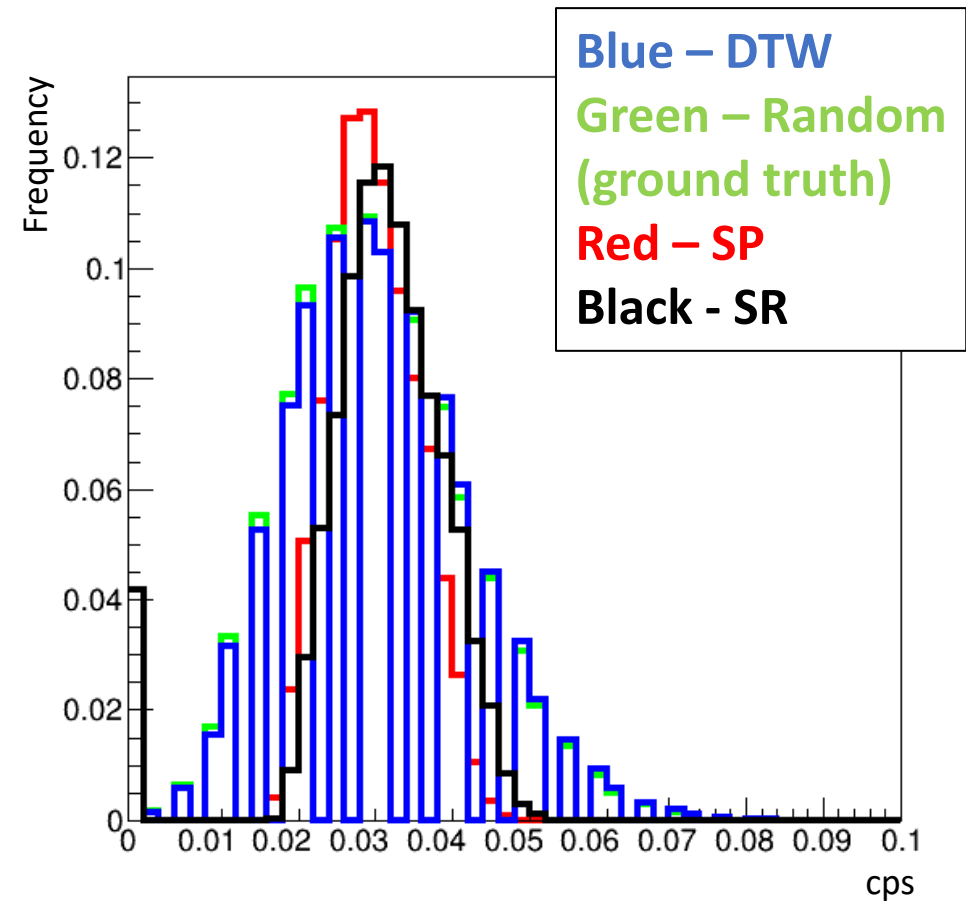
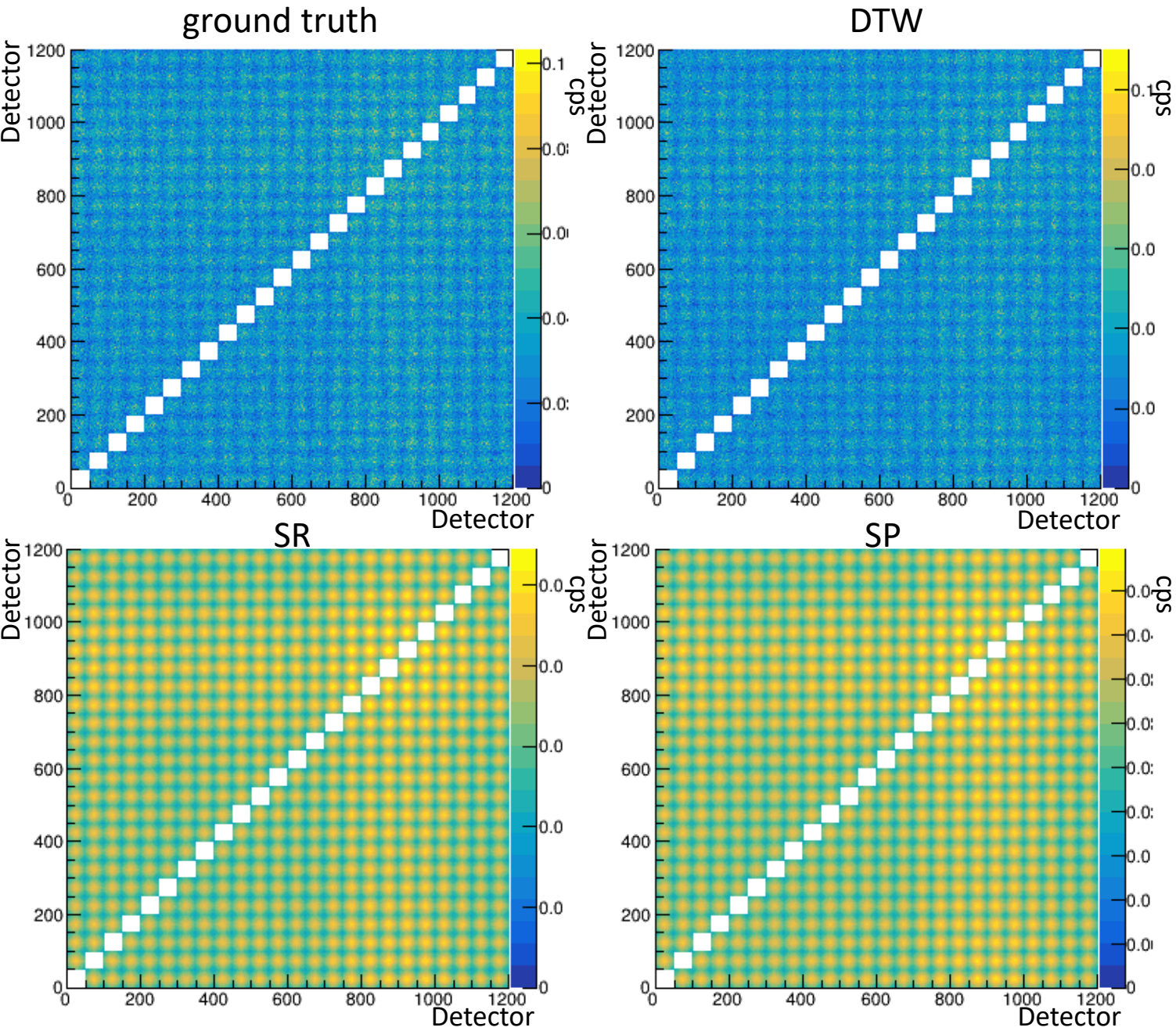


# Rozkład koincydencji przypadkowych





# Rozkład koincydencji przypadkowych



# Podsumowanie

- Metoda Singles-Prompts zapewnia najlepsze oszacowanie całkowitej liczby koincydencji przypadkowych
- Metoda Delayed Time Window jako jedyna zapewnia poprawny rozkład koincydencji przypadkowych w tomografii J-PET
- Wykorzystanie metody DTW chociaż trudne w przypadku standardowych skanerów PET ze względu na konieczne zmiany elektroniki odczytu i zapisu jest względnie proste w przypadku systemu J-PET w związku z zapisywaniem informacji o wszystkich detekcjach
- Na podstawie symulacji, Metoda Delayed Time Window wydaje się być najlepszym wyborem dla tomografu typu. Niemniej jednak jego stosunkowo niskie statystyki mogą stanowić wyzwanie w przypadku rzeczywistych danych

# Acknowledgements

This work was supported by the TEAM POIR.04.04.00-00-4204/17 program, the NCN through grants no. 2021/42/A/ST2/00423 and 2021/43/B/ST2/02150, and SciMat and qLife Priority Research Area budget under the program Excellence Initiative - Research University at Jagiellonian University.





Dziękuję za uwagę