

Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów

Uniwersytet Warszawski

Marcin Palacz

Samodzielna (podstawowa) jednostka UW



Pracownicy naukowo-dydaktyczni - 15

Pracownicy inżynieryjno-techniczni – 41

Administracja, obsługa – 11

Razem - 67

Doktoranci ~ 5



Urządzenia i prace badawcze w ŚLCJ

- Cyklotron przyśpieszający ciężkie jony
- Urządzenia i tematy prac:
 - Spektrometr dyskretnej promieniowania gamma EAGLE wraz z detektorami dodatkowymi
 - Separator produktów reakcji WIGISOL
 - Spektrometr cząstek naładowanych ICARE
 - Stanowisko do naświetlań próbek biologicznych
 - Gamma kamera
 - Produkcja radioizotopów do zastosowań medycznych
 - Pracownia detektorów cząstek
 - Pracownia tarcz
- Ośrodek Produkcji i Badania Radiofarmaceutyków z cyklotronem przyśpieszającym p i d .

Cyklotron

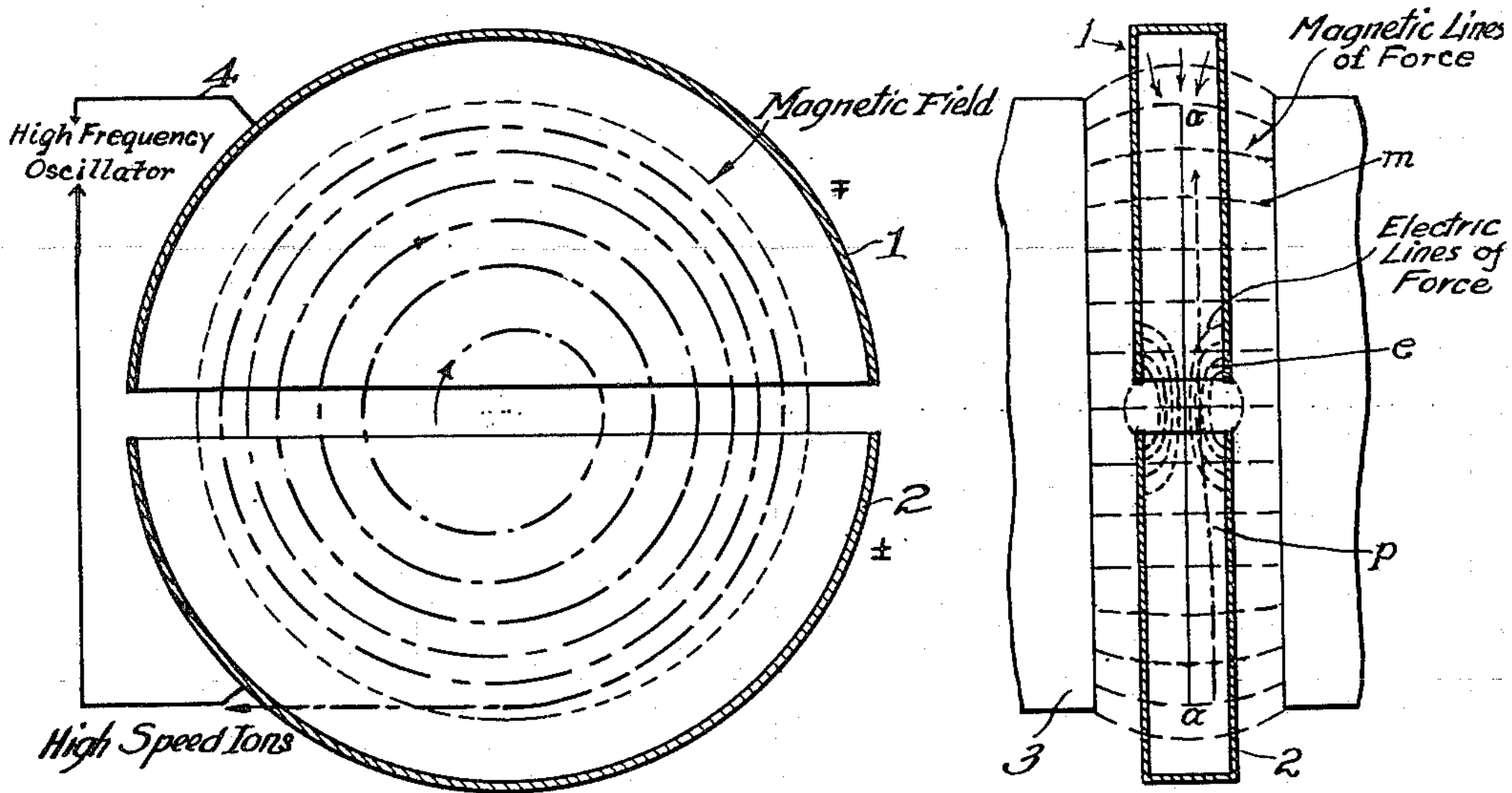


Diagram cyklotronu z wniosku patentowego z 1934 roku (wikipedia)

Pierwszy cyklotron: średnica 11.5 cm, 1800 V, protony do energii 80 keV
Ernest Lawrence, Uniwersytet Kalifornijski, 1931

Cyklotron izochroniczny
średnica 2m,
B ~ 2T

K=120 do 160 [MeV], $E/A = Z^2/A^2 * K$

$V_{\max} = 70$ kV

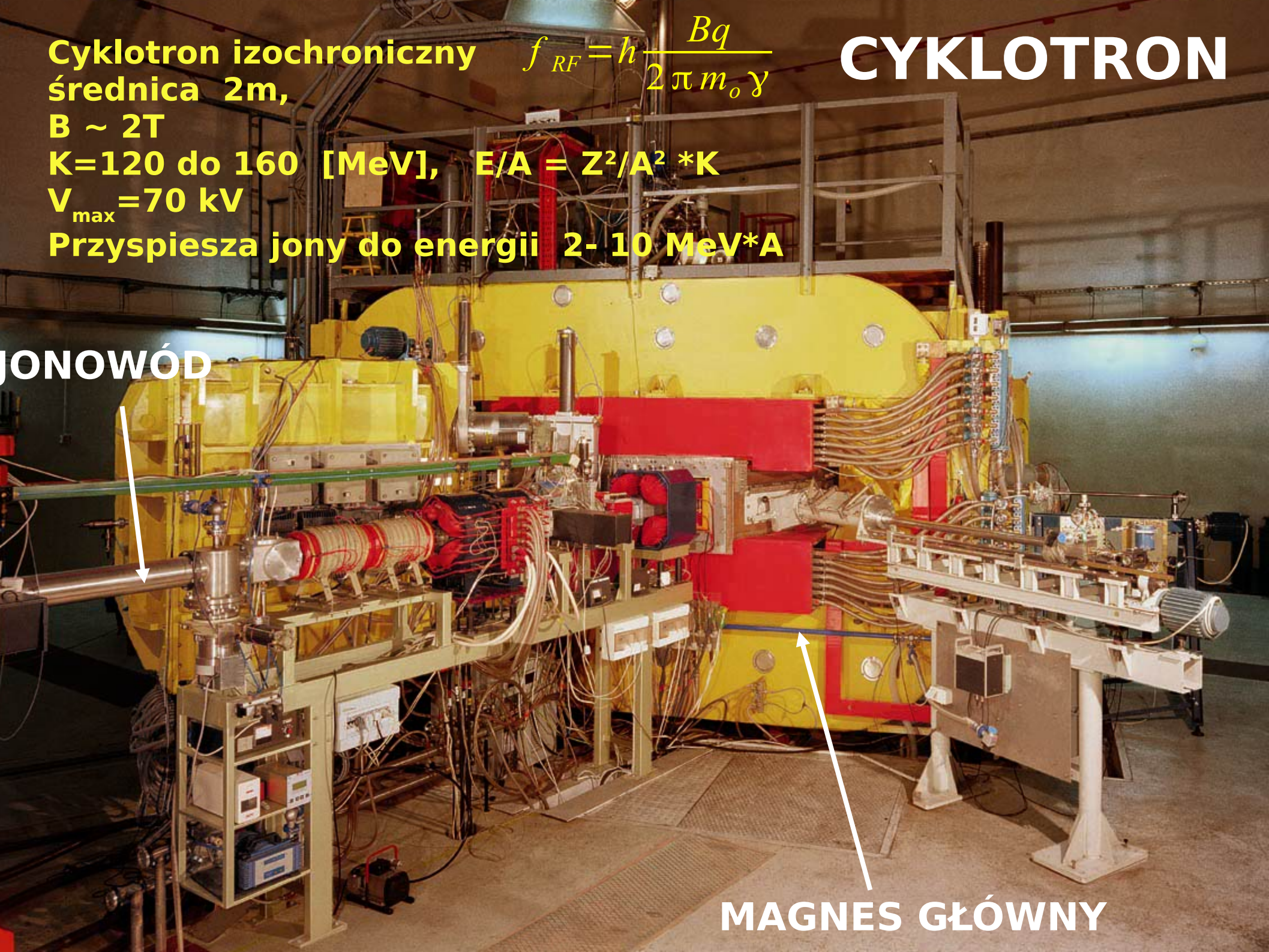
Przyspiesza jony do energii 2-10 MeV*A

$$f_{RF} = h \frac{Bq}{2\pi m_o \gamma}$$

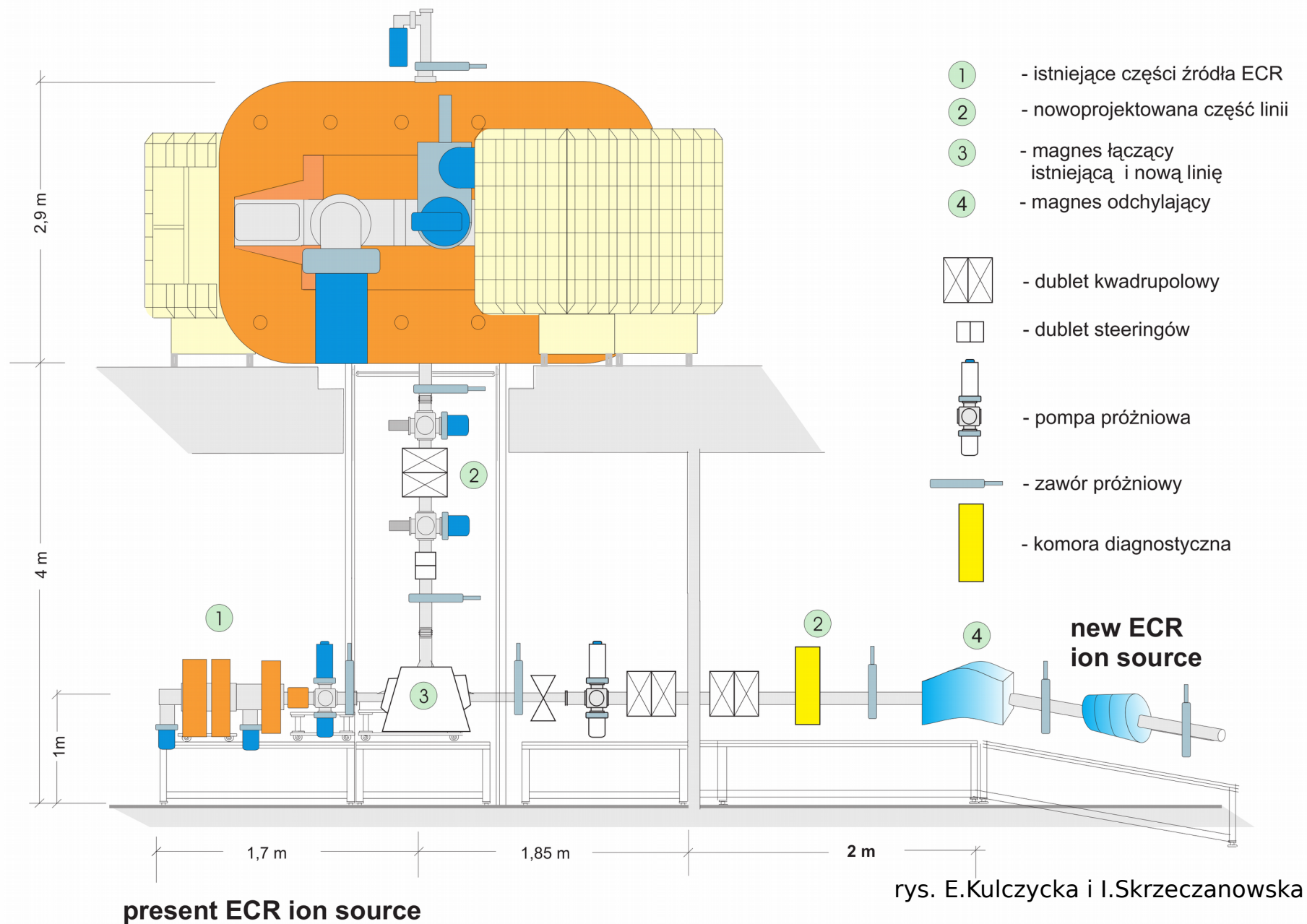
CYKLOTRON

IONOWÓD

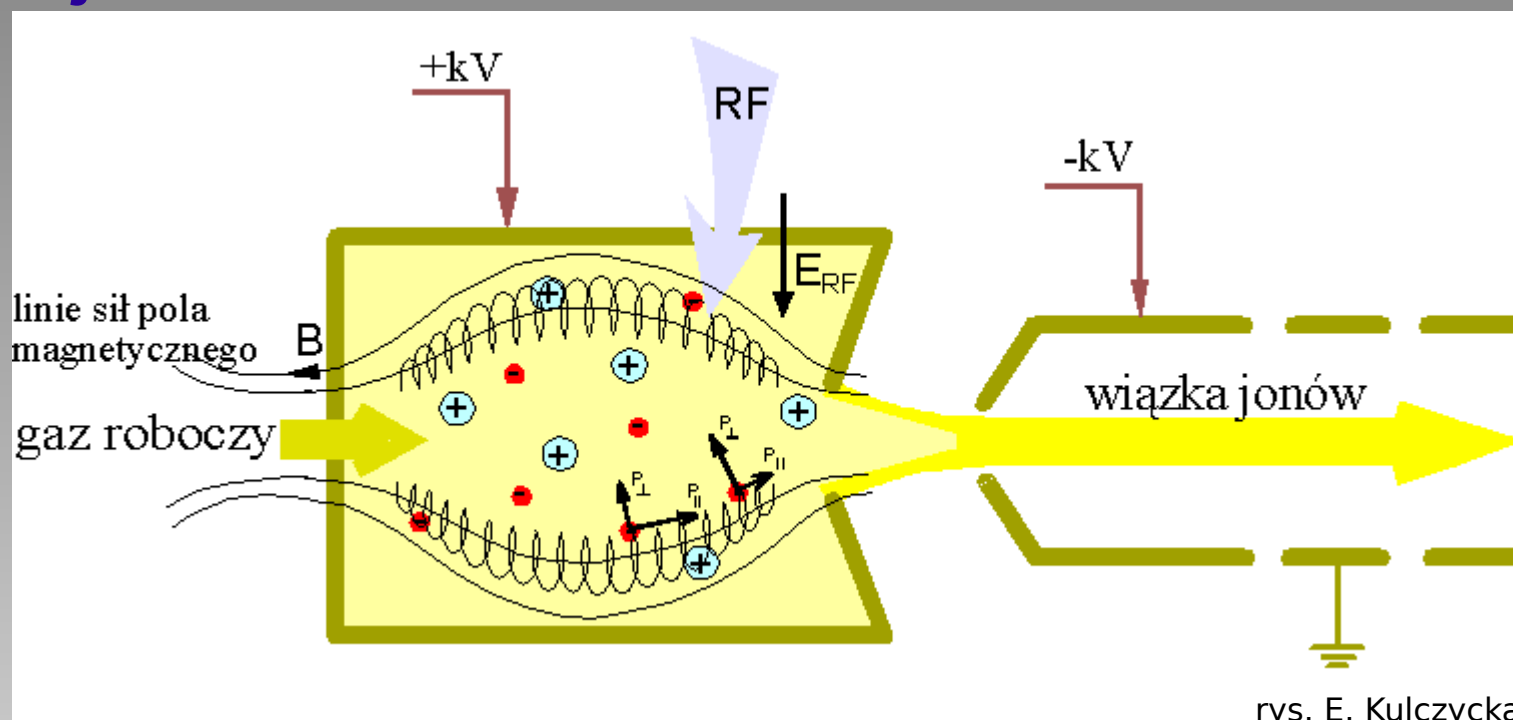
MAGNES GŁÓWNY



Cyklotron i źródła jonów



Źródło jonów ECR – zasada działania



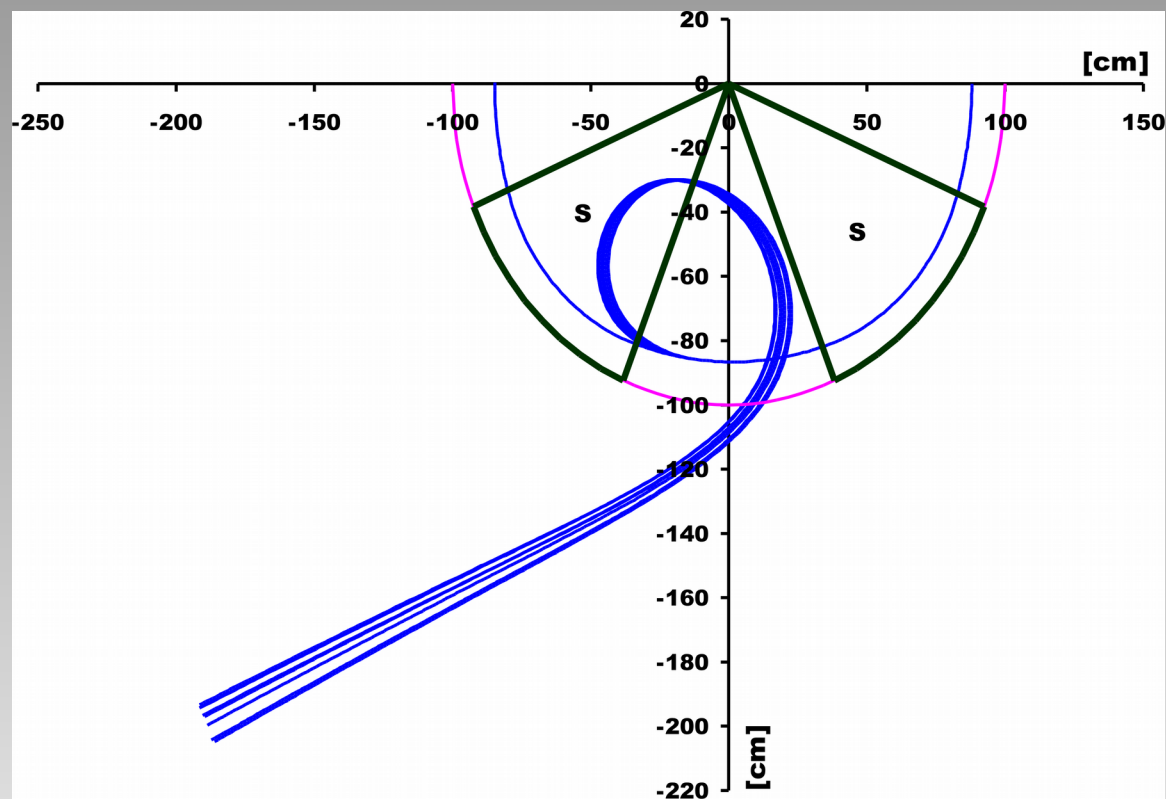
Electron Cyclotron Rezonse: $\omega_{CE} = eB/m$

Przykład: fala elektromagnetyczna o częstotliwości 10 GHz rezonansowo przyspiesza elektrony umieszczone w polu magnetycznym 0.36 T

źródła jonów w ŚLCJ: "stare" 10 GHz, "nowe" 14.5 GHz

Typowe intensywności wiązki: kilkadziesiąt μA (μA — prąd/ładunek)
1A, jednokrotnie zjonizowana wiązka: $1/1.6 \cdot 10^{19}$ jonów/s

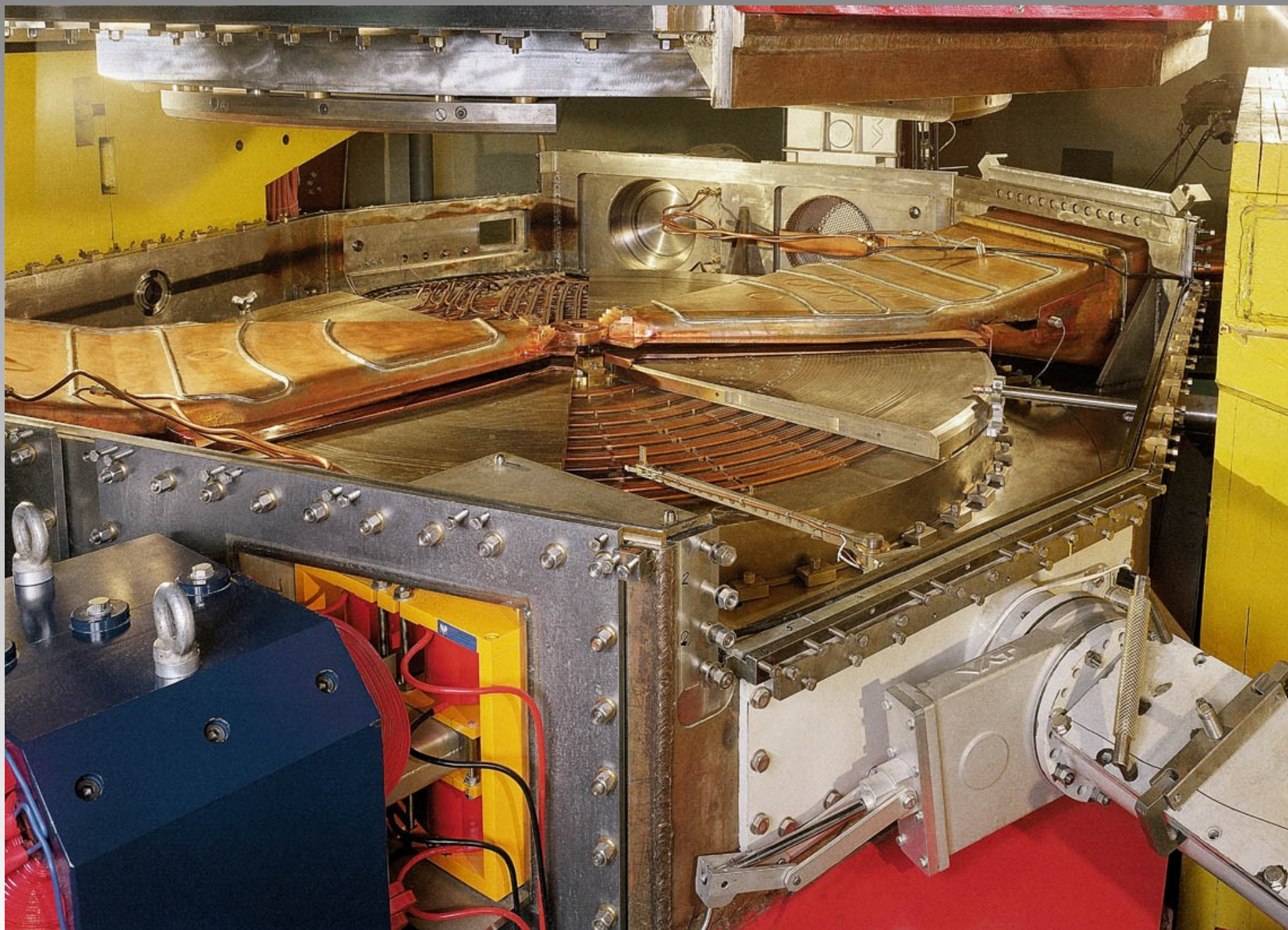
Wyprowadzanie wiązki z cyklotronu

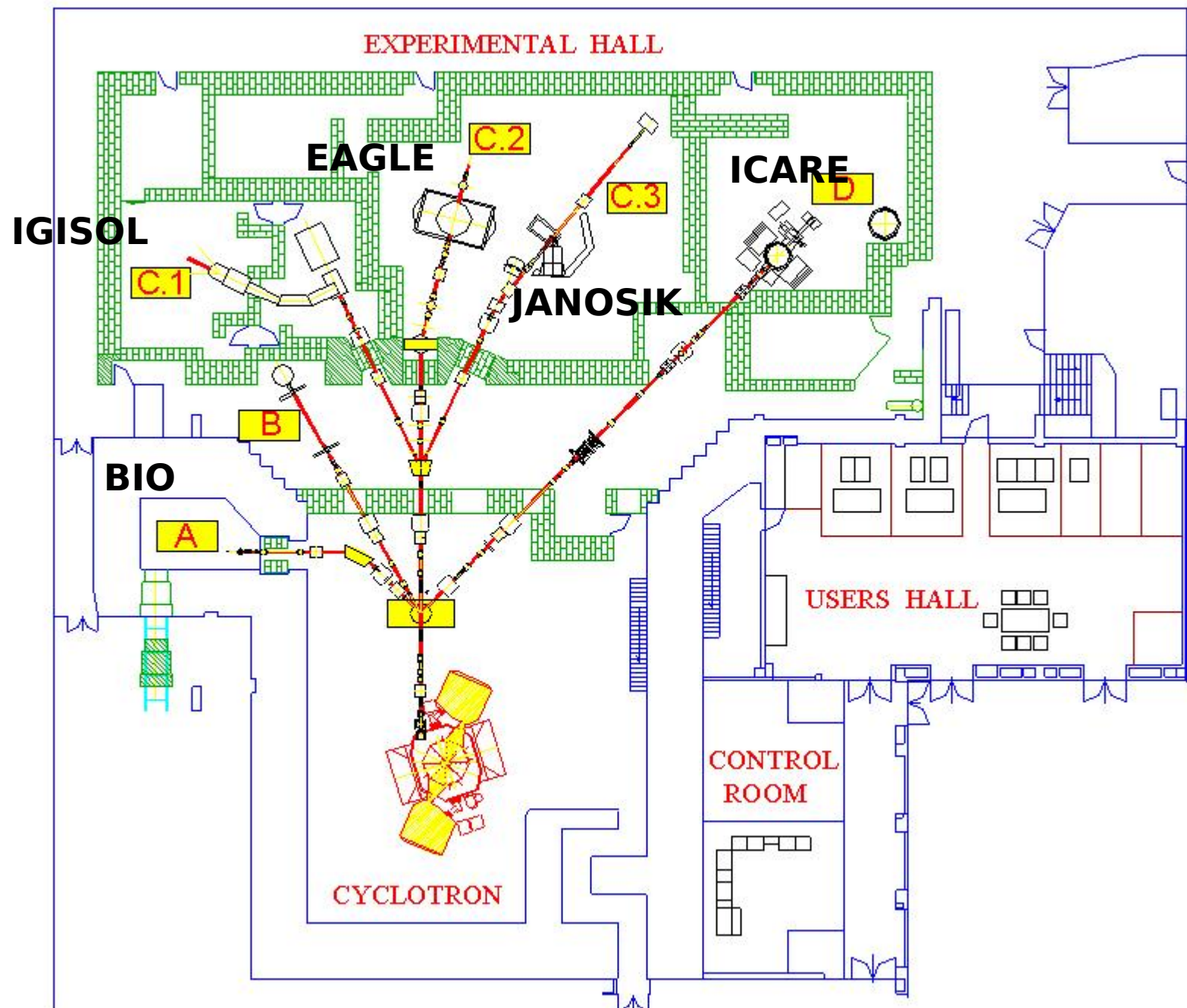


rys. J. Choiński

$$r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$$

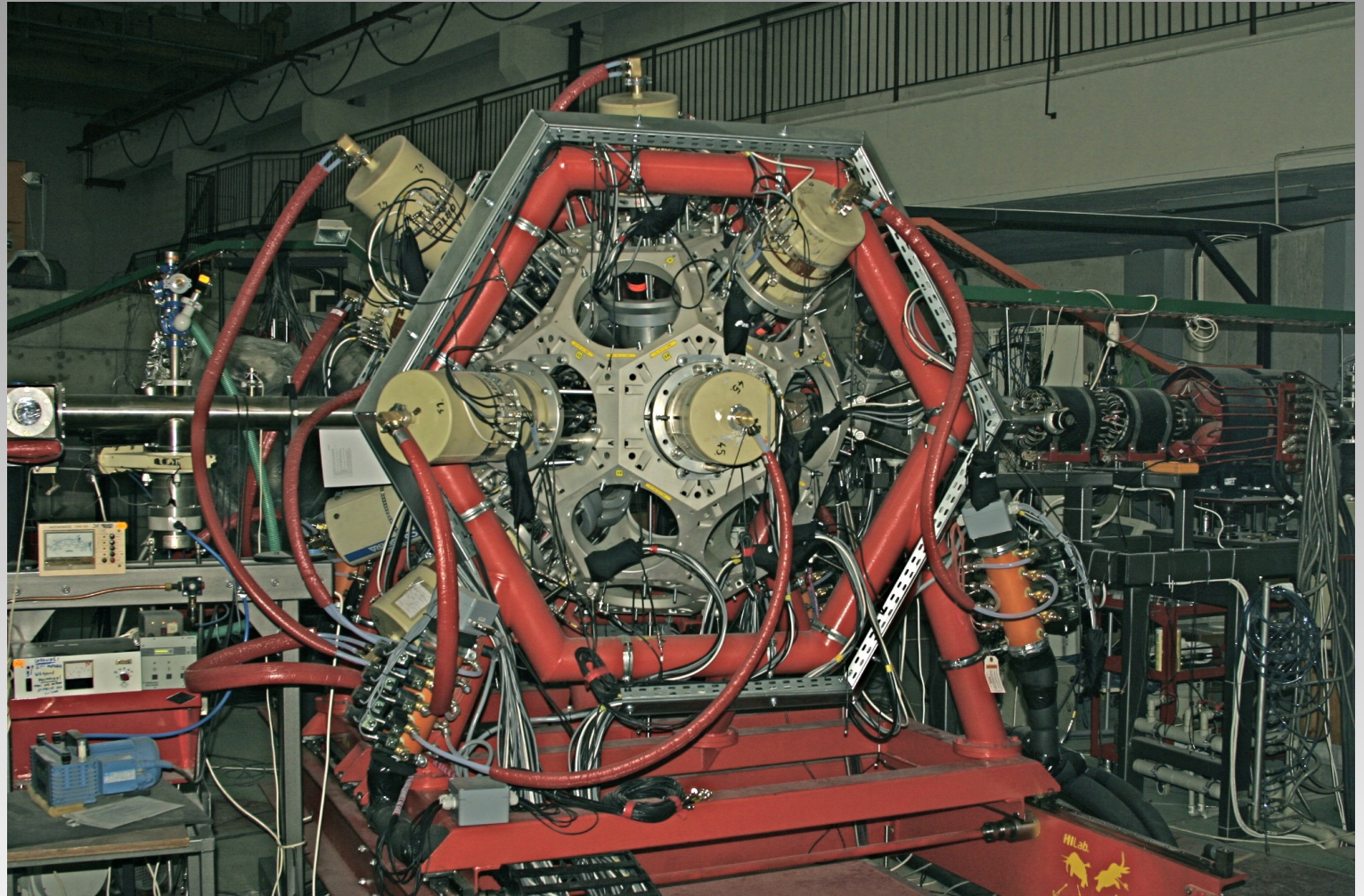
Cyklotron



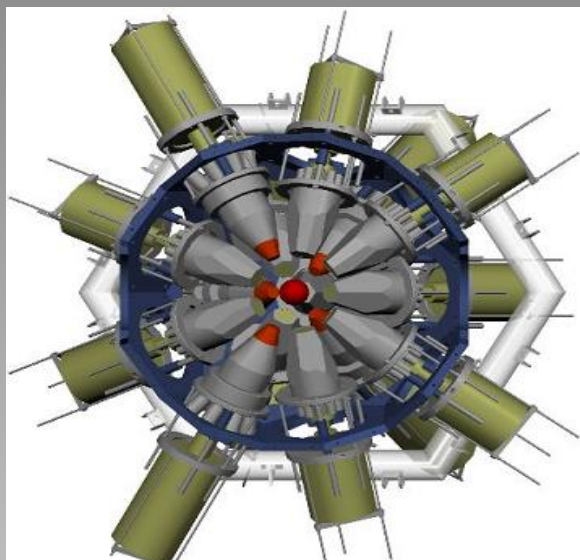


EAGLE – central European Array for Gamma Levels Evaluations

Układ detektorów germanowych do pomiarów promieniowania γ



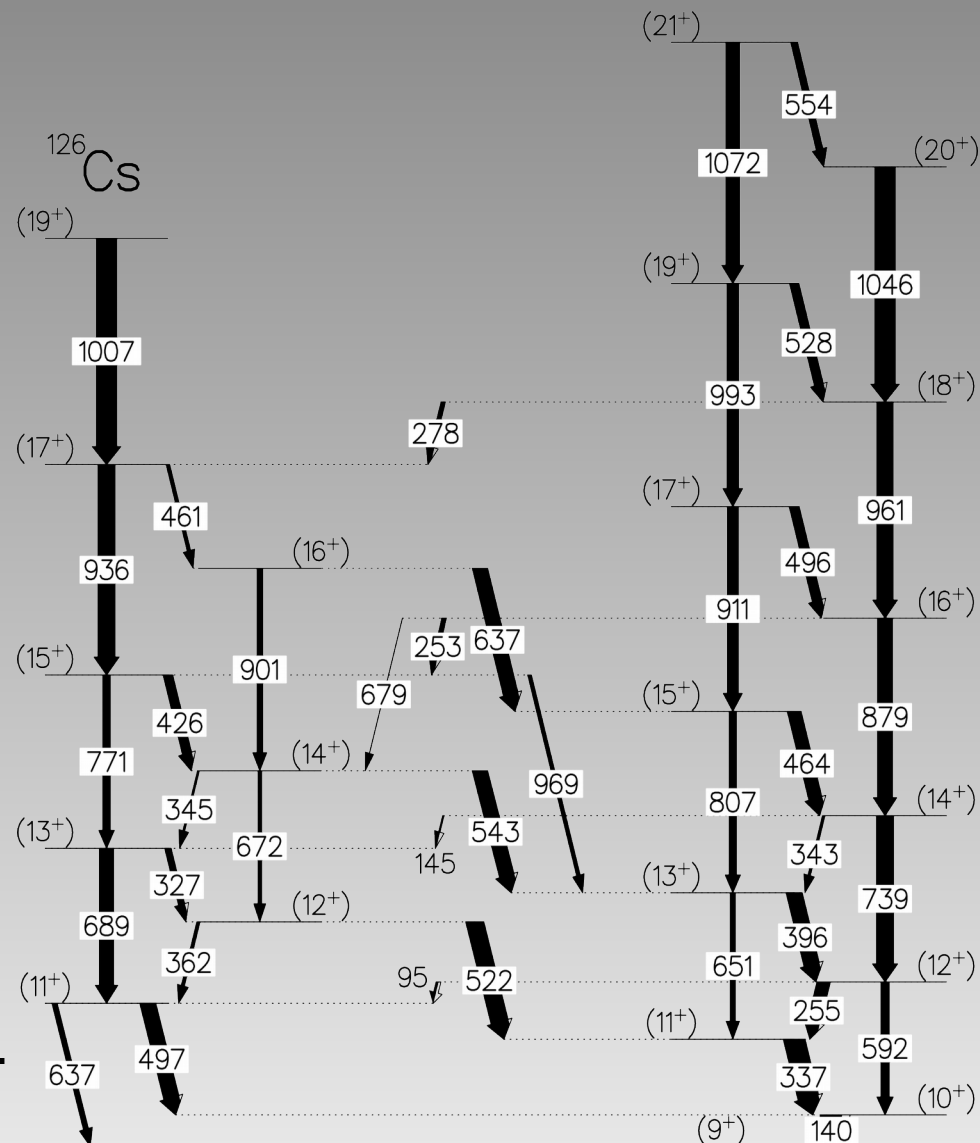
EAGLE – central European Array for Gamma Levels Evaluations



Pomiary własności kwantów γ :

- energia
- krotność
- koincydencja
- czas
- rozkłady i korelacje kątowe
- perturbacje rozkł. kątowych w polu magn.

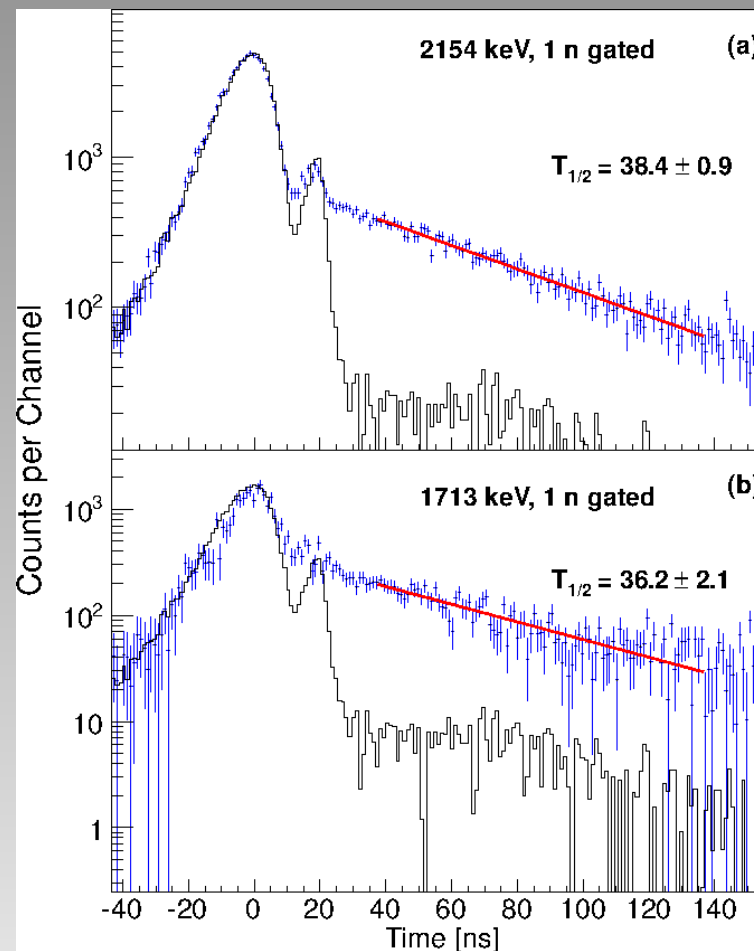
W celu określenia własności stanów:
energia wzbudzenia, spin, parzystość, czas życia, moment magn.
kształt, rotacja/oscyłacja....



E. Grodner et al, Phys. Lett B703 (2011) 46

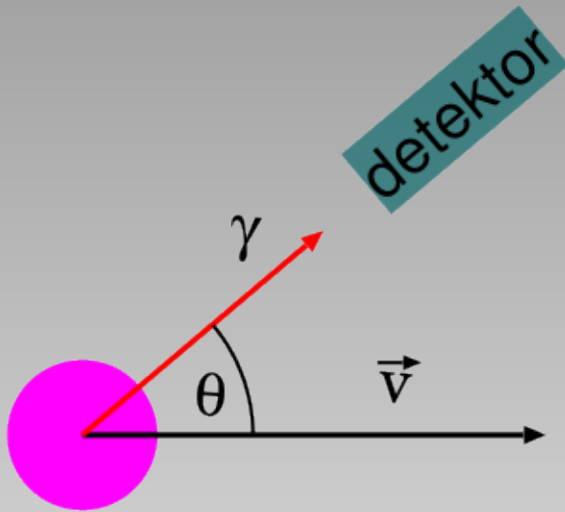
EAGLE – pomiary czasów życia stanów wzbudzonych jąder

czasy > 1 ns - bezpośrednio
z rozkładów czasowych sygnałów
z detektorów germanowych

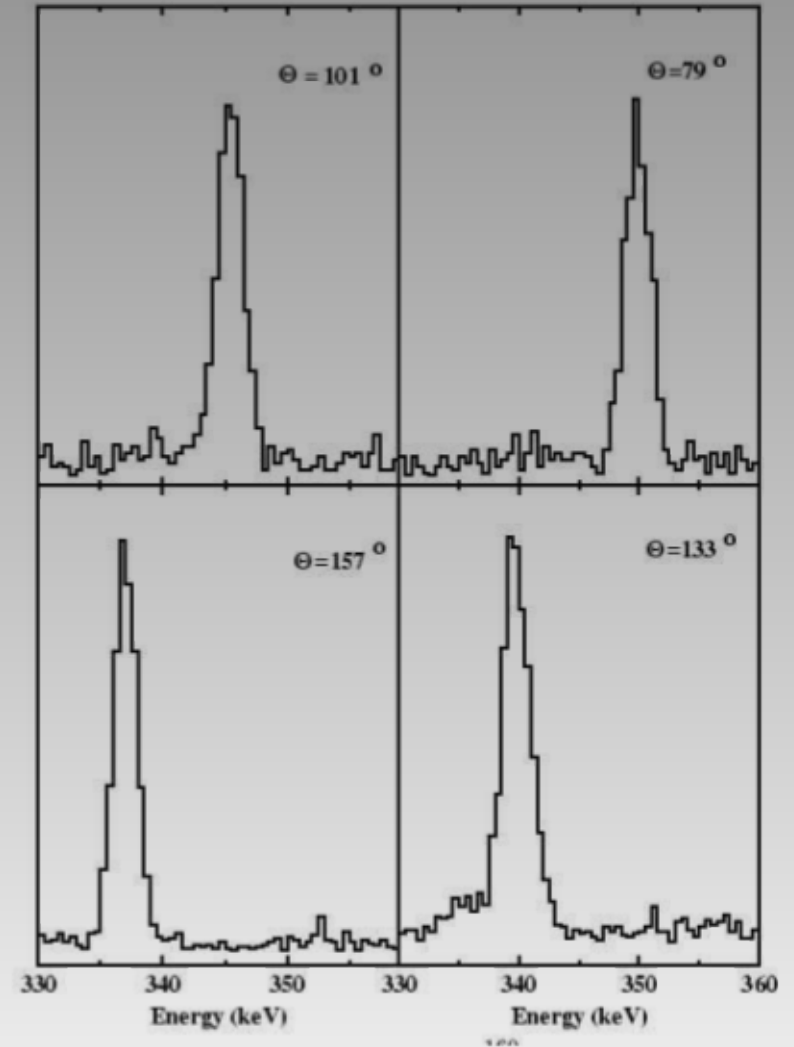


EAGLE – pomiary czasów życia stanów wzbudzonych jąder

Przesunięcie Dopplera



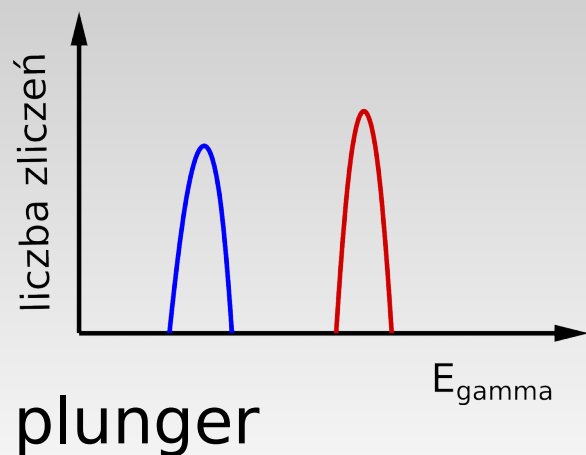
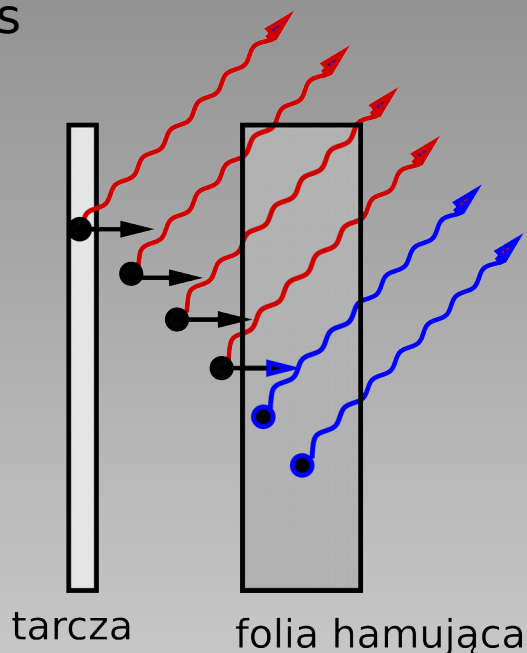
$$E'_\gamma = E_\gamma \left(1 + \frac{v}{c} \cos(\theta)\right)$$



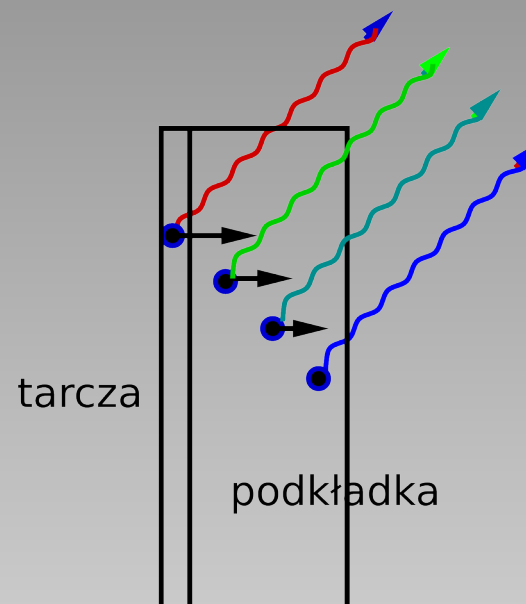
rys. M. Zielińska

EAGLE – pomiary czasów życia stanów wzbudzonych jąder

1ns – 2 ps

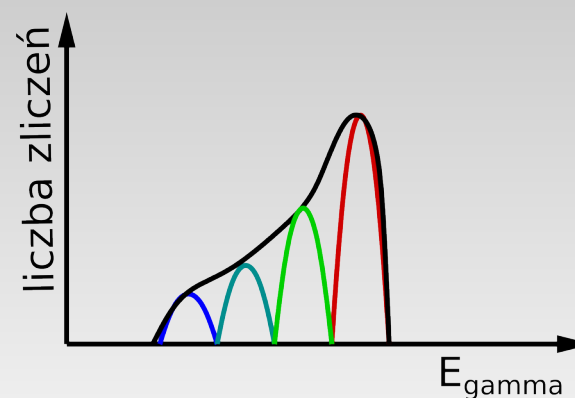


10ps – 10 fs



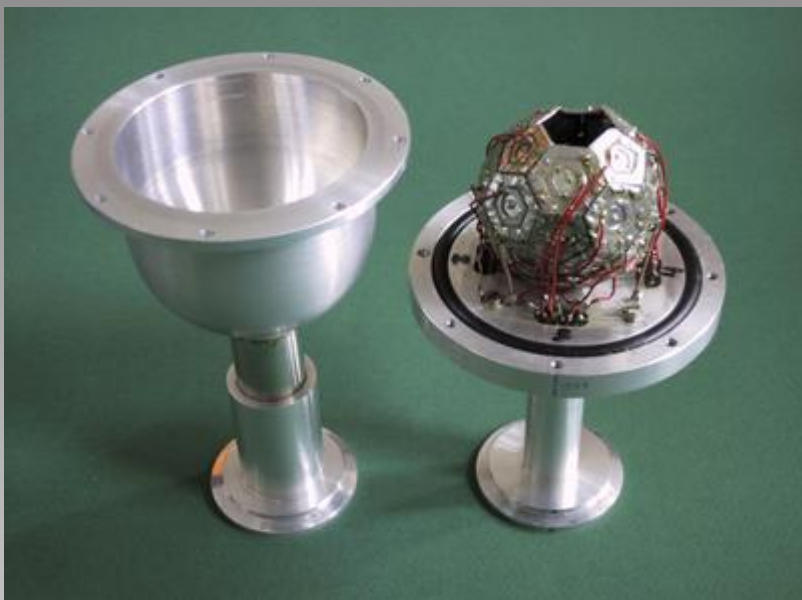
Doppler
Shift
Attenuation
Method

czas hamowania
zbliżony
do czasu życia



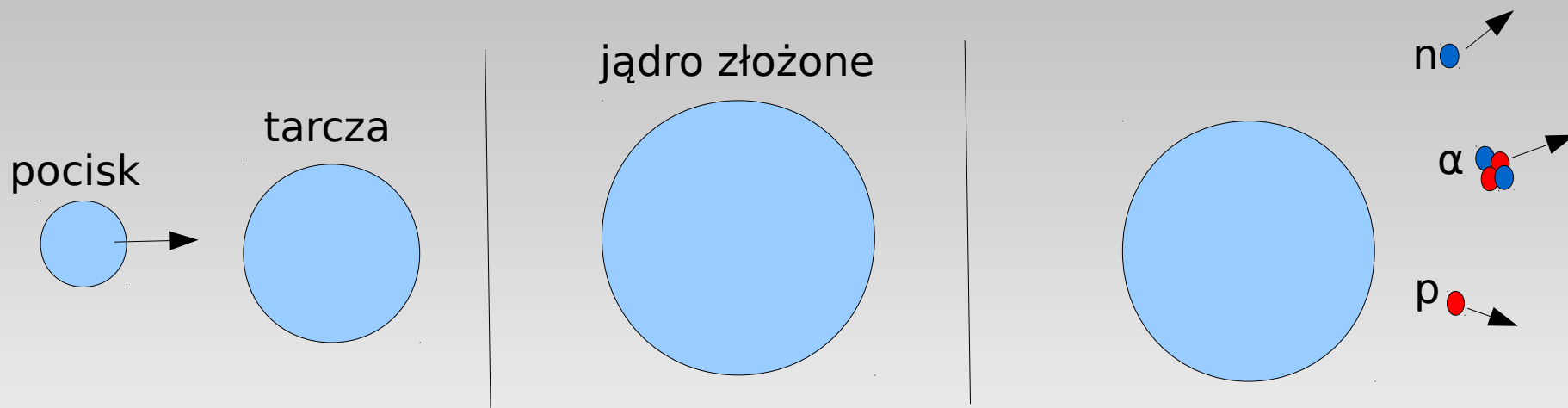
rys. M. Zielińska

EAGLE – detektory pomocnicze: SiBall



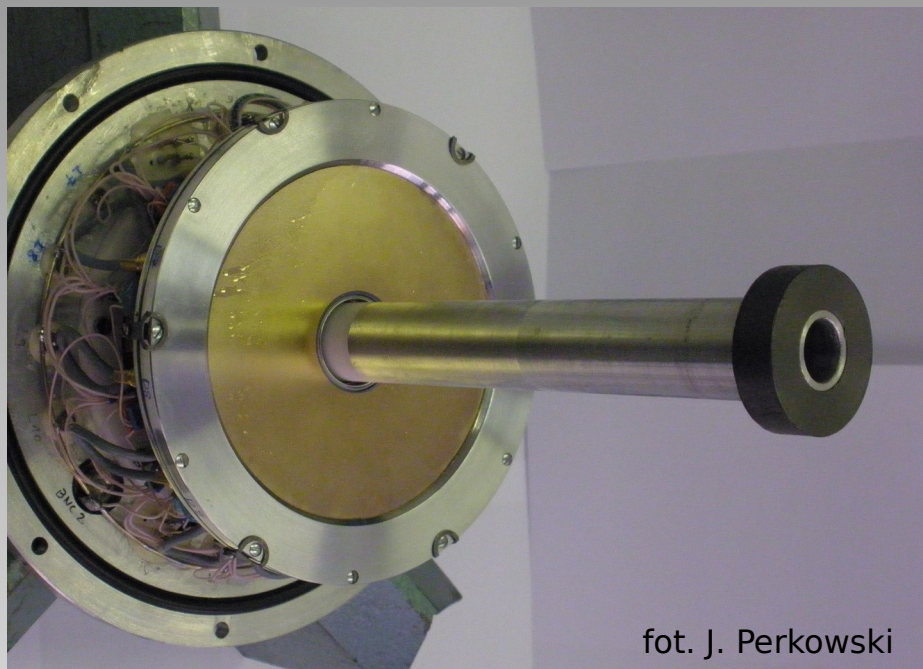
Detekcja i identyfikacja protonów oraz cząstek α emitowanych w reakcjach fuzji-ewaporacji.

Obserwacja kwantów γ w koincydencji z p i α



Pracownia detektorów cząstek: A. Kordyasz

EAGLE – detektory pomocnicze: spektrometr elektronów



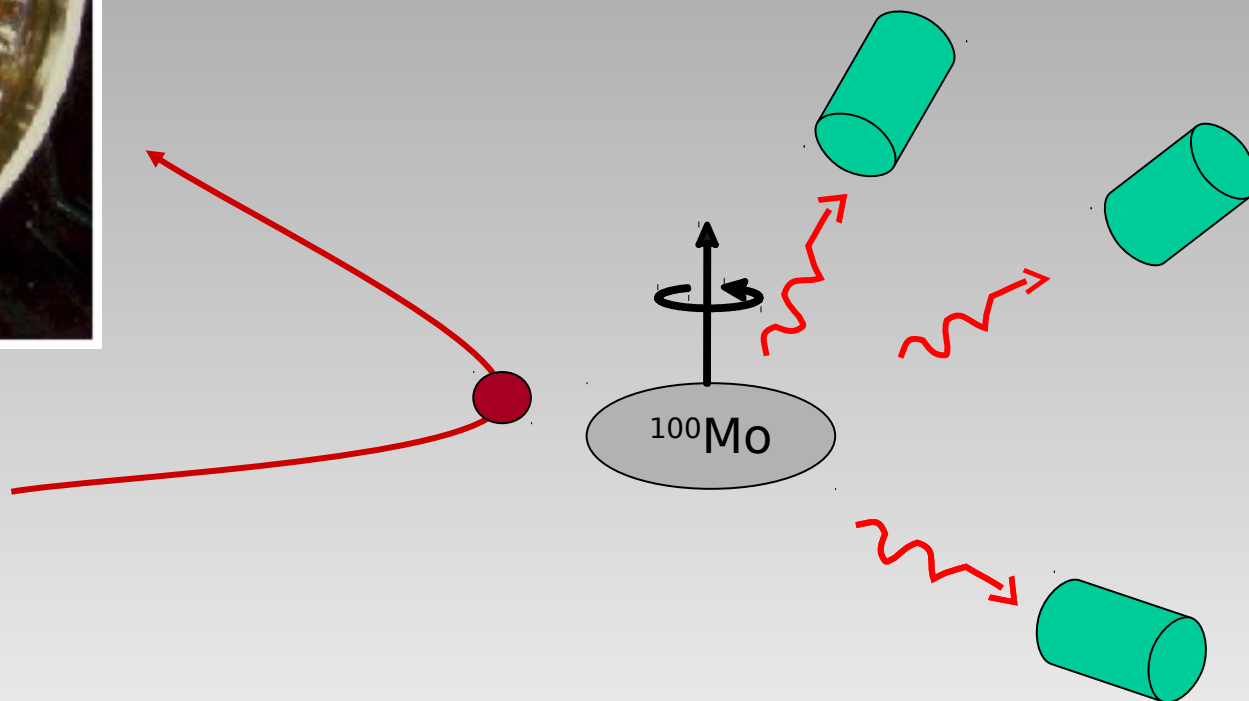
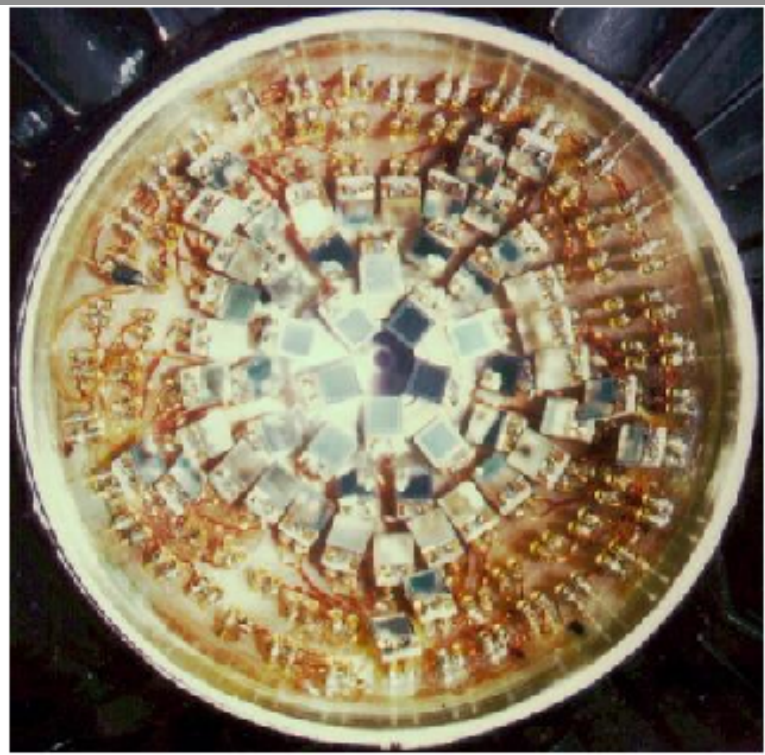
Przejścia elektromagnetyczne pomiędzy stanami jądrowymi mogą zachodzić nie poprzez emisję γ , a przez przekazanie energii elektronowi na powłoce atomowej (konwersja wewnętrzna).

Prawdopodobieństwo konwersji silnie zależy od liczby Z , energii przejścia, multipolowości i rodzaju (elektryczne lub magnetyczne) przejścia.

Pomiary elektronów konwersji są istotnym uzupełnieniem pomiarów γ : informacje o spinie i parzystości stanów, niekiedy jedyny sposób obserwacji przejścia

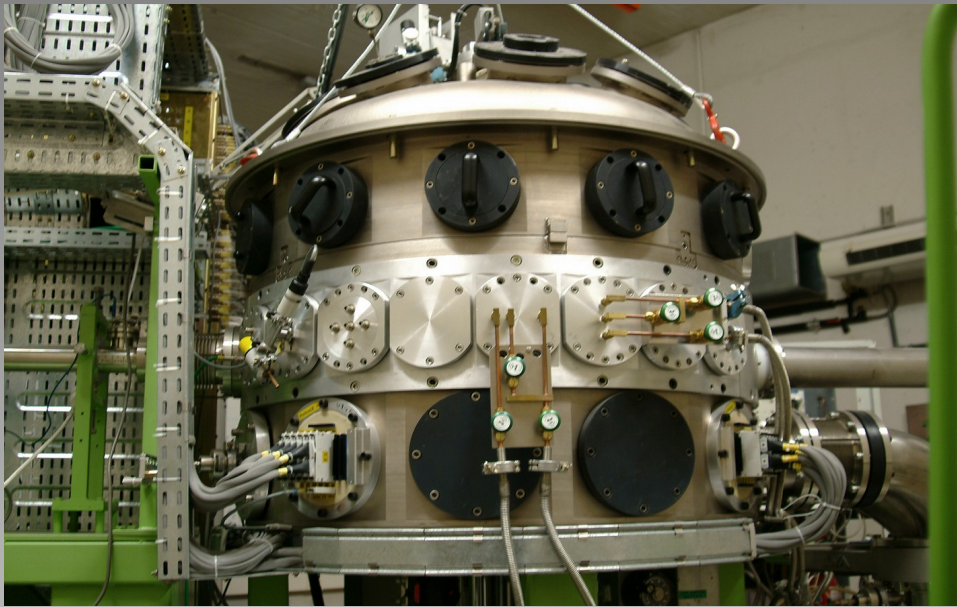
J. Perkowski, J. Andrzejewski et al. (Uniwersytet Łódzki)

EAGLE – detektory pomocnicze: komora rozproszeń z pin-diodami



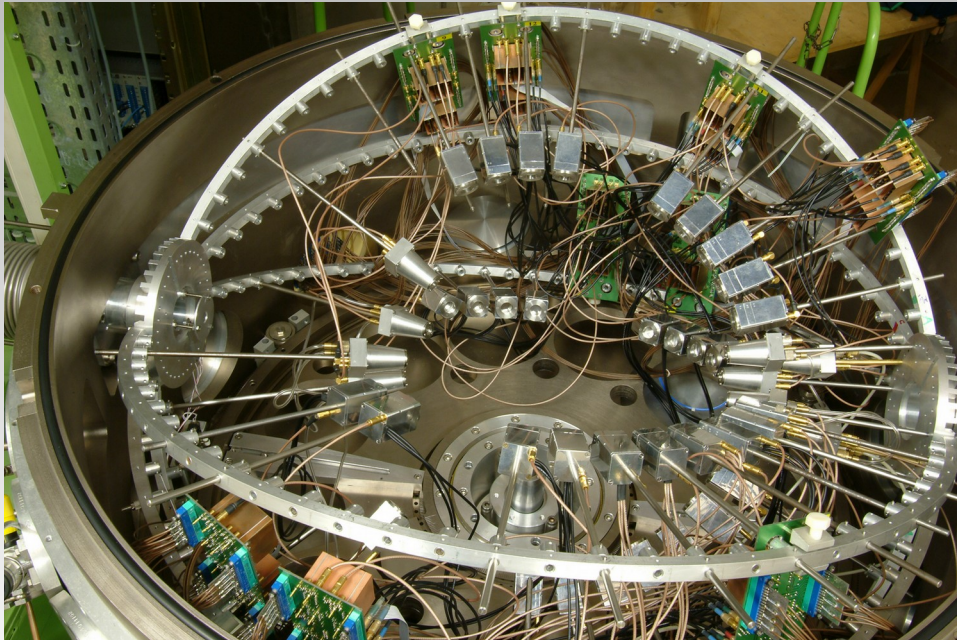
wiązka, np ^{40}Ar , 88 MeV

Badania kształtów jąder metodami wzbudzenia kulombowskiego



ICARE

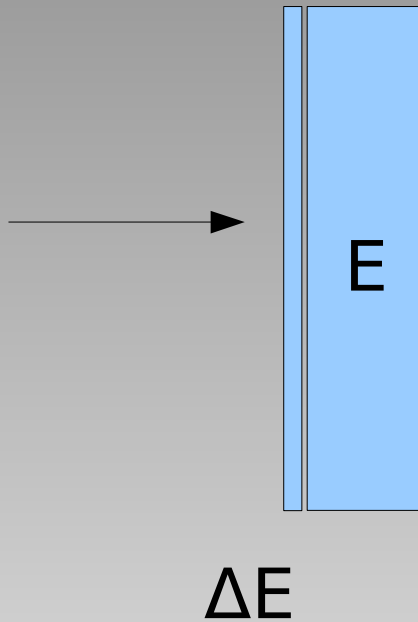
- Układ skonstruowany w IReS Strasbourg
- Komora o średnicy 1m
- Do 48 detektorów cząstek naładowanych – teleskopy E- Δ E (Si, CsI, gazowe)
- ew. pomiar czasu przelotu (TOF): detektory MCP



E. Piasecki, A. Trzcińska, K. Rusek, M. Kisieliński,
M. Kowalczyk, I. Strojek

ICARE – identyfikacja cząstek w teleskopie E - ΔE

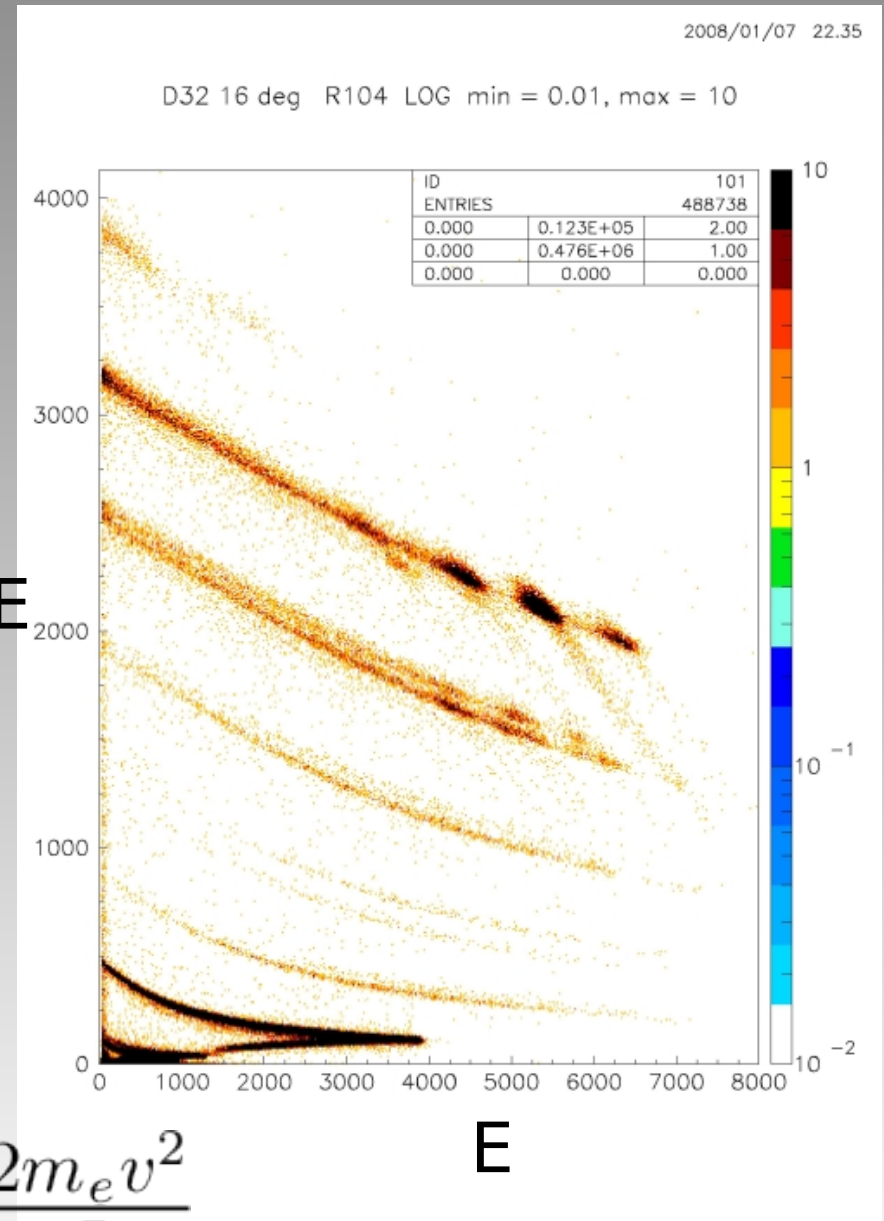
produkty reakcji ^{14}N (80 MeV) na tarczy ^{12}C



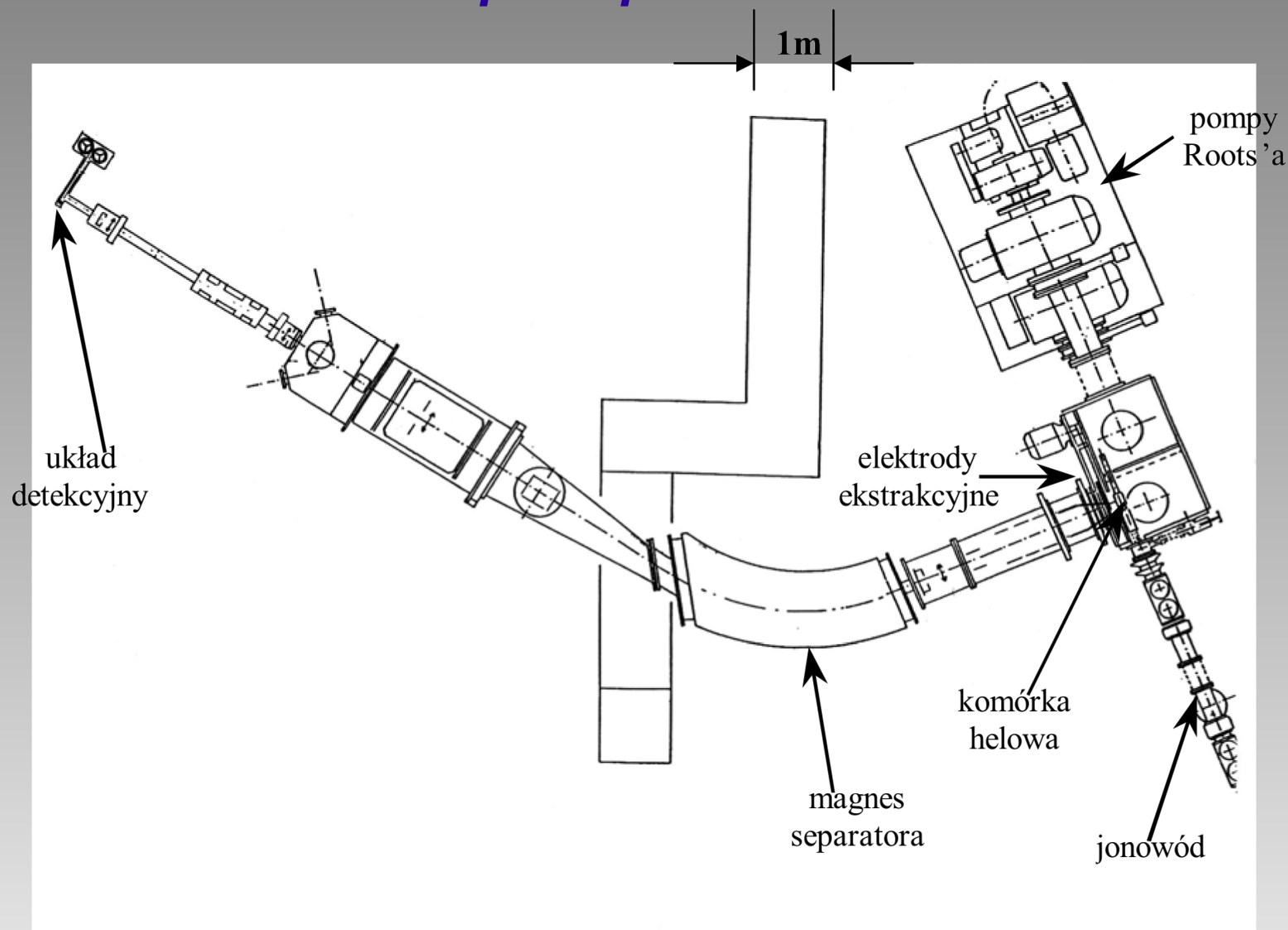
Wzór Bethe, strata energii w cienkiej warstwie

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4 z^2}{m_e v^2} \cdot n \cdot Z \cdot \ln \frac{2m_e v^2}{I}$$

ΔE



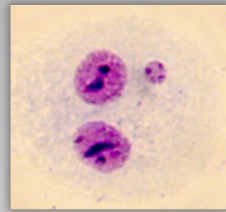
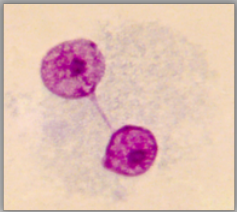
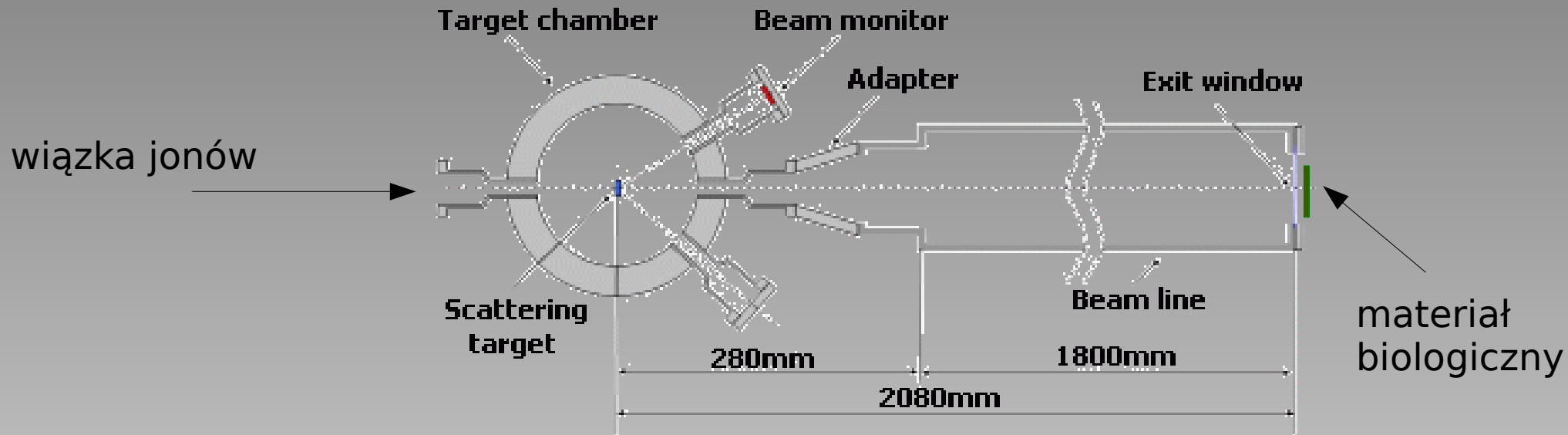
Warsaw Ion Guide Isotope Separator O-Line - WIGISOL



Układ umożliwiający wyodrębnienie i badanie egzotycznych krótkożyjących (ms) izotopów produkowanych na tarczy bombardowanej wiązką z cyklotronu

A. Wojtasiewicz et al. Wydz. Fizyki UW

Badania efektywności biologicznej jonów ^{12}C i ^{20}Ne



Uszkodzenia radiacyjne
w jądrach komórek CHO-K1

Po naświetleniu komórki są badane w celu określenia liczby uszkodzeń:

- test przeżywalności (liczenie kolonii komórek)
- liczenie (pod mikroskopem) chromosomów z uszkodzeniami określonego typu
- liczenie mikrojąder (pod mikroskopem)

Wynik: liczba uszkodzeń w funkcji zdeponowanej energii

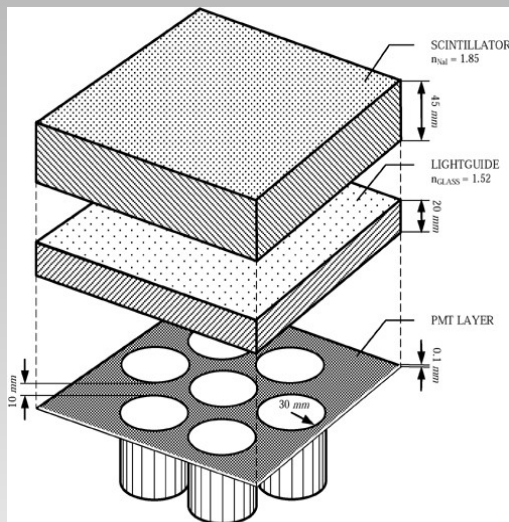
Radioizotopy medyczne badane w ŚLCJ

izotop	$T_{1/2}$	produkcja	zastosowanie
^{211}At	7 h	$^{209}\text{Bi}(\alpha, 2n)^{211}\text{At}$	α emiter do terapii nowotworów
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6 h	$^{100}\text{Mo}(p, 2n)^{99\text{m}}\text{Tc}$	emiter γ 141 keV do obrazowania SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography)
$^{72}\text{Se} \rightarrow ^{72}\text{As}$	8,5 d (^{72}Se) 26 h (^{72}As)	$^{70}\text{Ge}(\alpha, 2n)^{72}\text{Se}$ $^{70}\text{Ge}(\alpha, pn)^{72}\text{As}$	generator (^{72}Se) rozpada się i produkuje ^{72}As , który jest używany do obrazowania PET (Positron Emission Tomography)
^{43}Sc	4 h	$^{40}\text{Ca}(\alpha, p)^{43}\text{Sc}$ $^{42}\text{Ca}(d, n)^{43}\text{Sc}$	używany do obrazowania metodą PET (Positron Emission Tomography)
$^{44\text{m}}\text{Sc} \rightarrow ^{44}\text{Sc}$	2,4 d ($^{44\text{m}}\text{Sc}$) 4 h (^{44}Sc)	$^{42}\text{Ca}(\alpha, pn)^{44\text{m}/44}\text{Sc}$ $^{44}\text{Ca}(p, n)^{44\text{m}/44}\text{Sc}$	śledzenie długich procesów metabolicznych z użyciem $^{44\text{m}}\text{Sc}$, który produkuje w organizmie ^{44}Sc do techniki PET
^{47}Sc	3,3 d	$^{48}\text{Ca}(p, 2n)^{47}\text{Sc}$	β - emiter do terapii nowotworów

Gamma kamera

Prace badawcze –
optymalizacja urządzenia

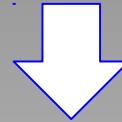
Planowane badania
na zwierzętach



Znacznik- izotop radioaktywny, często $^{99\text{m}}\text{Tc}$



Ligand- nośnik



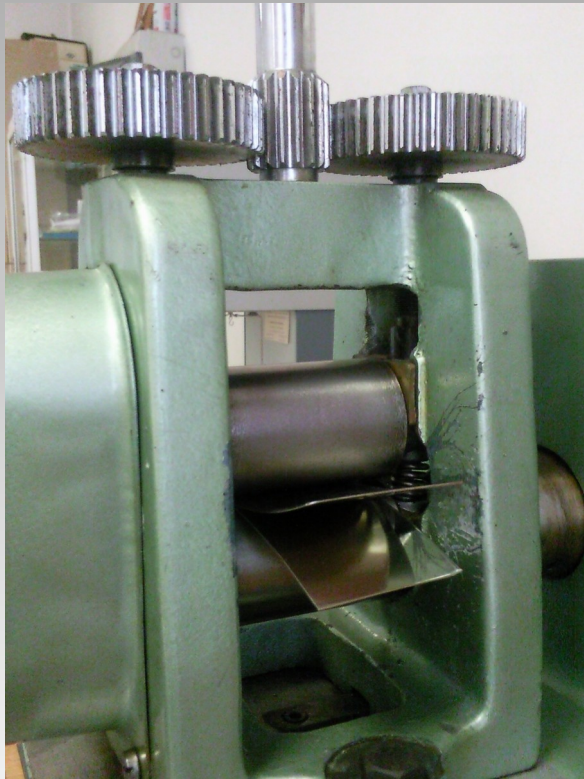
Radiofarmaceutyk: Znacznik + ligand



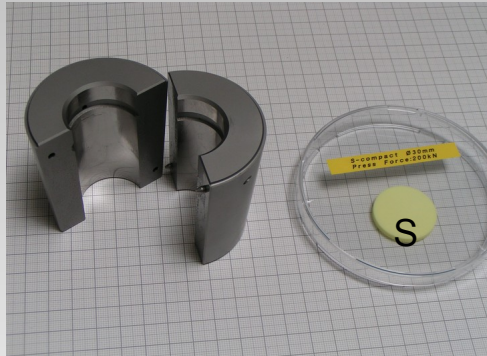
Gamma Kamera



- Eksperymenty wymagają zastosowania tarcz o określonym składzie, grubości, czystości (rzadkie izotopy), stanie skupienia (stałe, ciekłe, gazowe) i formie (rozmiary, samopodtrzymujące się lub na podkładkach)
- Tarcze na potrzeby eksperymentów wytwarzane są metodami:

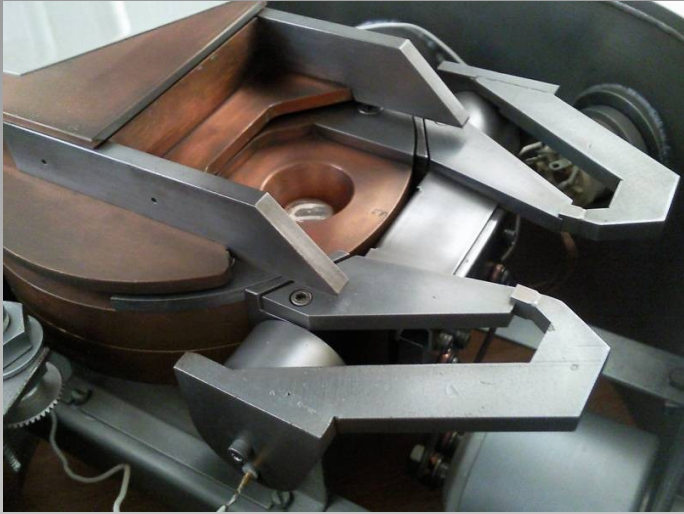


mechanicznymi

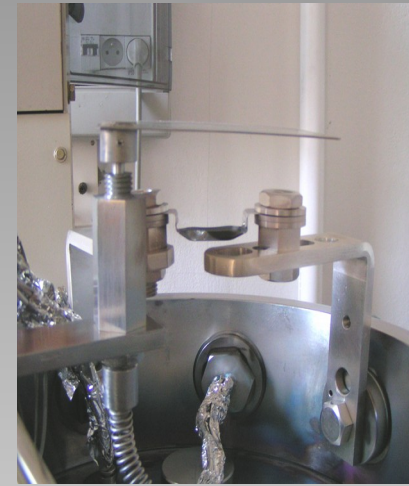


Pracownia tarcz c.d.

- Przez osadzanie par materiału w wysokiej próżni



parowanie za
pomocą wiązki
elektronów
tzw. e-gun



parowanie
termiczne

- Chemicznymi: elektro-osadzanie ze środowiska wodnego lub organicznego



Podsumowanie

- Laboratorium jest jedynym w Polsce eksperymentalnym ośrodkiem fizyki jądrowej dysponującym cyklotronem ciężkich jonów.
- Laboratorium udostępnia wiązki jonów o energiach 2-10 MeV/nukleon do prowadzenia badań z dziedziny fizyki jądrowej, fizyki atomowej, badań materiałowych, fizyki ciała stałego oraz biologii i medycyny jądrowej.
- W Laboratorium znajduje się również Ośrodek Produkcji i Badania Radiofarmaceutyków (cyklotron przyśpieszający p i d, do produkcji radiofarmaceutyków)