

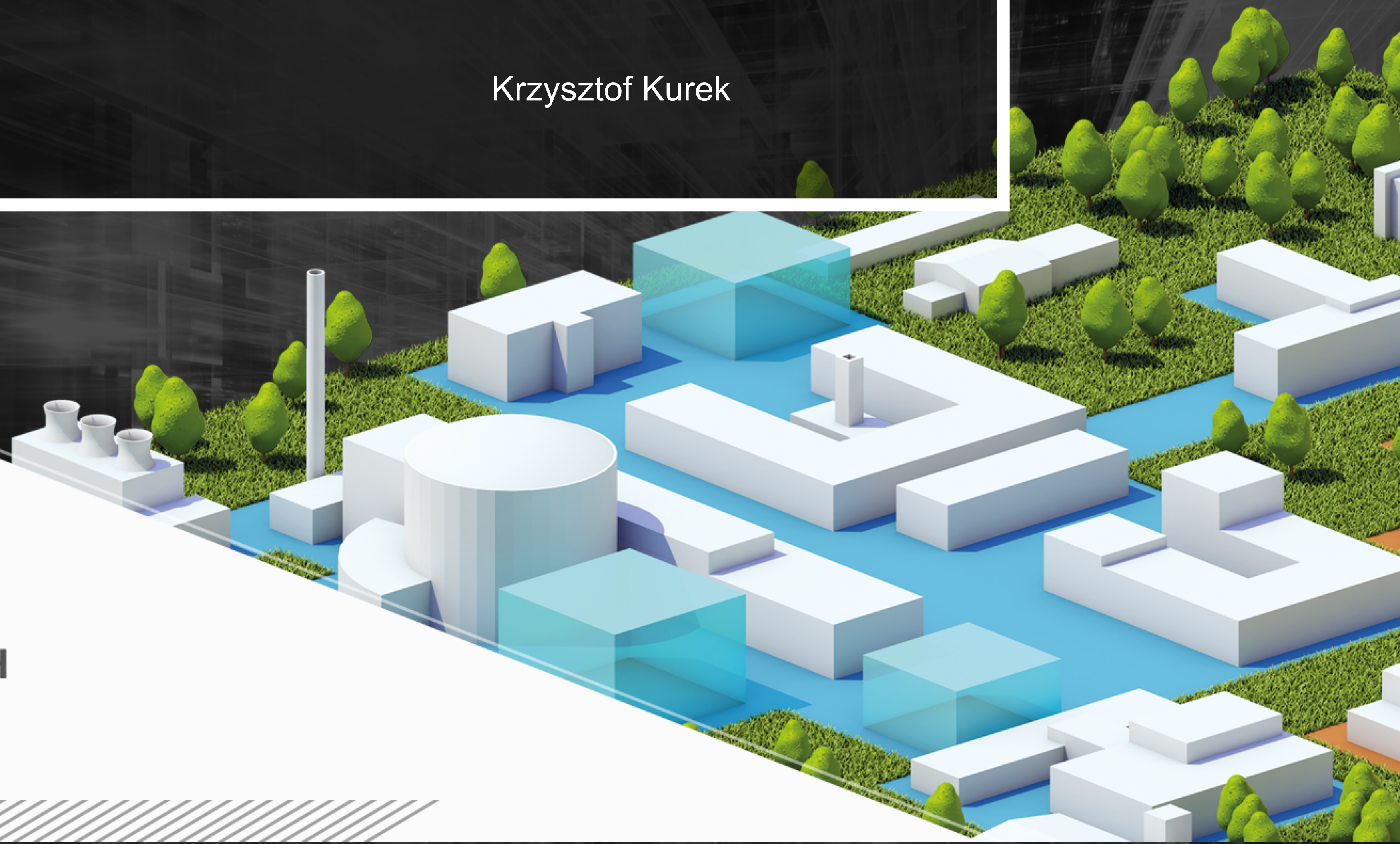


POLFEL - Polski Laser na Swobodnych Elektronach w Narodowym Centrum Badań Jądrowych

Krzysztof Kurek



NARODOWE
CENTRUM
BADAŃ
JĄDROWYCH
ŚWIERK





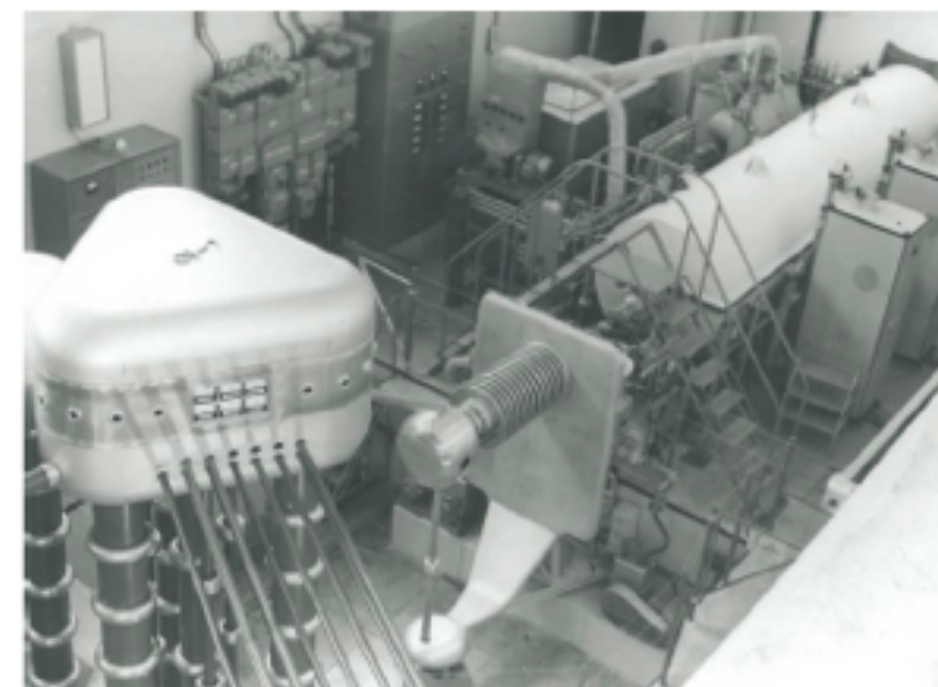
Trochę historii

Prof. Andrzej Sołtan już w 1938 roku zbudował pierwszy w Polsce akcelerator pracujący z wiązką wodoru i jonów deuteru o energii ok. 300 keV

W 1955 roku Prof. Sołtan został nominowany pierwszym dyrektorem naczelnym IBJ. Kontynuował swoje badania w dziedzinie fizyki jądrowej budując konieczne do badań instrumentarium.

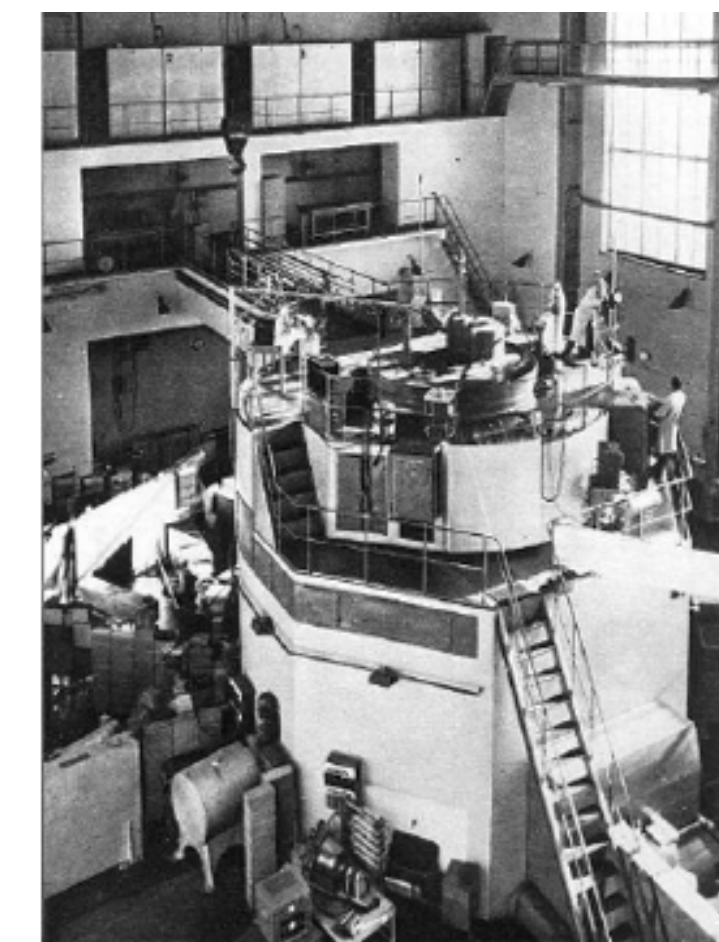
Nowa idea struktur przyspieszających rozwinięta w latach 50 przez L. Alvareza została przeniesiona przez A. Sołtana do IBJ gdzie rozwinięto projekt budowy akceleratorów (1956-1970)

10 MeV liniowy akcelerator protonów został nazwany „Andrzej” na cześć prof. Sołtana

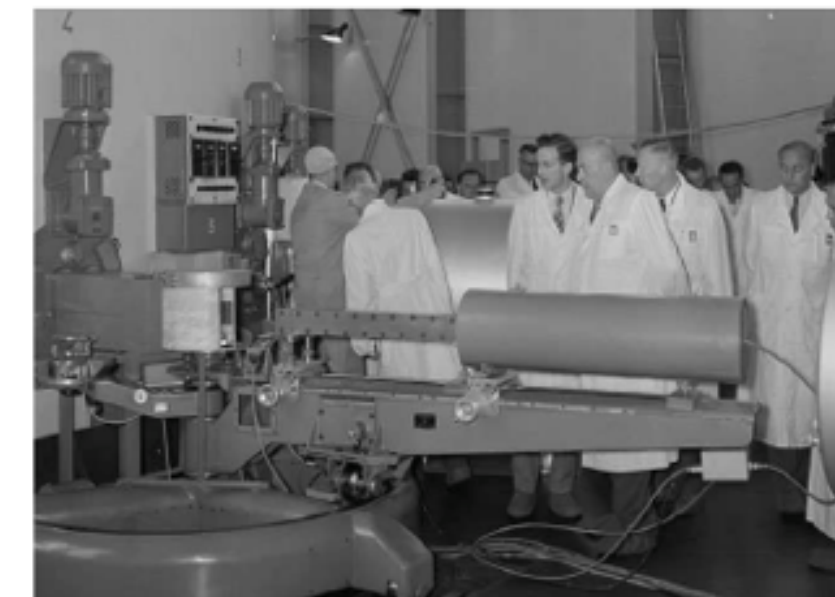


General view of proton linear accelerator „Andrzej”

Pierwszy reaktor jądrowy EWA



„US built their first reactor in 1942,
Poland did 16 years later”
from a Polish Radio report



14.06.1958 official opening of the research reactor
EWA at IBJ

USA zbudowało swój pierwszy reaktor w 1942, Polska zrobiła to 16 lat później...

Tak mówił spiker Polskiego Radia

Departament Eksploatacji
Obiektów Jądrowych

Reactor MARIA, LPD

Departament Fizyki
Materiałów

LBM

Departament Badań
Podstawowych

Departament Aparatury i
Technik Jądrowych

Departament Badań
Układów Złożonych

CIŚ

Ośrodek Radioizotopów
POLATOM-NCBJ

Zakład Aparatury Jądrowej
HITEC

Park Naukowo
Technologiczny

Centrum
Naukowo-Przemysłowe

Sektor badawczy w NCBJ Instytut kategorii A+

jeden z największych instytutów badawczych
w Polsce:

1031 pracowników,
55 prof. & 150 doktorów
Studium doktoranckie/Szkoła doktorska:
~45 studentów

Osiągnięcia naukowe:

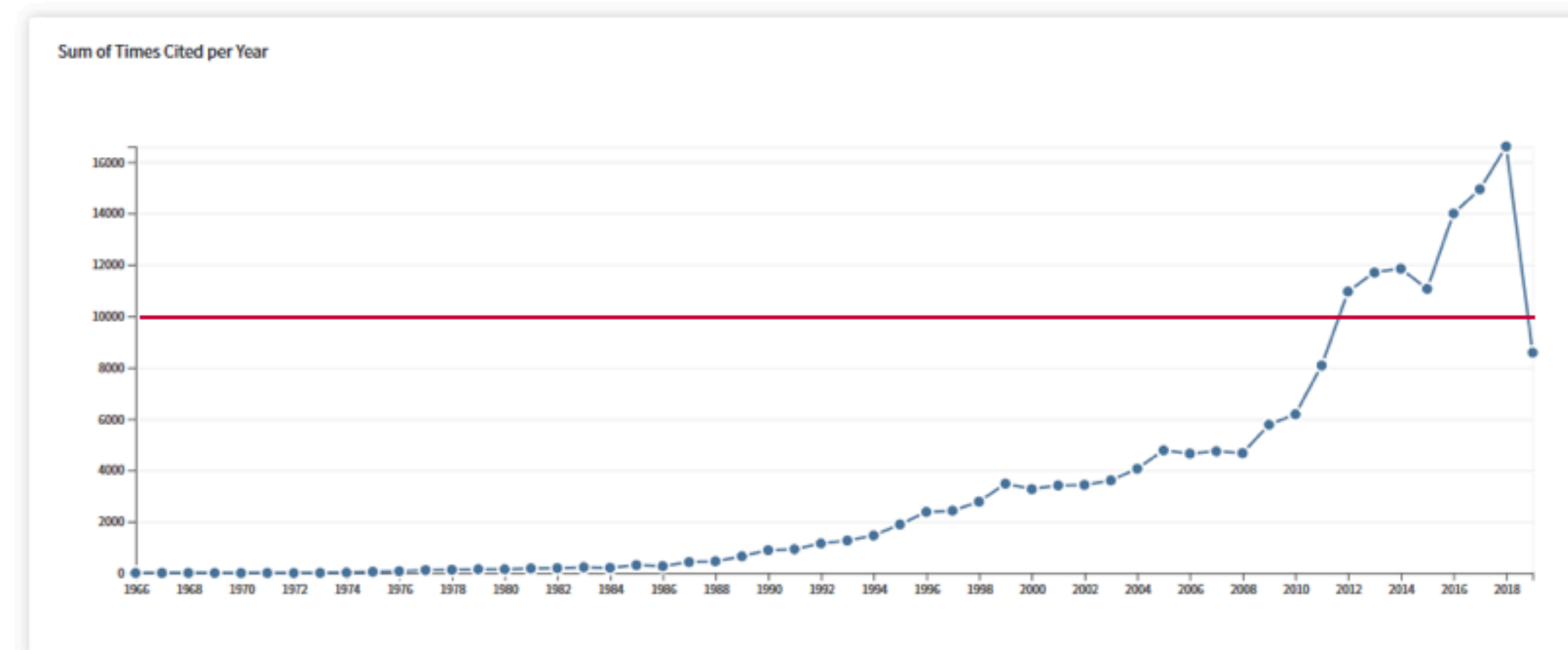
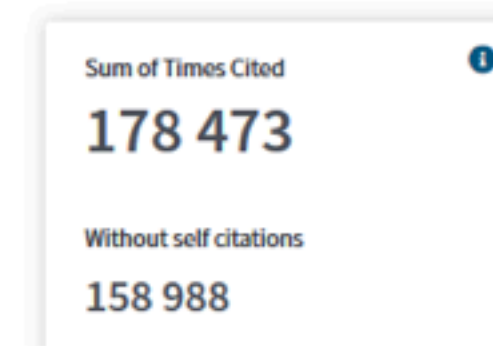
~500 recenzowanych publikacji,
>10000 cytacji rocznie

5/4th pozycja w Polsce, $h > 170$

117 projektów

Współpraca naukowa z największymi
laboratoriami na świecie (CERN, DESY,
Grenoble, JParc, FAIR, Julich, ESS, JINR, T2K).

Projekty Europejskie:
success rate: 35%

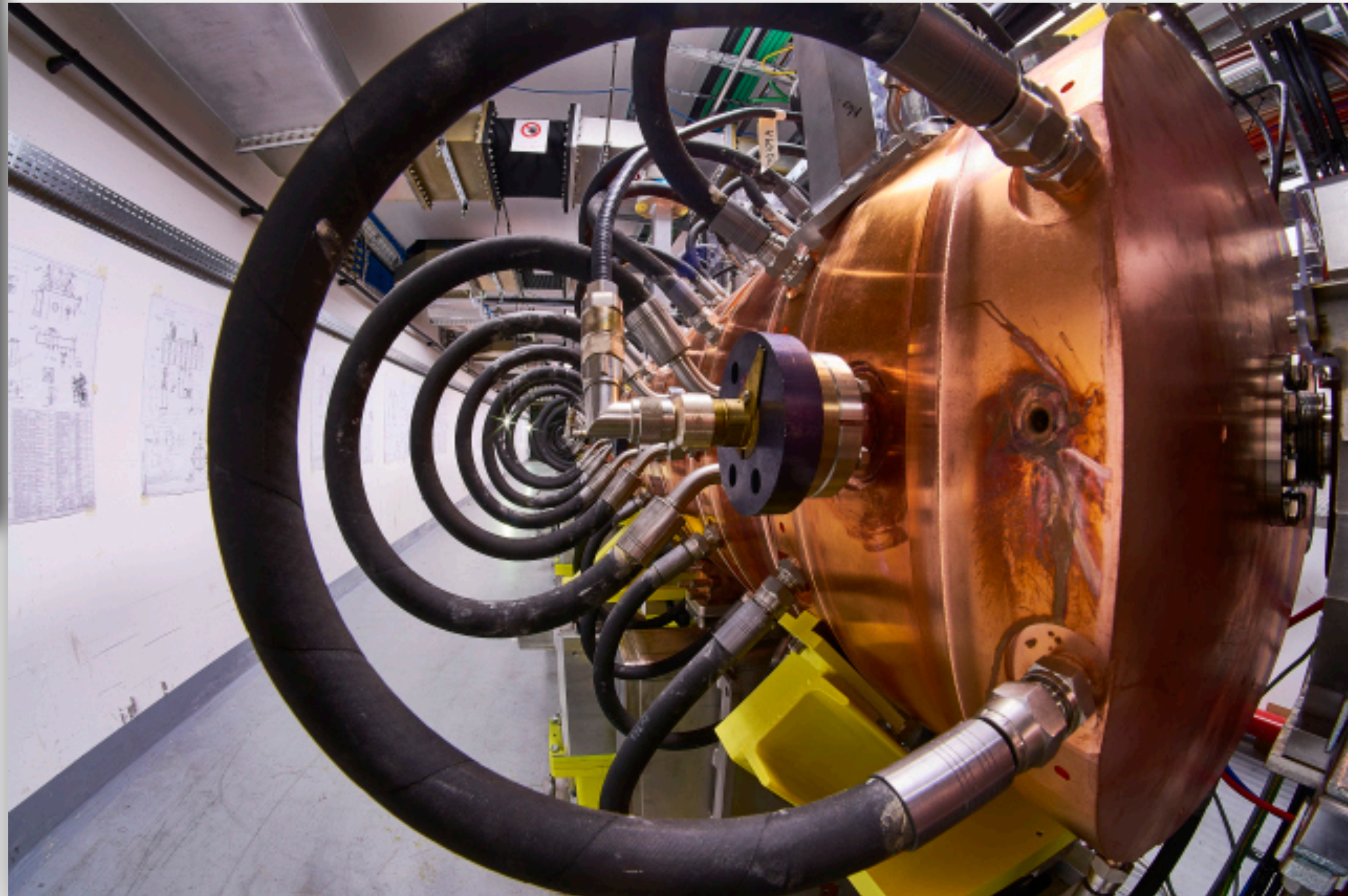


CERN (CMS, LHCb, ALICE, COMPASS, NA61/Shine, GBAR)



Wkład NCBJ:

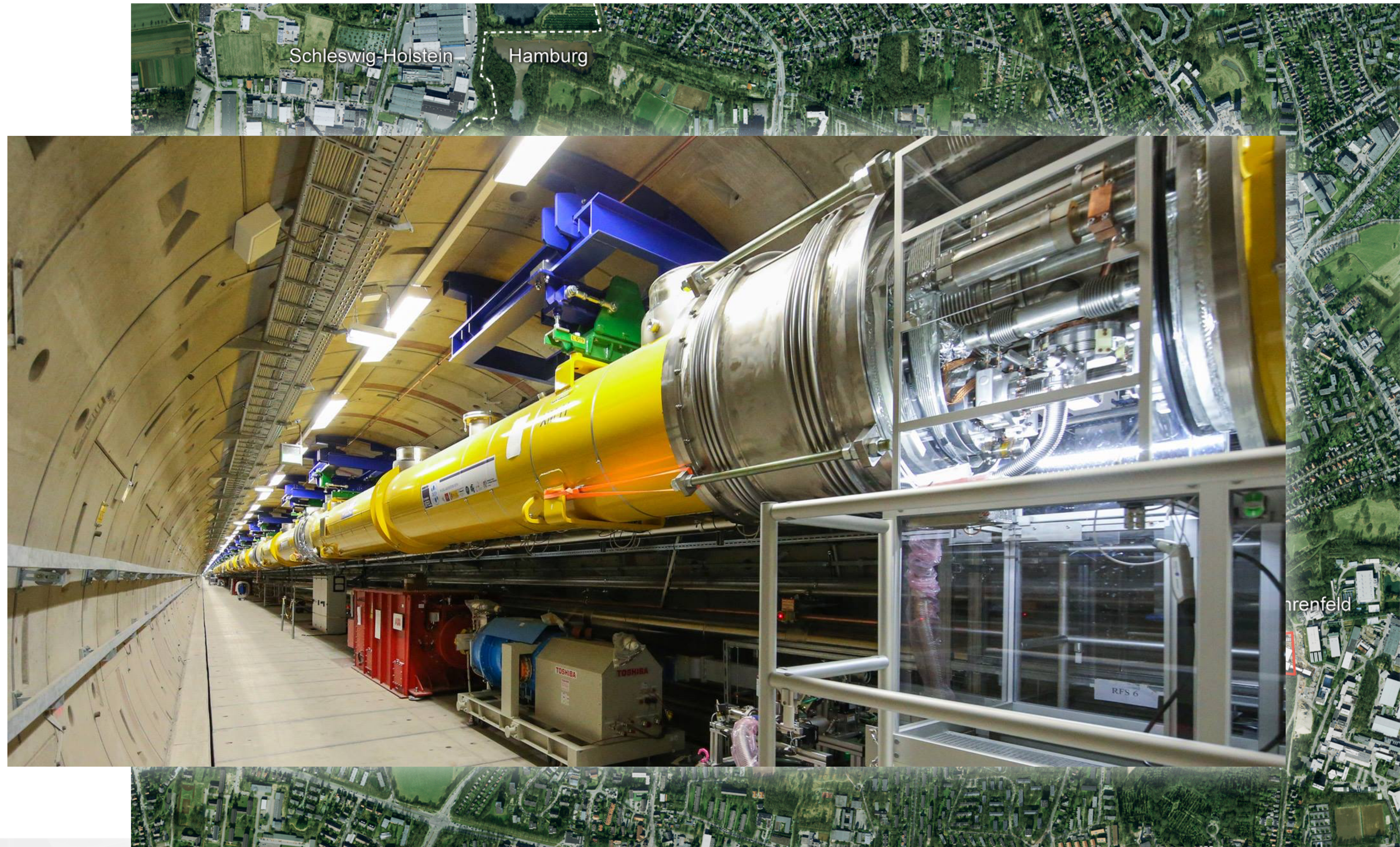
- CMS muon trigger system
- LHCb „straw tube”
- Linac4 - struktury przyspieszające
- GBAR - akcelerator elektronów



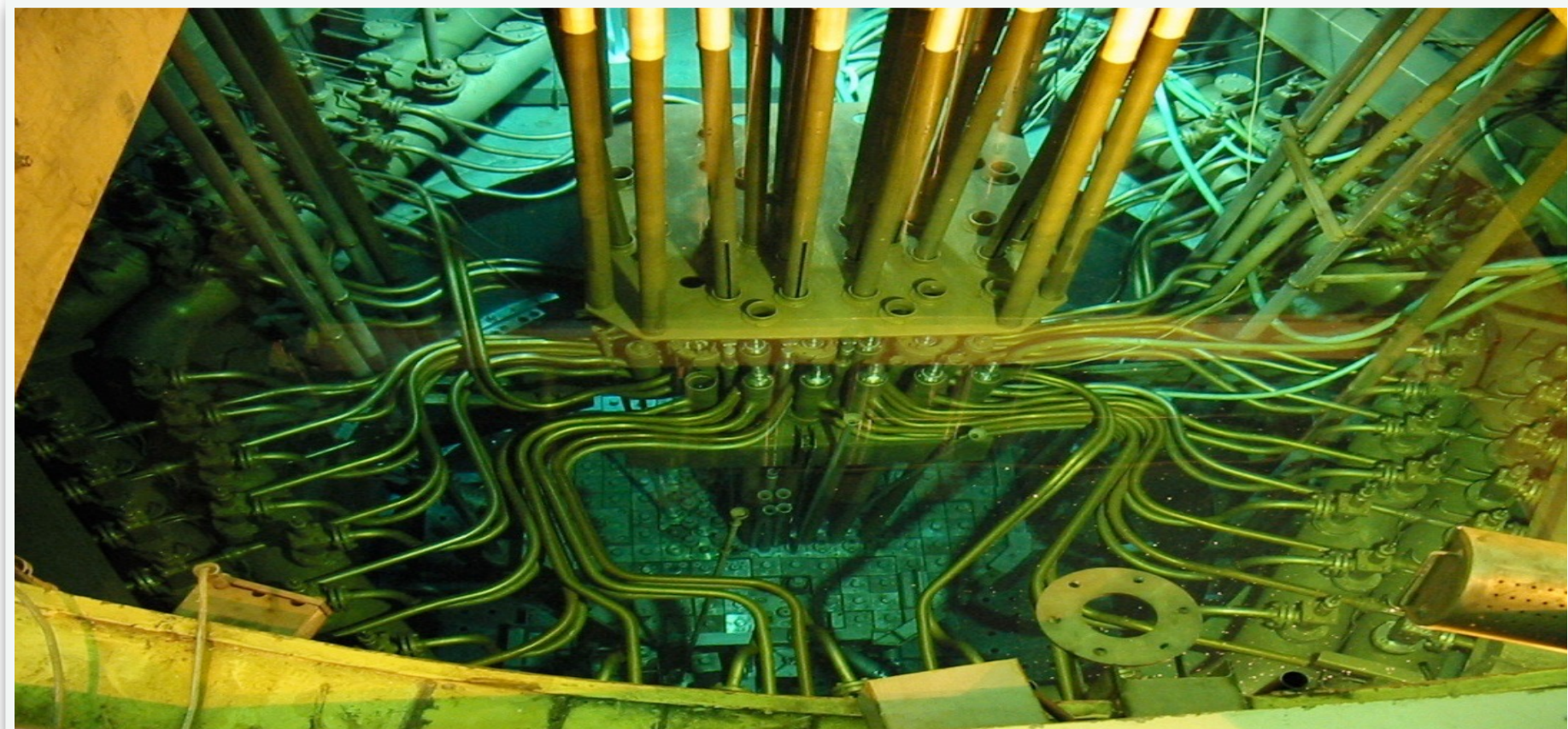
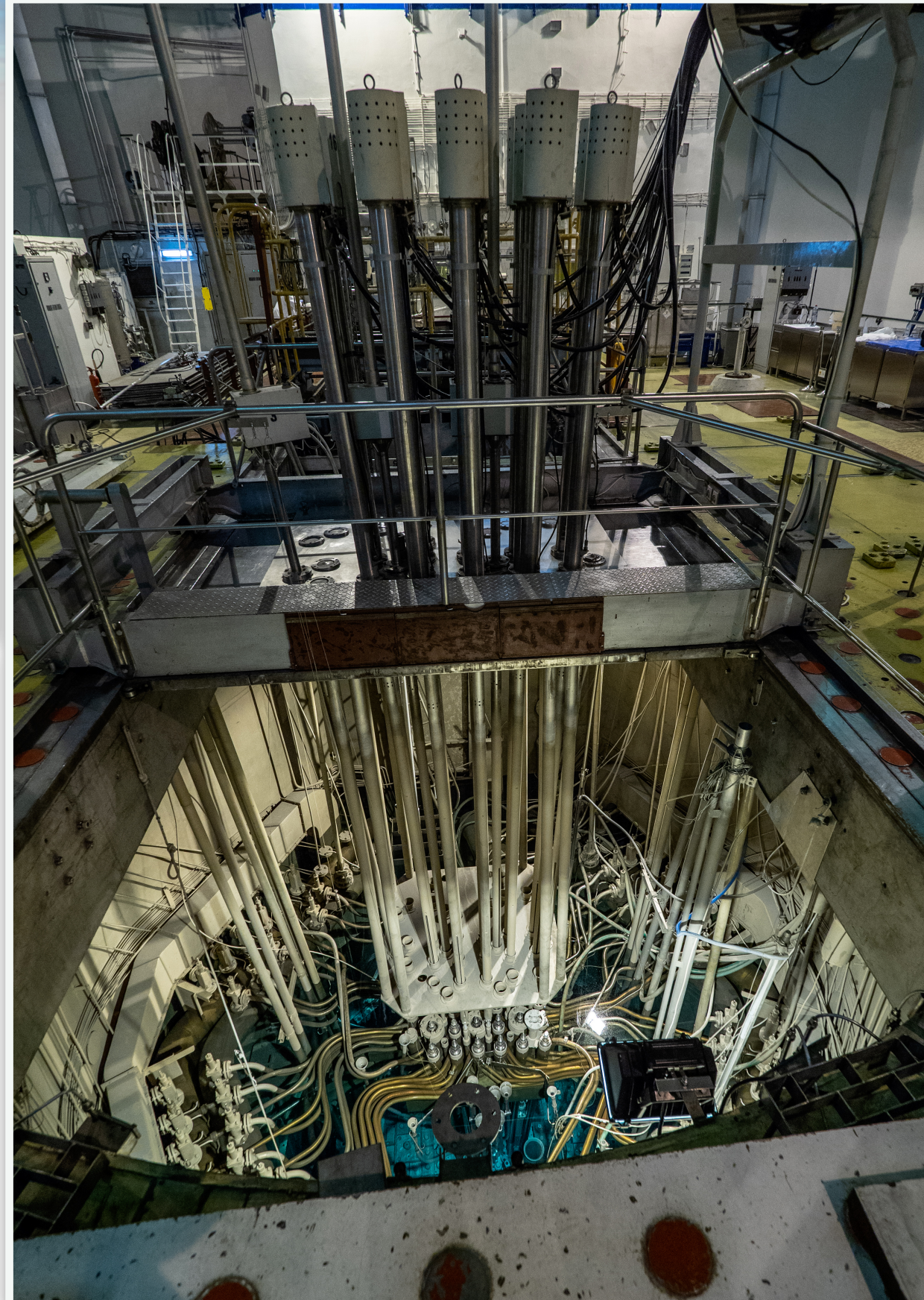
DESY XFEL



DESY XFEL



Badawczy reaktor jądrowy MARIA



- zbudowany w 1974 roku
- modernizowany 1992, 2011, 2017-...
- typu basenowego
- moderowany H_2O , Be
- 30 MW mocy termicznej
- **strumień neutronów:**
 - termicznych: $4 \cdot 10^{14}$ n/cm²s
 - szybkich: $2 \cdot 10^{14}$ n/cm²s

Jedno z najlepszych źródeł neutronów!

- Curium
- POLATOM-NCBJ

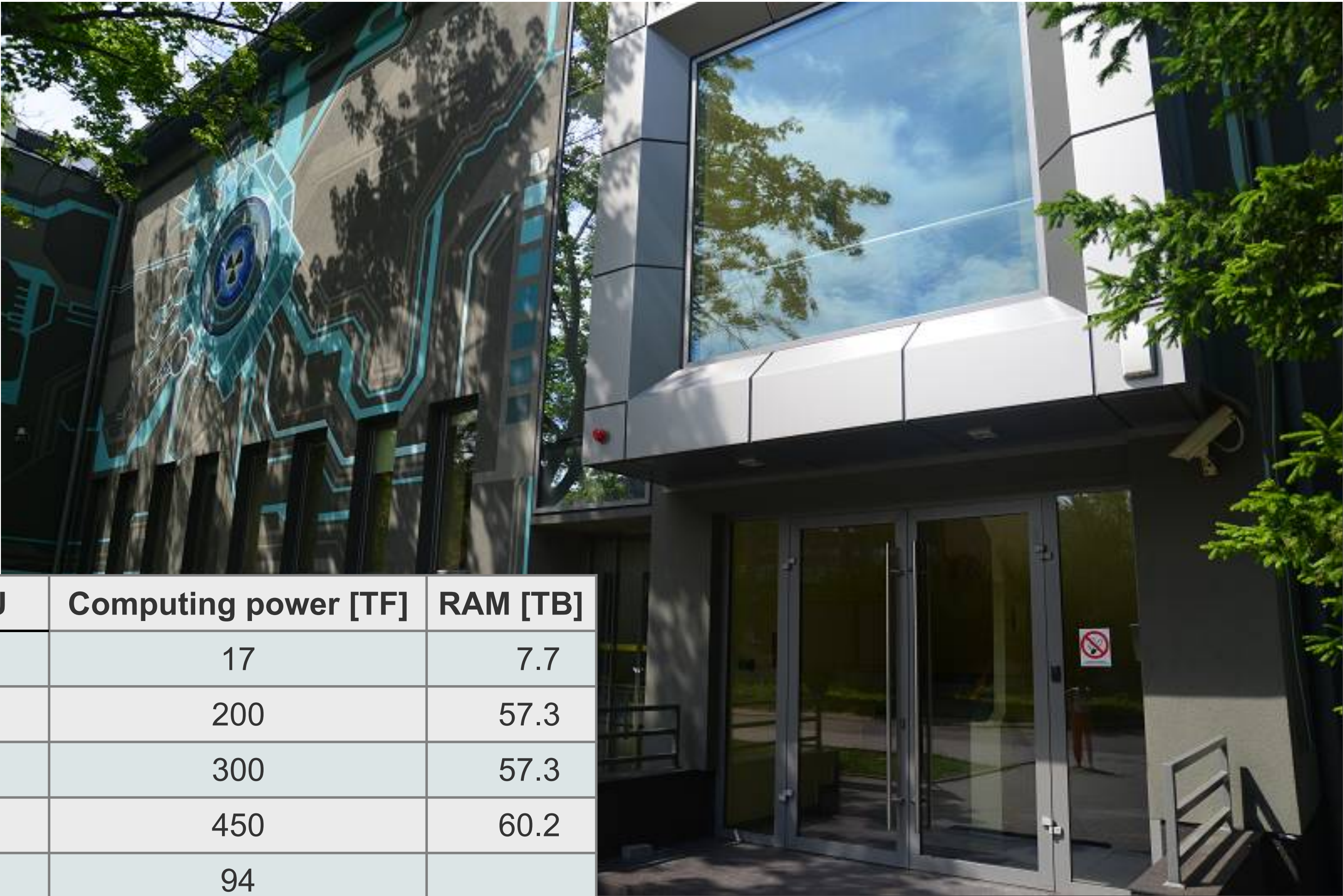
Radioizotopy
dla 400 tys. pacjentów tygodniowo!

Centrum Informatyczne Świerk



Centrum Informatyczne Świerk

Server type	Capacity [PB]
HP MDS600 (SAS)	0.6
NetApp FAS62x0 (Ethernet, NFS)	1.6
EMC Isilon HD400 (Ethernet, pNFS)	7.0
Seagate OneStore (Infiniband, Lustre)	8.0
Total	17.2



Server type	# of computers	# of cores CPU	Computing power [TF]	RAM [TB]
HP-BL685c	30	1920	17	7.7
SuperMicro TwinBlade	448	8960	200	57.3
Bullx B700	448	8960	300	57.3
Format ODYN 5248T	450	11280	450	60.2
NVidia Tesla K80	20	80	94	
Total	1396	31200	1061	182.5

Komory gorące ^{131}I



Komory gorące ^{90}Y i ^{177}Lu



**Radiofarmaceutyki
dopuszczenie do obrotu jako
produkty lecznicze**

**Certyfikowany system
zapewnienia jakości:**

ISO: PN-EN ISO 9001:2015-10

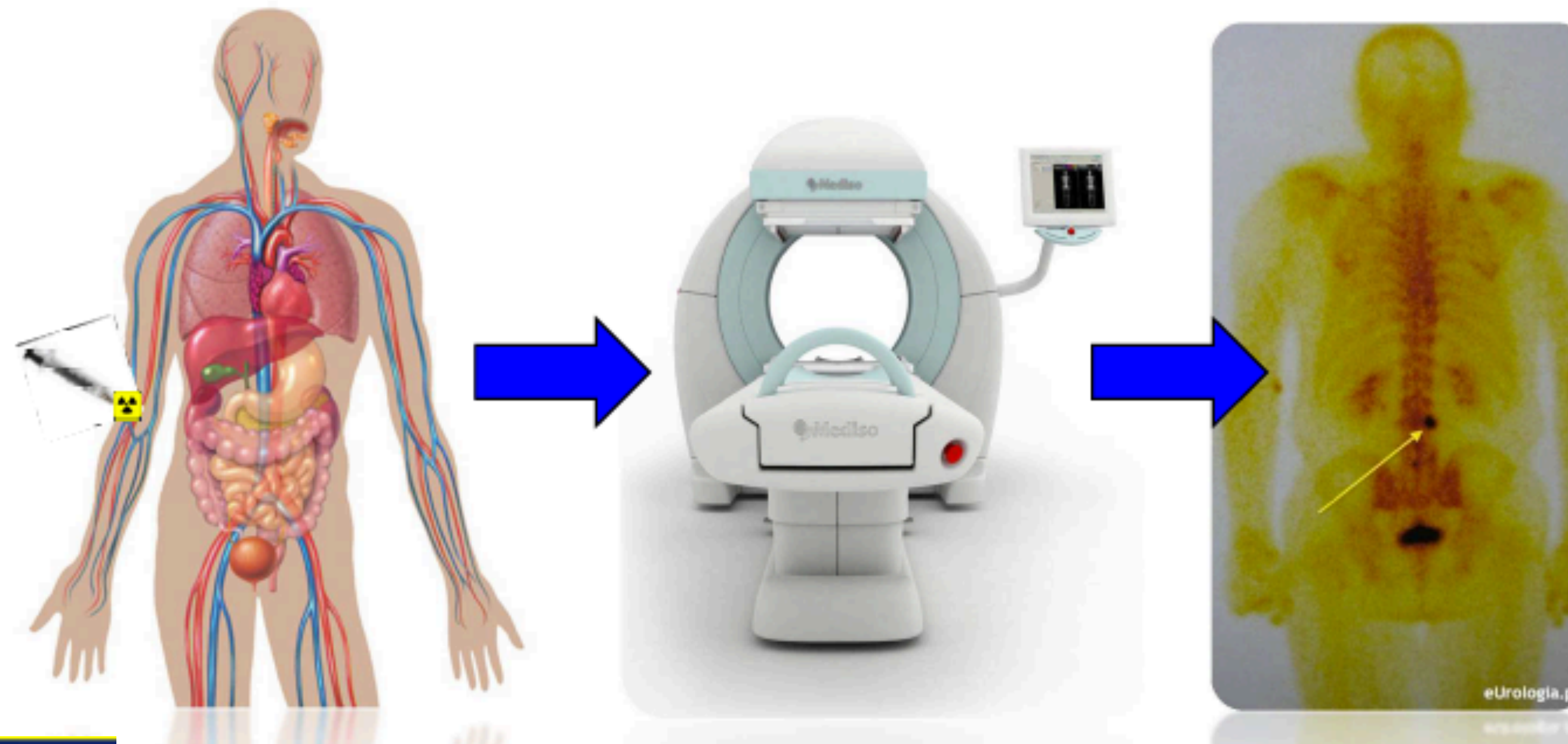
Linia produkcyjna
generatorów $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$



Linia produkcyjna
roztworów iniekcyjnych
 ^{131}I -Hipuran, ^{131}I -MIBG



Ośrodek radioizotopów POLATOM-NCBJ



Eksport do 80 krajów świata
~100% polskiego rynku
(z wyjątkiem PET)

17 mln pacjentów



I-131



Mo-99

Zakład Aparatury Jądrowej HITEC

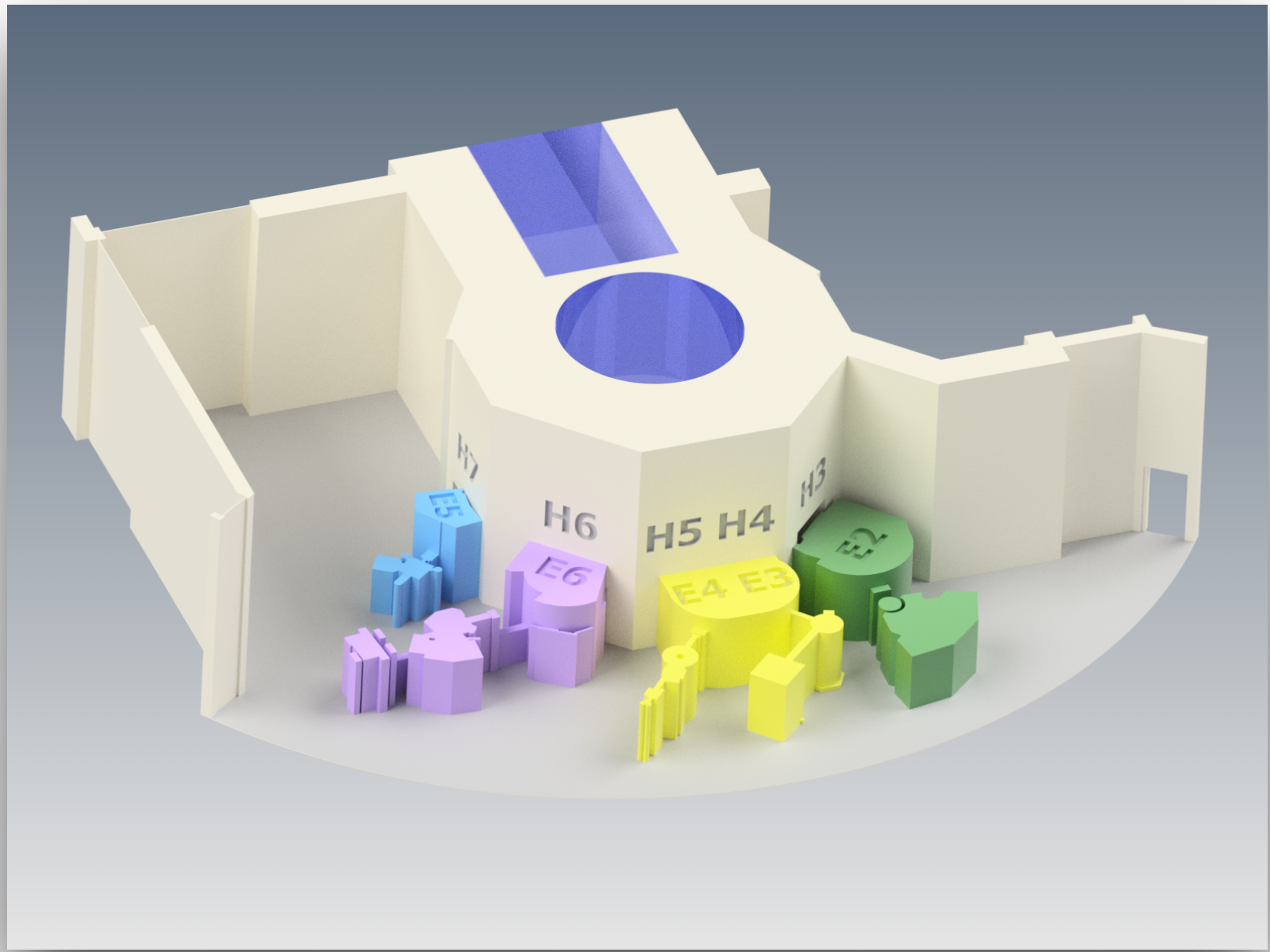
Zakład Aparatury Jądrowej HITEC



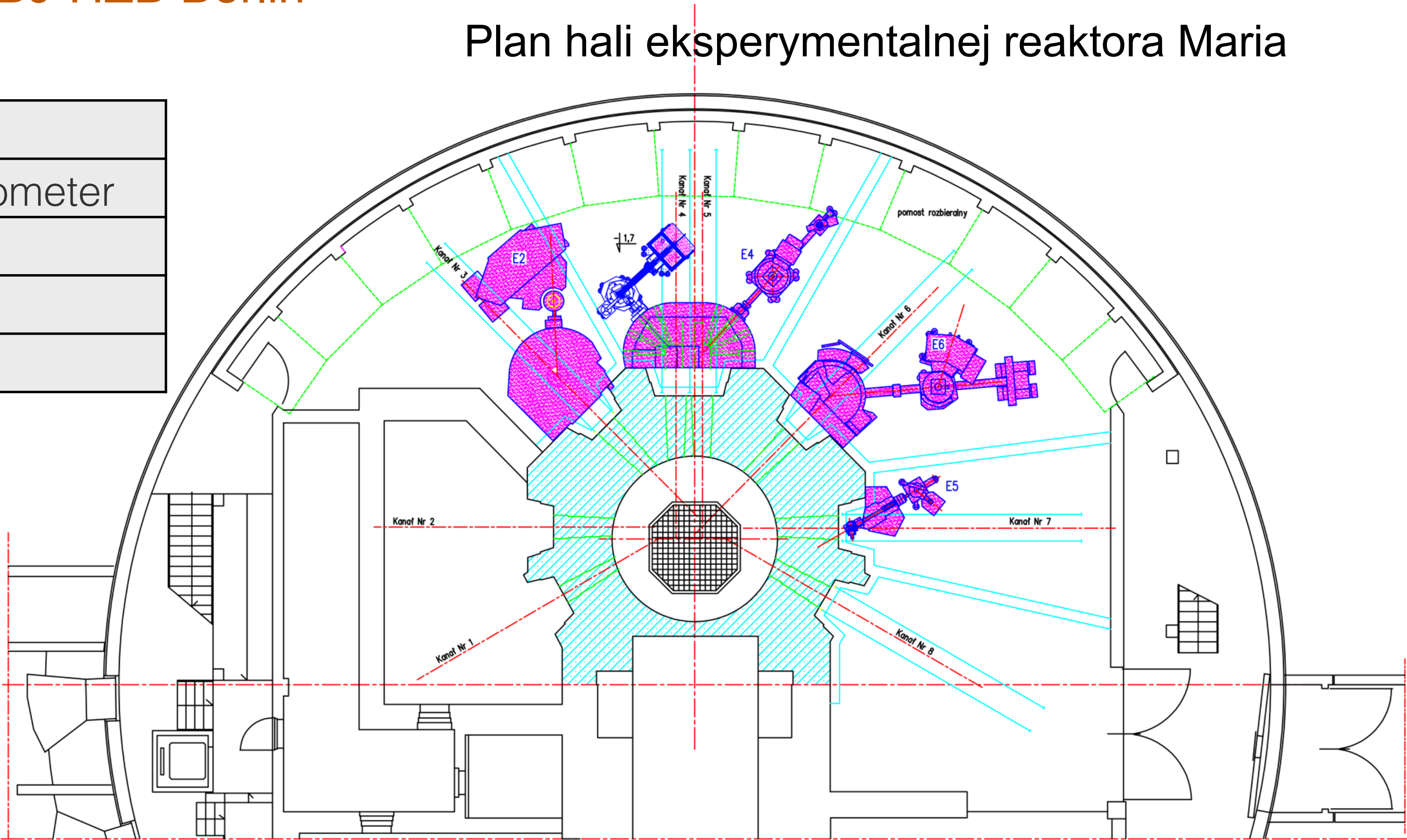


Nowe instrumenty badawcze dla reaktora badawczego Maria Współpraca NCBJ-HZB Berlin

E2	Flat Cone	Diffractometer,
E3	Residual	Stress Analysis Diffractometer
E4	Two-Axis	Diffractometer,
E5	Four-Circle	Diffractometer,
E6	Focusing	Diffractometer.



Plan hali eksperymentalnej reaktora Maria



R2B Hala fizyczna poz.-1,7m
Skala 1:50
Propozycja ustawienia E2,E4,E5,E6



Centrum Projektowania i Syntezy Radiofarmaceutyków Ukierunkowanych Molekularnie

Cel: Stworzenie nowoczesnej infrastruktury badawczej w obszarze poszukiwania nowych **radiofarmaceutyków** do diagnostyki i terapii, opartych na aktywnych biologicznie ligandach działających na poziomie komórkowym i molekularnym. Połączenie technik izotopowych z molekularnymi markerami stanu chorobowego umożliwi wcześniejsze wykrywanie schorzeń i wdrożenie odpowiednich procedur terapeutycznych.

Poszerzenie zakresu dostępnych radionuklidów:

^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F , ^{22}Na , ^{44}Sc , ^{47}Sc , ^{74}As , ^{64}Cu , ^{67}Cu , ^{67}Ga , ^{68}Ge , ^{81}Rb , ^{82}Sr , ^{86}Y , ^{89}Zr , $^{94\text{m}}\text{Tc}$, $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{109}Cd , ^{111}In , ^{123}I , ^{124}I , ^{201}Tl , ^{211}At , ^{225}Ac ,

Nowe techniki obrazowania:

Skanery multimodalne,
laboratoria syntezy chemicznej i laboratoria biochemiczne.

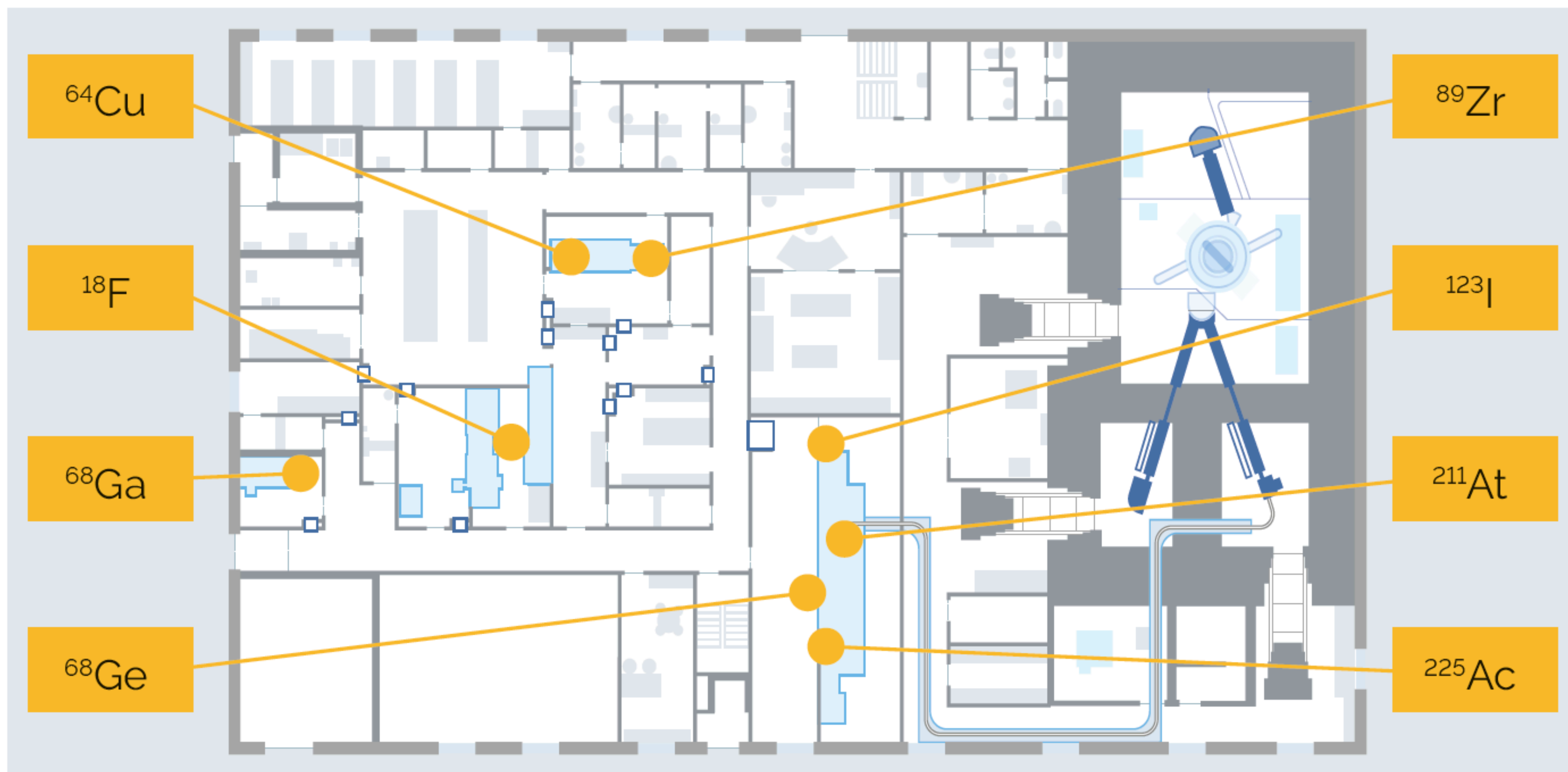


Cyklotron 30 MeV

Przyspiesza protony i cząstki alfa
do energii 30 MeV oraz
deuterony do energii 15 MeV

Koszt: ~ 144 mln zł
dofinansowanie: 73 mln zł

CERAD infrastructure



Projekt NOMATEN

budowa tzw. Centrum Doskonałości (*Center of Excellence*) finansowana z grantu FNP MAB Plus oraz z prestiżowego grantu Komisji Europejskiej w ramach Konkursu Teaming;

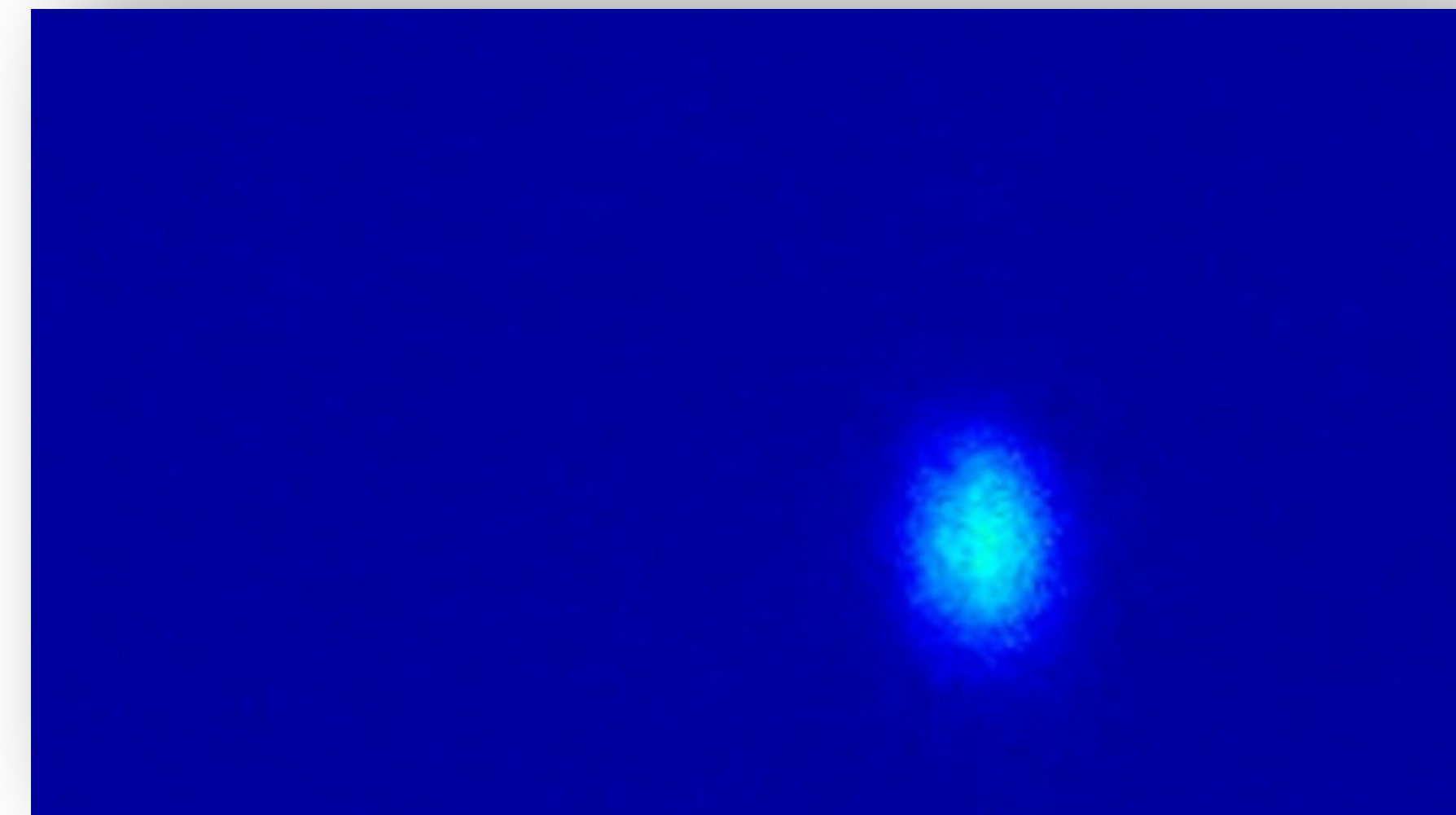
wartość projektu: 108 425 049 zł.,
w tym wartość dofinansowania dla NCBJ: 89 214 677 zł

Projekt CETRIX

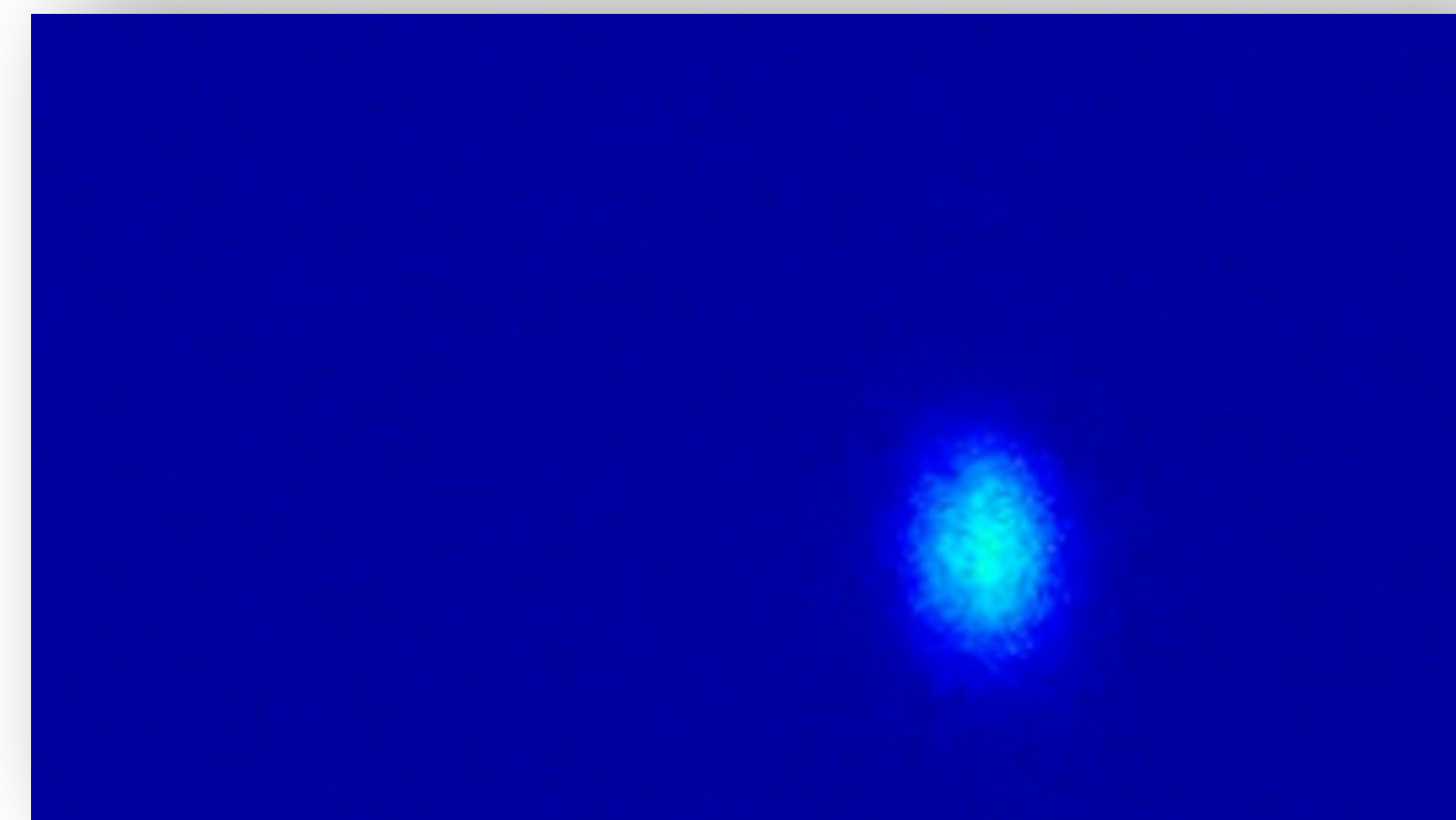
projekt podwójnego akceleratora radiograficznego wraz z laboratorium;

wartość projektu: 28 mln zł.,
dofinansowaniae: 17,7 mln zł.

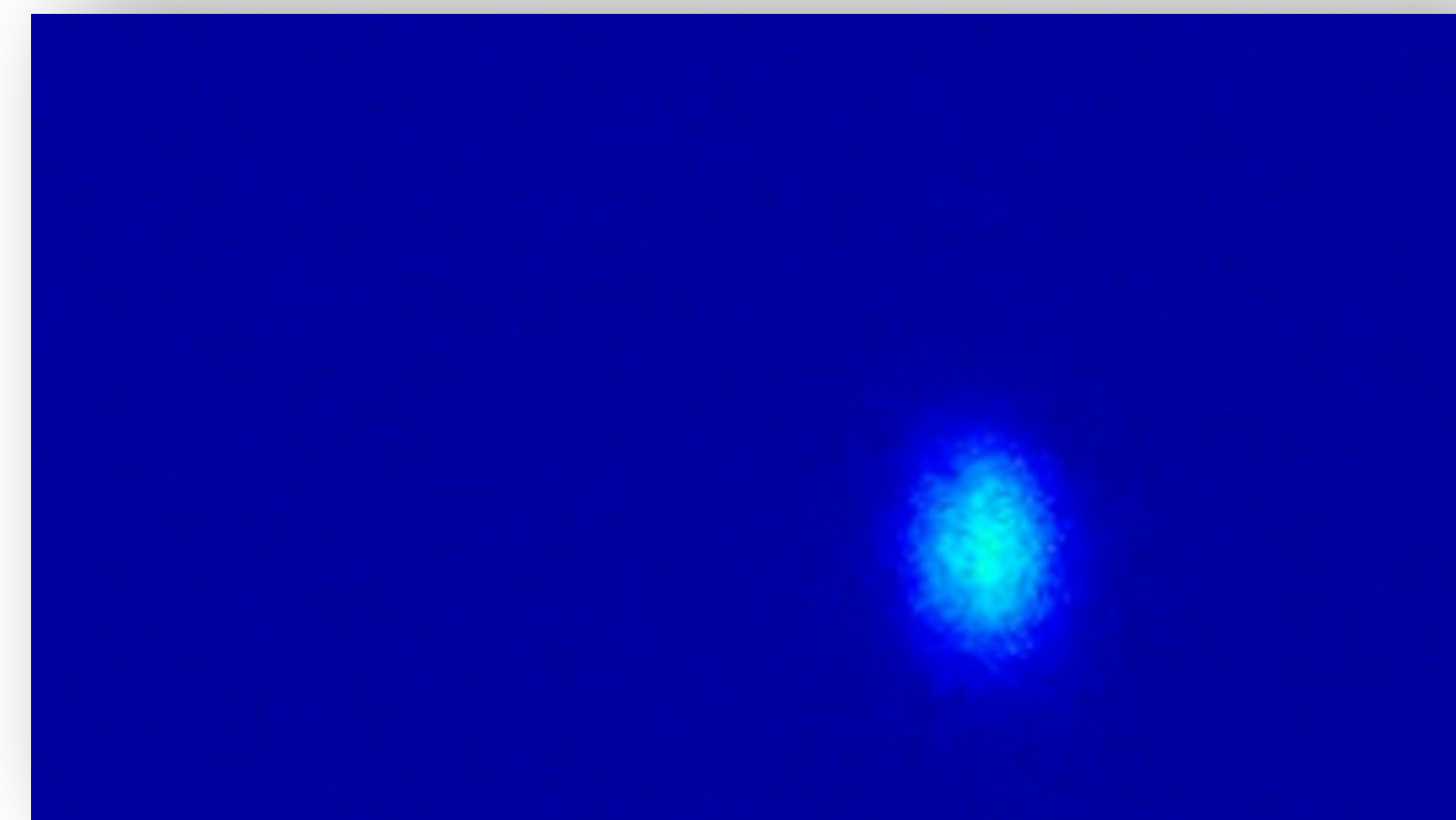
- Nowe źródła światła od zawsze były kamieniami milowymi rozwoju ludzkiej cywilizacji. Ogniska stanowią wyznacznik jej zarania. Świeca symbolizuje początek systematycznego zbierania wiedzy. Żarówka Edisona stała się ikoną nowoczesnej wynalazczości, a laser – symbolem nowych technologii.”



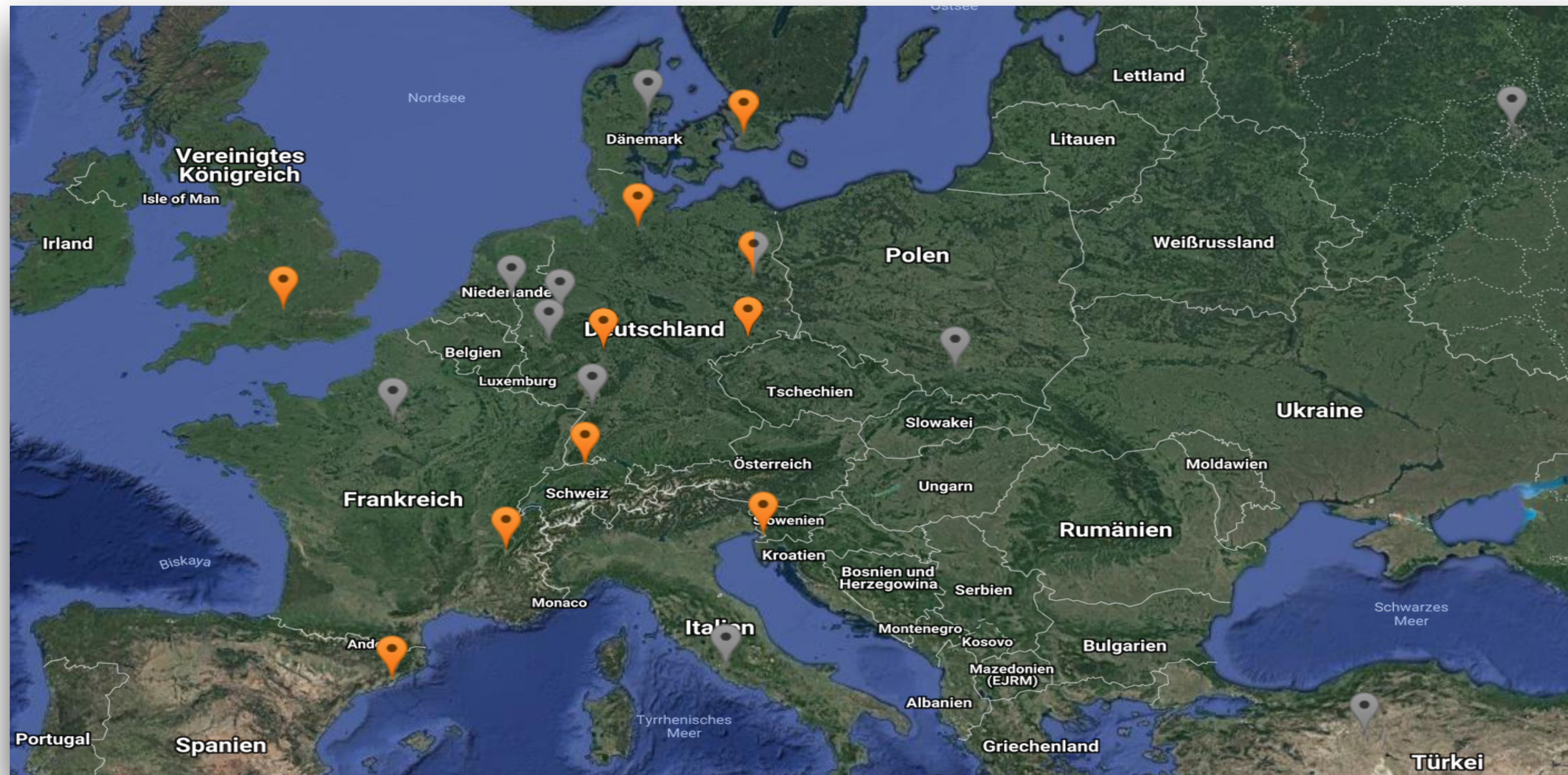
- Nowe źródła światła od zawsze były kamieniami milowymi rozwoju ludzkiej cywilizacji. Ogniska stanowią wyznacznik jej zarania. Świeca symbolizuje początek systematycznego zbierania wiedzy. Żarówka Edisona stała się ikoną nowoczesnej wynalazczości, a laser – symbolem nowych technologii.”
- Rozwój wymaga coraz wyższych średnich i szczytowych jasności - synchrotronowe źródła światła:
 - Fascynująca fizyka fotonowa
 - 26 nagród Nobla za badania z użyciem promieniowania synchrotronowego



- Nowe źródła światła od zawsze były kamieniami milowymi rozwoju ludzkiej cywilizacji. Ogniska stanowią wyznacznik jej zarania. Świeca symbolizuje początek systematycznego zbierania wiedzy. Żarówka Edisona stała się ikoną nowoczesnej wynalazczości, a laser – symbolem nowych technologii.”
- Rozwój wymaga coraz wyższych średnich i szczytowych jasności - synchrotronowe źródła światła:
 - Fascynująca fizyka fotonowa
 - 26 nagród Nobla za badania z użyciem promieniowania synchrotronowego
- Lasery na swobodnych elektronach
to źródła synchrotronowe 4-ej generacji, łączące zalety lasera:
 - spójność
 - ultra-krótkie impulsyoraz synchrotronu:
 - przestrajalność energii fotonów
 - wysokie natężenie
 - zakres krótkofalowy



Źródła fotonów w Europie



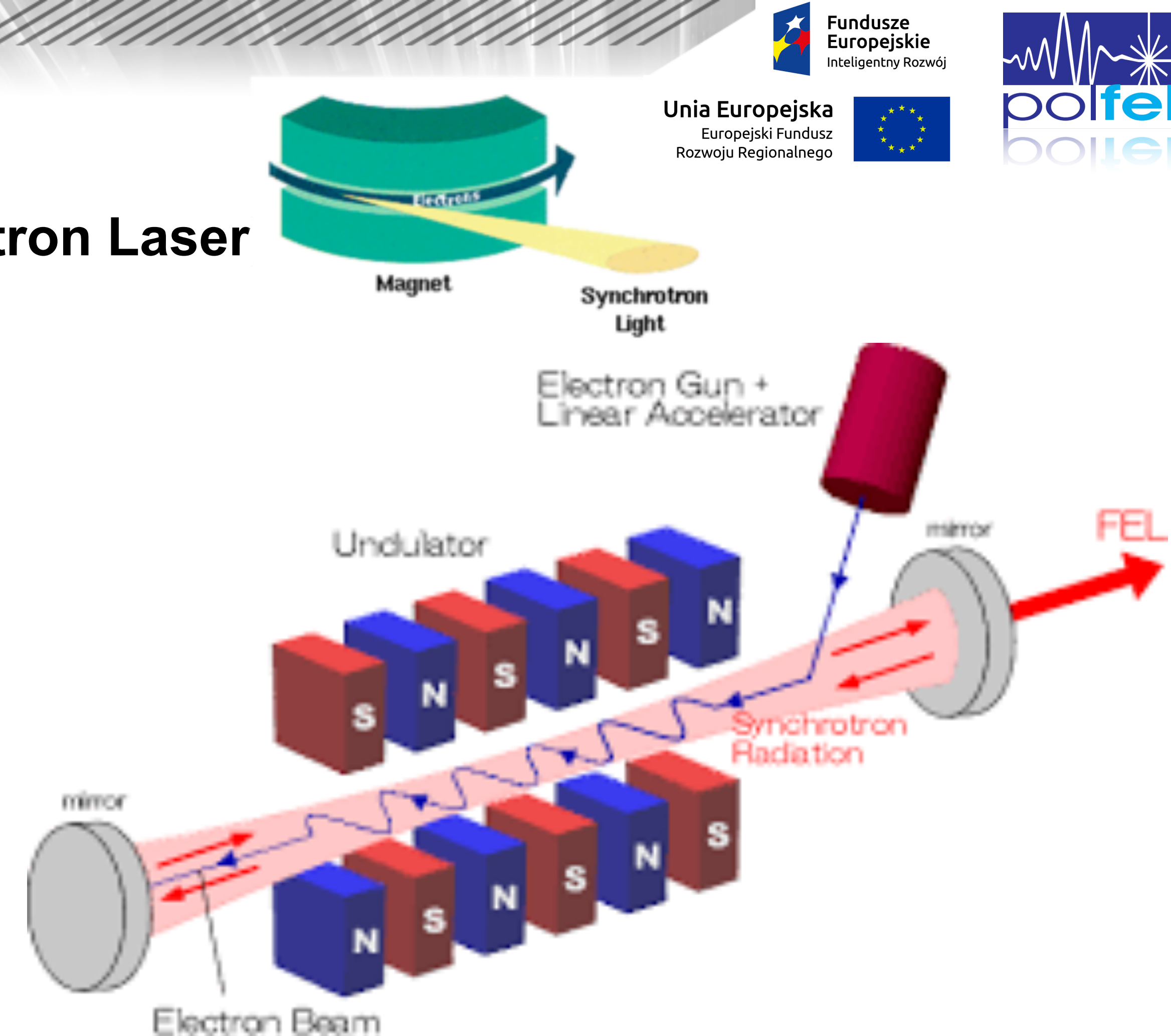
Courtesy Lightsources.org
Orange marked laboratories are
members of the Lightsources.org

Laser na swobodnych elektronach – FEL (Free Electron Laser)

- Idea - 1971 r., John Madey, Stanford University
- Wiązka relatywistycznych elektronów + undulator

$$\lambda_r = \frac{\lambda_u}{2\gamma^2} \left(1 + \frac{K^2}{2} \right) \quad K = \frac{eB\lambda_u}{2\pi m_e c}$$

- Ultrakrótkie impulsy (femto-, attosekundowe)
- Intensywność przekraczająca ok. 1000 razy intensywność konwencjonalnych źródeł synchrotronowych
- Przystrajalna długość fali
- Zjawisko SASE – dla zakresów UV rentgenowskiego



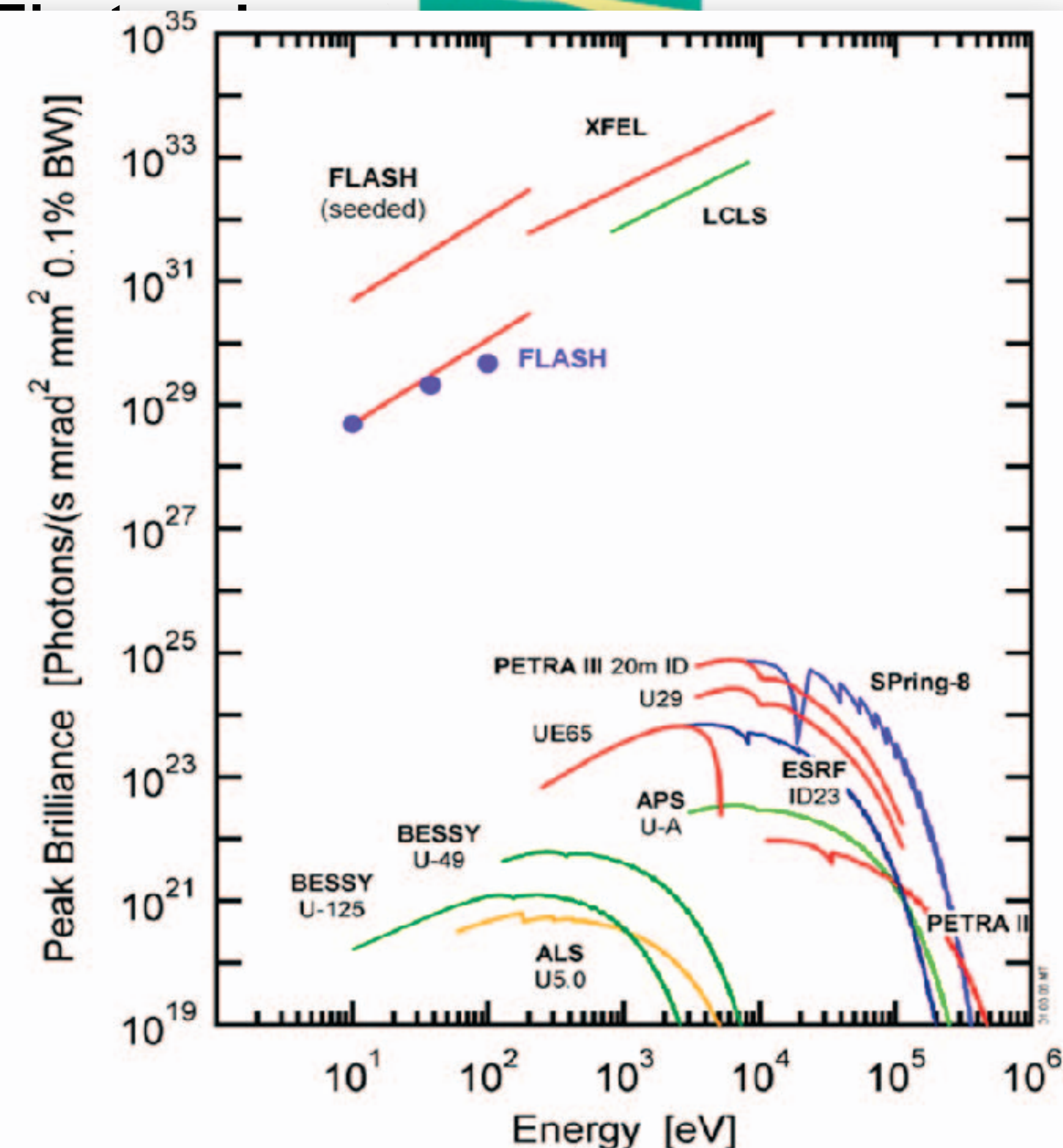


Laser na swobodnych elektronach – FEL (Free

- Idea - 1971 r., John Madey, Stanford University
- Wiązka relatywistycznych elektronów + undulator

$$\lambda_r = \frac{\lambda_u}{2\gamma^2} \left(1 + \frac{K^2}{2} \right) \quad K = \frac{eB\lambda_u}{2\pi m_e c}$$

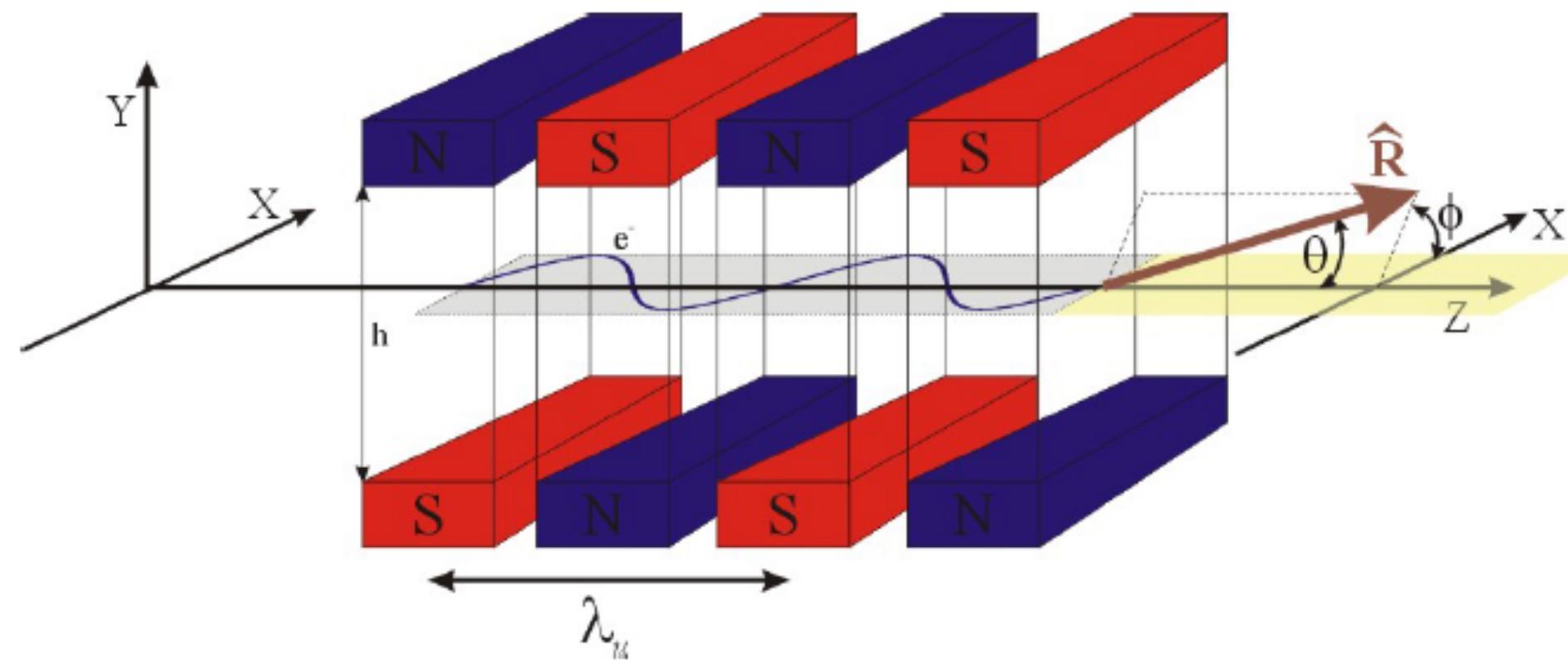
- Ultrakrótkie impulsy (femto-, attosekundowe)
- Intensywność przekraczająca ok. 1000 razy intensywność konwencjonalnych źródeł synchrotronowych
- Przechodząca długość fali
- Zjawisko SASE – dla zakresów UV rentgenowskich



Emission by free electron:

Undulator radiation

$$\vec{E}(x, t) = \frac{e}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \frac{\hat{R} - \vec{\beta}}{\gamma^2 (1 - \beta \hat{R})^3 R^2} \right\} + \frac{e}{4\pi\epsilon_0 c} \left\{ \frac{\hat{R} \times \left[(\hat{R} - \vec{\beta}) \times \vec{\beta} \right]}{\gamma^2 (1 - \beta \hat{R})^3 R} \right\}$$



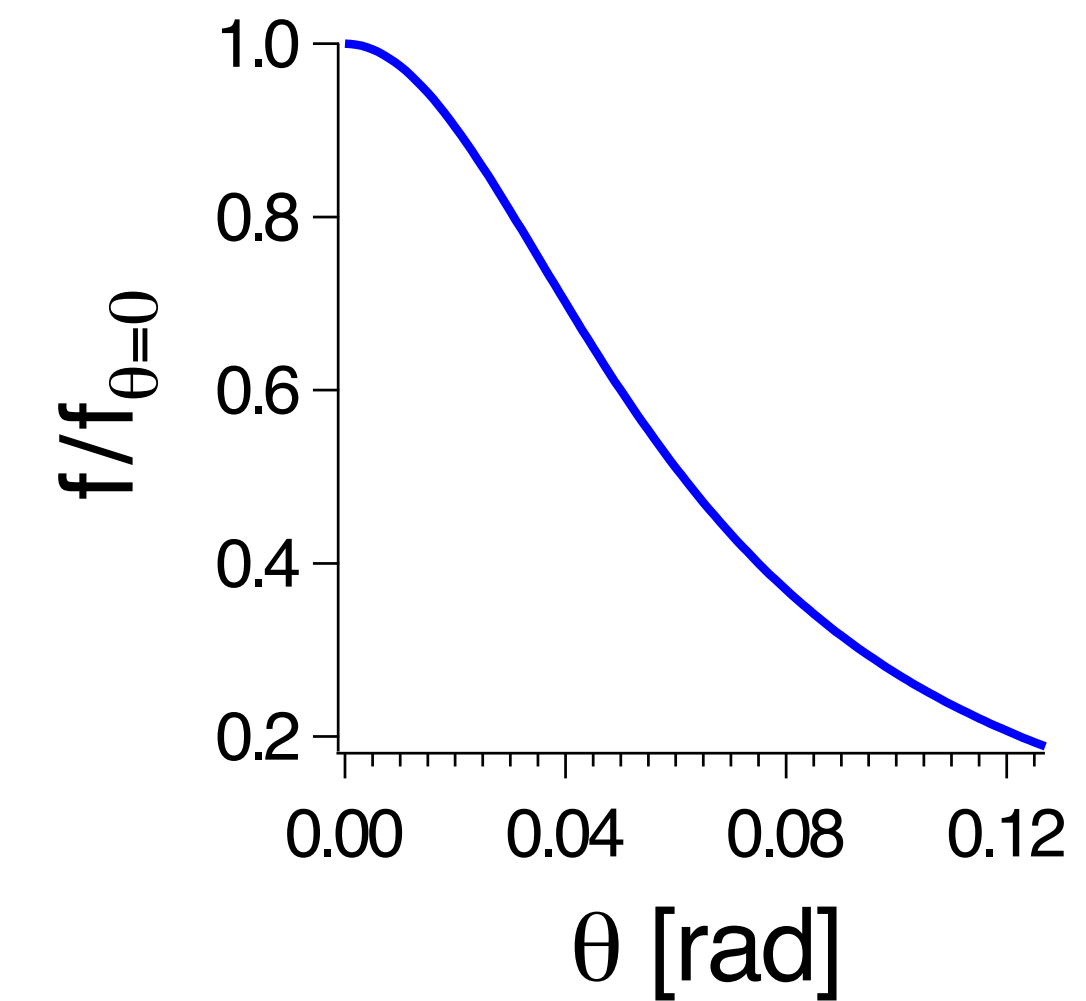
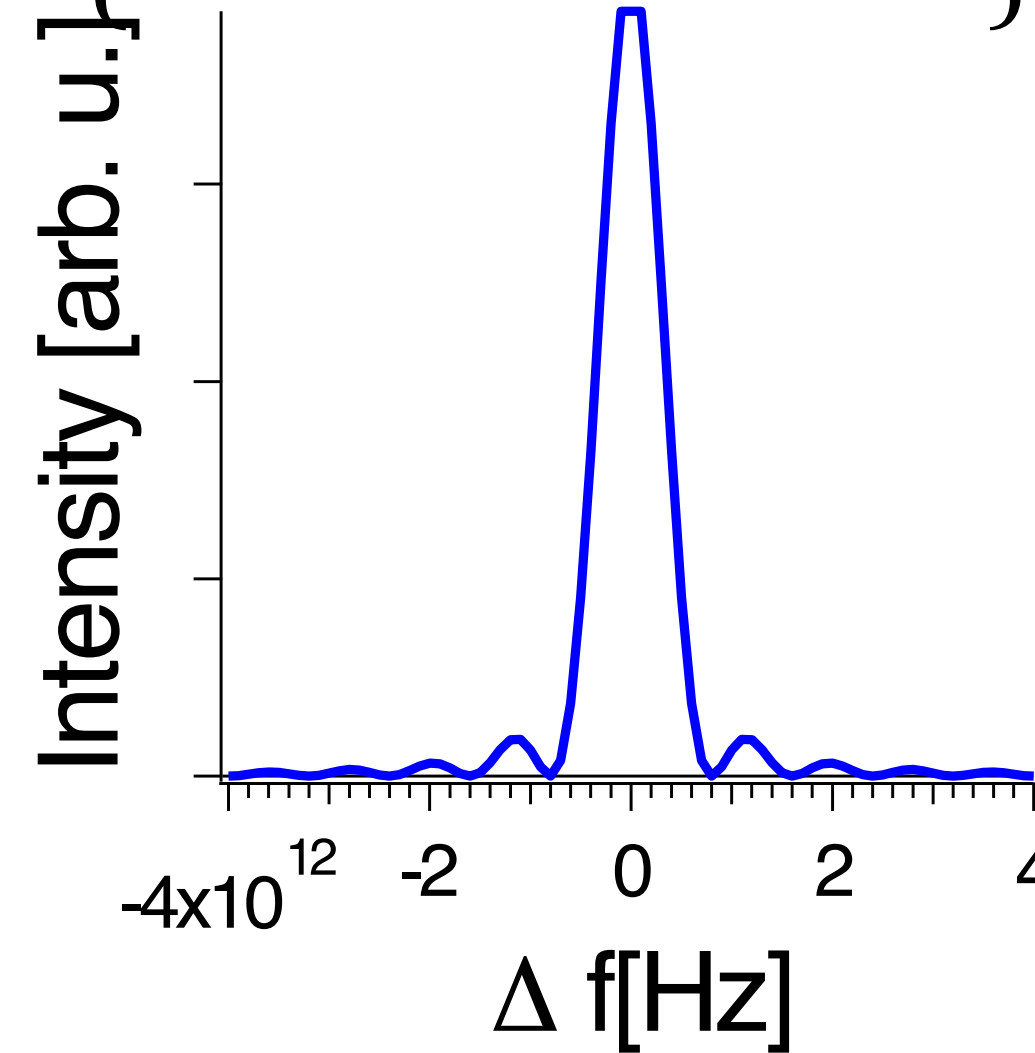
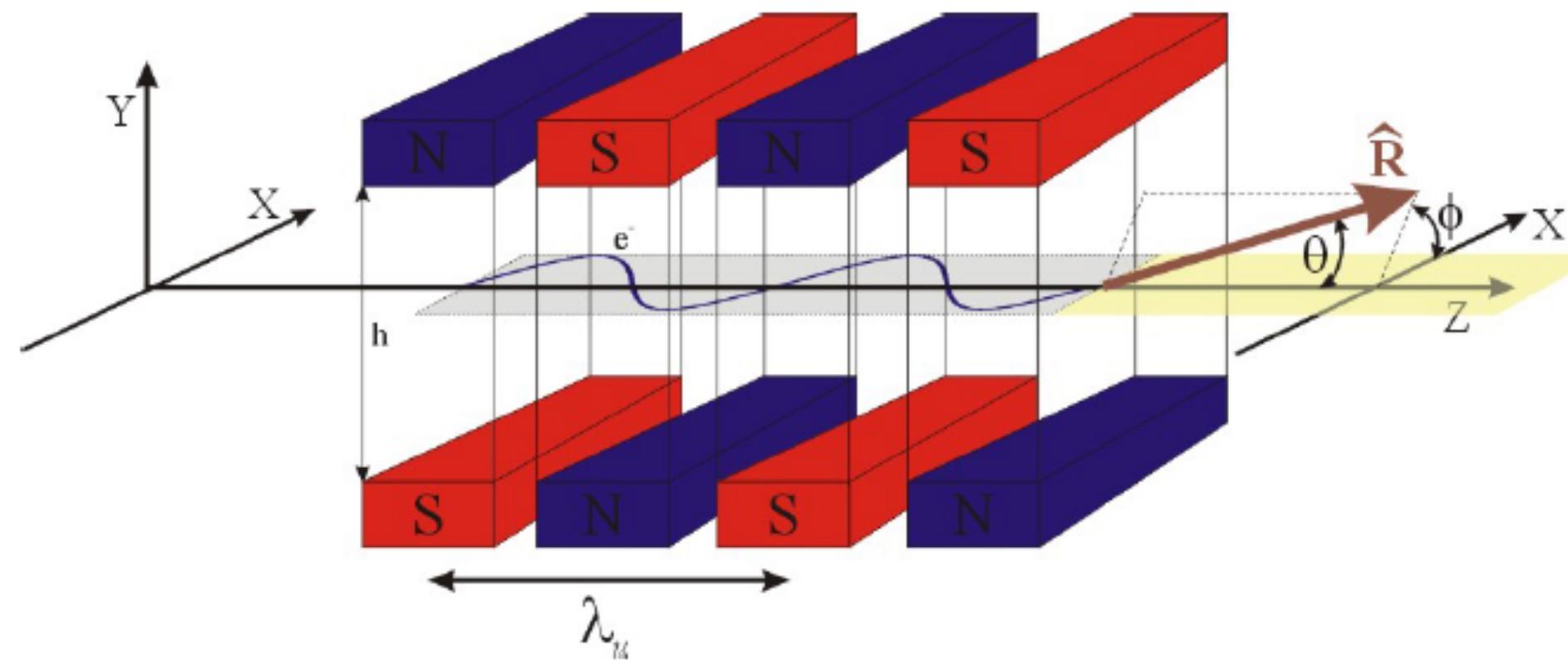
$$\frac{d^2 E_{1e}}{d\Omega d\omega} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 c} \frac{(K\gamma N_u)^2}{\left(1 + \frac{1}{2}K^2 + \gamma^2\theta^2\right)^4} \left((1 - \gamma^2\theta^2 \cos 2\phi)^2 + \gamma^4\theta^4 \sin^2 2\phi \right) \left(\frac{\sin\left(\pi N_u \frac{\Delta\omega}{\omega_{ph}}\right)}{\pi N_u \frac{\Delta\omega}{\omega_{ph}}} \right)^2$$

Tuneability: gap g (K), electrons energy γ

$$\lambda_{ph} = \frac{\lambda_u}{2\gamma^2} \left(1 + \frac{K^2}{2} + \gamma^2\theta^2 \right) \quad K = \frac{eB\lambda_u}{2\pi m_e c} = 0.9 \quad B[T]\lambda_u[cm] \quad B = 1.7 B_r \exp\left(-\pi \frac{g}{\lambda_u}\right)$$

$$\vec{E}(x, t) = \frac{e}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \frac{\hat{R} - \vec{\beta}}{\gamma^2 (1 - \beta \hat{R})^3 R^2} \right\} + \frac{e}{4\pi\epsilon_0 c} \left\{ \frac{\hat{R} \times \left[(\hat{R} - \vec{\beta}) \times \vec{\beta} \right]}{\gamma^2 (1 - \beta \hat{R})^3 R} \right\}$$

Undulator radiation



$$E = A(\theta, \phi, \omega, \gamma) \cdot N_u^2 \frac{\sin \Delta \omega}{\Delta \omega}$$

Tuneability: gap g (K), electrons energy γ

$$\lambda_{ph} = \frac{\lambda_u}{2\gamma^2} \left(1 + \frac{K^2}{2} + \gamma^2 \theta^2 \right) \quad K = \frac{eB\lambda_u}{2\pi m_e c} = 0.9 \frac{B[T]\lambda_u[cm]}{1} \quad B = 1.7 B_r \exp \left(-\pi \frac{g}{\lambda_u} \right)$$

Superriadiant emission from a bunch of electrons

- Bunch can be considered as a single particle multiply (10^8) charged: constructive interference, in phase
- Coherent emission occurs when bunch length σ significantly shorter than emitted wavelength λ

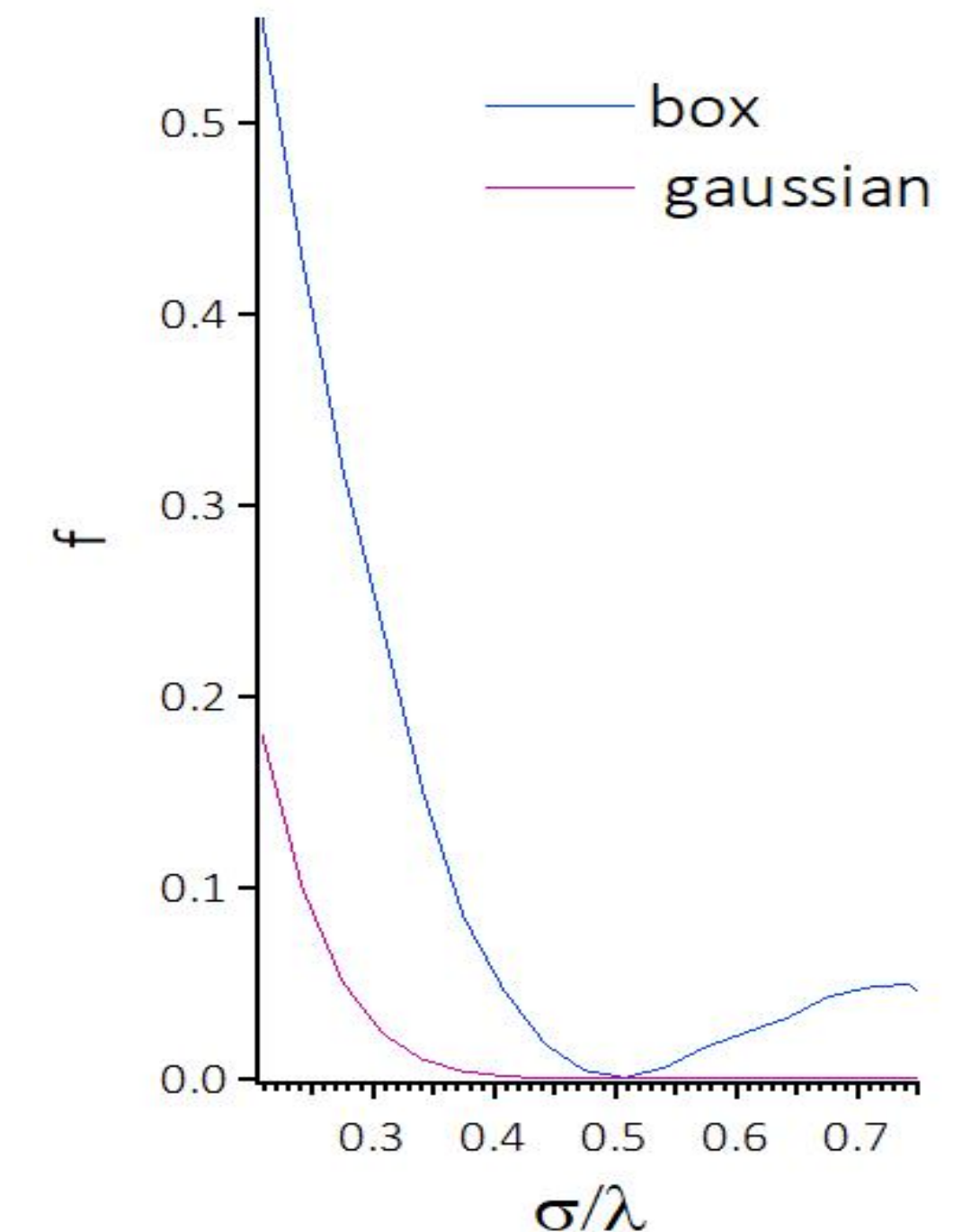
$$E_{pulse} = E_{1e} \cdot \left| \sum_{j=1}^{N_e} e^{ikz_j} \right|^2 = E_{1e} \cdot N_e + E_{1e} \cdot f^2 \cdot N_e(N_e - 1) \sim (fN_u N_e)^2$$

$$f(k) = \int S(\vec{r}) \exp(-i \vec{k} \cdot \vec{r}) d\vec{r}$$

N_e – number of electrons in bunch; N_u – number of undulator periods;
 f – bunch form factor

- bunch transverse size in the range of $\frac{\lambda}{4\pi}$

• THz 450 μm – 100 μm



Superriadiant emission from a bunch of electrons

- Bunch can be considered as a single particle multiply (10^8) charged: constructive interference, in phase
- Coherent emission occurs when bunch length σ significantly shorter than emitted wavelength λ

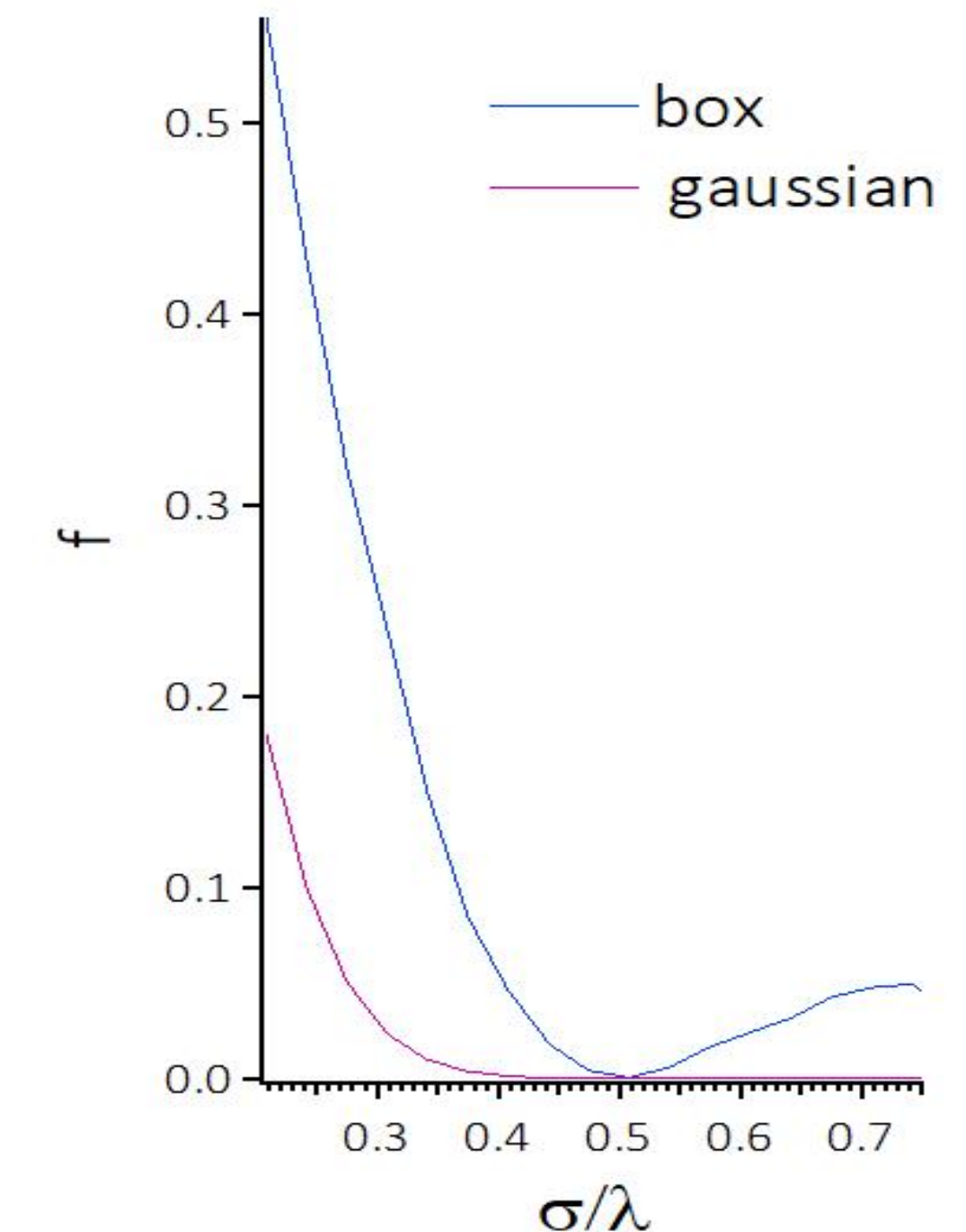
$$E_{pulse} = E_{1e} \cdot \left| \sum_{j=1}^{N_e} e^{ikz_j} \right|^2 = E_{1e} \cdot N_e + E_{1e} \cdot f^2 \cdot N_e(N_e - 1) \sim (fN_u N_e)^2$$

$$f(k) = \int S(\vec{r}) \exp(-i \vec{k} \cdot \vec{r}) d\vec{r}$$

N_e – number of electrons in bunch; N_u – number of undulator periods;
 f – bunch form factor

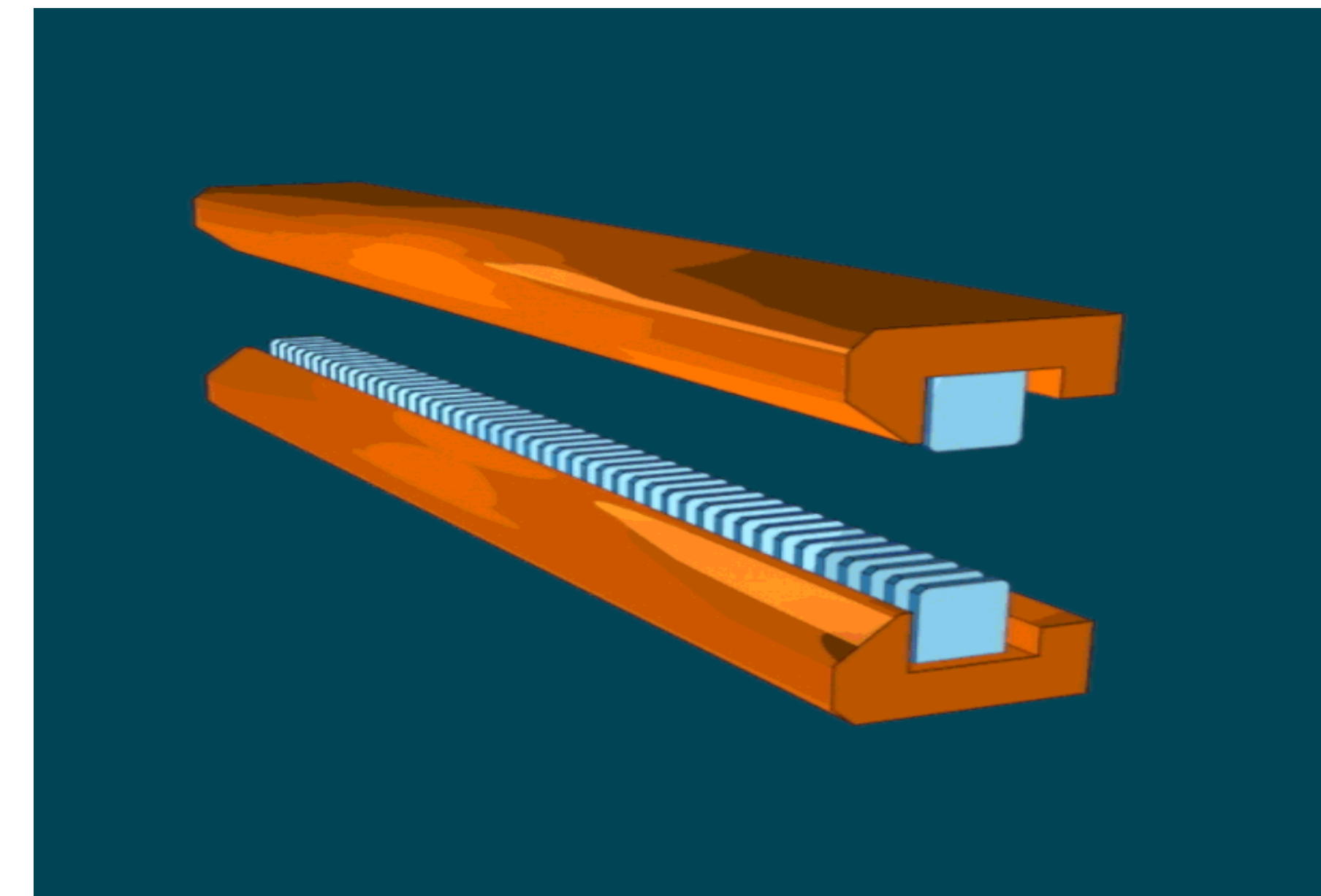
- bunch transverse size in the range of $\frac{\lambda}{4\pi}$

• THz 450 μm – 100 μm



SASE - Self Amplified Spontaneous Emission

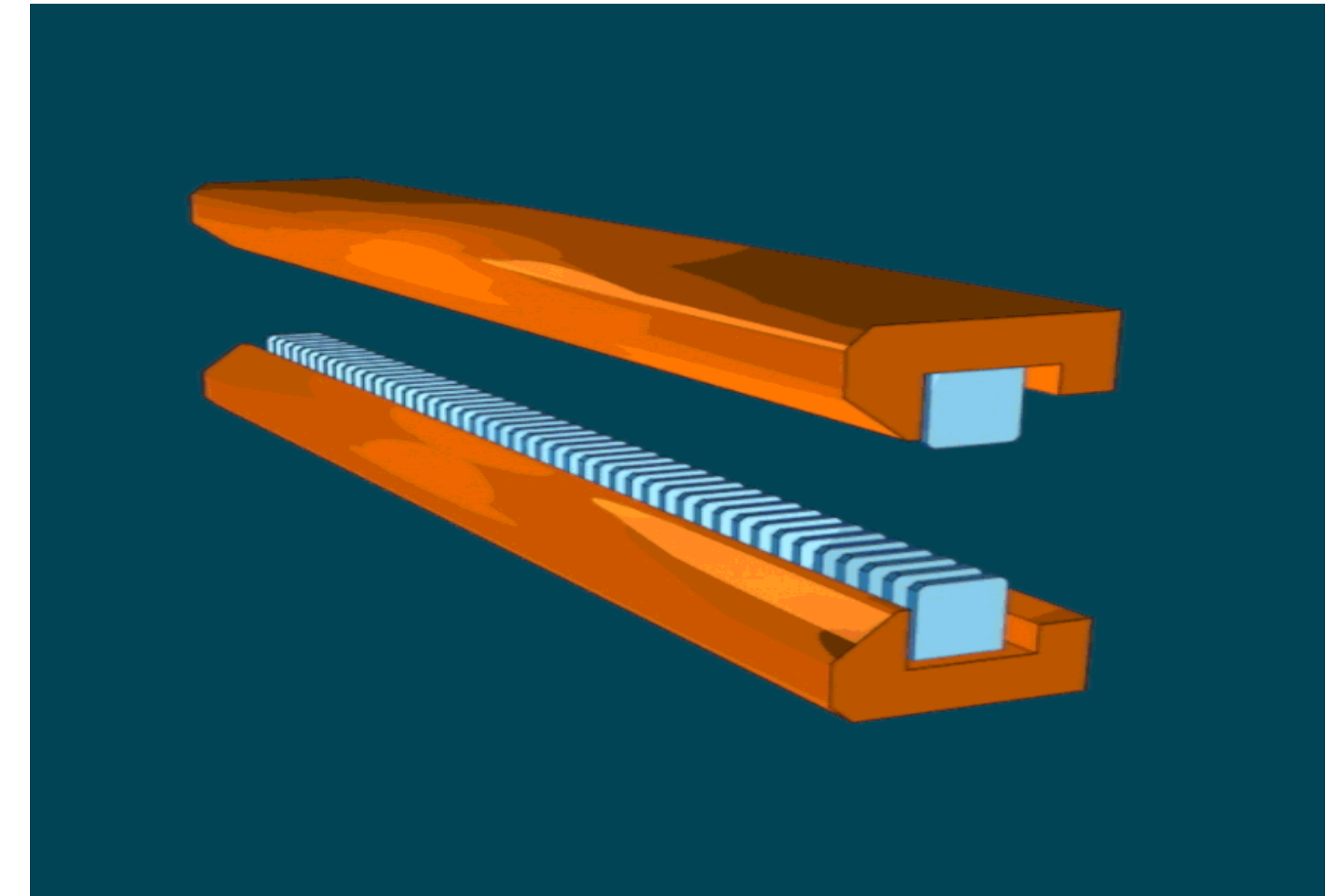
- Spontaniczna emisja promieniowania synchrotronowego o długości λ_r w undulatorze
- Przekaz energii od wiązki elektronów do impulsu świetlnego



Źródło obrazów:
SLAC, DESY

SASE - Self Amplified Spontaneous Emission

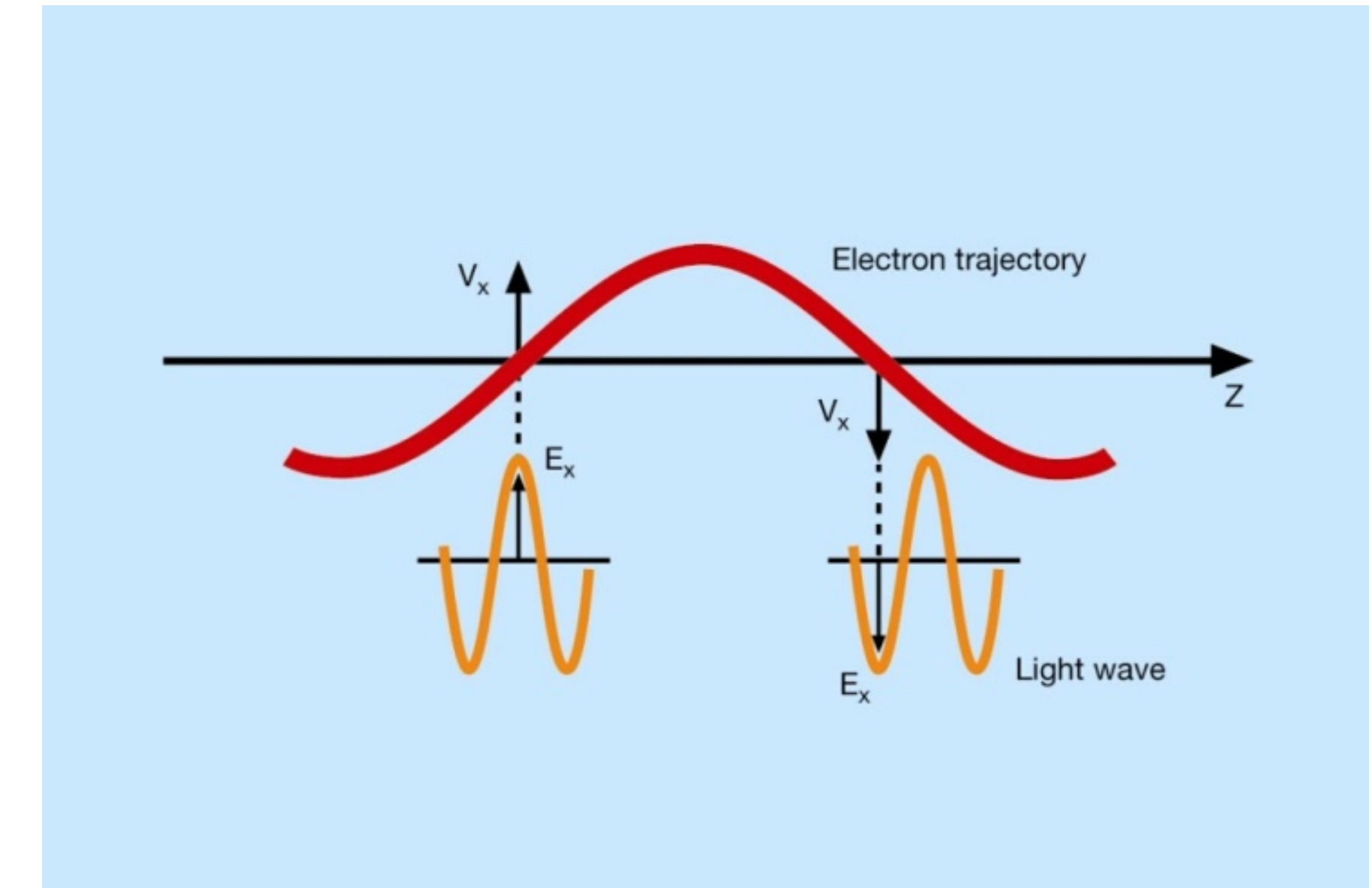
- Spontaniczna emisja promieniowania synchrotronowego o długości λ_r w undulatorze
- Przekaz energii od wiązki elektronów do impulsu świetlnego



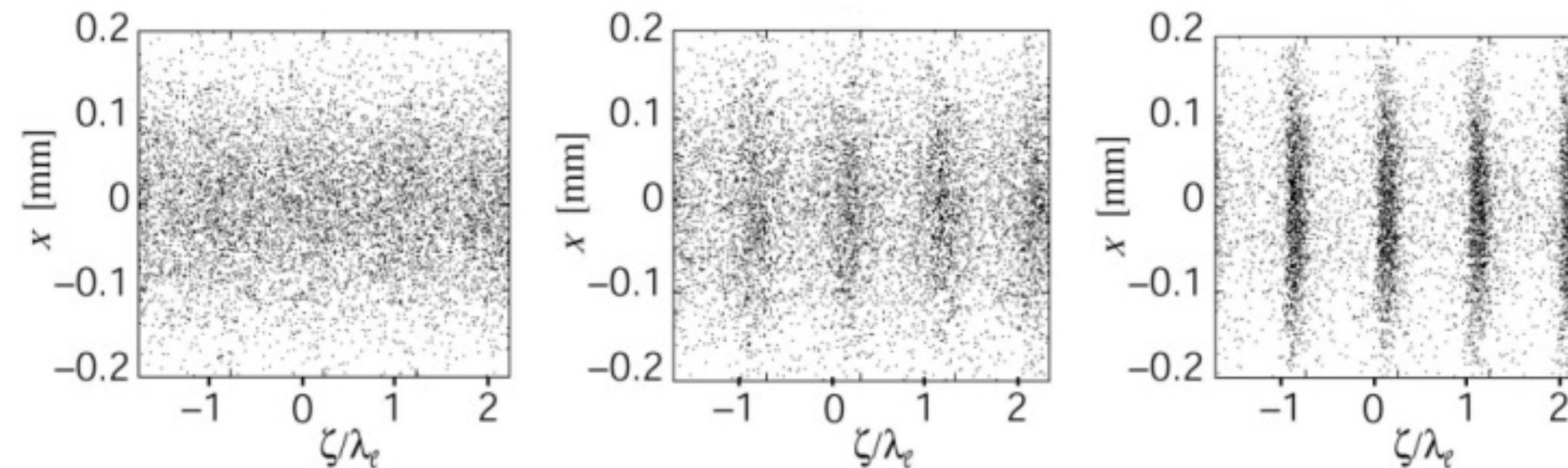
Źródło obrazów:
SLAC, DESY

SASE - Self Amplified Spontaneous Emission

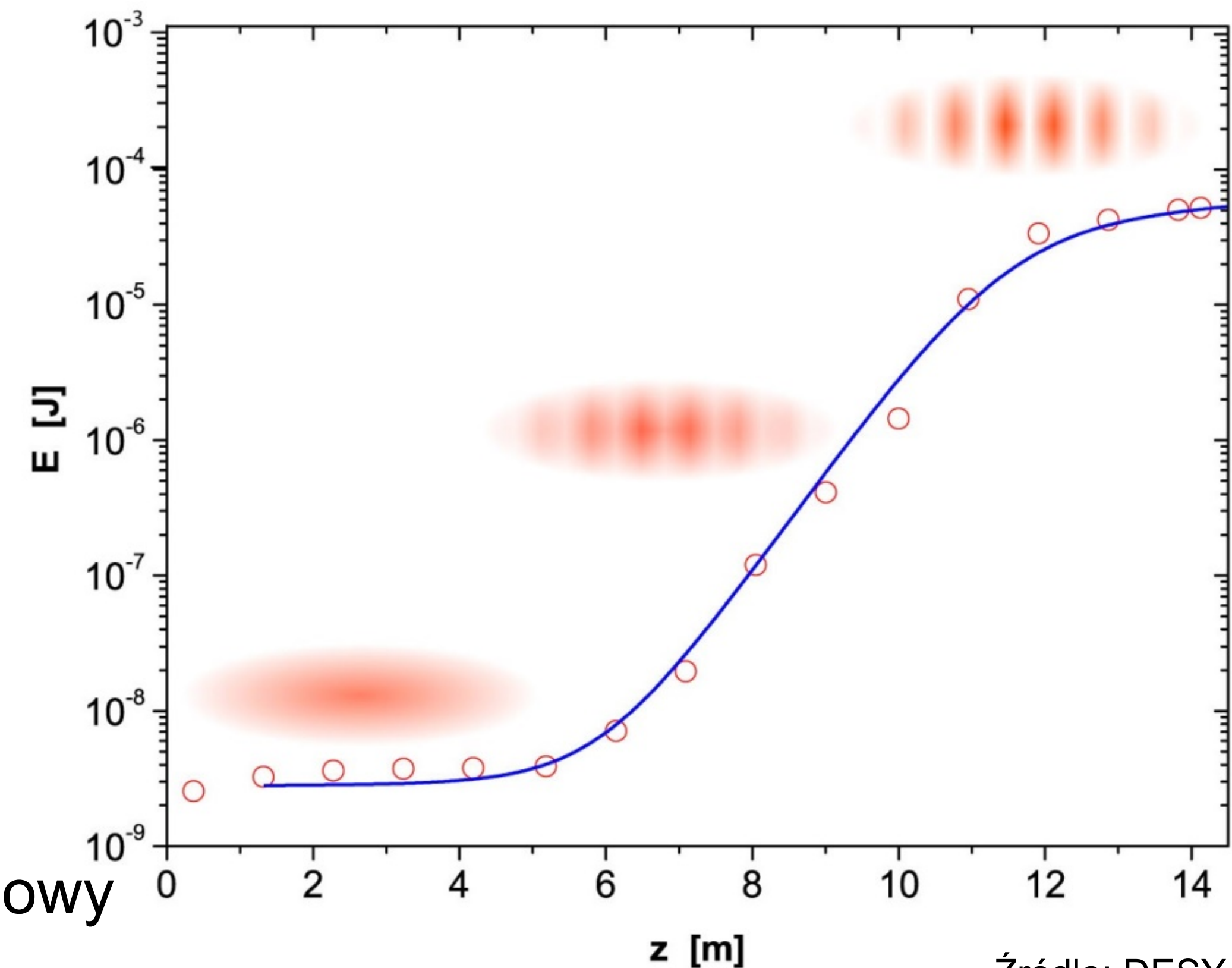
- Spontaniczna emisja promieniowania synchrotronowego o długości λ_r w undulatorze
- Przekaz energii od wiązki elektronów do impulsu świetlnego
- Oddziaływanie tego impulsu z elektronami – promieniowanie rozchodzi się szybciej niż elektrony przyspieszając niektóre a opóźniając inne - mikropakiety



Źródło obrazów:
SLAC, DESY

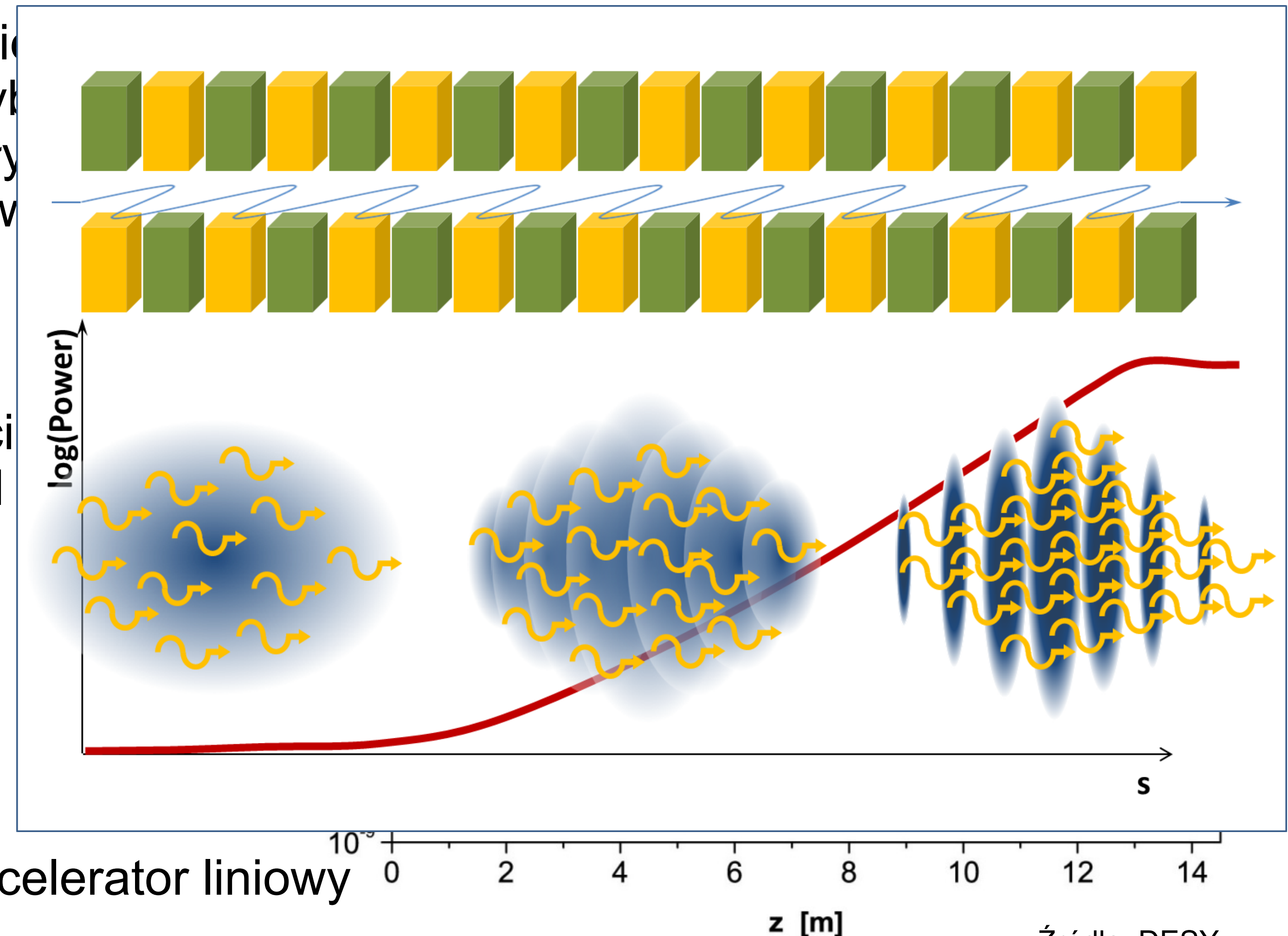


- Elektrony skupione w jednym mikropakiecie wykonują ten sam ruch i emitują promieniowanie spójne, jak gdyby były jedną punktową cząstką naładowaną ładunkiem zawartym w całym mikropakiecie.
- Następuje wzrost natężenia promieniowania o czynnik równy liczbie elektronów w plastrze ($10^3 - 10^6$).
- Ten proces wymaga czasu (i odległości)
- Tempo narastania zależy krytycznie od parametrów wiązki:
 - szczytowy prąd pakietu
 - średnica wiązki
 - emitancja
 - rozmycie energetyczne
- Źródłem elektronów może być tylko akcelerator liniowy



Źródło: DESY

- Elektrony skupione w jednym mikropakiecie emitują promieniowanie spójne, jak gdyby naładowana ładunkiem zawartym w całym pakiecie.
- Następuje wzrost natężenia promieniowania o czynnik równy liczbie elektronów w plastrze ($10^3 - 10^6$).
- Ten proces wymaga czasu (i odległości).
- Tempo narastania zależy krytycznie od parametrów wiązki:
 - szczytowy prąd pakietu
 - średnica wiązki
 - emitancja
 - rozmycie energetyczne
- Źródłem elektronów może być tylko akcelerator liniowy



Źródło: DESY



Warsaw University
of Technology



Lodz University of Technology



UNIVERSITY
OF BIALYSTOK



Wrocław University of Technology



Narodowe Centrum Badań Jądrowych
National Centre for Nuclear Research
ŚWIERK

instytut kategorii A+, JRC collaboration partner

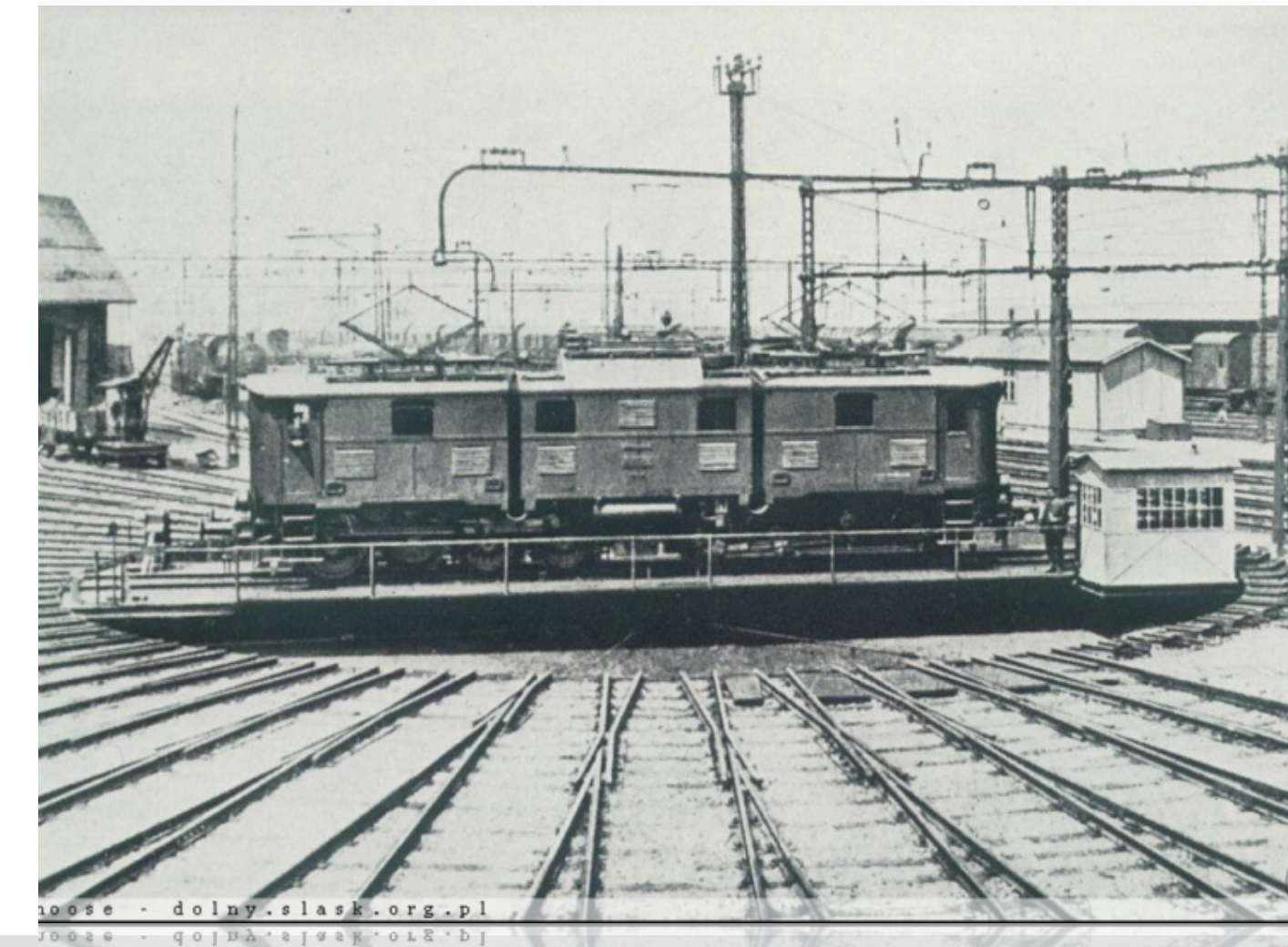
Konsorcjum POLFEL:

- Narodowe Centrum Badań Jądrowych
- Wojskowa Akademia Techniczna (eksperymenty THz i UV)
- Politechnika Warszawska (sygnały HF, synchronizacja czasowa)
- Politechnika Łódzka (systemy kontroli częstotliwości rezonansowych i elektronika)
- Politechnika Wrocławska (kriogenika)
- Uniwersytet Zielonogórski (zasilanie i system chłodzenia wody)
- Uniwersytet w Białymstoku (źródło promieniowania Rtg i odwrotny efekt Comptona)
- Uniwersytet Jagielloński (diagnostyka wiązki, SOLARIS)

Partnerzy przemysłowi:

- Research Instruments
- Kubala-Lamina

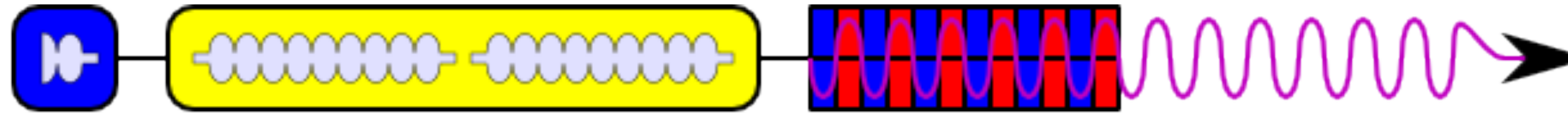
- Źródło elektronów
 - **Całkowicie nadprzewodząca wyrzutnia elektronów**
 - Laserowy system wzbudzania fotokatody
- **Nadprzewodzący liniowy akcelerator elektronów**
 - 4 kriomoduly, struktury akceleracyjne typu TESLA
 - Źródło mocy mikrofalowej – wzmacniacze półprzewodnikowe
 - Układy optyki wiązki, w tym kompresor pakietów
 - Układy diagnostyki wiązki
 - System sterowania
- Undulatory
- Układy prowadzenia wiązek fotonowych i stacje badawcze
- Liczne systemy dodatkowe
 - układ kriogeniczny
 - układ próżniowy
 - systemy bezpieczeństwa
 - budynek
 - ...



THz – IR – VUV range

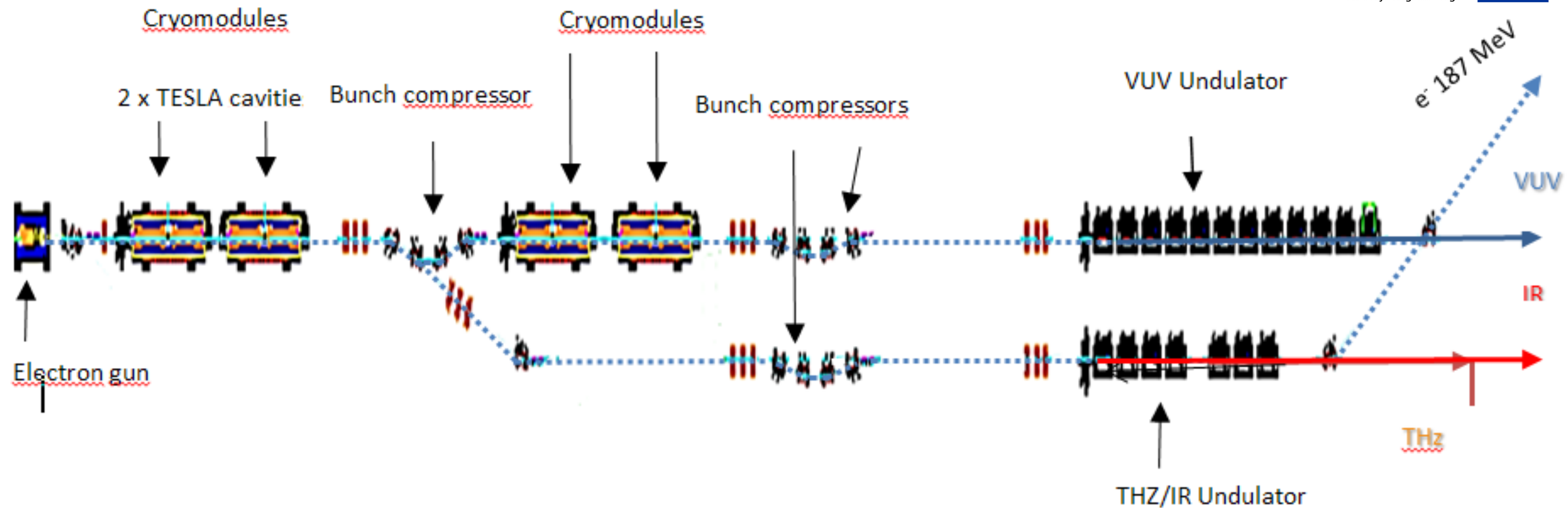
- In THz a superradiant undulator will be applied to generate radiation in the wavelength range from $450\text{ }\mu\text{m}$ – $100\text{ }\mu\text{m}$ (0.5 THz – 3 THz , 22 cm^{-1} – 100 cm^{-1} , 2 meV – 12.5 meV)
- **IR range $5\text{ }\mu\text{m}$ – $30\text{ }\mu\text{m}$**
- In VUV it will work in self-amplified spontaneous emission mode in the λ range down to 60 nm
- 190 MeV , $12.5\text{ }\mu\text{A}$ electron beam
- Femtosecond x-ray pulses
- Neutrons pulsed beam
- Positons

Accelerator principles – PolFEL diagram



- Electron bunch emission from UV driven ps laser **Pb photocathode**, 250 pC, 50 kHz
- Acceleration in RF field in superconducting TESLA-type resonators
- CW RF operation, **fine field tuning (LLRF)** and synchronisation
- **RF power amplifiers**
- Low emittance bunches – electron optics, diagnostics
- **Cryodistribution** (2 K – 1.8 K)
- Radiation safety

Accelerator principles – PolFEL diagram



- Electron bunch emission from UV driven ps laser **Pb photocathode**, 250 pC, 50 kHz
- Acceleration in RF field in superconducting TESLA-type resonators
- CW RF operation, **fine field tuning (LLRF)** and synchronisation
- **RF power amplifiers**
- Low emittance bunches – electron optics, diagnostics
- **Cryodistribution** (2 K – 1.8 K)
- Radiation safety

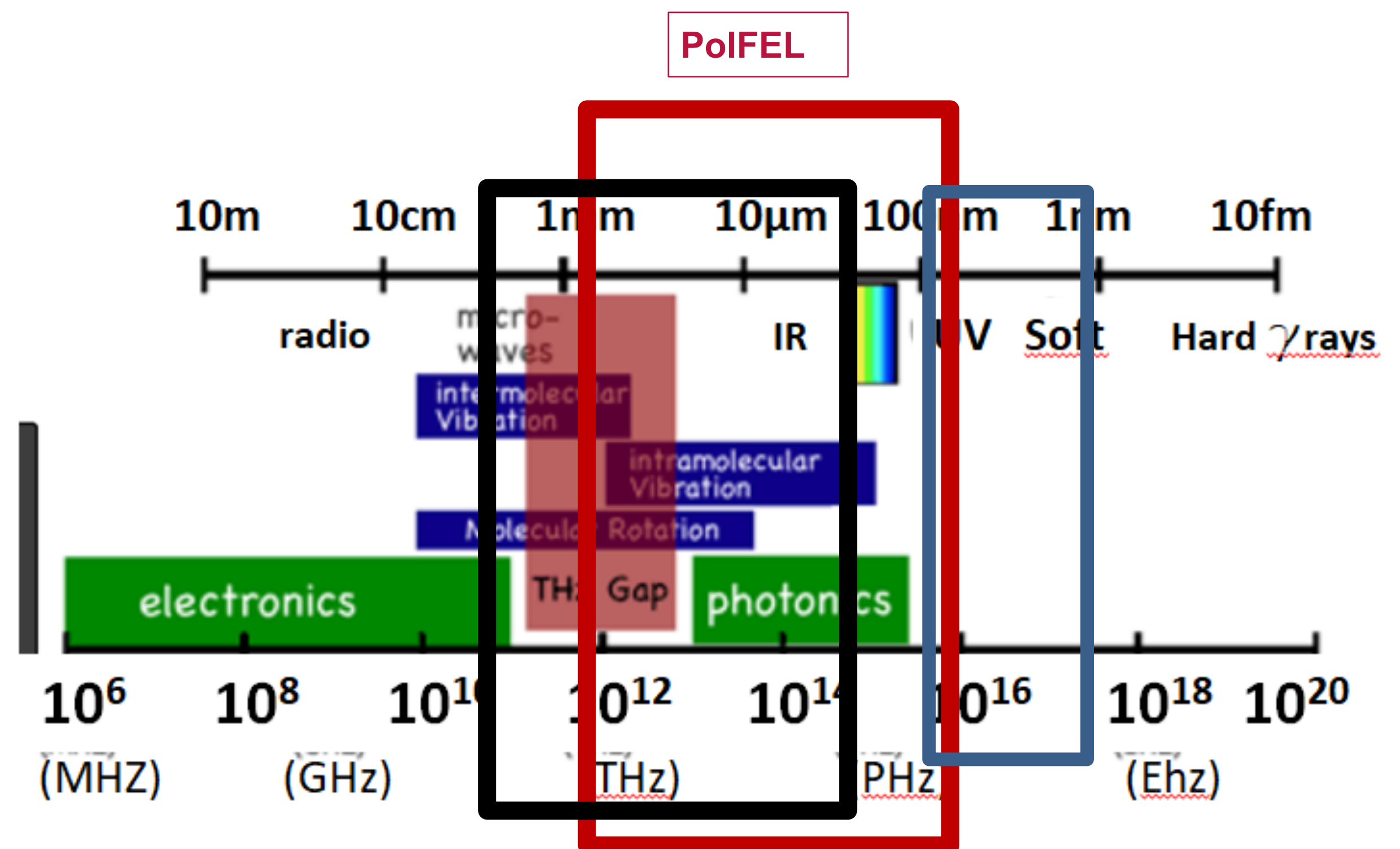
	VUV	THz
Number of cryomodules	4	2
max electric field in CW operation	13 MV/m	13 MV/m
max electric field in pulsed operation (duty factor = 0,2)	20 MV/m	
Max. Electron energy in CW operation	140 MeV	70 MeV
Max electron energy in pulsed operation (duty factor = 0,2)	190 MeV	
Max bunch charge	250 pC	250 pC
Max repetition rate	50 kHz	50 kHz
Electron beam current	12.5 μ A	12.5 μ A

- Czas trwania: styczeń 2019 – grudzień 2022
- Całkowity budżet: 150 Mzł + VAT

Wąsko skolimowana wiązka o rozwartości stożka emisji około $\frac{1}{\gamma\sqrt{N}}$ - wysoka jaskrawość źródła

- Moc średnia 1 W
- Moc impulsowa 1 GW
- Strojenie długości fali w szerokim przedziale 50 nm– 500000 nm
- Polaryzacja pozioma
- gęstość energii 10^{18} J/cm²
- gęstość mocy 10^{13} W/cm²

FLASH:
90 nm-4.2
TELBE
0.1-3 THz
FELBE
4-250 μm



- Czas trwania: styczeń 2019 – grudzień 2022

- Całkow

Wąsko sko

- Moc średn

- Moc impul

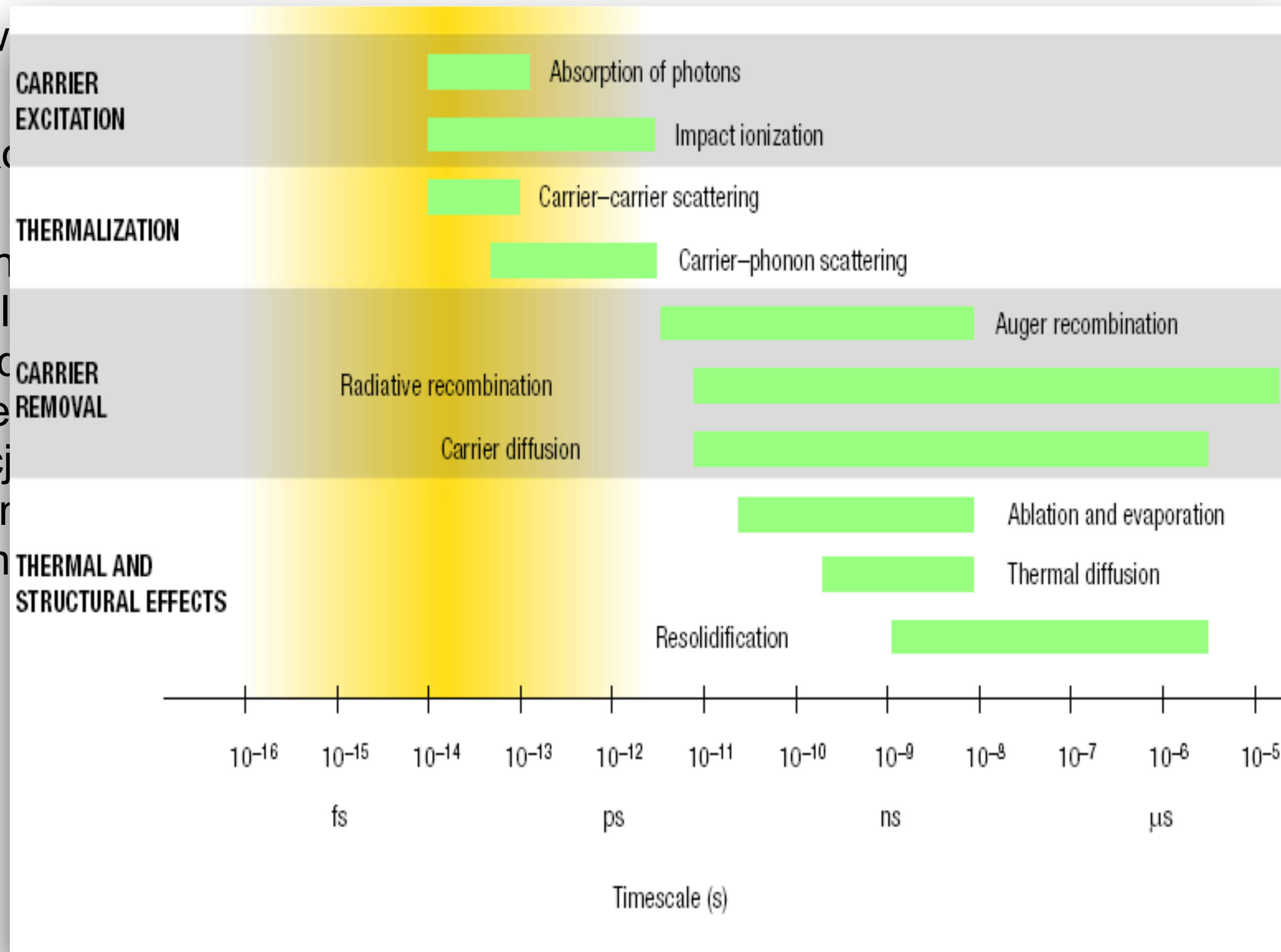
- Strojenie c

- przedziale

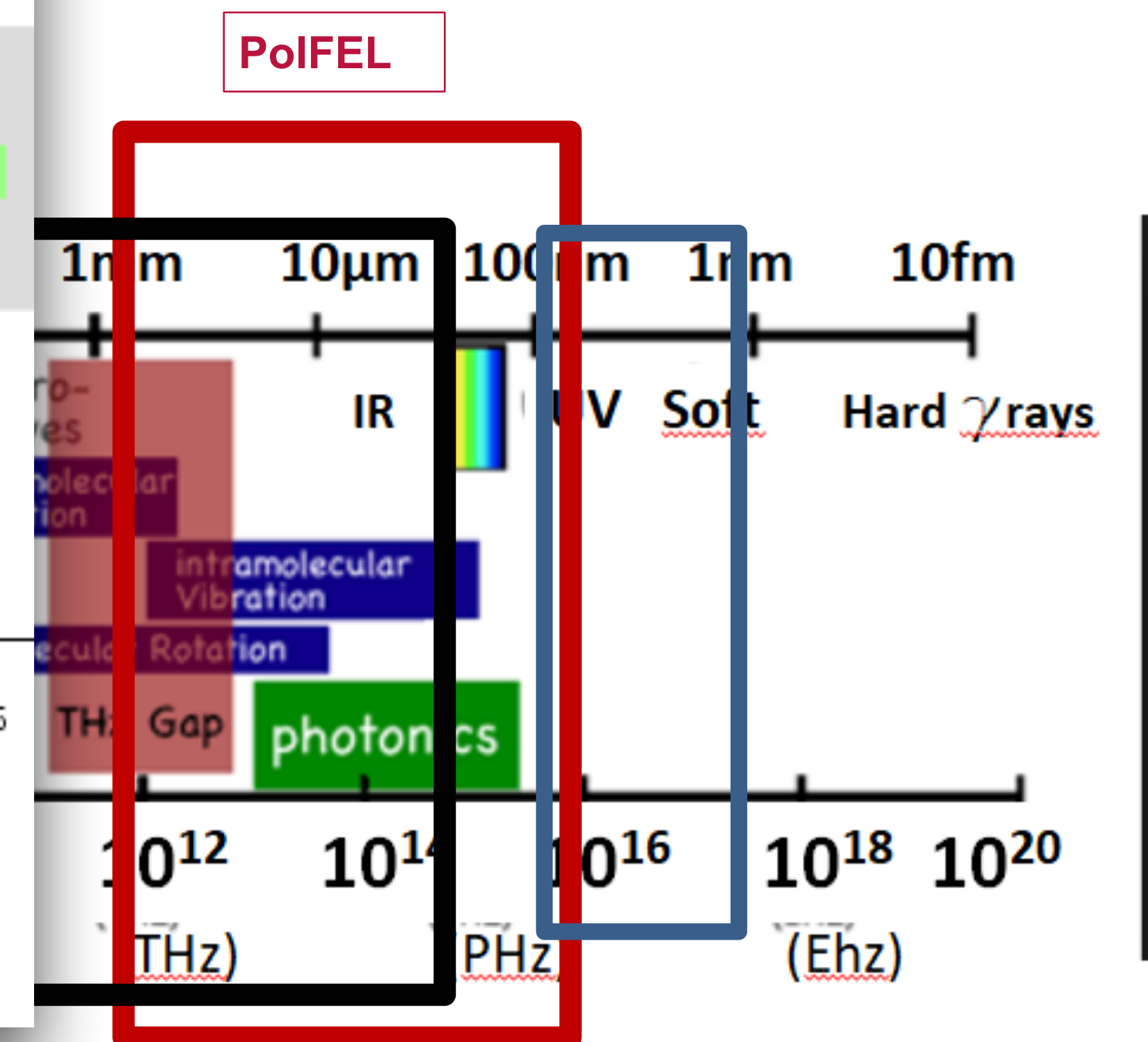
- Polaryzacj

- gęstość er

- gęstość m



ka jasrawość źródła



- Czas trwania: styczeń 2019 – grudzień 2022

- Całkow

Wąsko sko

ka jasrawość źródła

- Moc średn

- Moc impul

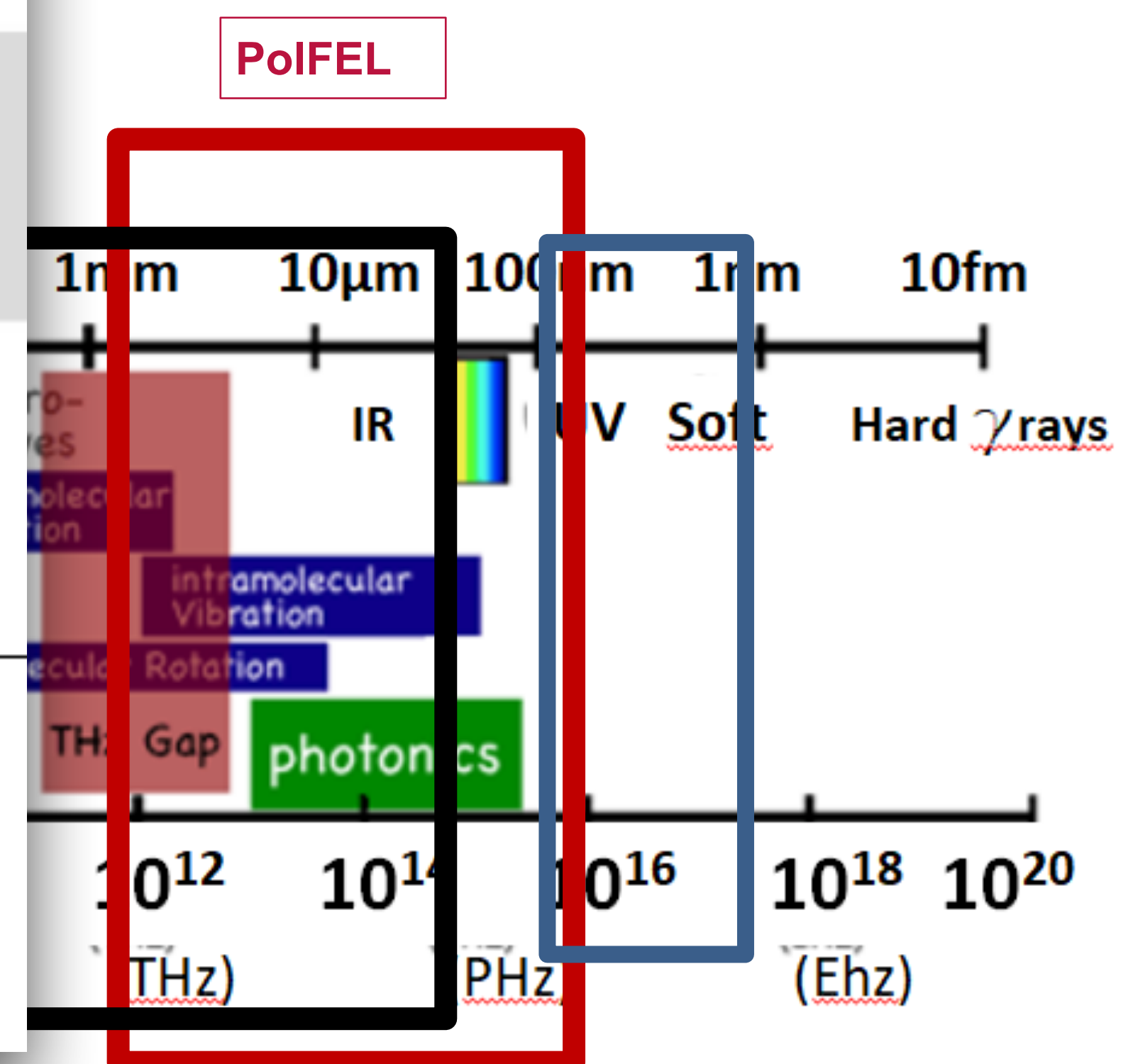
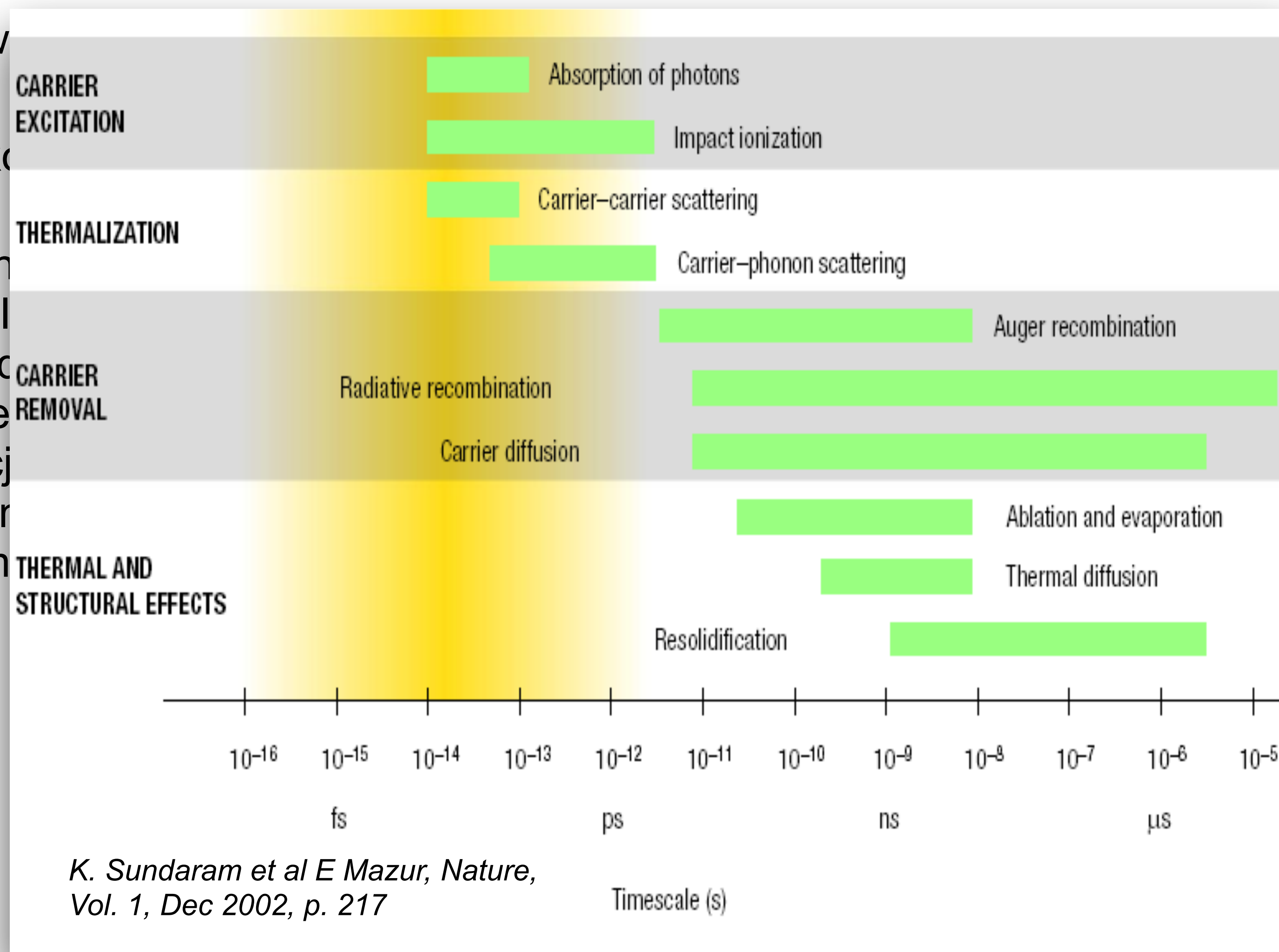
- Strojenie c

- przedziale

- Polaryzacj

- gęstość er

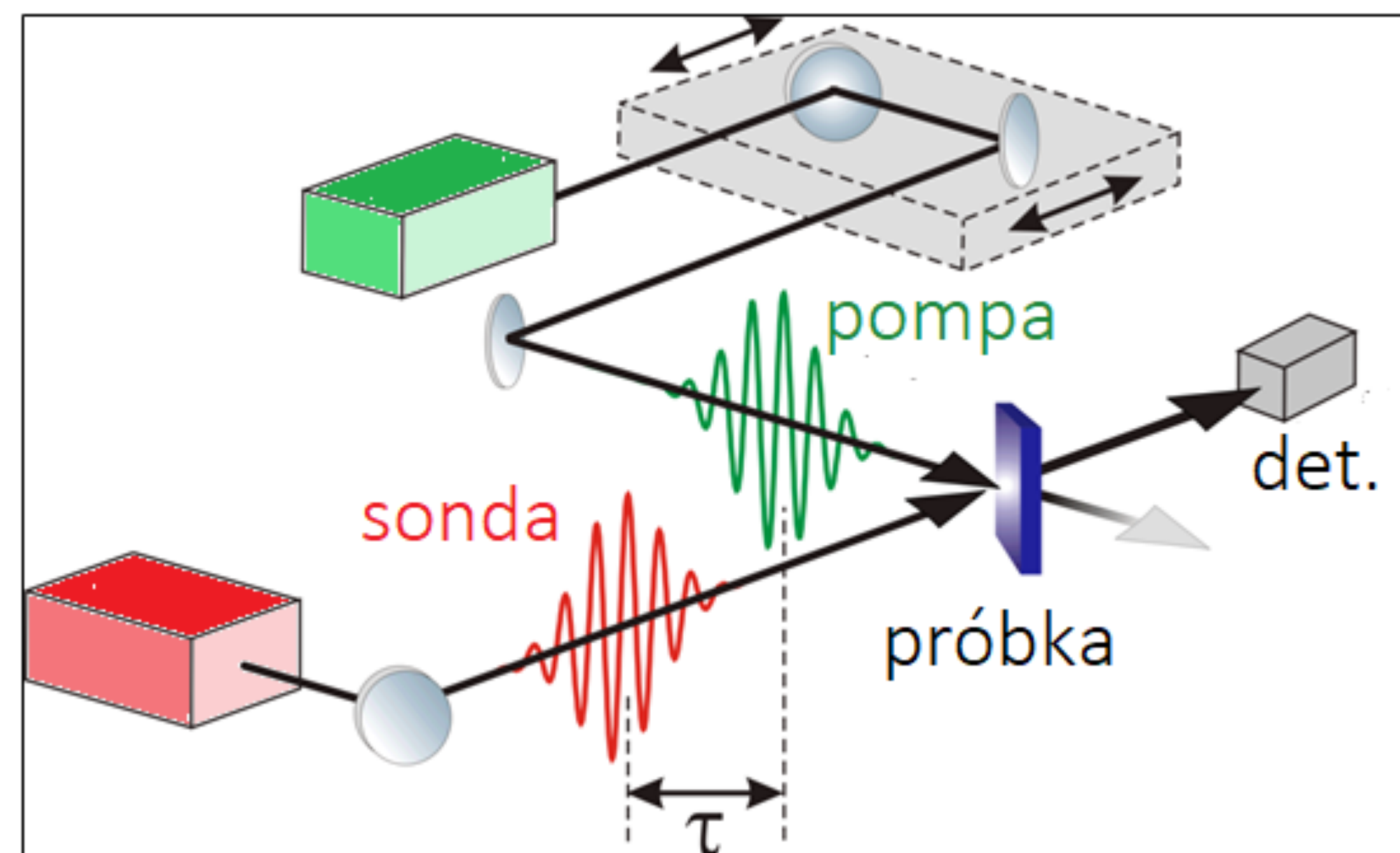
- gęstość m



Rozdzielczość czasowa

Doświadczenie krzyżujące dwie wiązki

- pompa wytwarza oczekiwany stan w próbce
- sonda oddziałuje z tym stanem po określonym czasie
- detektor rejestruje wiązkę będącą wynikiem oddziaływania



THz 10^{-4} m

Nisko energetyczne wzbudzenia w ciele stałym i molekułach bez przekazywania energii do innych stopni swobody układu.

Spektroskopia

- fonony
- wzbudzenia elektronowe
- oddziaływanie ze spinem magnetyzm.
- nadprzewodnictwo
- wzbudzenia rotacyjne i wibracyjne

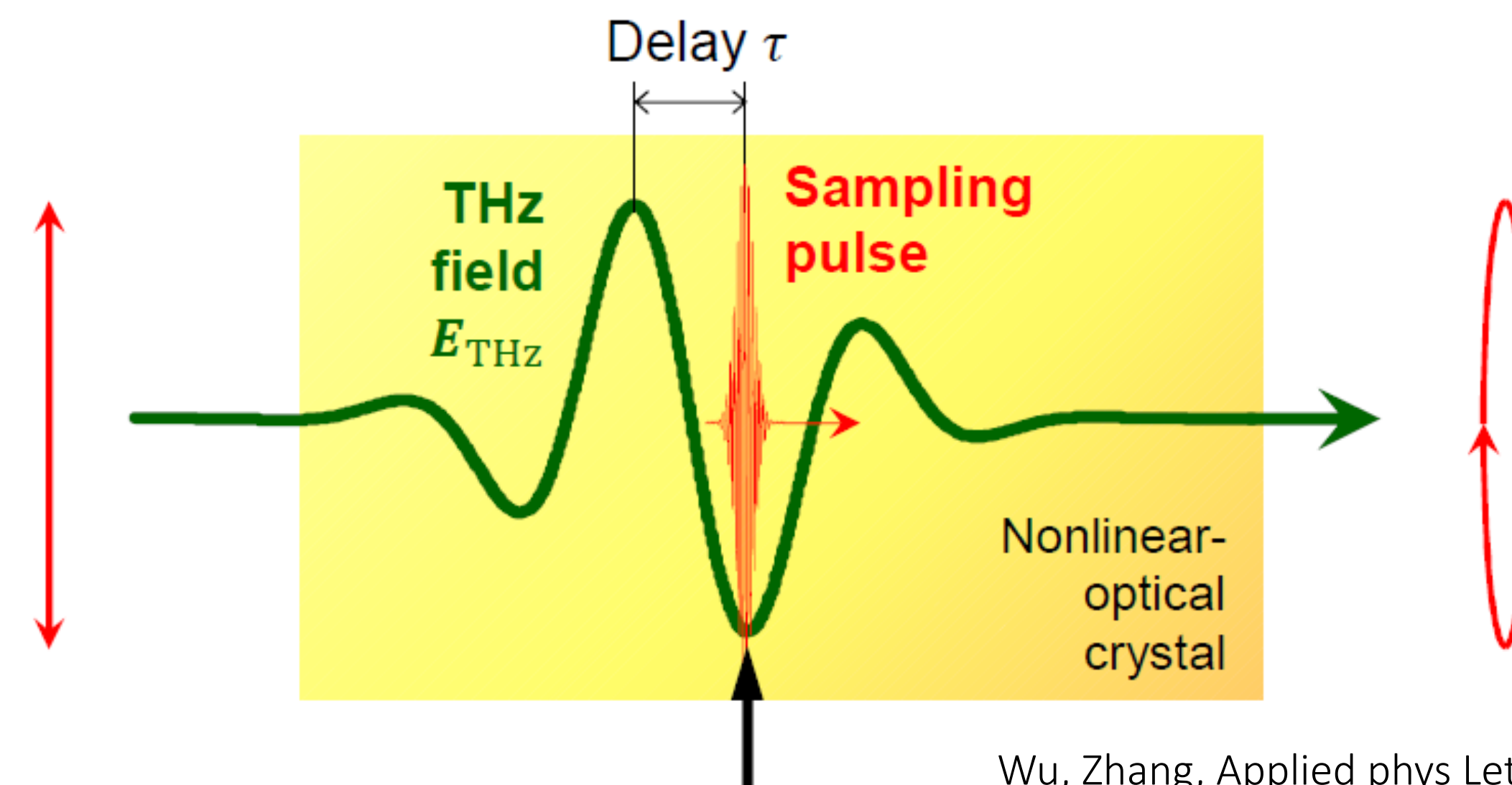
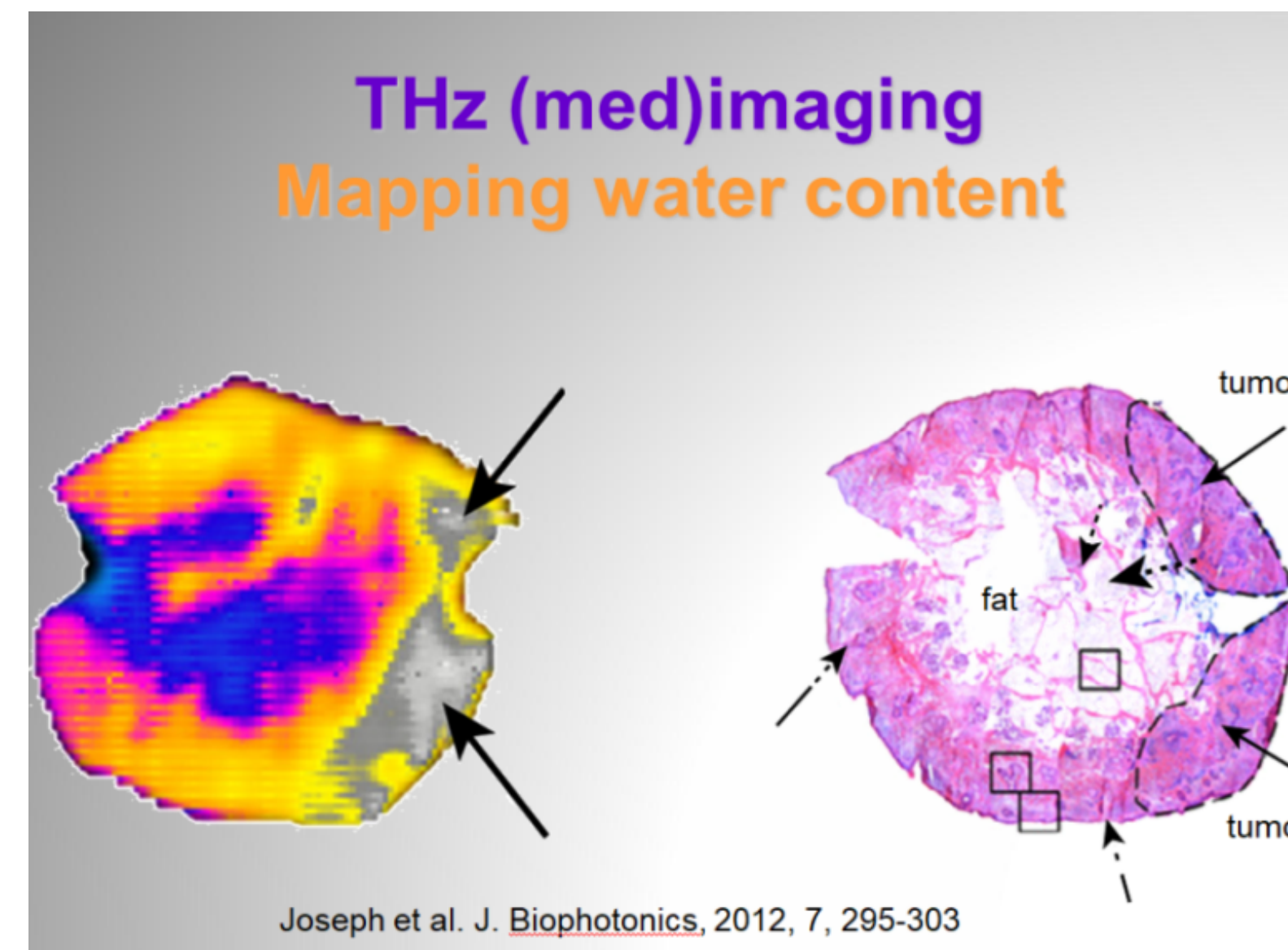
wiązań wodorowych – biologia i medycyna

Obrazowanie współczynniki odbicia i absorpcji

Technologia: Detektory terahercowe, telekomunikacja ...

Badania materiałowe: badanie struktury wewnętrznej konstrukcji

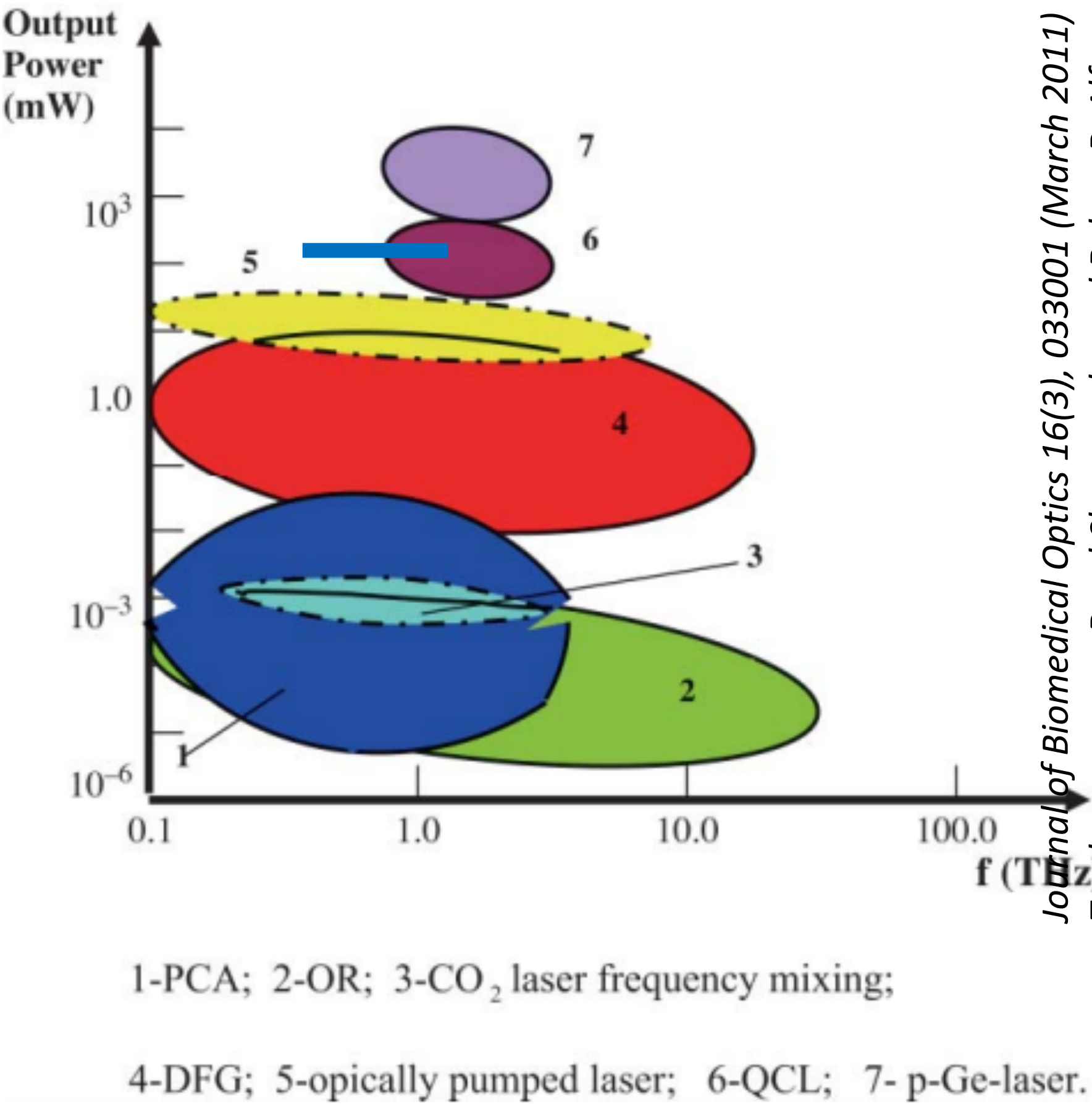
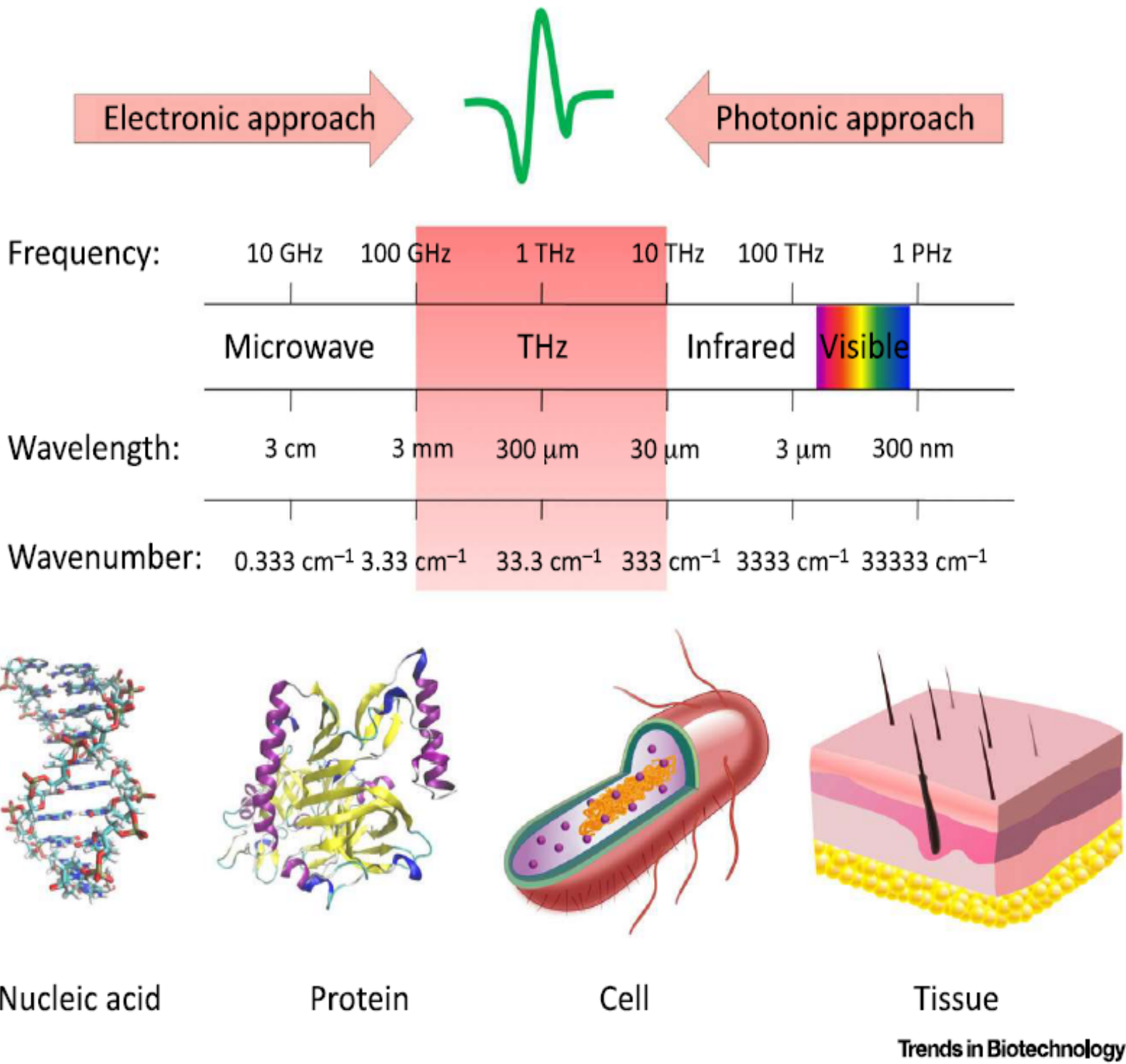
Impuls pola E i B w doświadczeniach pompa - sonda



Wu, Zhang, Applied phys Lett. 1995

f [THz]	E _p [μJ]	Θ [mrad]	τ [ps]
0.5	3.0	40	24
1.0	3.4	30	16
2.0	3.0	20	4
3.0	2.1	16	2.5

Average power in the range of 150 mW at 1 THz



Journal of Biomedical Optics 16(3), 033001 (March 2011)
Terahertz sources Pavel Shumyatsky and Robert R. Alfano

Vis - VUV

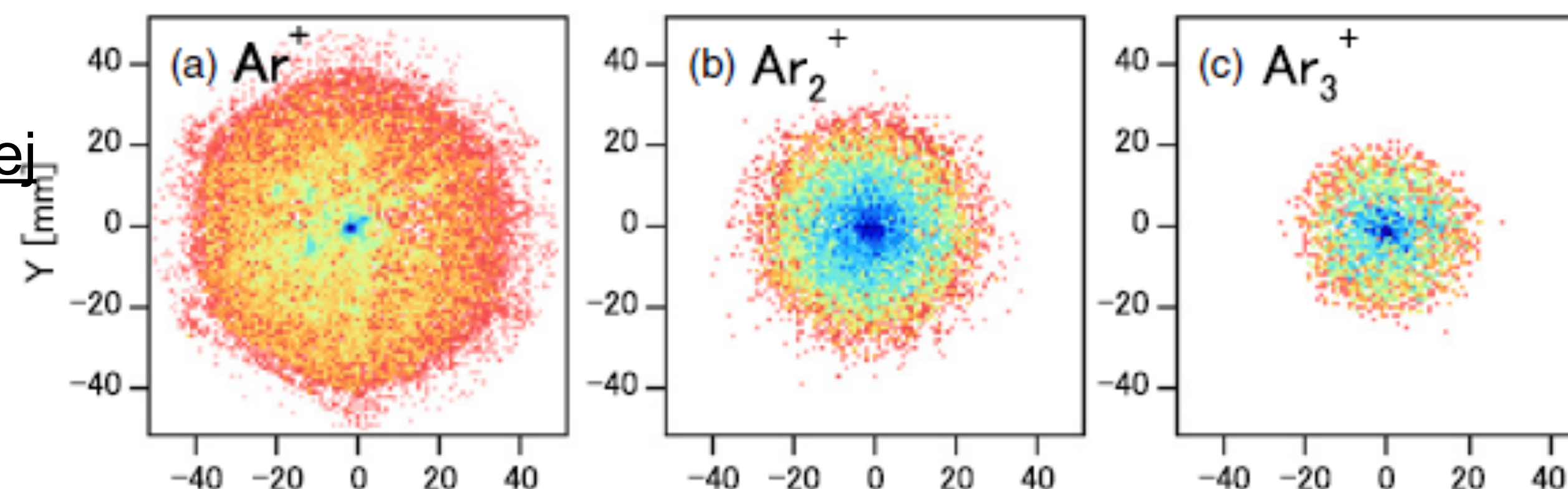
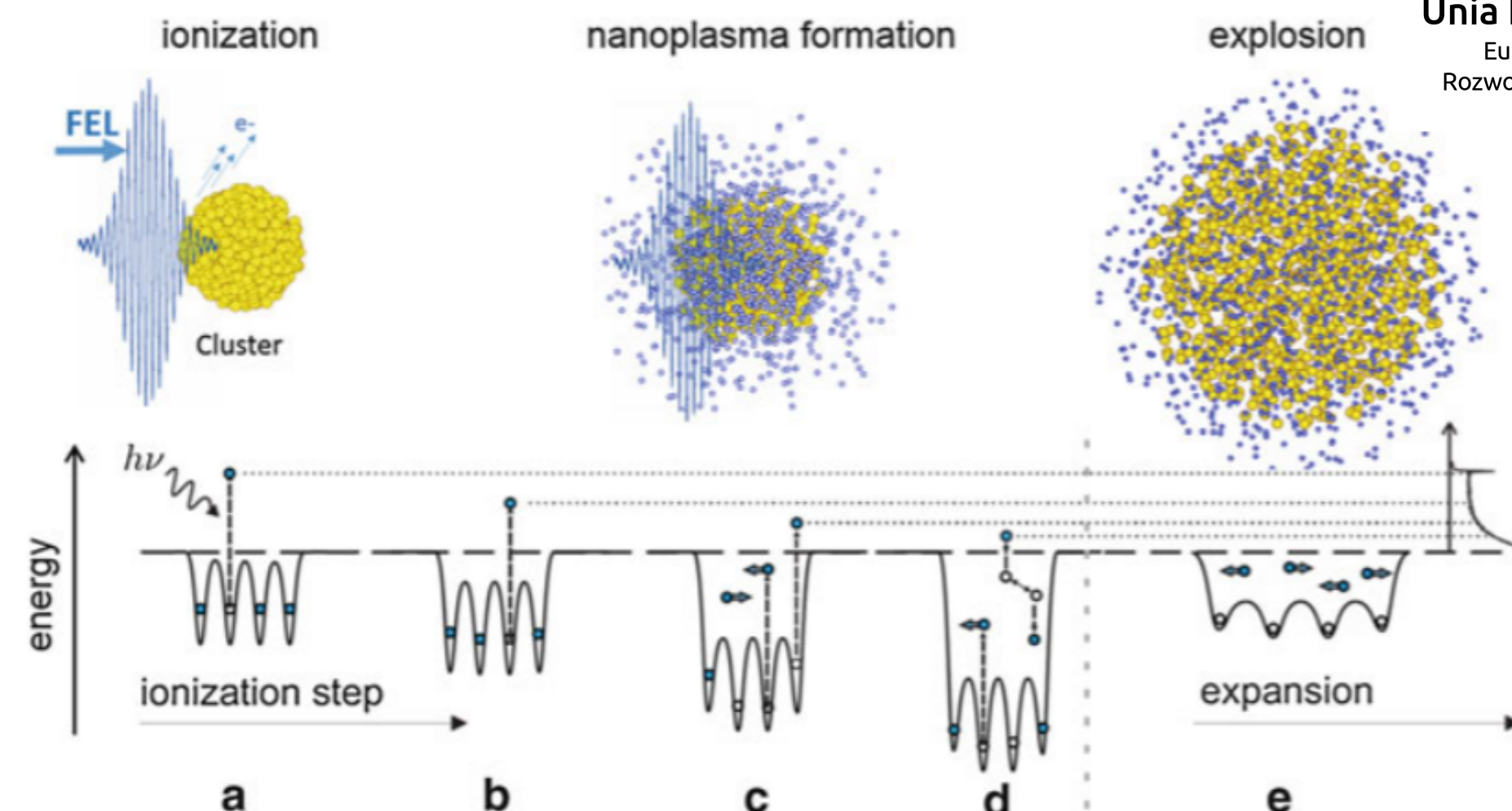
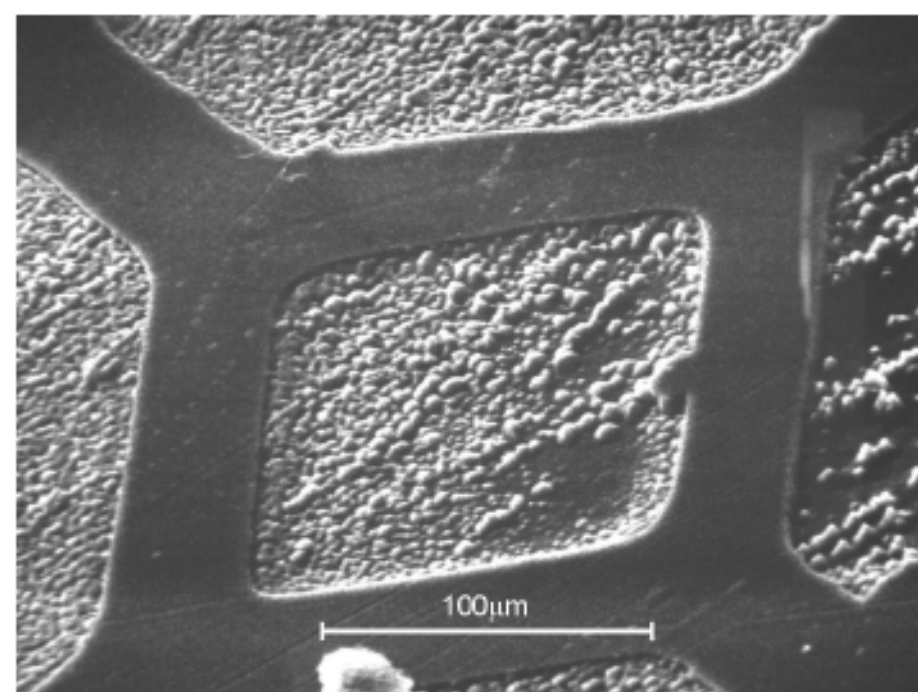
$10^{-7} \text{ m} - 10^{-8} \text{ m}$

Mała głębokość absorpcji i krótka droga swobodna elektronów – dokładna lokalizacja

Spektroskopia. Fotojonizacja w gazach i klastrach, badanie mechanizmów przekazywania energii w gazie elektronowym i sieci krystalicznej

Obrazowanie

Modyfikacja powierzchni w skali nanometrycznej



Eksploracja kulombowska klastra 62 nm $7 \cdot 10^{13} \text{ W/cm}^2$

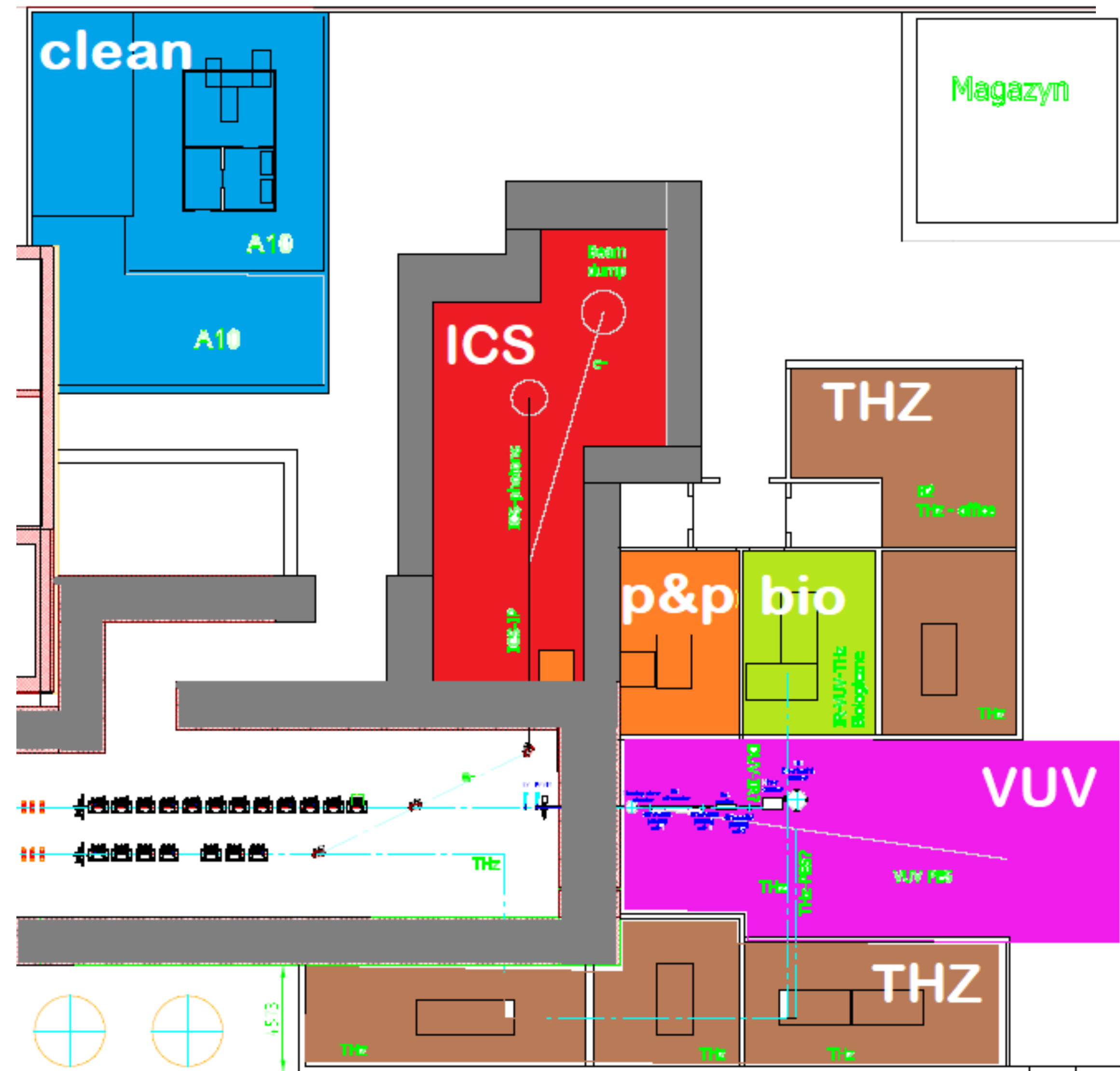
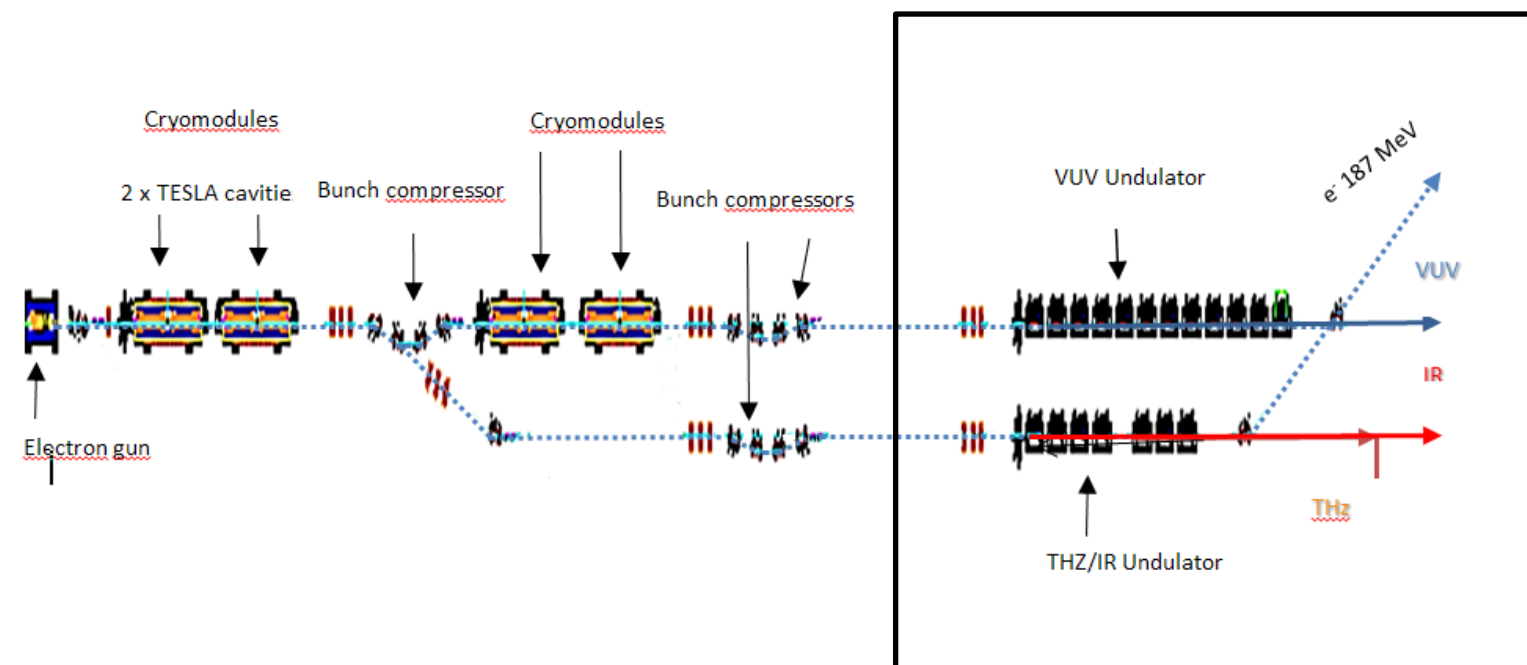
- mechanizm jonizacji
- stany ładunkowe przy wielokrotnej jonizacji
- ewolucja czasowa obdzierania z elektronów

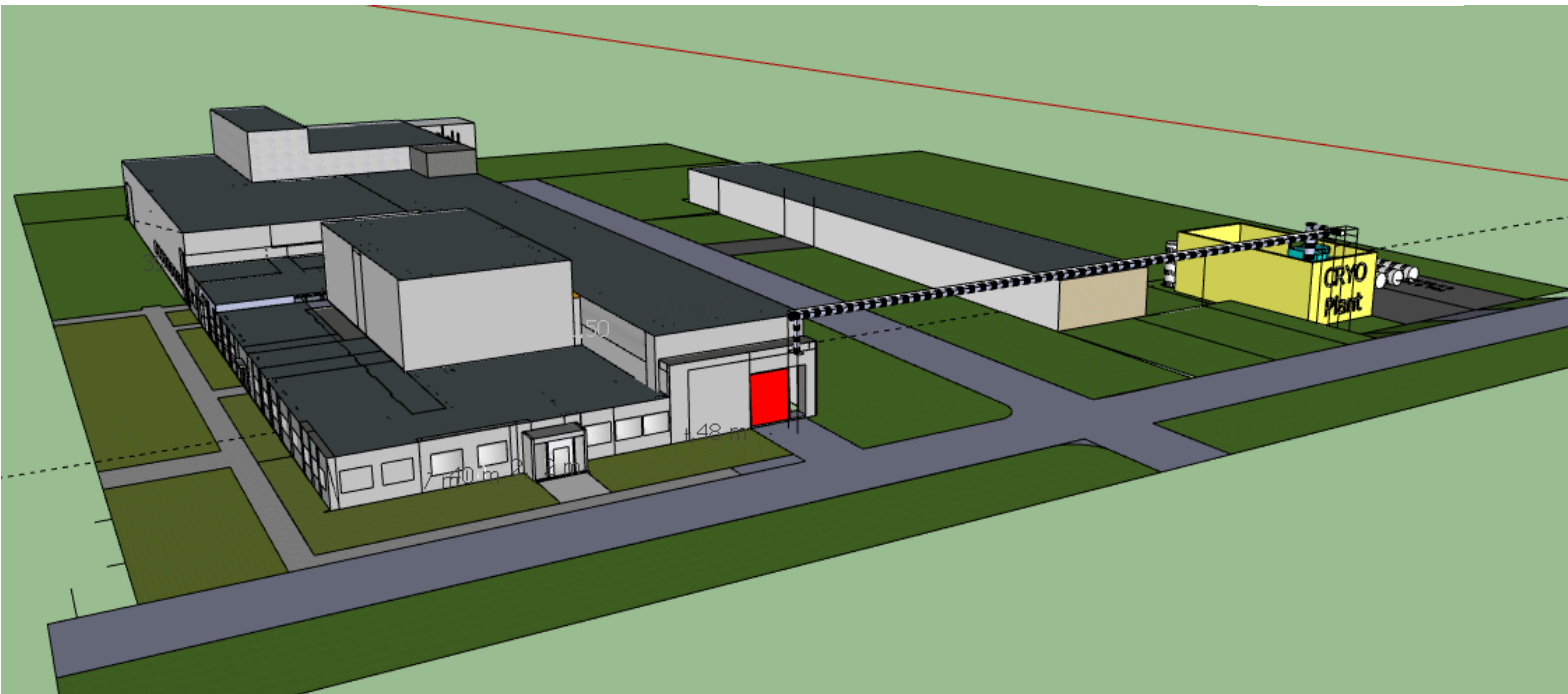
H. Iwayama, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 46 (2013) 164019

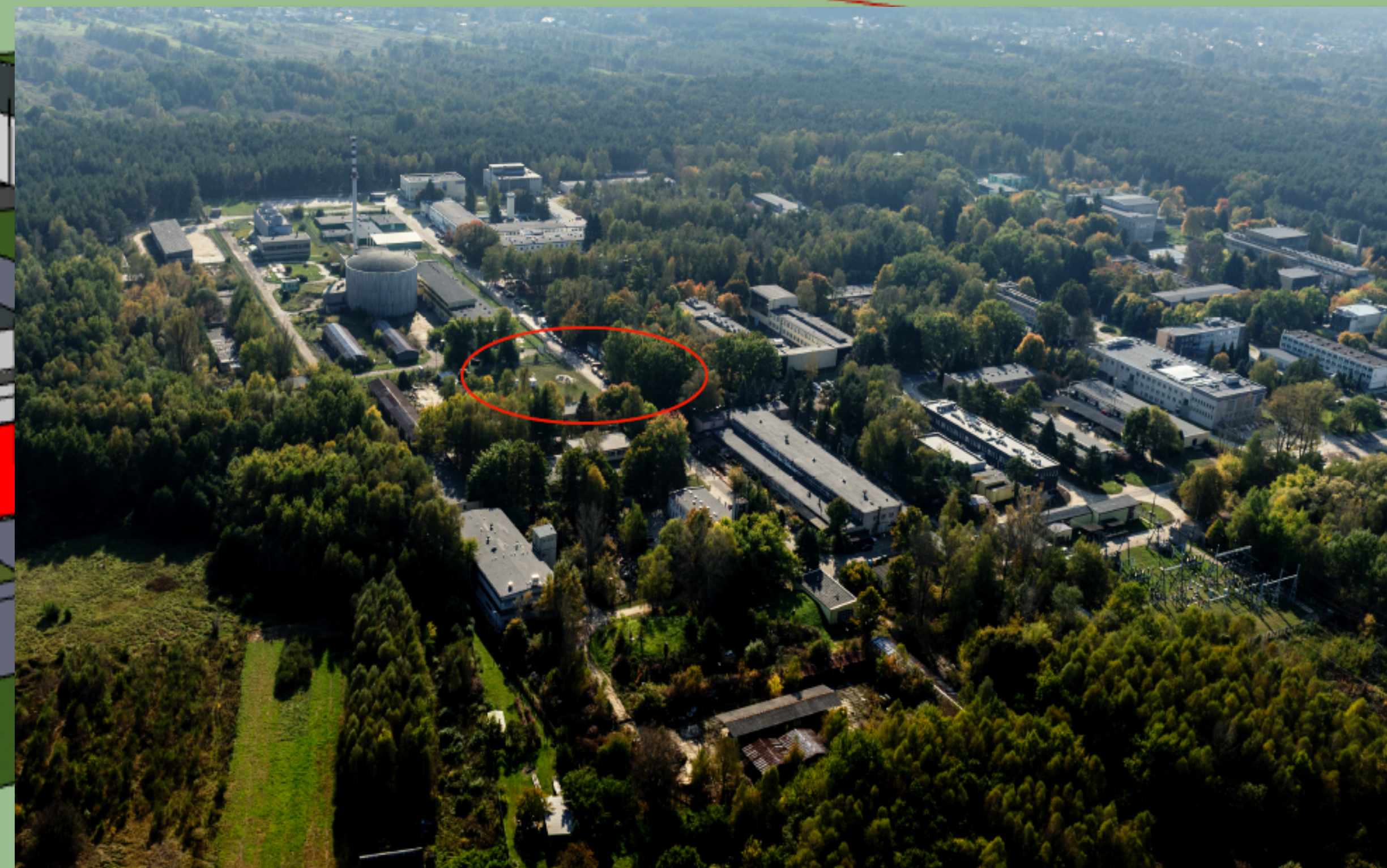
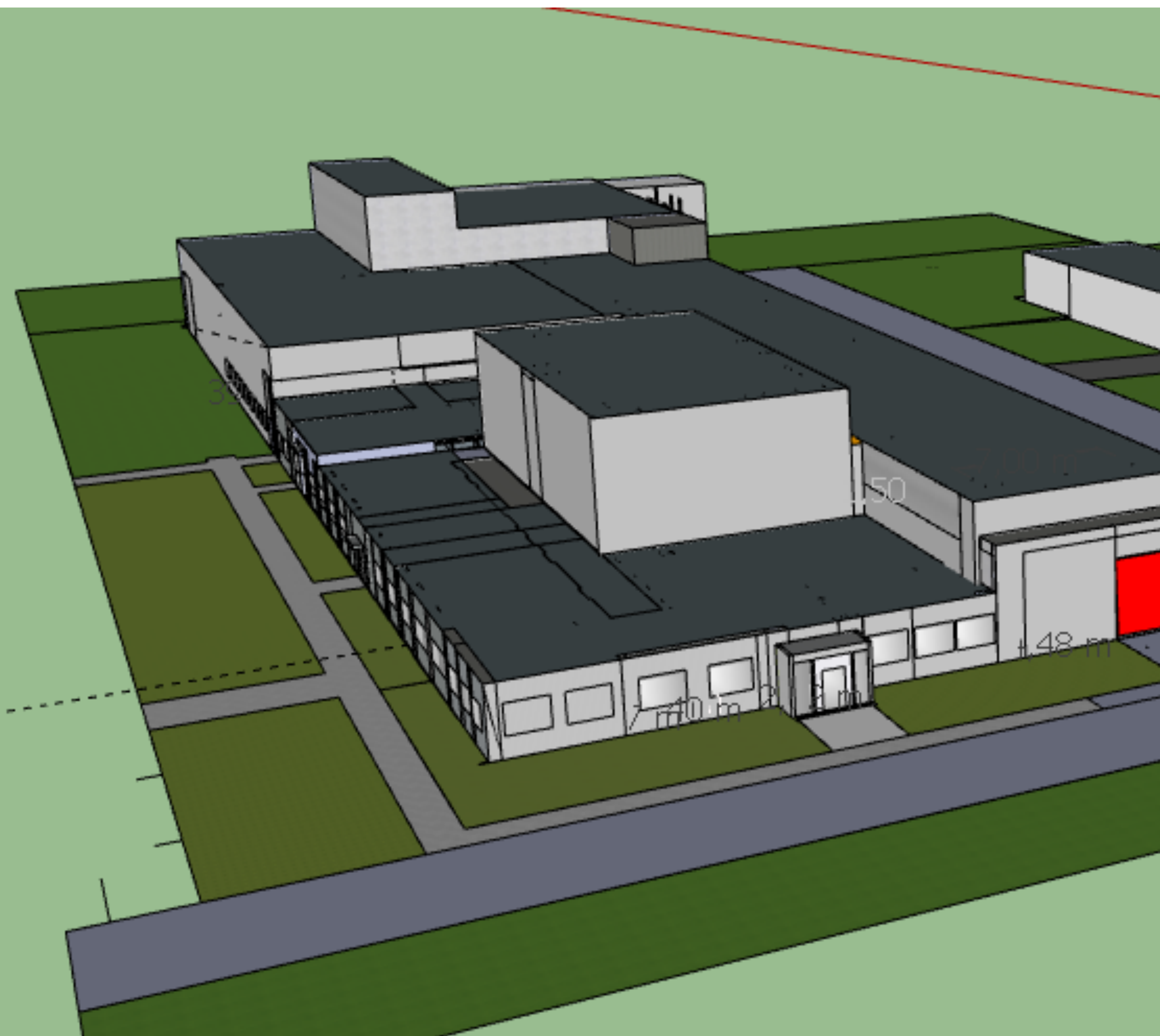
Ch. Bostedt, Synchrotron Light
Sources and Free-Electron Lasers DOI
10.1007/978-3-319-04507-8_39-1



Laboratorium







SCIENTIFIC CASE SUMMARY; THz

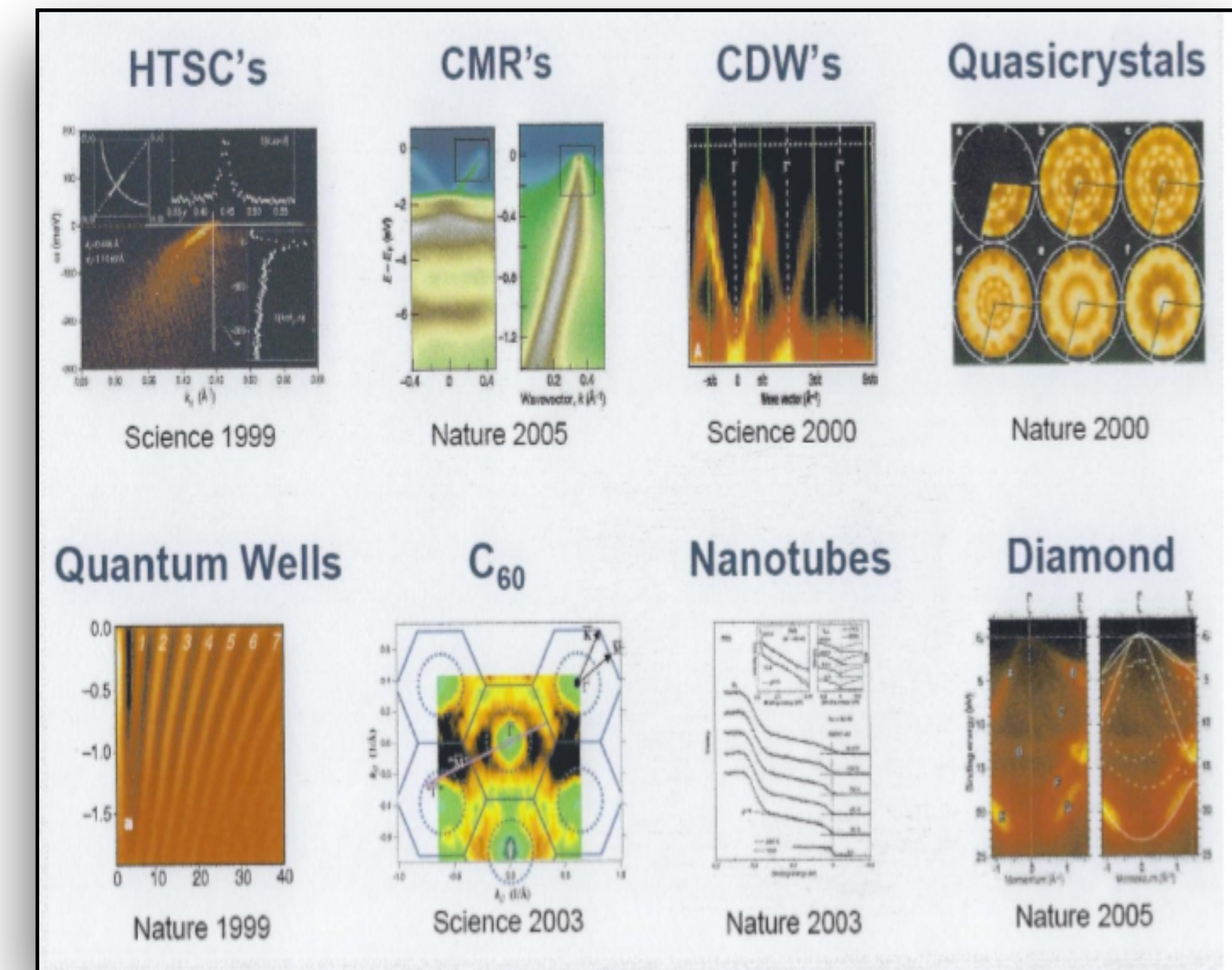
- absorption and emission spectroscopy in wide sample temperature range(LHe-HT), gases, liquids, molecules, solids
- research implementation e.g. photon counting detectors R&D
- imaging of 2D objects incl. biological specimens
- development of THz devices (e.g. THz detectors) etc.
- superconductivity studies
- light-matter interactions in semiconductors and 2D materials – understanding e.g. how charge, orbital interact to produce emergent phenomena and exotic states of matter.
- dynamics of low dimensional states: plasmons, quantum well states
- time resolved studies with single cycle THz pump-probe

SCIENTIFIC CASE SUMMARY; VUV

The VUV end-station will provide linearly polarized light having the wavelength ranged down to 80 nm (15 eV) at 3rd harmonics, high power density 10^{14} W/m², pulse duration below 1 ps, small light spot on the sample (10 μ m size) and pressure in the experimental chamber of 10⁻⁶ mbar.

This beamline will be uniquely able to accommodate following challenging experiments:

- VUV absorption, emission and photoelectron spectroscopy, both angular and time resolved, especially over small size and low-dimensional quantum systems (short electron MFP = localization).
- Surface modification- ablation, melting-recrystallization, polymer UV crosslinking (shallow UV penetration, enough energy for bonds break).
- Time resolved studies of VUV interaction with matter with sub picosecond resolution e.g. plasma processes (fs pulse duration).



SCIENTIFIC CASE SUMMARY; IR

Biological-chemical beamline in the IR, THz range will operate for experiments with solid and liquid specimens.

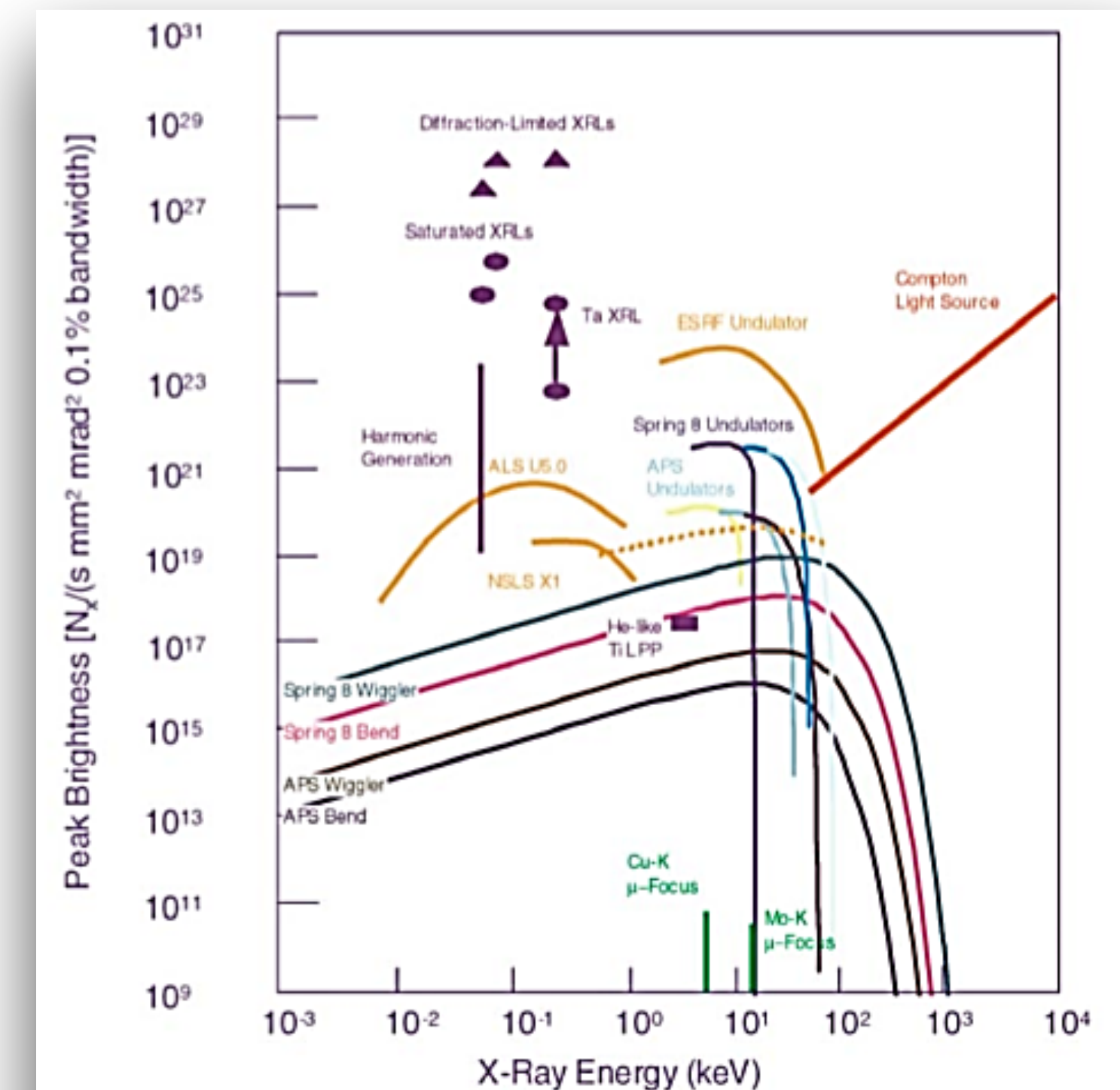
- Raman spectroscopy of chemical and biological compounds.
- Fluorescence spectroscopy.
- Dynamics of chemical and biological reaction of two reactance in stopped-flow technique.
- Investigation of low probable or low concentrated molecular structure.
- Life sample imaging.

SCIENTIFIC CASE SUMMARY; ICS

187 MeV Electron Beam

- Construction of Inverse Compton scattering (ICS) X-ray source
 - High efficiency at high energy.
 - Directionality (1 m diameter beam at 1 km distance).
 - High energies! Not available at light sources.

This kind of source provides e.g. experiments of different kind of imaging for biological and chemical specimens.



[F.V. Hartemann *et al.*, *Phys. Rev. ST AB* **8**, 100702, (2005).]

- A test facility dedicated for electron acceleration physics and instrumentation will be built. The linear accelerator solely consist of **superconducting accelerating structures, including the photocathode, which is able to work in cw or long pulses (ms duration) mode.**
- Source of coherent THz - IR - UV radiation for experiments dedicated for photon interaction with matter physics, biology and materials science.
- Source of 30 MeV – 187 MeV electron beam for positron, hard x-ray and gamma and neutron generation.
- A laboratory which encompasses country-wide experience in accelerator physics and instrumentation including industrial capabilities, and is able to provide advanced comprehensive solutions for large international, world-wide projects like today's E-XFEL, ESS, LCLS etc.

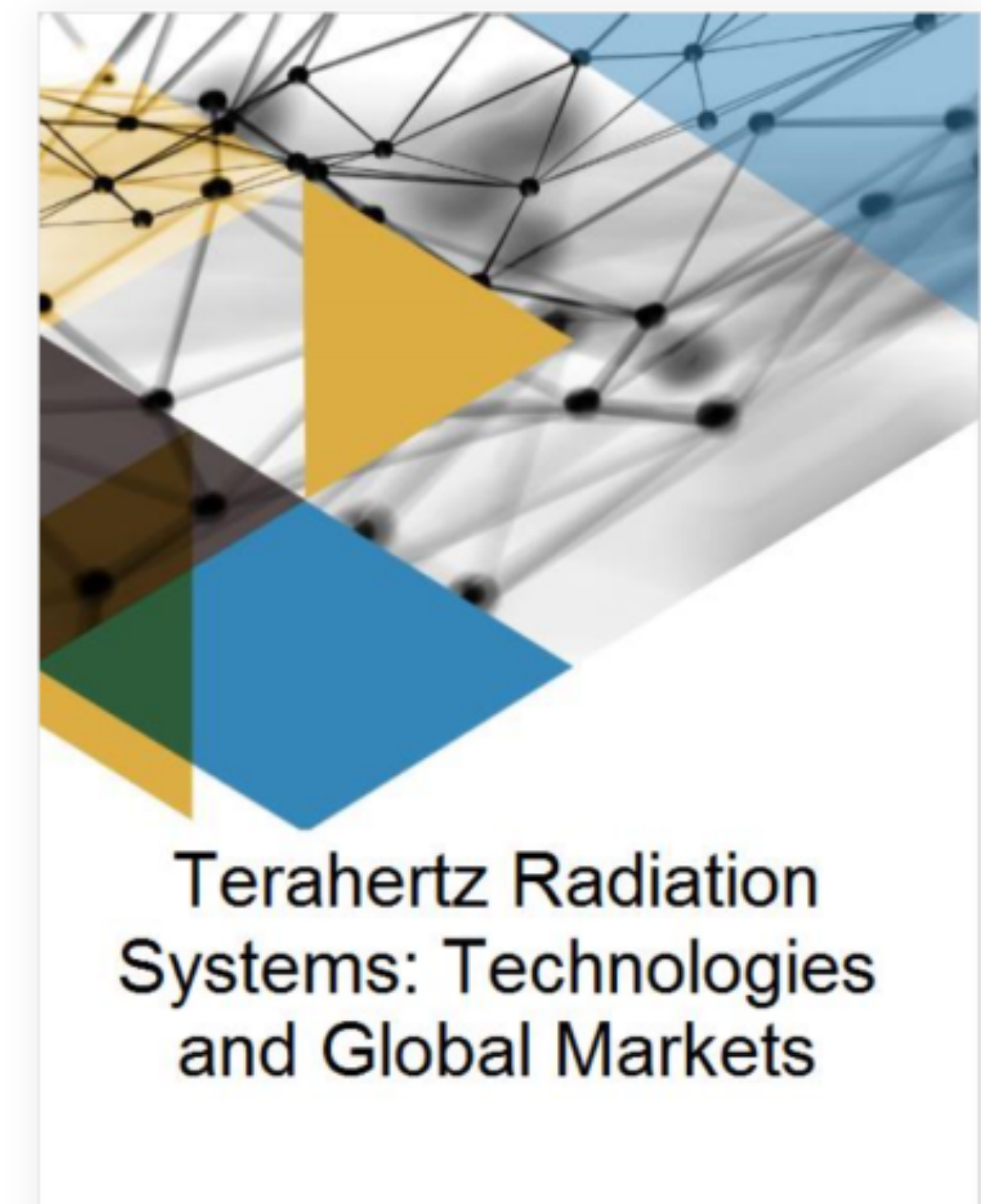
faza II - POLFEL upgrade



„Nowoczesna nauka i rozwój nowych technologii wymagają wielkich urządzeń badawczych...
Ich brak stanowi istotną przeszkodę dla rozwoju nauki i postępu technologicznego.
Faktycznie, jest to to rodzaj zacofania cywilizacyjnego, który w długim okresie czasu jest
równie szkodliwy dla gospodarki, jak brak dróg szybkiego ruchu.”

„THz imaging devices are the largest device segment in 2018-2019. Other types of THz devices should gain in importance in subsequent years, however. By 2024, THz-driven accelerators are expected to be the largest product segment, with THz imaging devices falling into second place., THz computer components will be the third-largest segment in 2029, followed by sensors, communications devices and spectroscopy instruments in that order.”

**TERAHERTZ RADIATION SYSTEMS: TECHNOLOGIES AND
GLOBAL MARKETS**



Dziękuję za uwagę



NARODOWE
CENTRUM
BADAŃ
JĄDROWYCH
ŚWIERK

www.ncbj.gov.pl