



# Opis ogólny projektu

- W projekcie bierze udział około 40 instytucji badawczych i akademickich z 13 krajów Unii Europejskiej
- Finansowanie projektu z Komisji Europejskiej na poziomie 700mln euro
- Lokalizacja-Europa wschodnia (Czechy, Węgry, Rumunia, jedna do zdecydowania)

# Opis naukowy projektu

- Infrastruktura poświęcona podstawowym badaniom oddziaływania materii ze światłem laserowym o nieosiąganych dotąd natężeniach

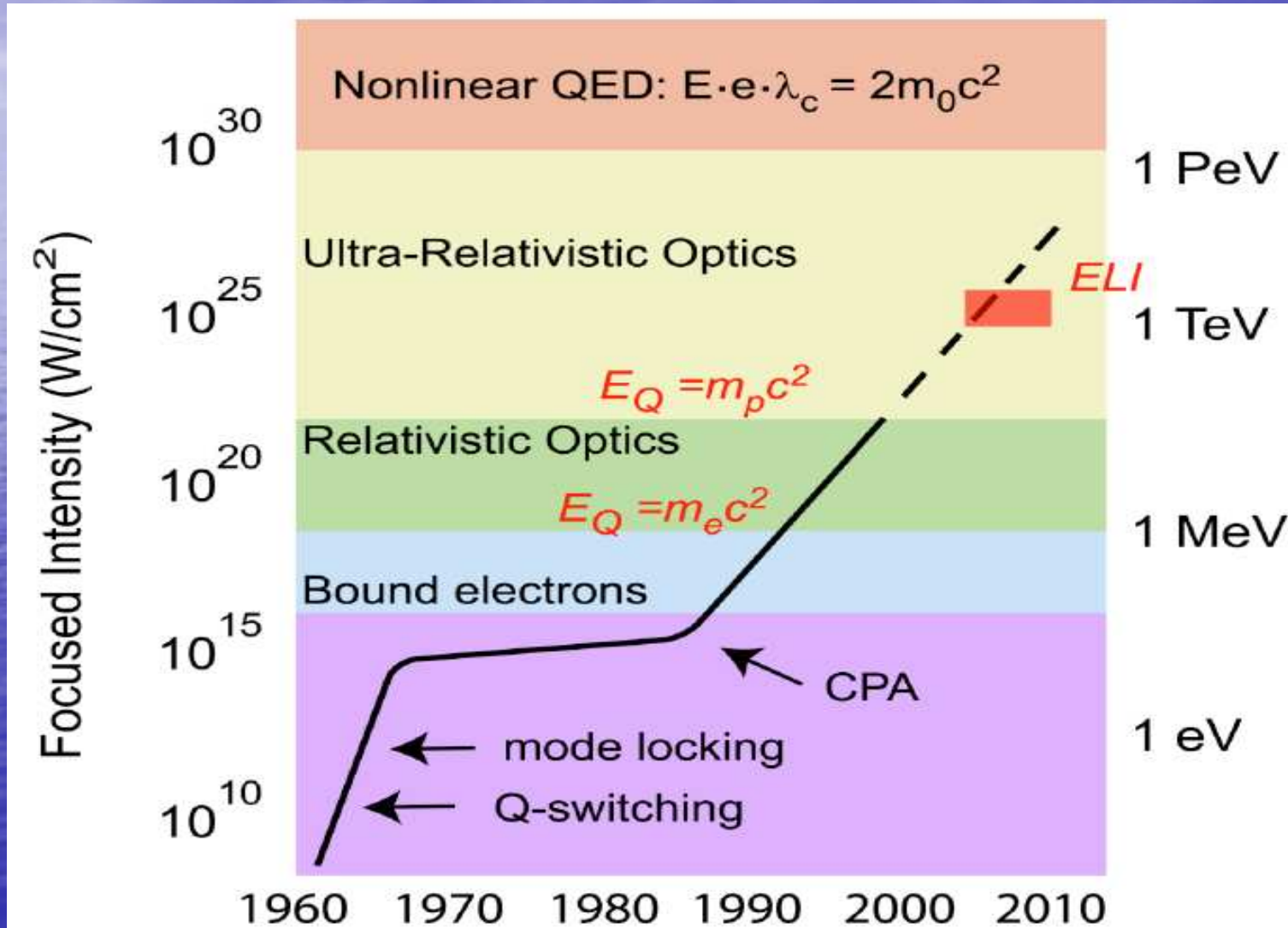


# Opis naukowy projektu

- Natężenia wytwarzanego światła laserowego osiągną reżim ultra-relatywistyczny ( $I_L > 10^{23}$  W/cm<sup>2</sup>)
- Osiągnięta moc ma dochodzić do 200PW
- Czas trwania impulsów ma być rzędu attosekund

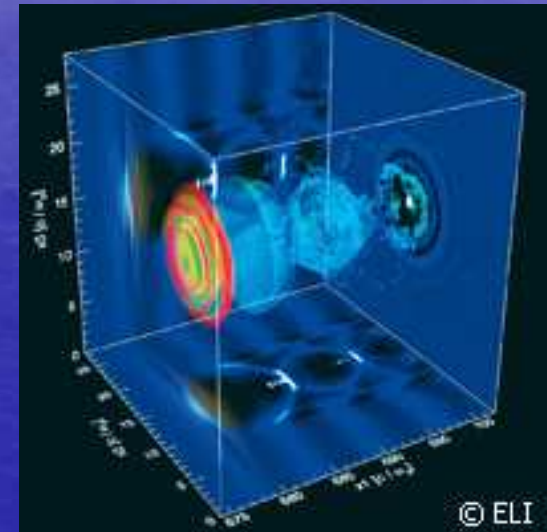


# Postęp w rozwoju mocy laserowych



# Możliwe obszary nowych badań

- Fizyka cząstek elementarnych
- Fizyka jądrowa
- Nieliniowa teoria pola
- Fizyka ultra-wysokich ciśnień
- Astrofizyka i kosmologia



# Czechy (Praga) – Instalacja wiązki

- Filar projektu ELI, który skupi się na dostarczaniu ultrakrótkich impulsów energetycznych cząstek (10GeV), oraz promieniowania (do kilku MeV) wytworzonych z akceleratora plazmy laserowej



# Wizualizacja obiektu w Pradze



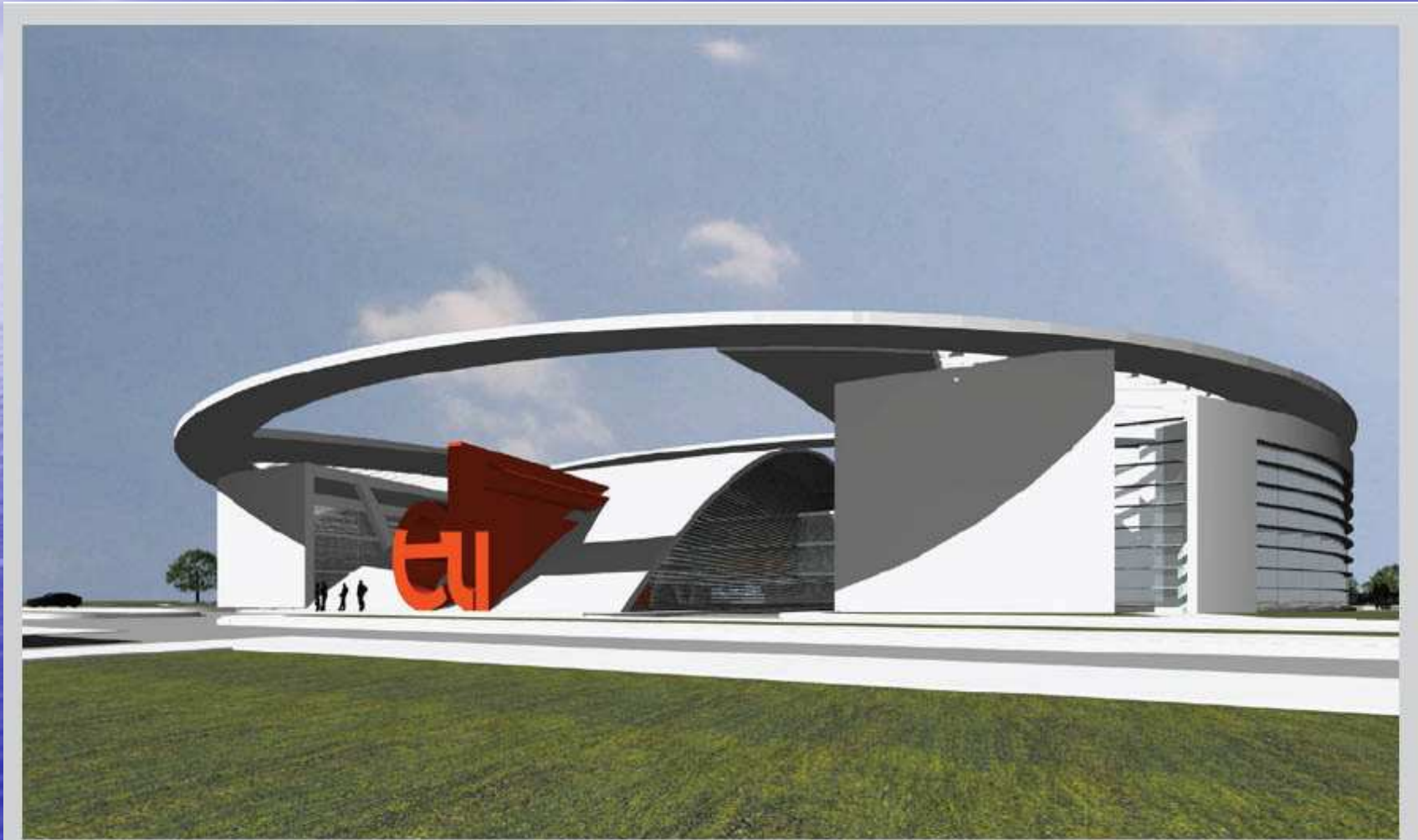


# Węgry (Szeged)

## Instalacja attosekundowa

- Będzie poświęcona ekstremalnie szybkiej dynamice poprzez wykonywanie „fotografii” w skali attosekundowej dynamiki elektronów w atomach, molekułach, plazmie, oraz ciałach stałych (kryształach)

# Wizualizacja obiektu w Szeged



# Rumunia (Magurele)

## Instalacja dla fizyki jądrowej

- Filar ELI, który skupi się na fizyce jądrowej opartej na laserze. Przewidziane jest intensywne źródło promieniowania gamma otrzymywanego przez sprzężenie akceleratora cząstek wysokoenergetycznych z laserem wysokiej mocy



# Wizualizacja obiektu w Magurele



# Czwarta lokalizacja

## Instalacja ultra-silnego pola

- Decyzja o wyborze lokalizacji nastąpi w przyszłym roku
- Może to być w jednym z trzech ośrodków, lub w innym kraju
- Będzie tam zainstalowana największa moc lasera zależna od bieżącego rozwoju techniki laserowej
- Dzięki temu będzie można badać oddziaływania materii ze światłem laserowym w obszarze energii, w którym prawa relatywistyczne mogą przestać być spełniane



# Laboratorium wyspecjalizowane w badaniu plazmy powstałej w oddziaływaniu światła laserowego z materią





# Badania naukowe i zastosowania

- Nauka attosekundowa – badanie dynamiki elektronów w materii w skalach attosekund
- Wtórne promieniowanie (drugiego rzędu) – źródła protonów, elektronów, promieniowania gamma i innych cząstek (możliwe zastosowania w terapii hadronowej i obrazowaniu medycznym)
- Fizyka silnych pól – badania próżni kwantowej i kwantowej dynamiki

# Attonauka

„Niedawna rewolucja w technologii laserowej otworzyła drzwi do generacji błysków światła mogących zamrozić ultraszybki ruch elektronów w atomach i molekułach. Nasza zdolność powtarzalnej generacji i pomiaru błysków światła o attosekundowej długości oznacza początek nowej ery w badaniu ruchu w mikroświecie-ery attonauki. Attosekunda ( $10^{-18}$ s) stanowi naturalną skalę w ruchu elektronów w atomowej skali. Ruch ten podlega teraz kontroli w czasie rzeczywistym.”

# Nauka attosekundowa

- Bezpośrednio w czasie rzeczywistym dostęp do ruchu elektronów w skali atomowej, oraz do oscylacji światła widzialnego
- Zakres badań od wewnątrzatomowych procesów do ruchu elektronów w złożonych biomolekułach, od dynamiki w klastrach do transferu elektronów na powierzchniach, od ruchu elektronów w półprzewodnikowych nanostrukturach do zbiorowej dynamiki w materii wysokiej gęstości

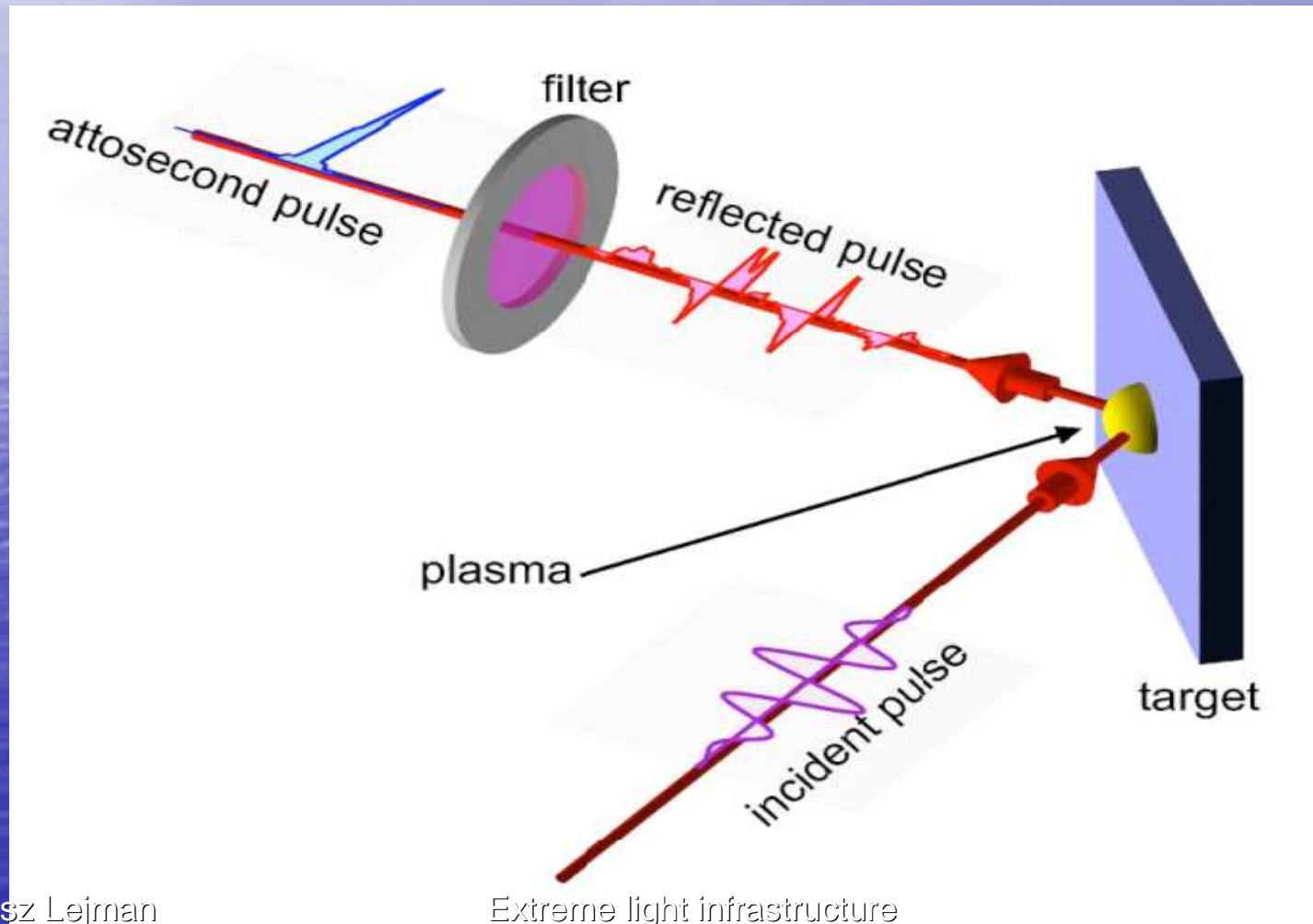


# ALS –

## attosekundowe źródło światła

- Ma przerastać pod względem czasowo uśrednionej jasności o kilka rzędów wielkości obecne źródła, a impulsy mają być kilka rzędów wielkości krótsze
- Wytworzy polichromatyczne światło o czasie trwania impulsu kilkadziesiąt attosekund
- Idealnie uzupełni XFEL (monochromatyczny impuls 100fs) budowany w Hamburgu dopasowany do badań strukturalnej dynamiki materii w czasie rzeczywistym

# Schemat generacji impulsu attosekundowego używając harmonicznych z przegęszczanej plazmy

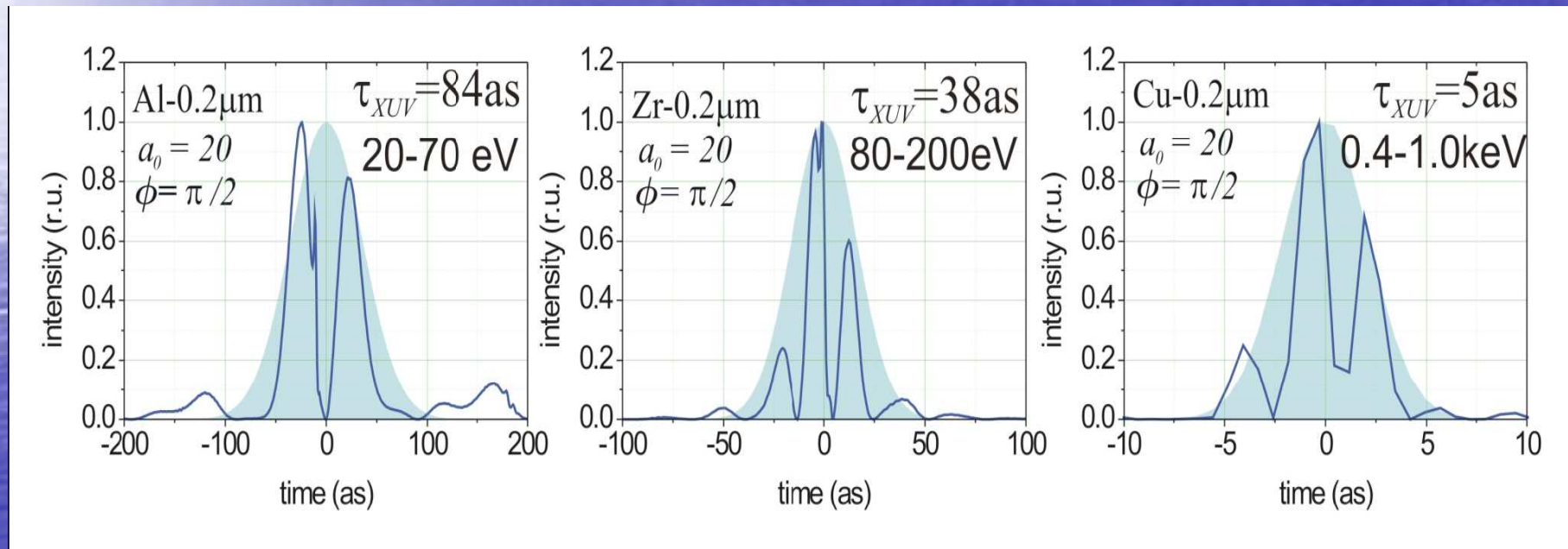


# Mechanizm wytworzenia impulsów

- Relatywistyczne harmoniczne są sposobem wytworzenia wydajnych impulsów attosekundowych
- Oddziaływanie intensywnego impulsu laserowego z przegęszczoną plazmą pozwala na wytworzenie impulsów poprzez fazowo-zamknięte harmoniczne (silnie anharmoniczny ruch elektronów na granicy tarcza-próżnia)



# Attosekundowe impulsy utworzone przez odpowiednie filtry



# Możliwe badania i eksperymenty

- Obserwacja w czasie rzeczywistym wewnątrzatomowej dynamiki elektronowej (atomowa jednostka czasu wynosi  $24\text{as}$ )
- Attosekundowe eksperymenty pump-probe pozwolą badać wielokanałowe kaskady relaksacji atomów wzbudzonych w wewnętrznych powłokach, czasy oddziaływań międzyelektronowych, oraz wpływ ultra-silnego pola na te dynamiki (atom He)
- Czasowa ewolucja obsadzenia wewnętrznych powłok w obecności silnego zewnętrznego pola będzie po raz pierwszy dostępna eksperymentalnie

# Możliwe badania i eksperymenty



- Kontrola i obserwacja w czasie rzeczywistym dynamiki elektronowej w molekułach i klastrach (np. badanie rezonansów kolektywnych wzbudzeń 240 zdelokalizowanych elektronów w molekułe  $C_{60}$  z czasem życia rzędu femtosekundy, badanie migracji ładunku w biomolekułach)
- Badanie transferu elektronów z powierzchni o silniejszych oddziaływaniach kowalencyjnych
- Czterowymiarowa mikroskopia dynamiki elektronowej z nanometrową rozdzielczością w przestrzeni i attosekundową w czasie



# Generacja impulsów cząstek



- Za pomocą ultrakrótkich impulsów laserowych o silnym natężeniu skupionych na specjalnej tarczy można wytworzyć promieniowanie (X, gamma), oraz wysokoenergetyczne cząstki (jony, protony, elektrony)
- Niezwykle silne pola elektryczne o wartościach przekraczających 1TV/m
- Rozmiar źródła mniejszy o kilka rzędów wielkości od konwencjonalnego
- Długość impulsu cząstek i jasność sprawia, że są unikalne i inne od konwencjonalnych źródeł

# Akceleracja elektronów



- Laser Wake Field Acceleration (LWFA)-pracuje dla impulsów krótszych niż długość fali plazmy
- Elektrony są przyspieszane do relatywistycznych energii (czynnik gamma 100-1000) z dużą wydajnością
- Osiągany jest kwazienergetyczny (do 175MeV) impuls elektronów o wysokim ładunku (0,5nC), rozbieżności kilku miliradianów, oraz czasie trwania ok. 10fs
- Parametry powstałego impulsu silnie zależą od impulsu lasera, oraz parametrów tarczy
- Planowane jest osiągnięcie energii powyżej 1GeV

# Akceleracja protonów



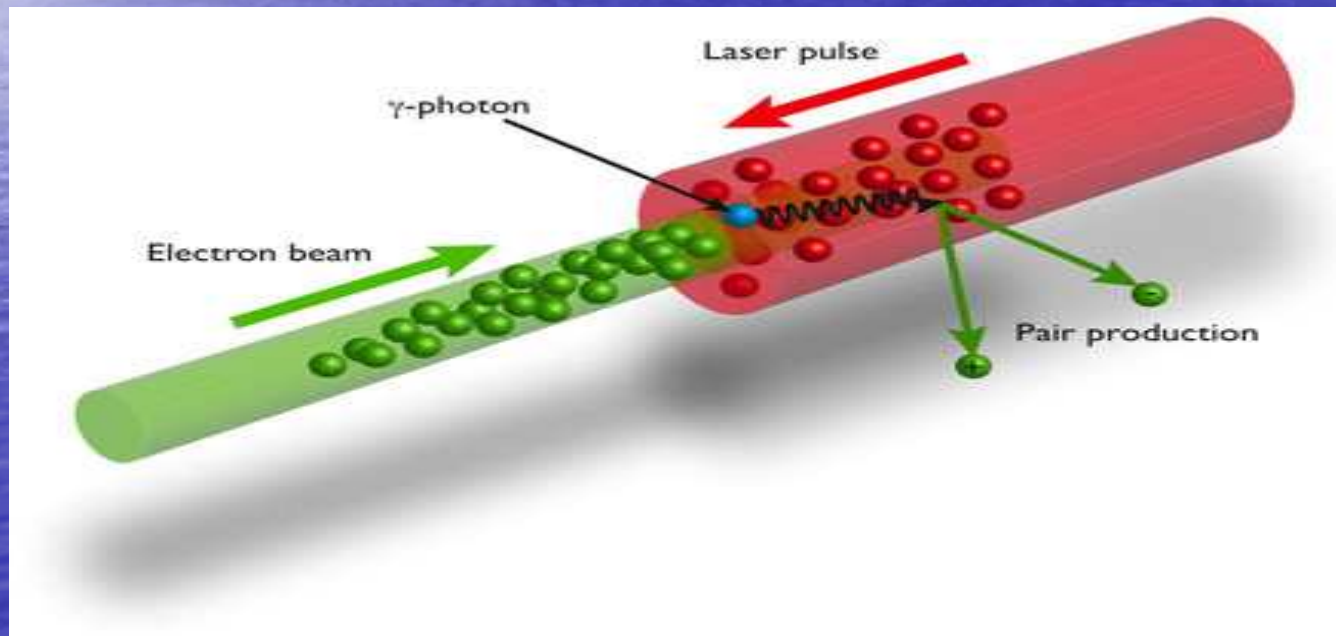
- Dwuwarstwowa tarcza wykonana z materiału o wysokiej liczbie atomowej (np. złoto) pokrytego warstwą zawierającą atomy wodoru
- Przy użyciu bieżącej technologii laserowej (1PW) można uzyskać monoenergetyczną wiązkę protonów o energii do 200MeV
- Można ją wykorzystać do terapii protonowej (redukcja skali, łatwiejsza orientacja wiązki, mniejsze koszty), oraz produkcji krótkożyciowych radioizotopów dla PET
- W drugim stadium projektu dla laserów o mocy do 100PW możliwa będzie generacja protonów o energiach kilku GeV



# Generacja promieniowania X

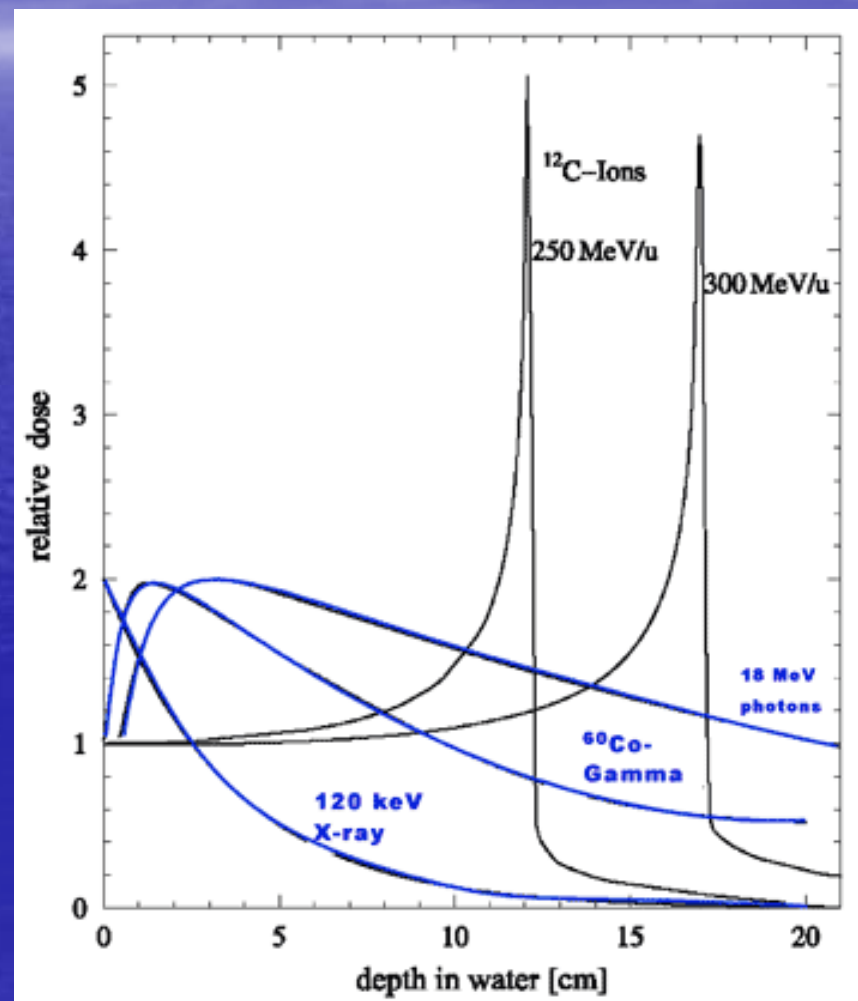


- Promieniowanie X można wytworzyć ogniskując intensywny impuls femtosekundowy na pęku relatywistycznych elektronów dzięki mechanizmowi rozpraszania Comptona



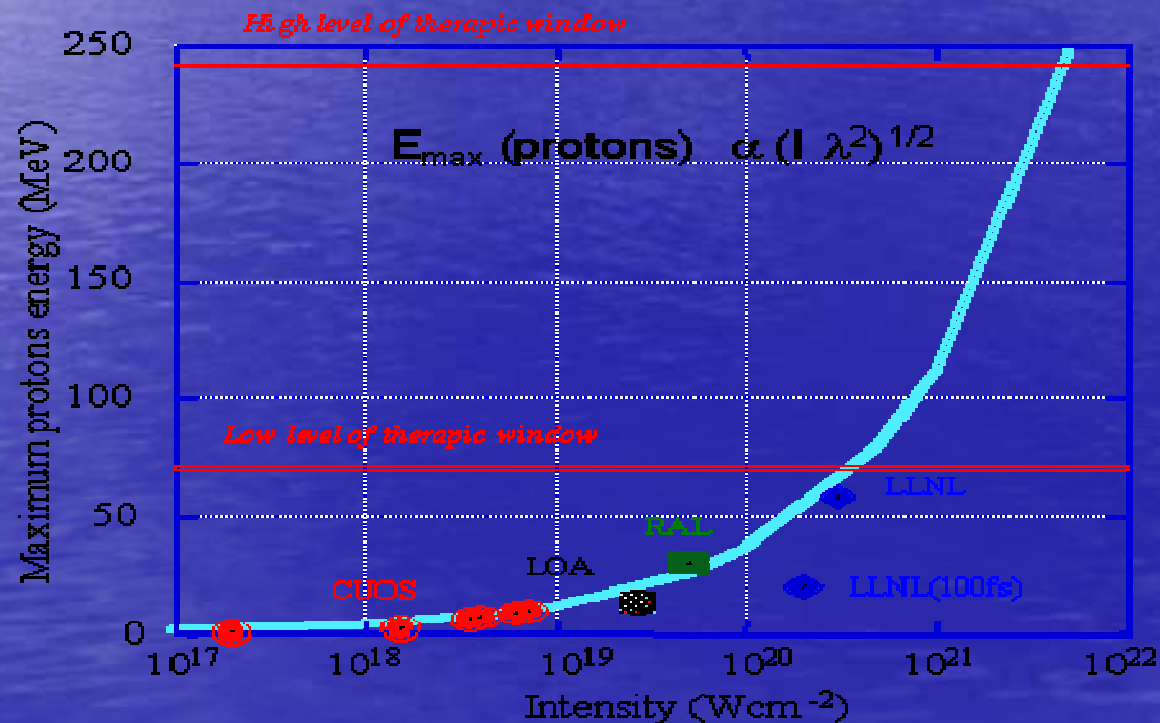
# Zastosowania w terapii hadronowej

- Wiązki hadronowe (protony, jony węgla) mają odwrotny profil wgłębny, przez co mogą dostarczyć większej dawki chorej tkance położonej w głębi, niż zdrowej na powierzchni



# Zastosowania w terapii hadronowej

- Energia jonów musi mieć odpowiednią wartość, by wiązka była użyteczna, stąd potrzebne są odpowiednie natężenia wiązki laserowej



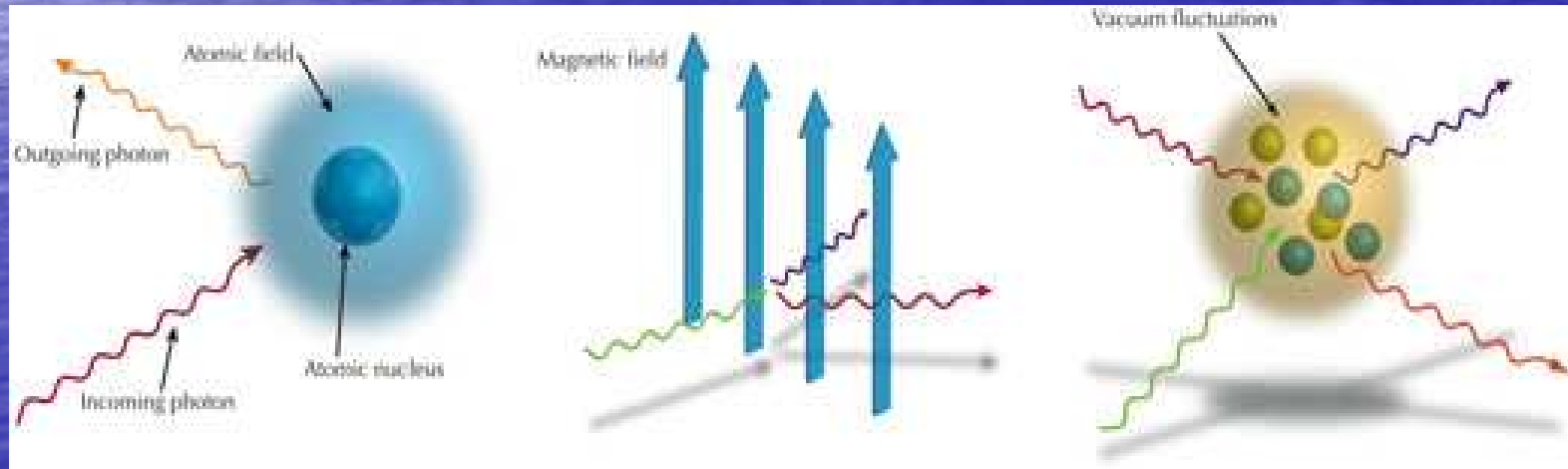


# Zastosowania w fizyce jądrowej

- Natężenia wiązki laserowej wystarczające do zainicjowania niskoenergetycznych reakcji jądrowych
- Możliwość wzbudzania jądrowych poziomów energetycznych i wymuszania charakterystycznej emisji promieni gamma
- Zmiana jądrowych czasów życia, dzięki czemu możliwość neutralizacji niektórych szkodliwych izotopów z reaktorów jądrowych

# Fizyka silnych pól

- Badanie rozpraszania fotonu na fotonie-efektu przewidzianego w kwantowej elektrodynamice powstałego wskutek kreacji pary elektron-pozyton w próżni



# Literatura

- [www.extreme-light-infrastructure.eu](http://www.extreme-light-infrastructure.eu)
- [www.eli-beams.eu](http://www.eli-beams.eu)
- [www.eli-np.ro](http://www.eli-np.ro)



# Zapraszam do dyskusji