



**Ogólnopolskie Warsztaty  
Akceleracji i Zastosowań Ciężkich Jonów**

**Akceleracja ciężkich jonów i elementy optyki jonowej**

**Olga Saeed Mohamed Nassar**

Warszawa, 24.10.2016



**Akcelerator – urządzenie służące do przyspieszania jonów**

**Rodzaje akceleratorów:**

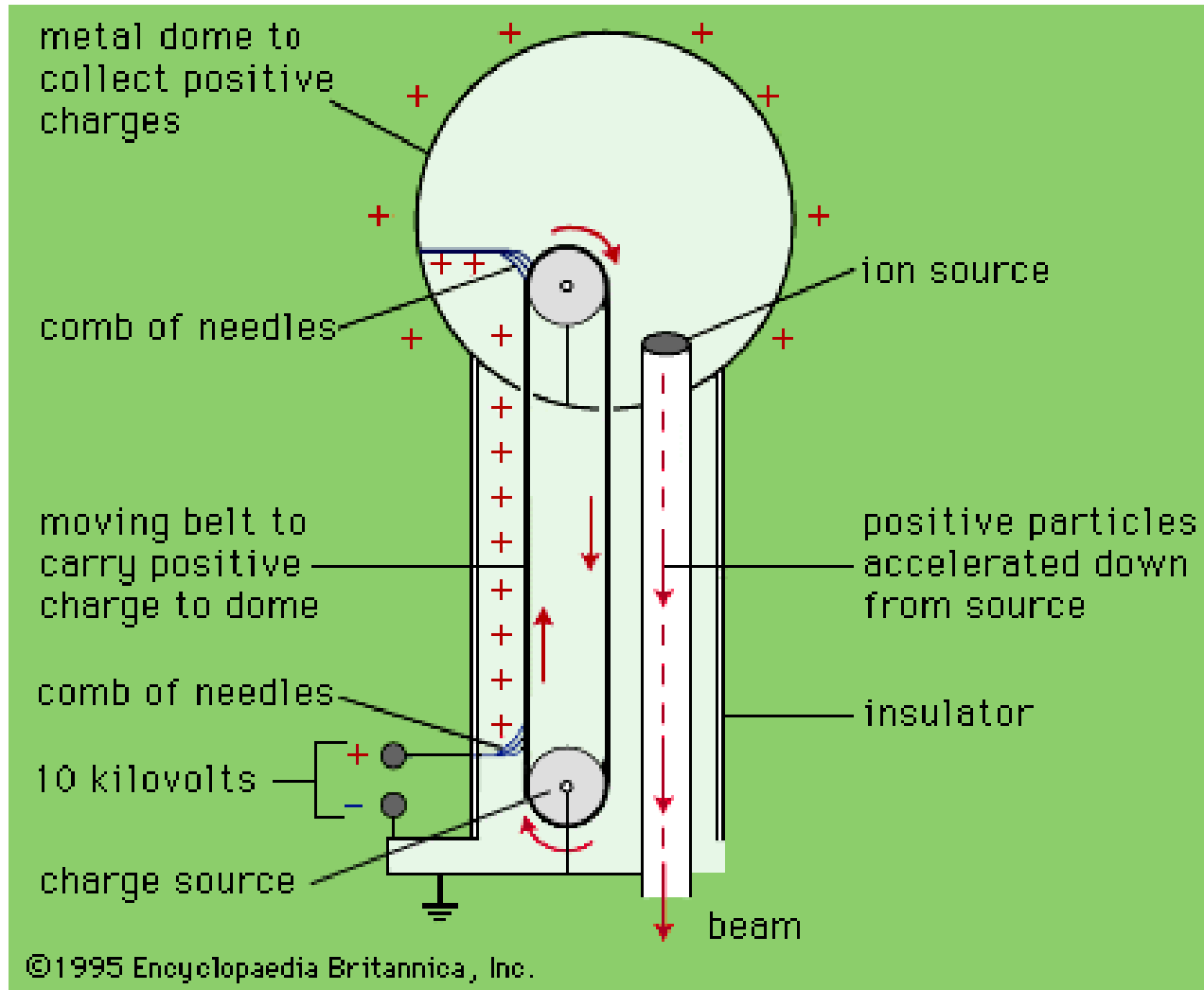
**a) liniowe:**

- akcelerator van de Graaffa: Lech (IBJ, Warszawa, Polska)
- Linac (CERN, Genewa, Szwajcaria)

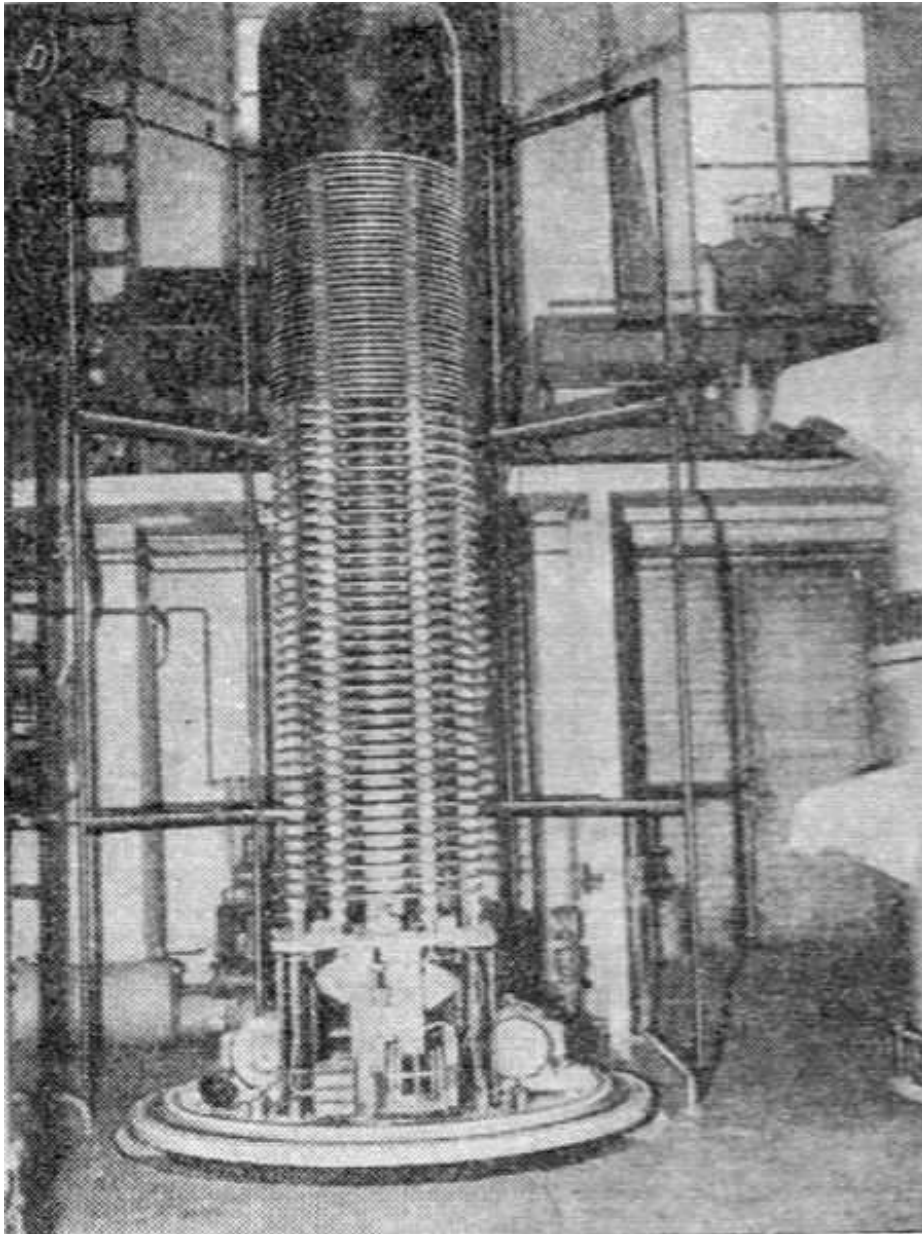
**a) kołowe:**

- cyklotrony: U200-P (ŚLCJ, Warszawa, Polska), K130 (JYFL, Jyväskylä, Finlandia), K800 (INFN LNS, Catania, Włochy), U400 i U400M (JINR, Dubna, Rosja)
- synchrotrony: LHC (CERN, Genewa, Szwajcaria)

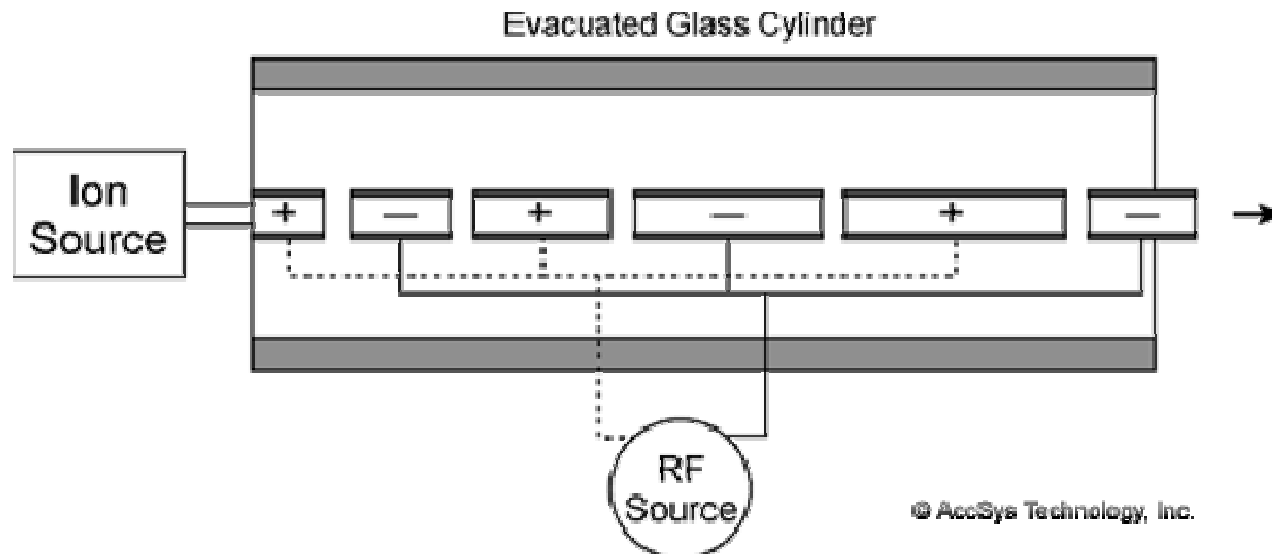
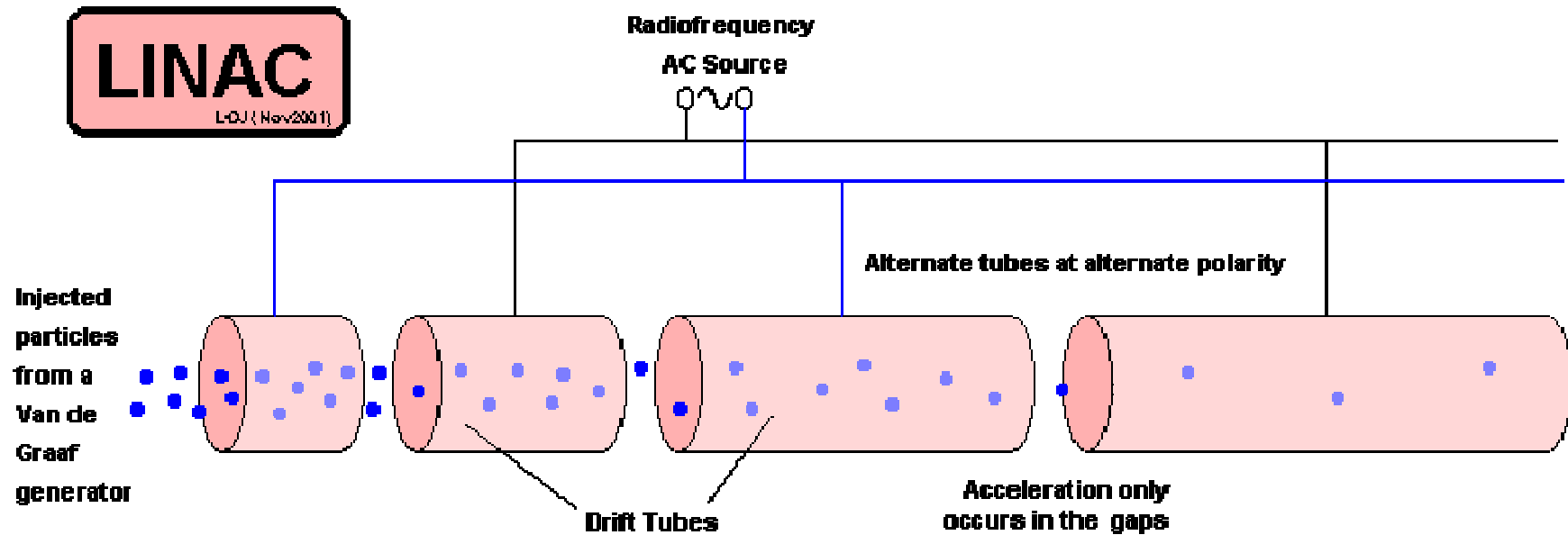
# Akcelerator elektrostatyczny (van de Graaffa)



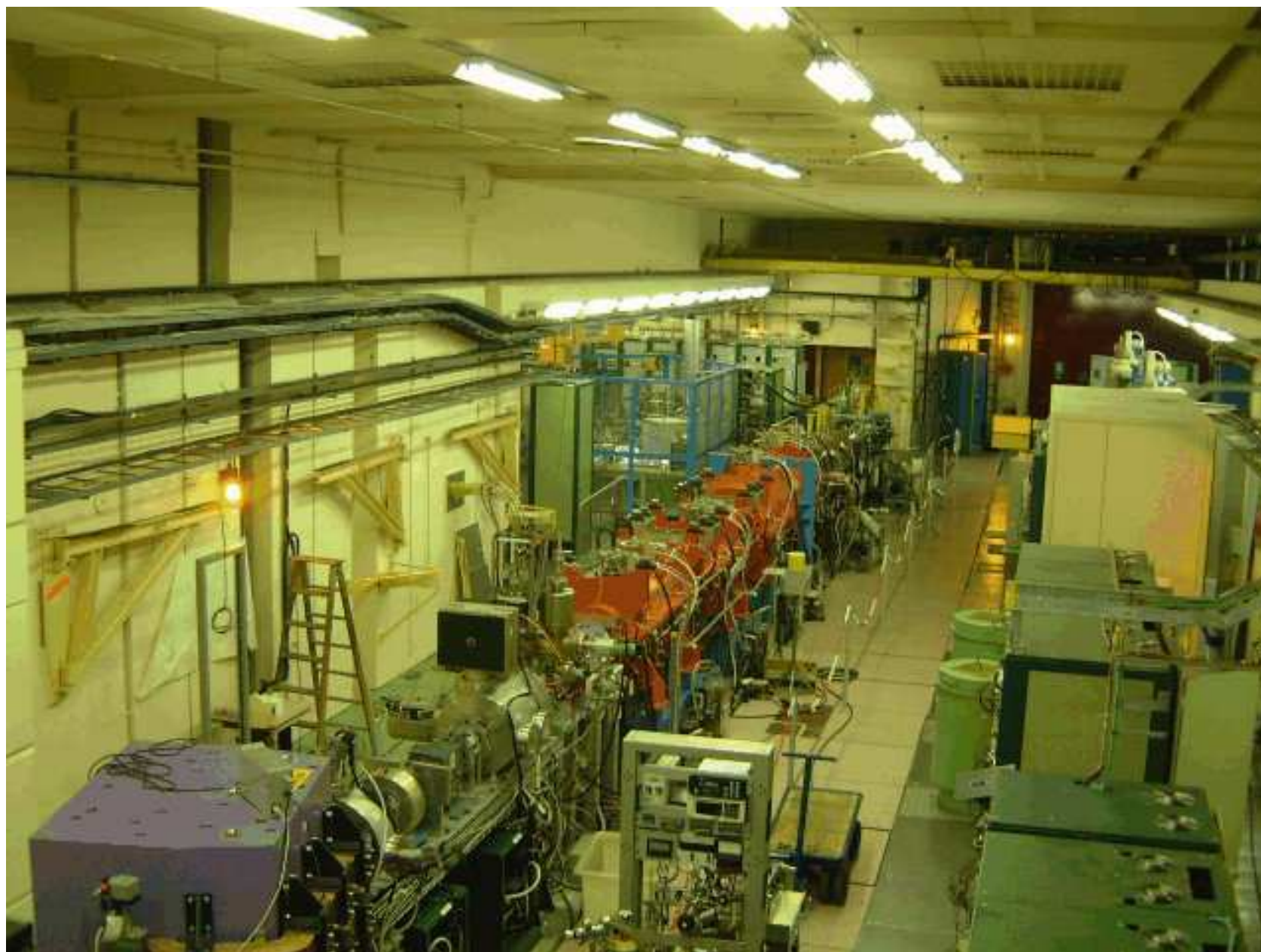
# Akcelerator elektrostatyczny (van de Graaffa)



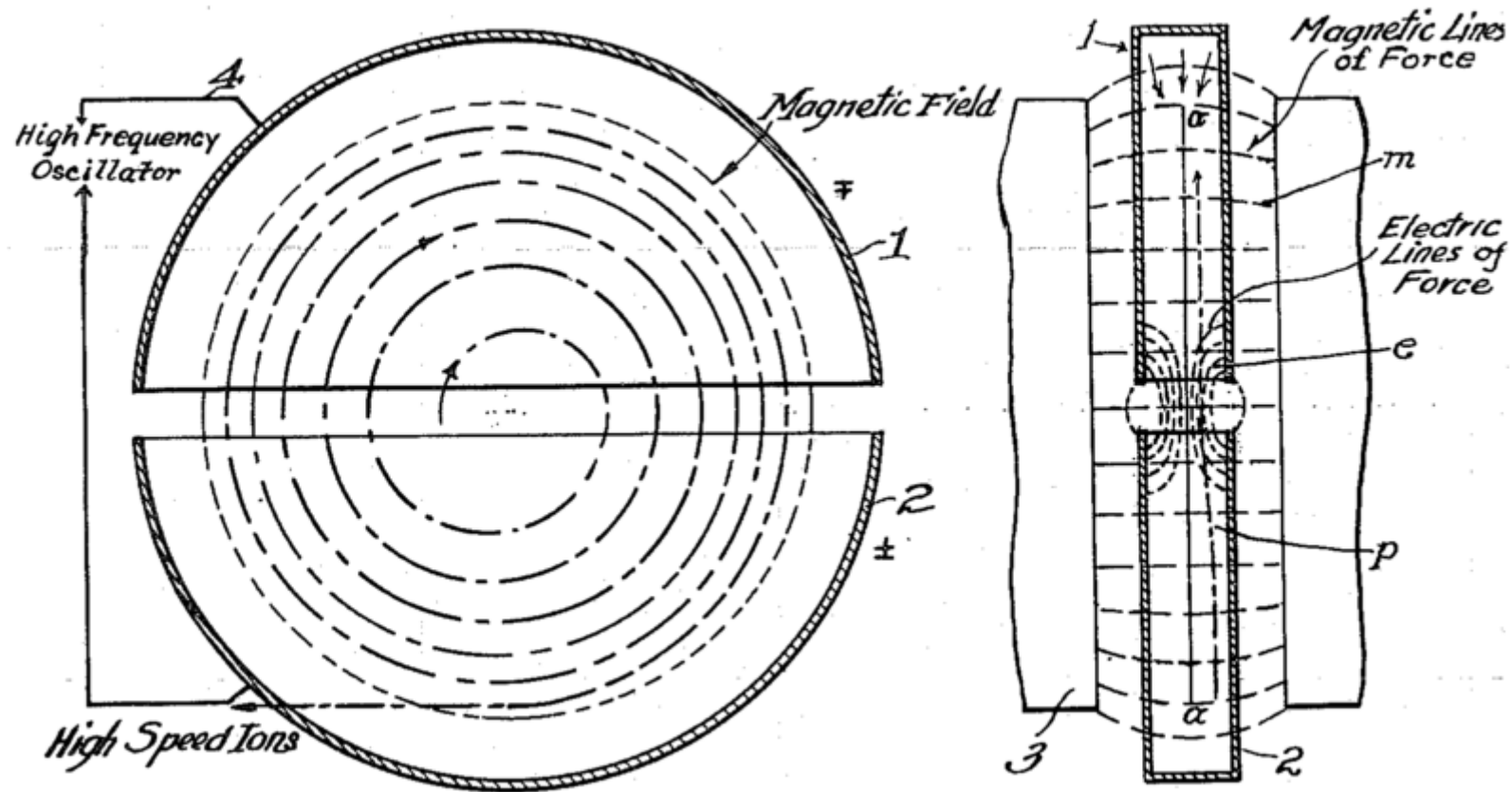
# LINAC



# LINAC

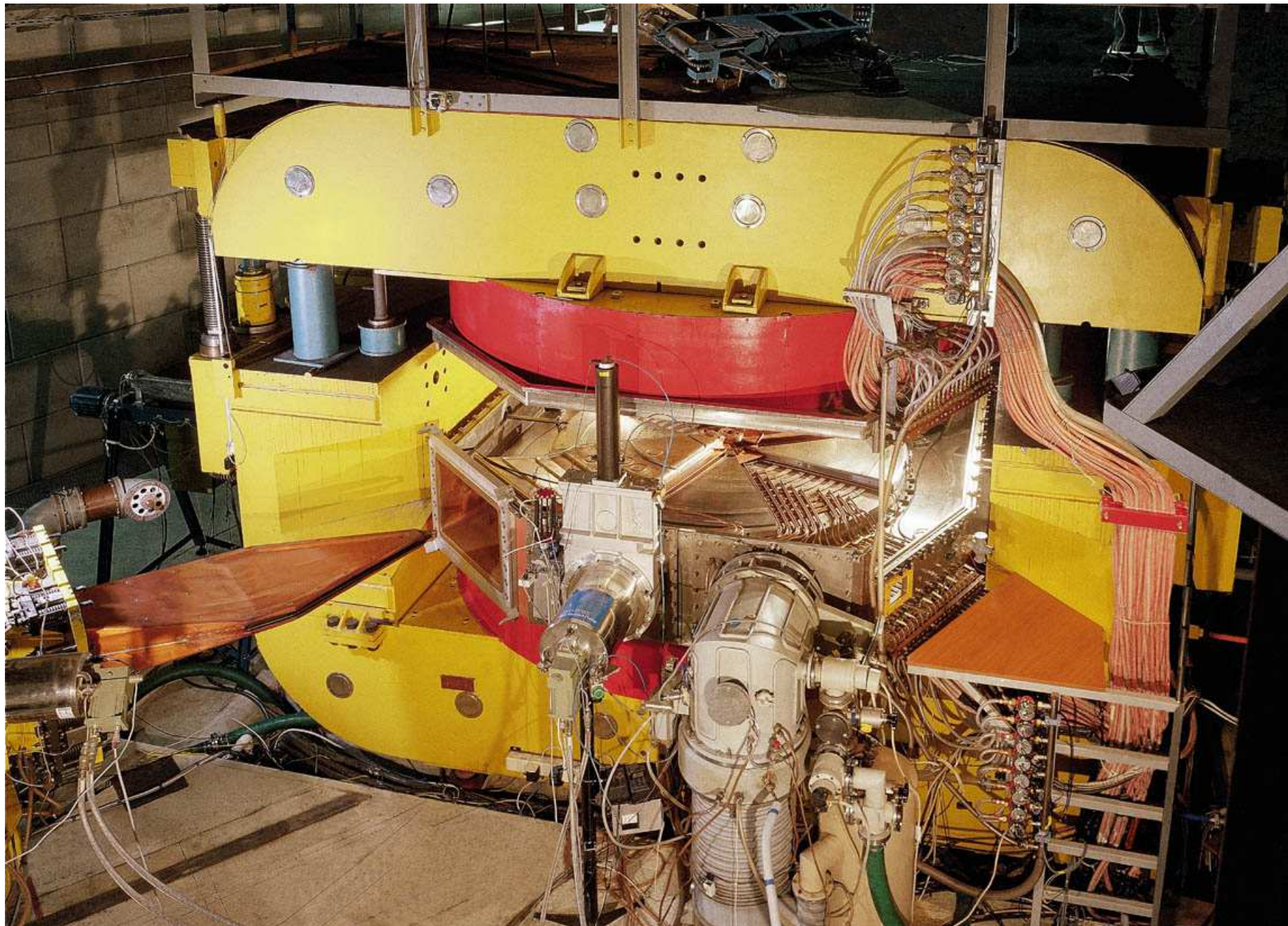


# CYKLOTRON



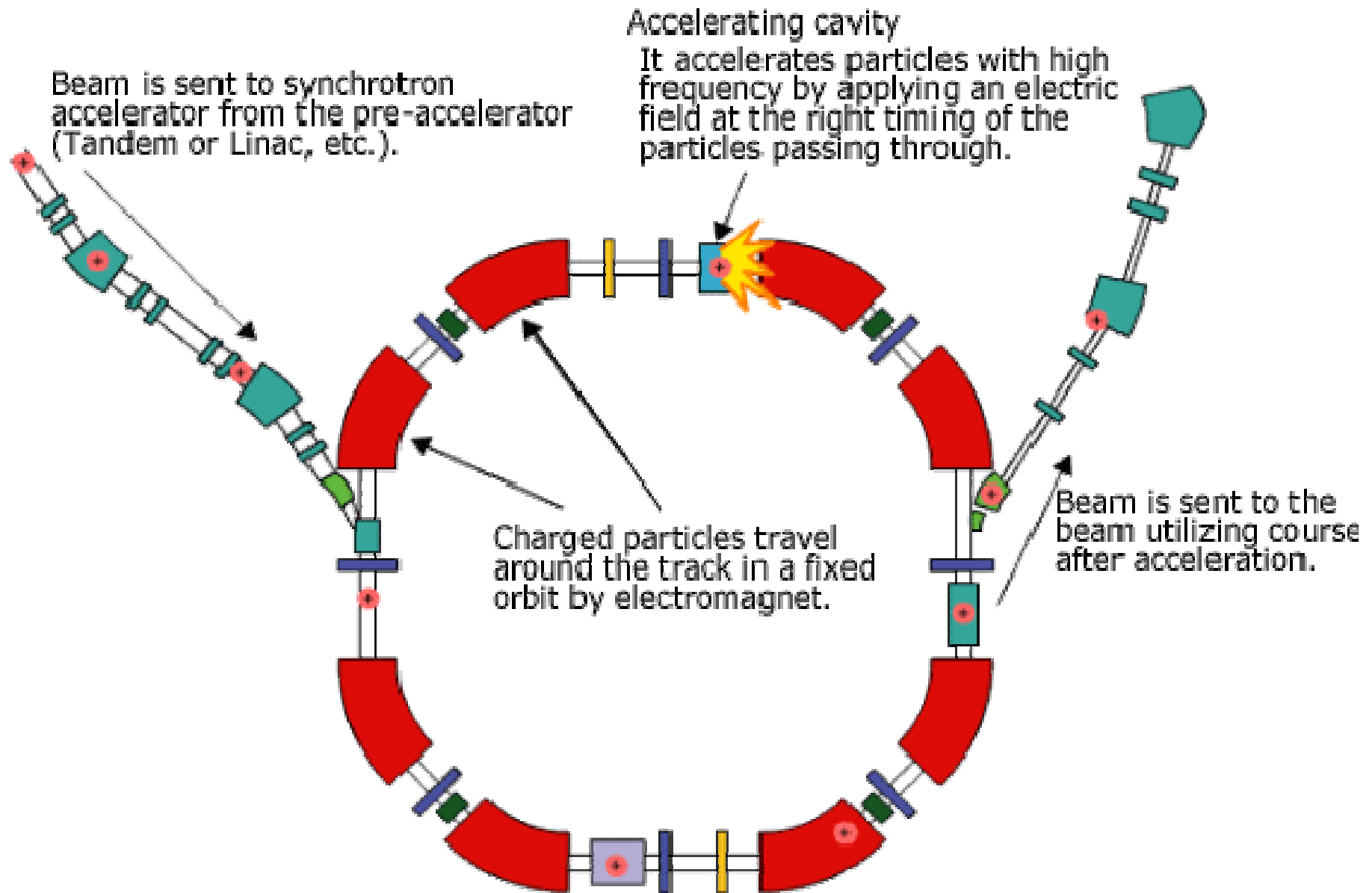
Rysunek cyklotronu z wniosku patentowego z 1934 roku  
(Ernest Lawrence, 1931 r.)

# CYKLOTRON

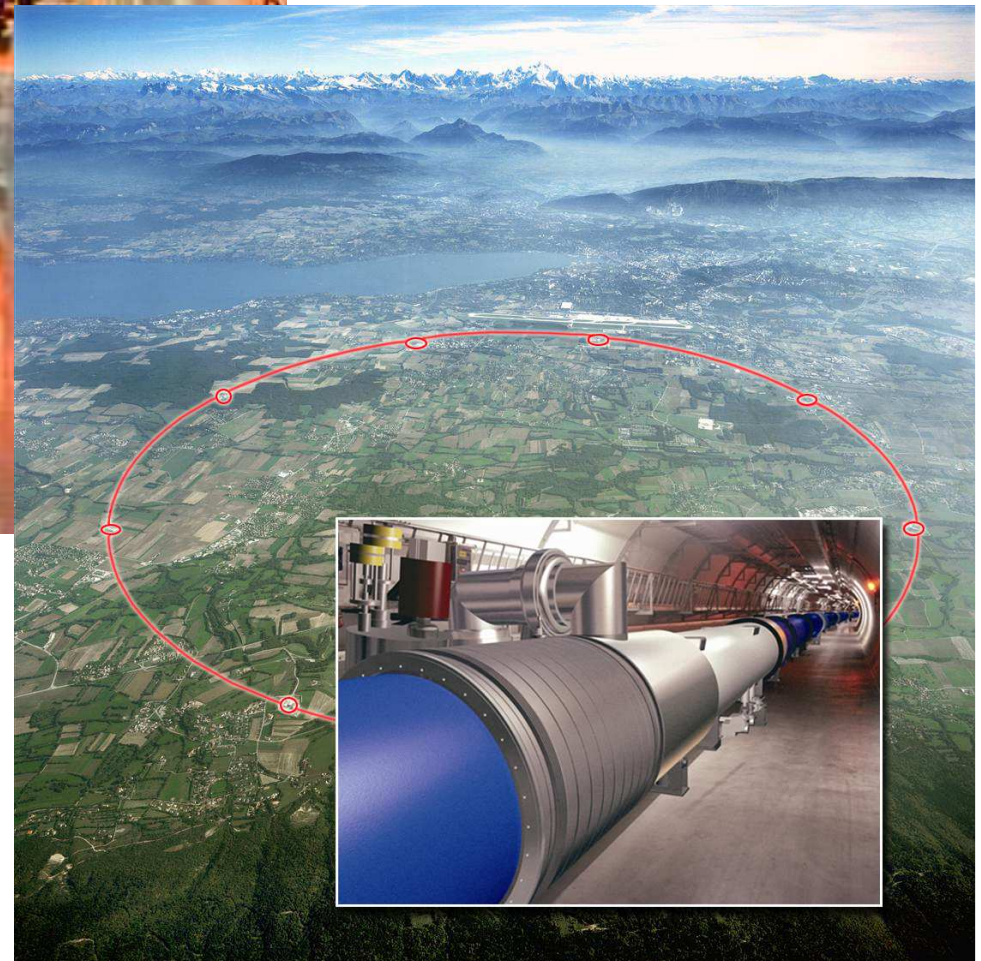




# SYNCHROTRON



# SYNCHROTRON



# Droga ciężkich jonów w warszawskim cyklotronie

Źródło jonów  
typu ECR

Linia iniekccyjna

Inflektor spiralny

CYKLOTRON IZOCHRONICZNY

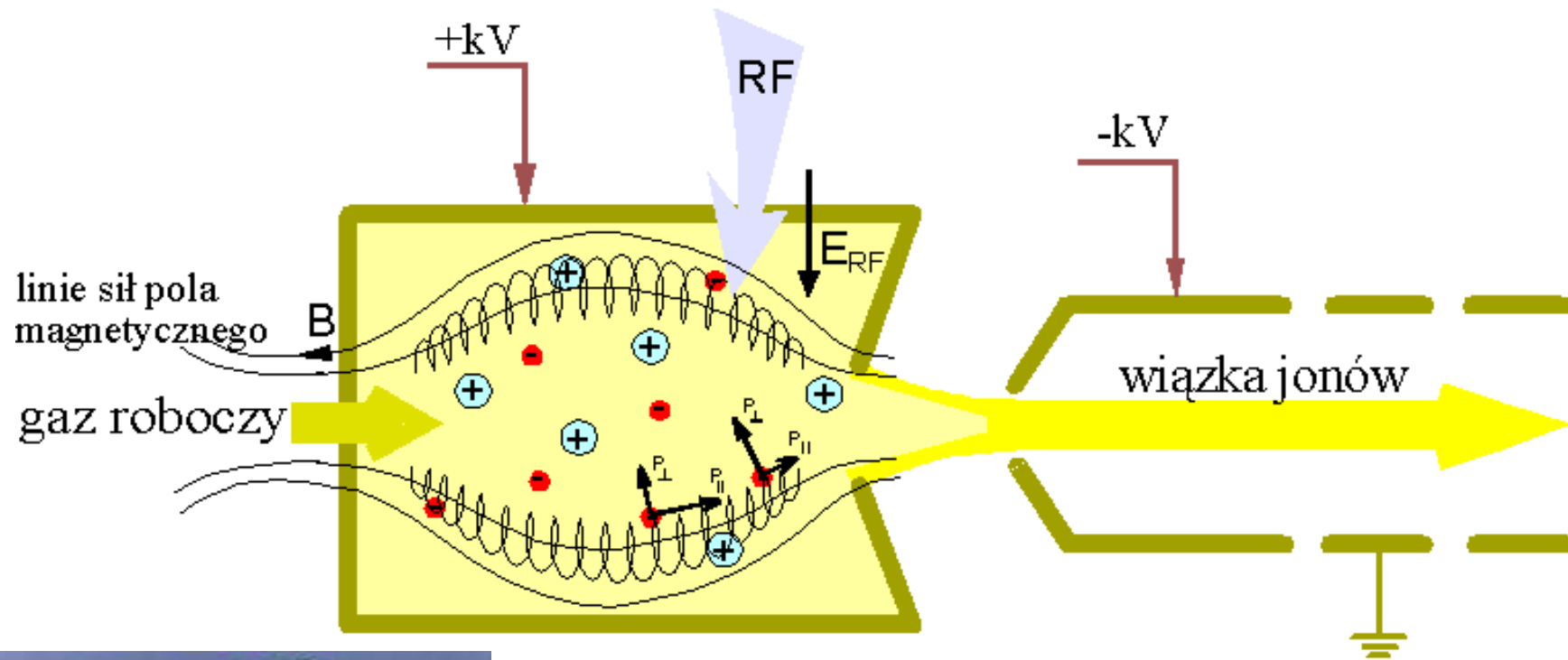
Wyprowadzenie - stripper

Jonowody

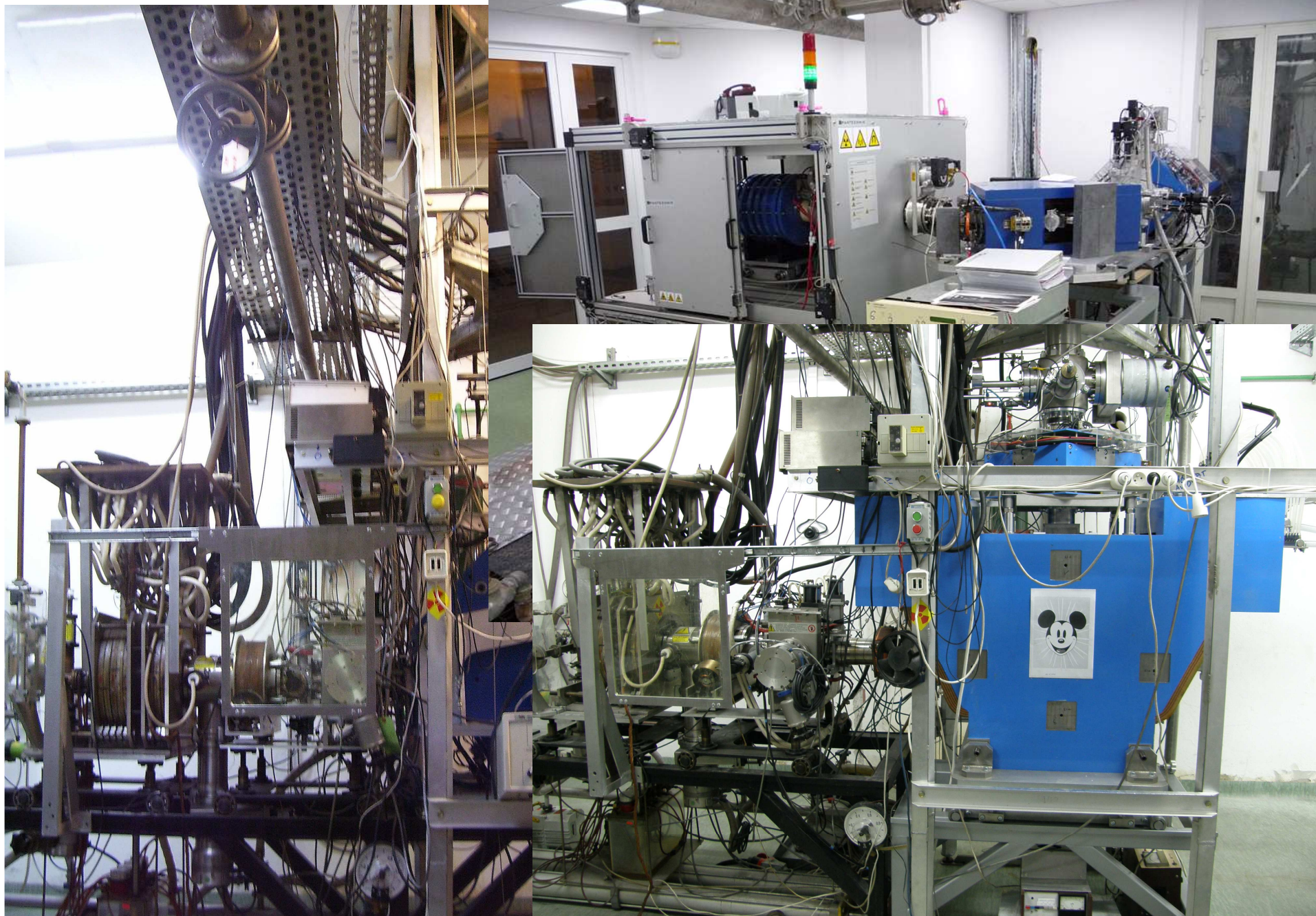
Układ  
pomiarowy



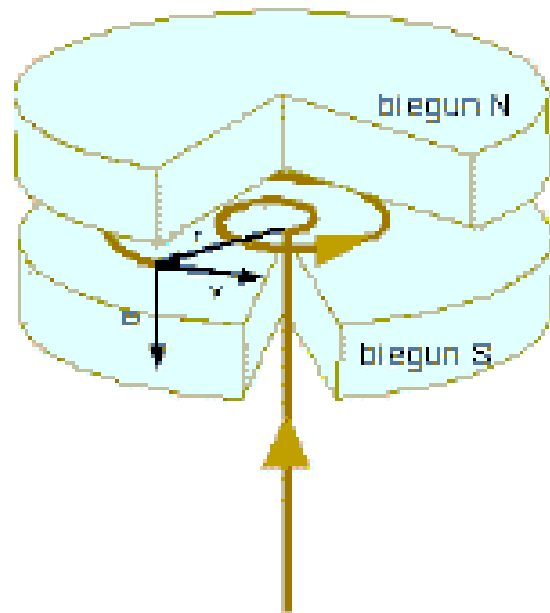
# Zasada działania źródła jonów typu ECR (Electron Cyclotron Resonance)



# Nasze źródła jonów i linia iniekcyjna

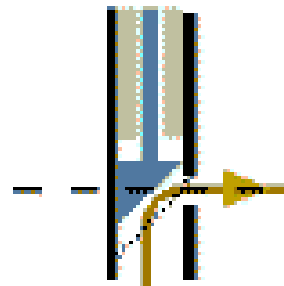


# Inflektor zwierciadlany

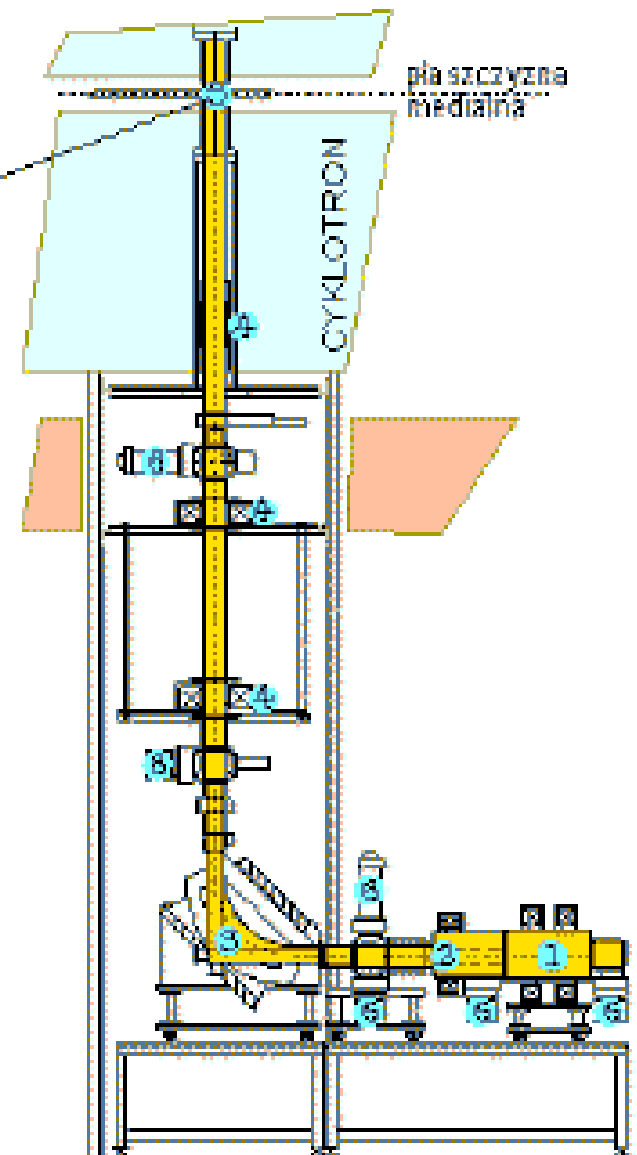


$$\frac{E}{m} \sim \left(\frac{q}{m}\right)^2 B^2 r^2$$

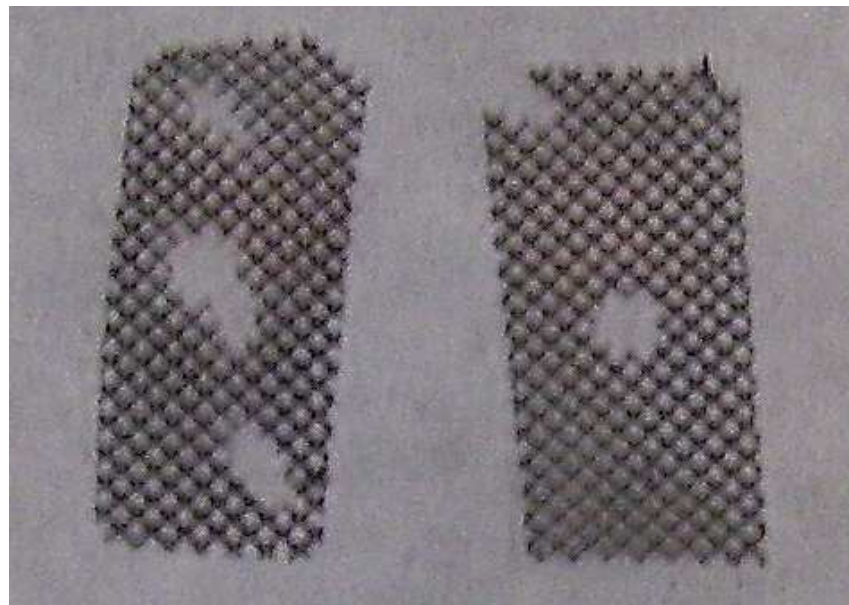
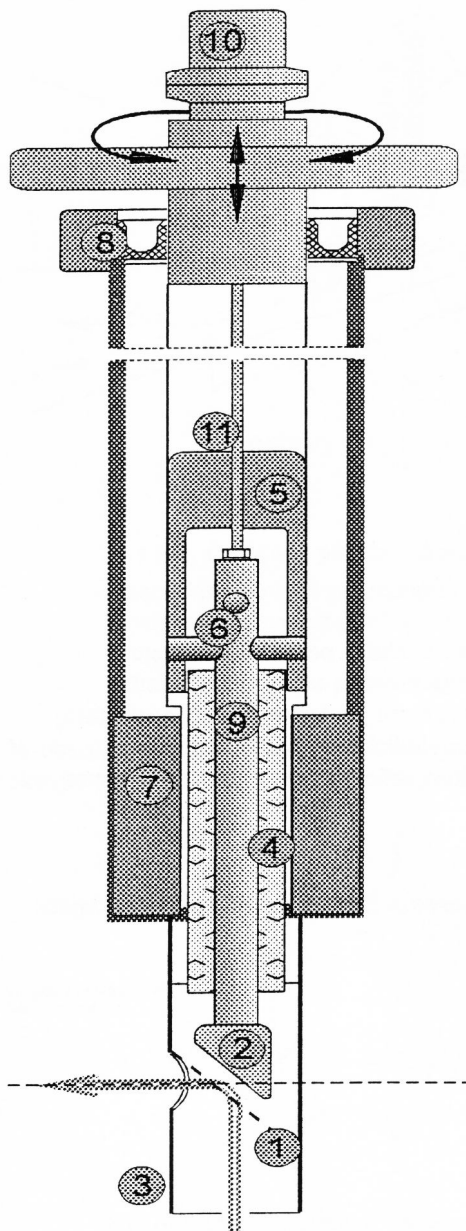
E- energia jonów  
q- ładunek jonów  
m- masa jonów  
r- promień orbity  
B- indukcja pola magnetycznego



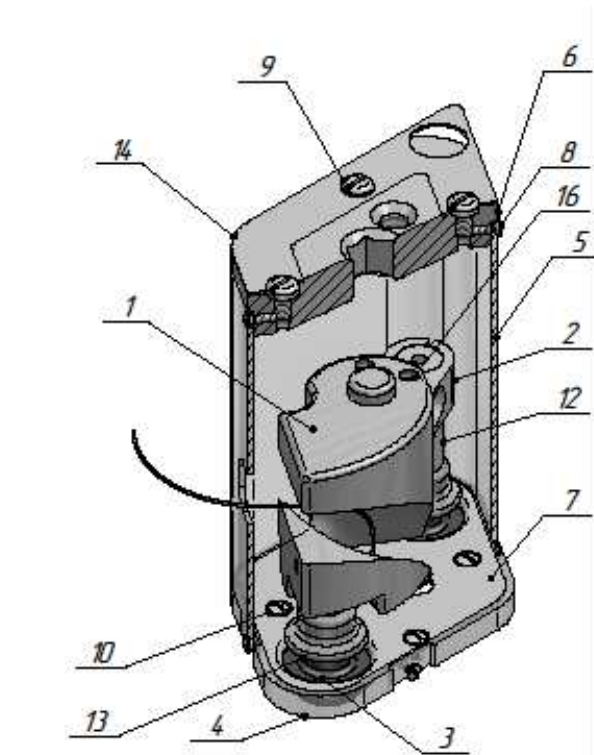
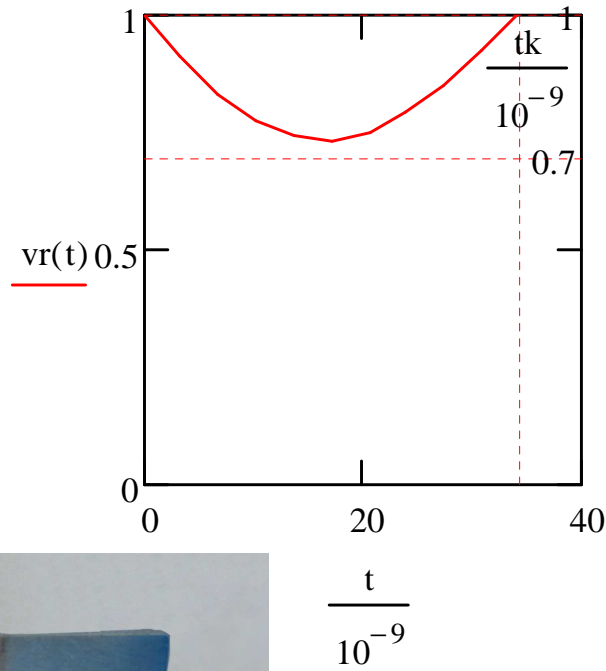
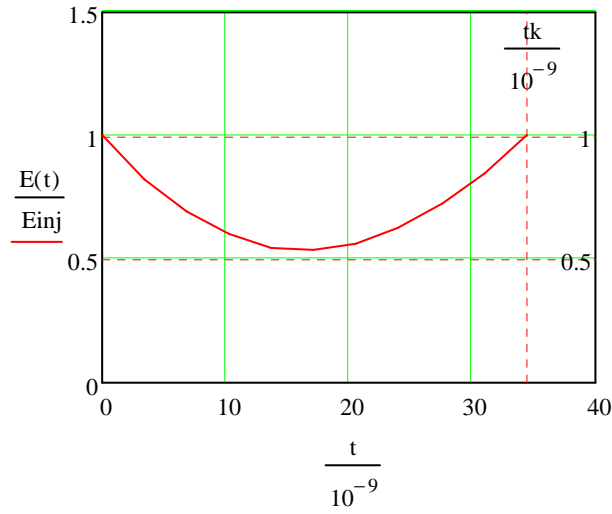
Inflektor  
- zwierciadło  
elektrostatyczne



# Inflektor zwierciadlany



# Inflektor spiralny



				2990.02.00.00 Ошибка: Нет ссылки		
Изм.	Дата	Исполн.	Провер.	Изм.	Исполн.	Провер.
01				0		2:1
				Инфлектор		
				Ошибка: Нет ссылки		
				Изм.	Исполн.	Провер.
				Контракт		
				Лист 17		



# Cyklotron izochroniczny

$$\frac{m \cdot v^2}{\rho} = q \cdot v \cdot B$$

$$B \cdot \rho = \frac{m \cdot v}{q} = \frac{p}{q}$$

$$\omega_c = \frac{q}{m} \cdot B$$

$$\omega_{RF} = h \cdot \omega_c$$

$$m_r = m_0 \gamma = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

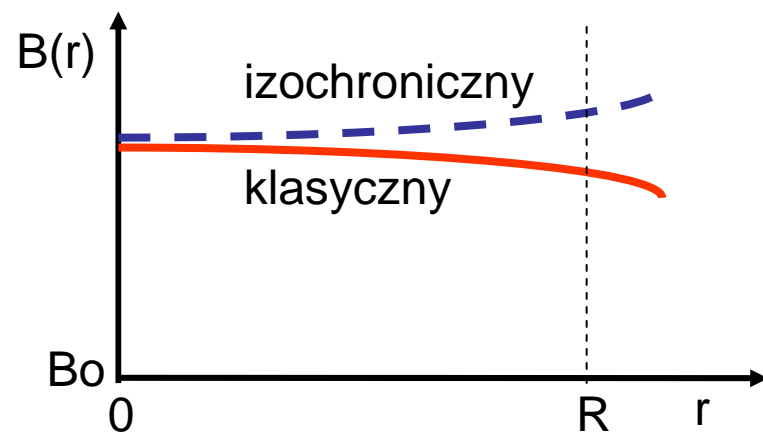
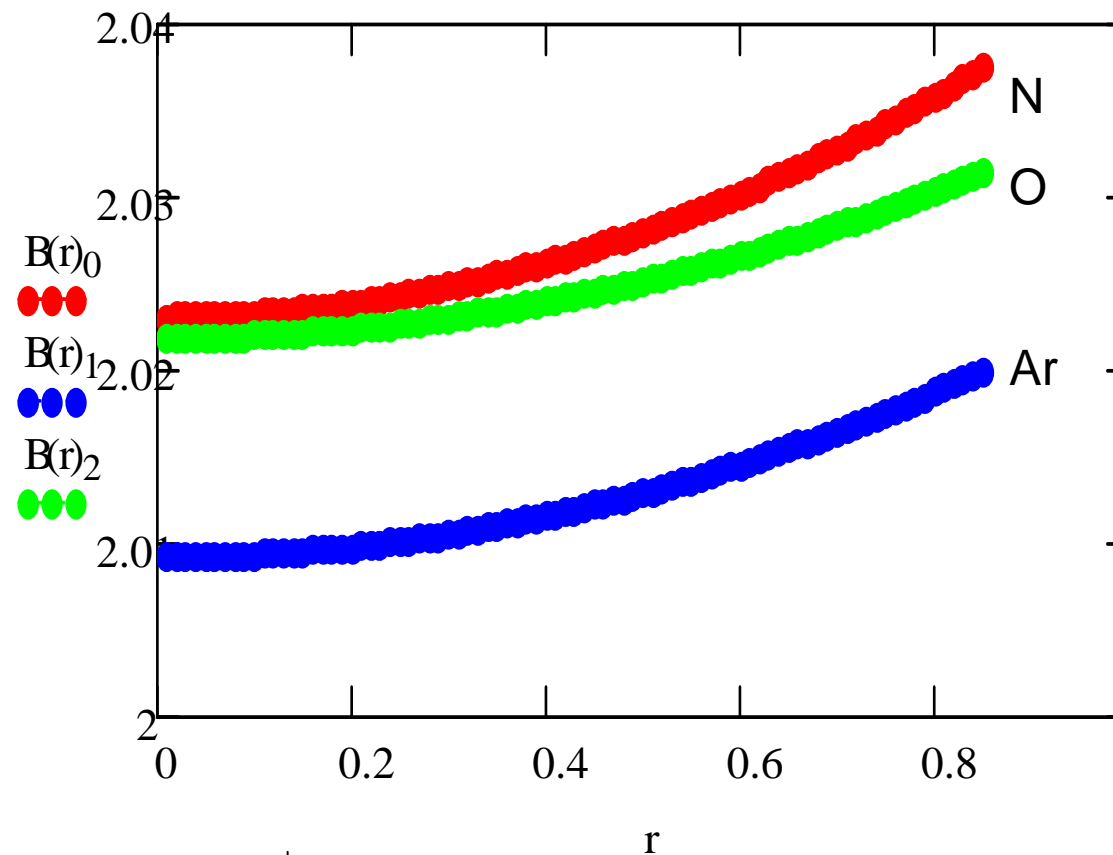
$$\gamma(r) = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v(r)}{c}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{r \cdot \omega_c}{c}\right)^2}}$$

$$\omega_c = \frac{Bq}{m}$$

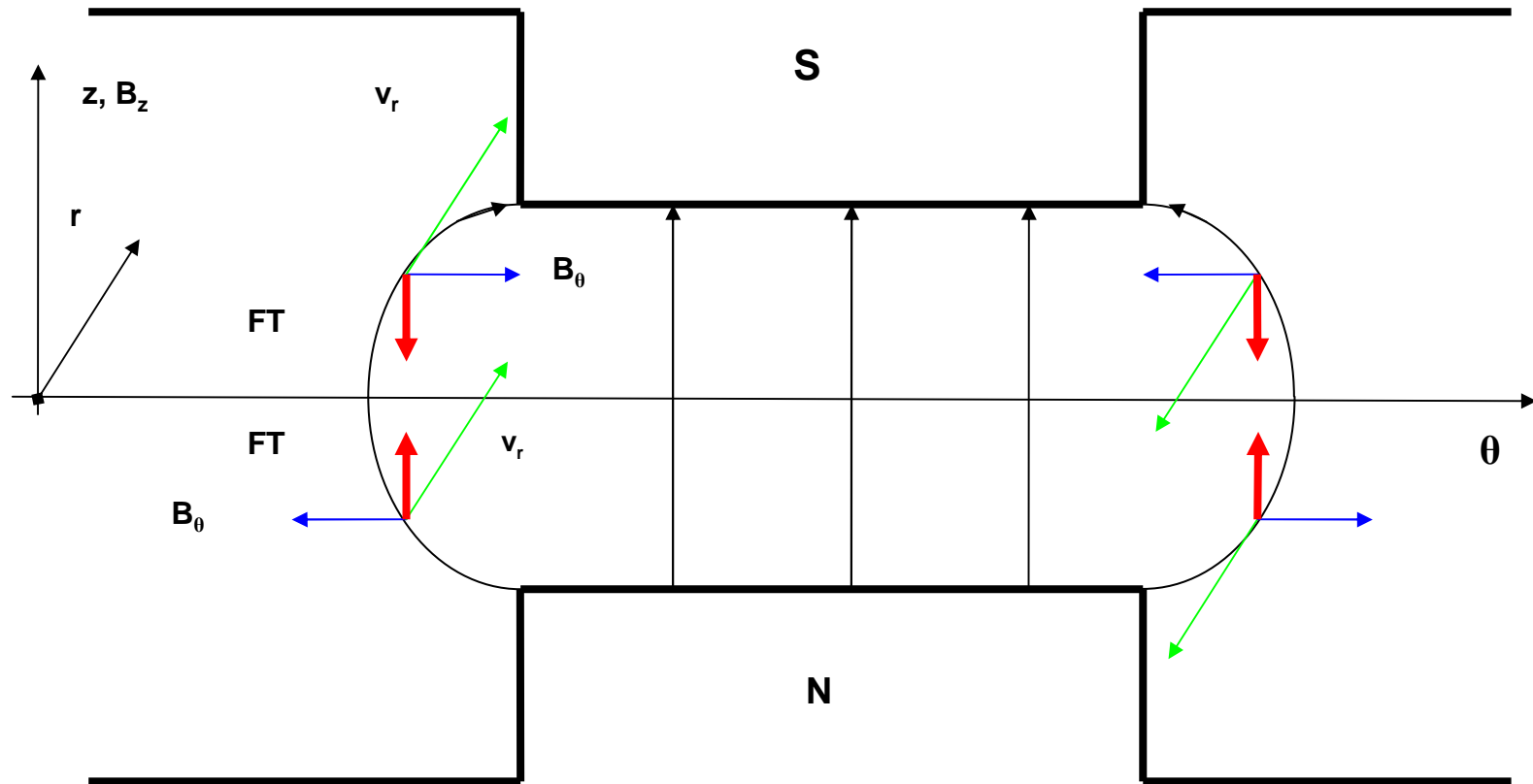
$$B(r) = \gamma(r) \cdot B_0$$

$$B(r) = \frac{B_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v(r)}{c}\right)^2}} = \frac{B_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{r \cdot \omega_c}{c}\right)^2}}$$

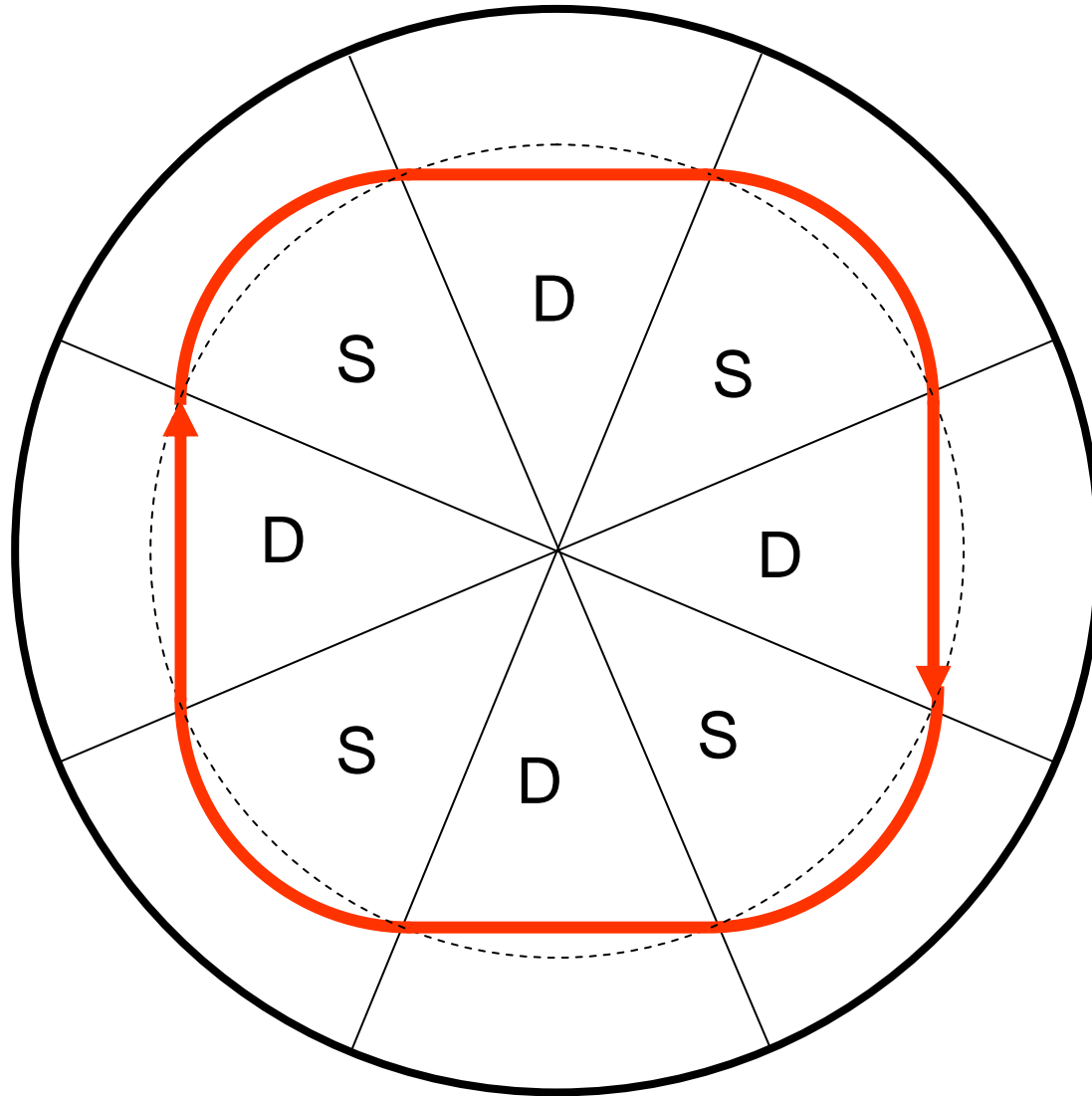
# Cyklotron izochroniczny



# Sila Thomasa



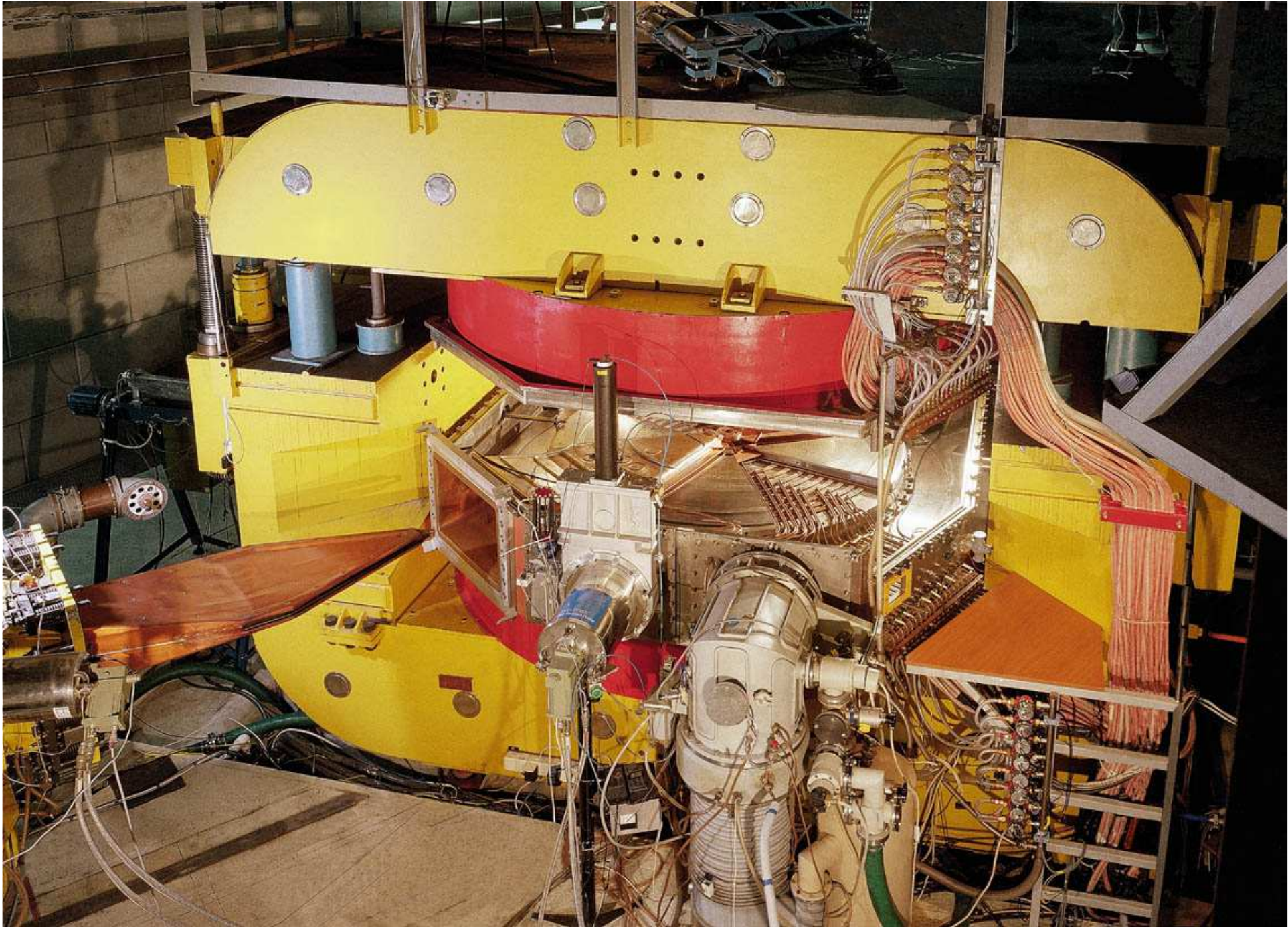
# Sila Thomasa

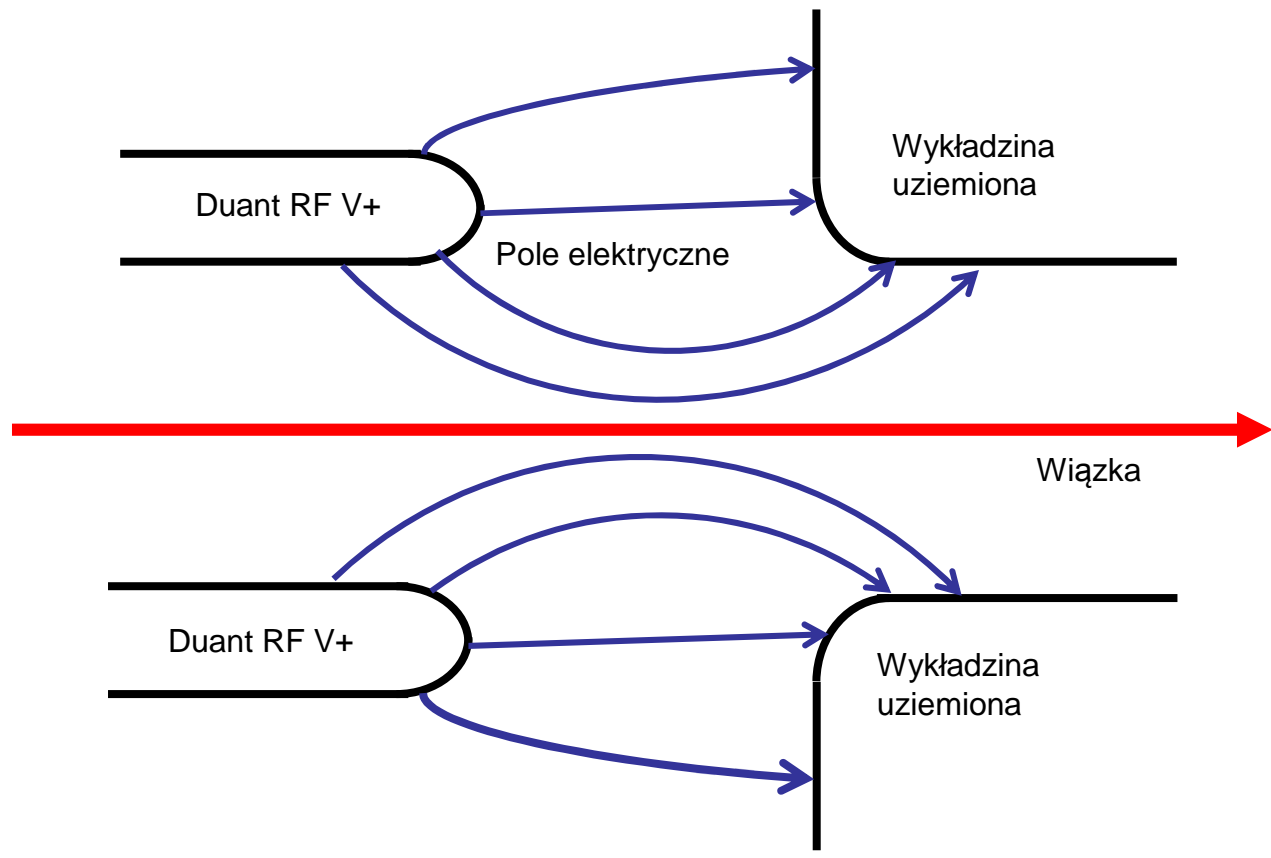


Wewnątrz wykładzin umieszczone są duanty, na które podawane jest napięcie (do 70kV) o wysokiej częstotliwości (od 12 MHz do 19 MHz). Wykładziny są uziemione. W szczelinie pomiędzy brzegiem duantu a brzegiem wykładziny następuje przyspieszanie jonów (4 razy na każdym obrocie).

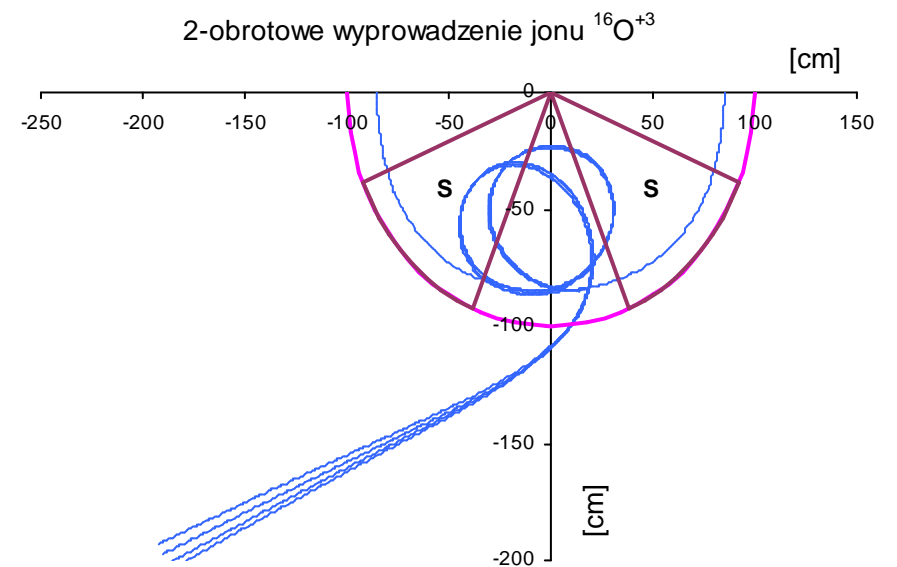
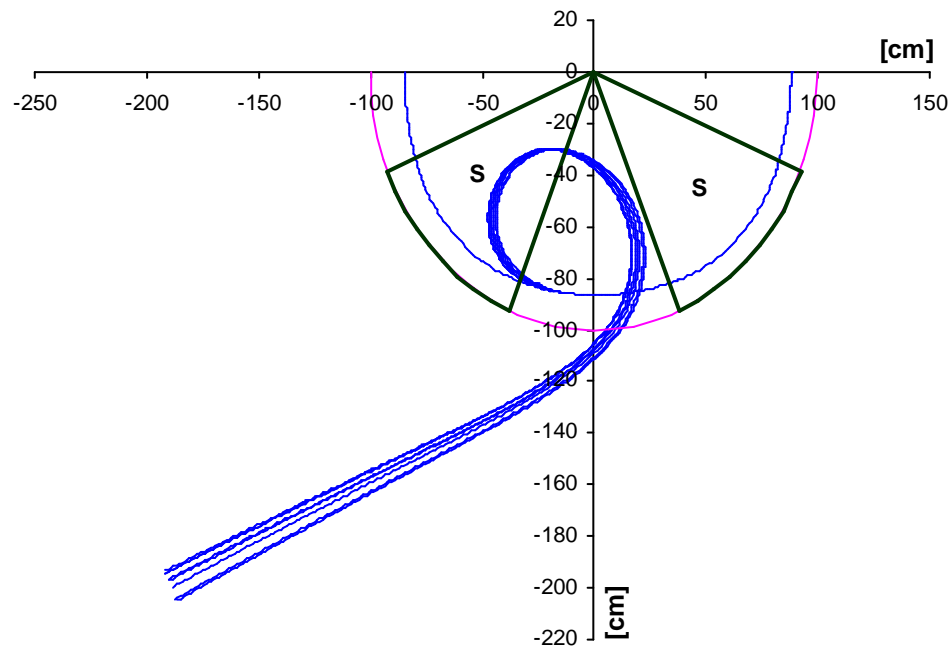


WYKŁADZINY DUANTÓW



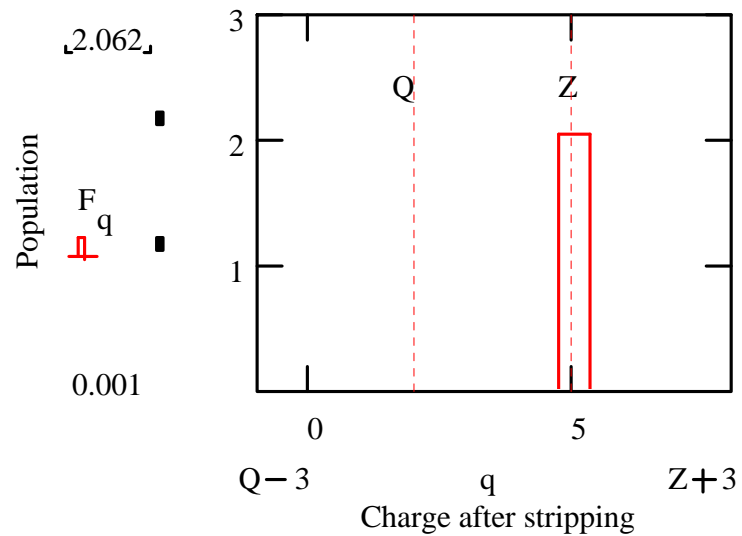


# Wyprowadzenie wiązki – stripper

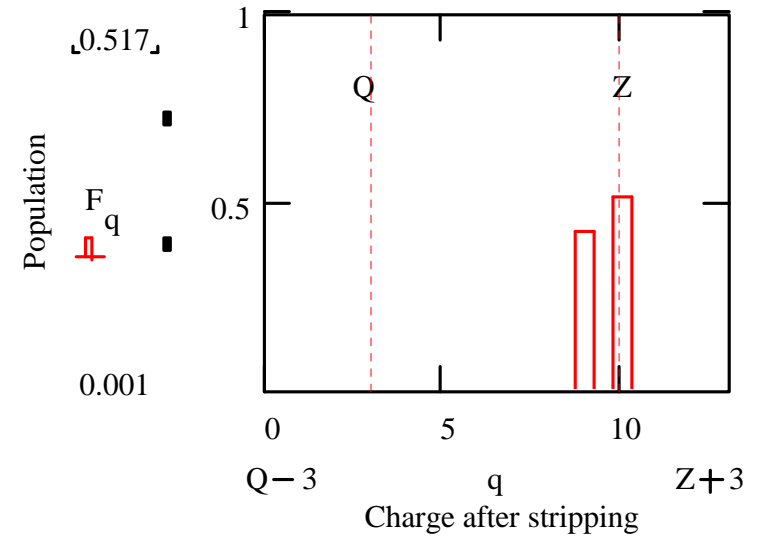




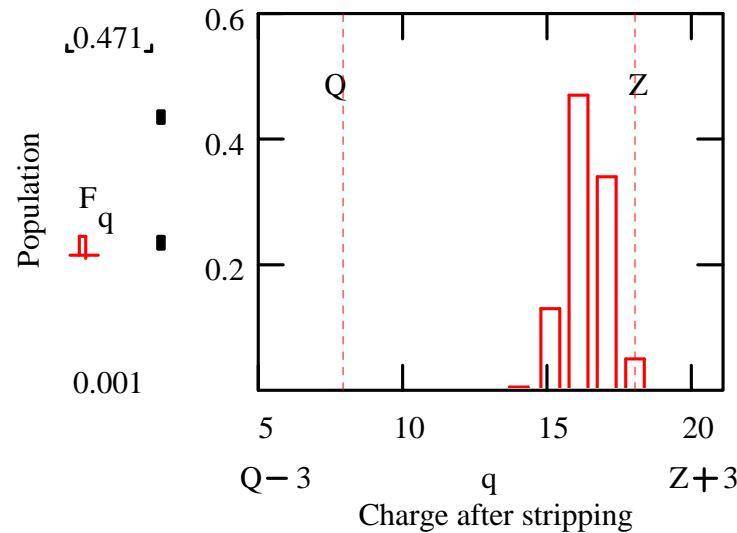
# Zależność populacji stanów ładunkowych po strippingu od liczby masowej $A$ jonów



$A=10, Z=5, Q=2,$   
 $E=5 \text{ MeV/A}$

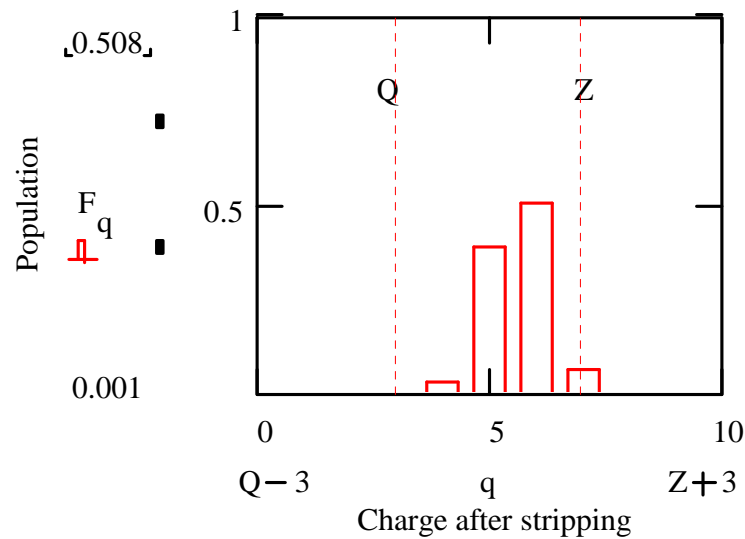


$A=20, Z=10, Q=3,$   
 $E=5 \text{ MeV/A}$

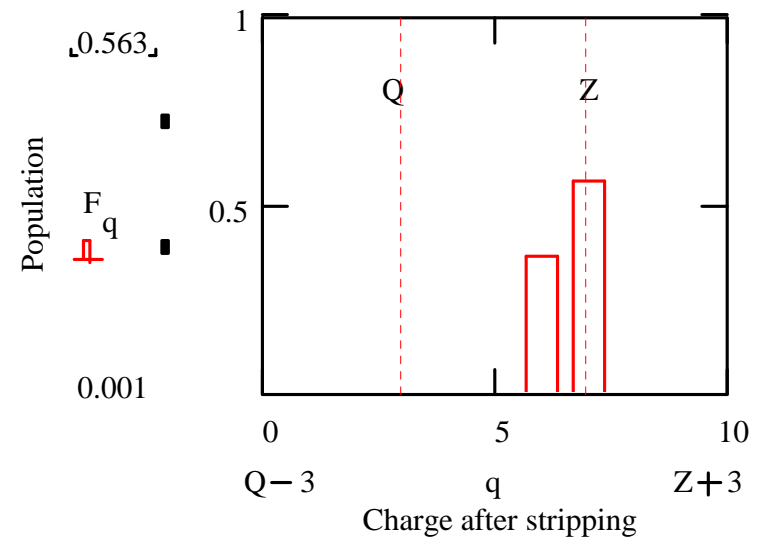


$A=40, Z=18, Q=8,$   
 $E=5 \text{ MeV/A}$

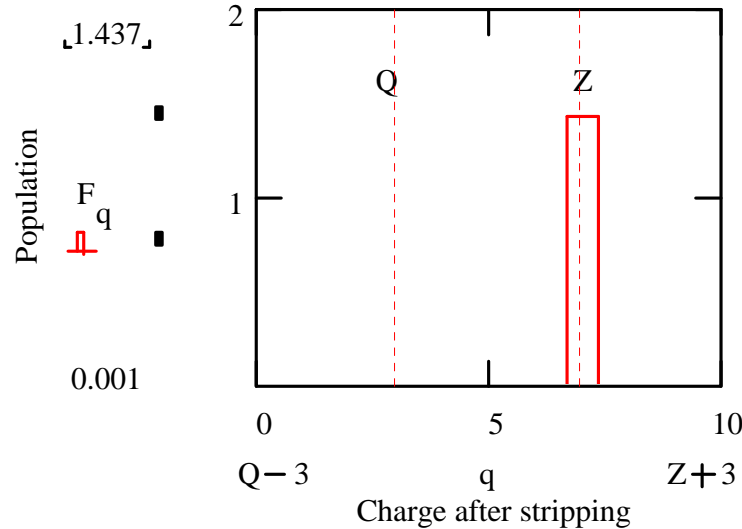
# Zależność populacji stanów ładunkowych po strippingu od energii jonów



$A=14, Z=7, Q=3,$   
 $E=1 \text{ MeV/A}$

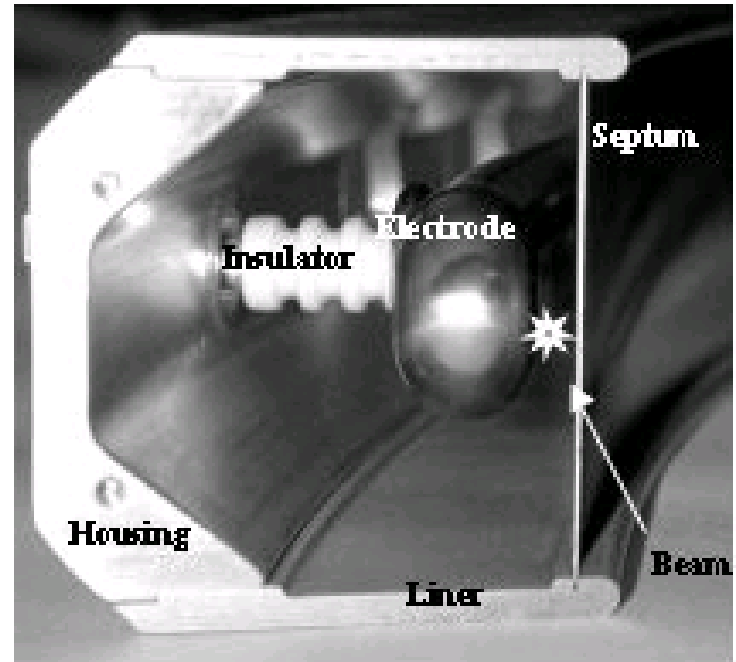


$A=14, Z=7, Q=3,$   
 $E=3 \text{ MeV/A}$



$A=14, Z=7, Q=3,$   
 $E=6 \text{ MeV/A}$

# Wyprowadzenie wiązki – deflektor elektrostatyczny



# Jonowody

**Na wszystkich jonowodach zainstalowane są elementy ułatwiające prowadzenie w nich przyspieszonej wiązki ciężkich jonów do układu eksperymentalnego.**

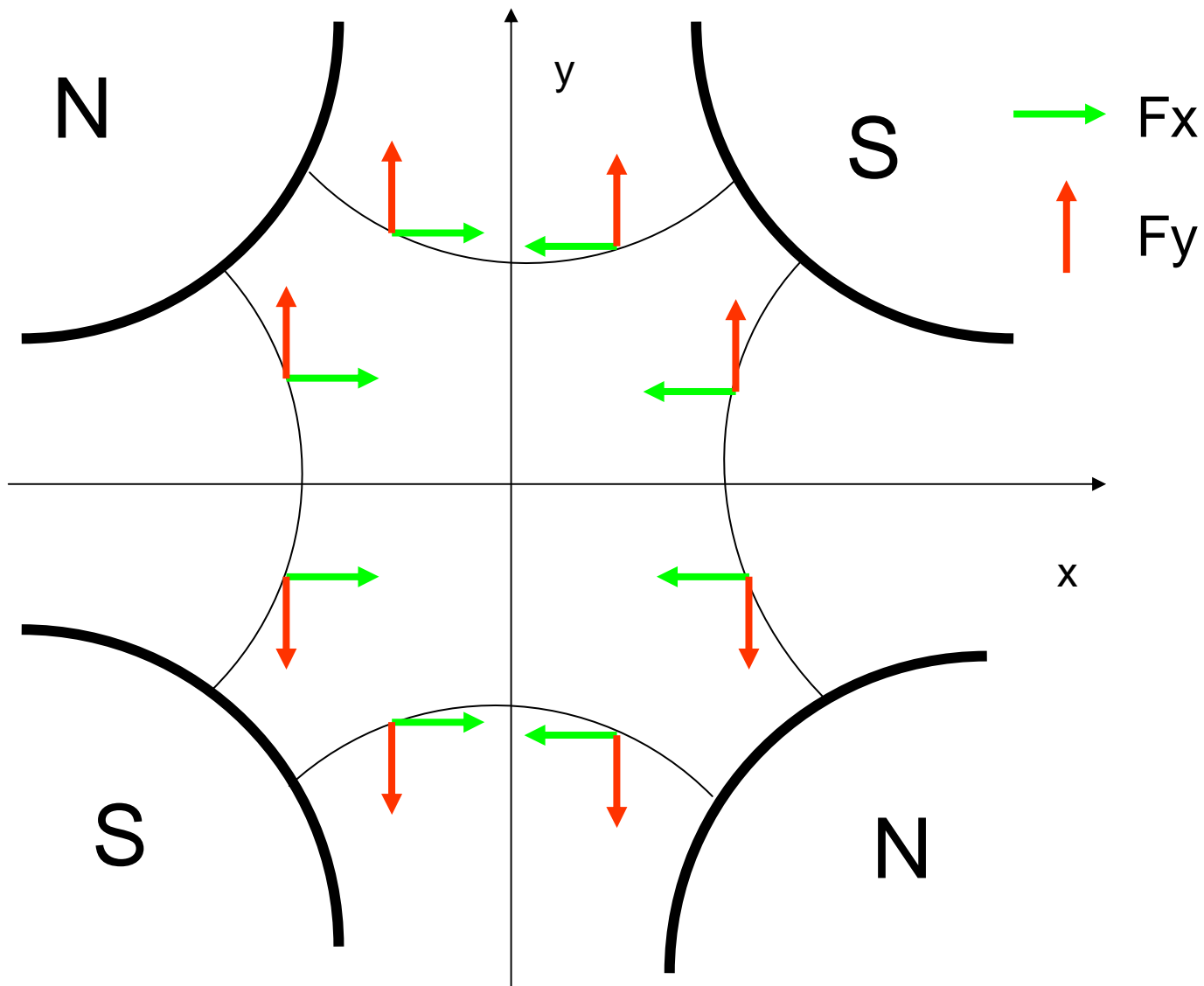
- magnesy kwadrupolowe**
- magnesy dipolowe: analizujące, rozpraszające i steeringi**
- kubki Faraday'a**
- ekrany luminescencyjne**



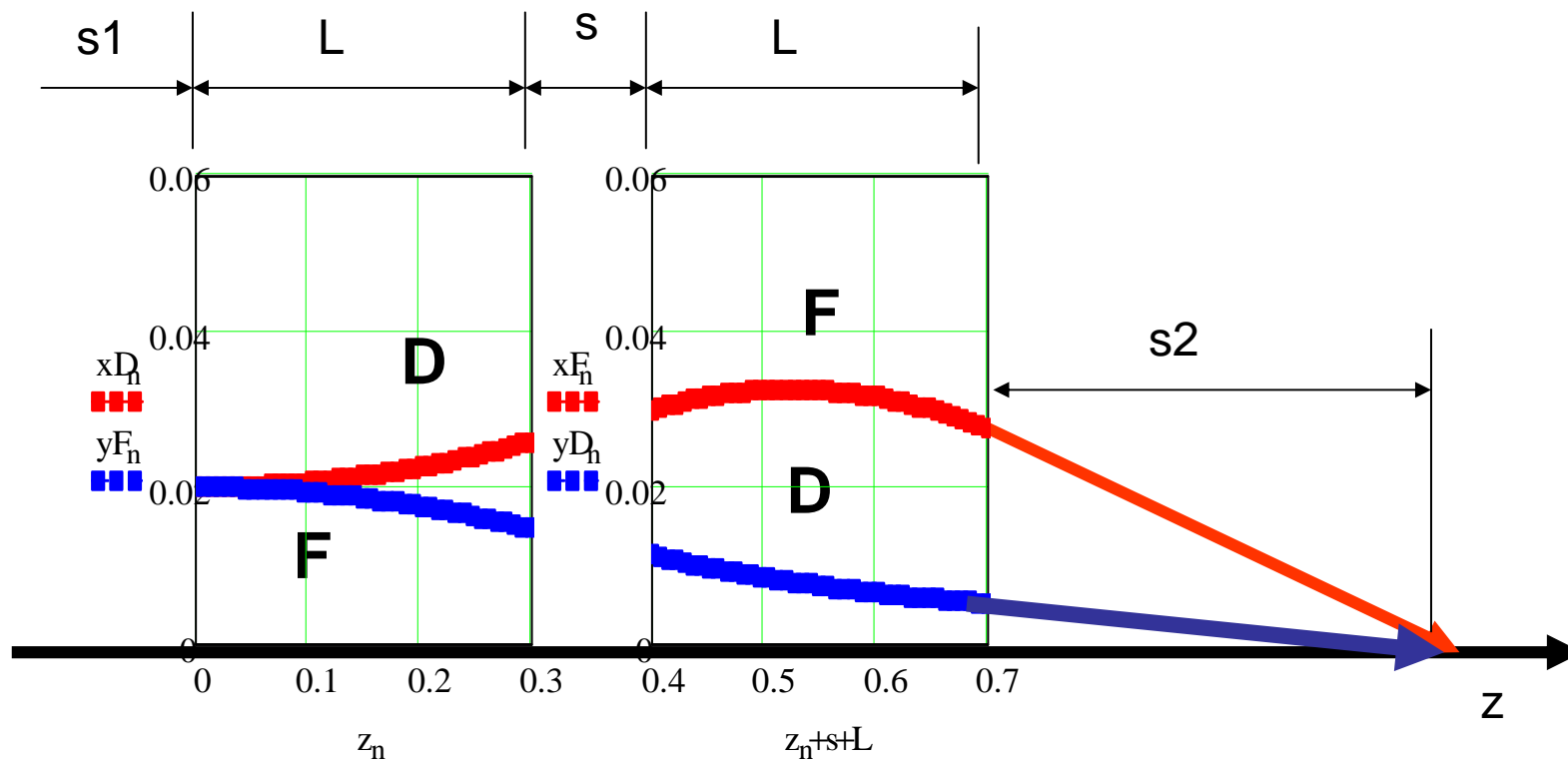
# Magnes kwadrupolowy



# Magnes kwadrupolowy



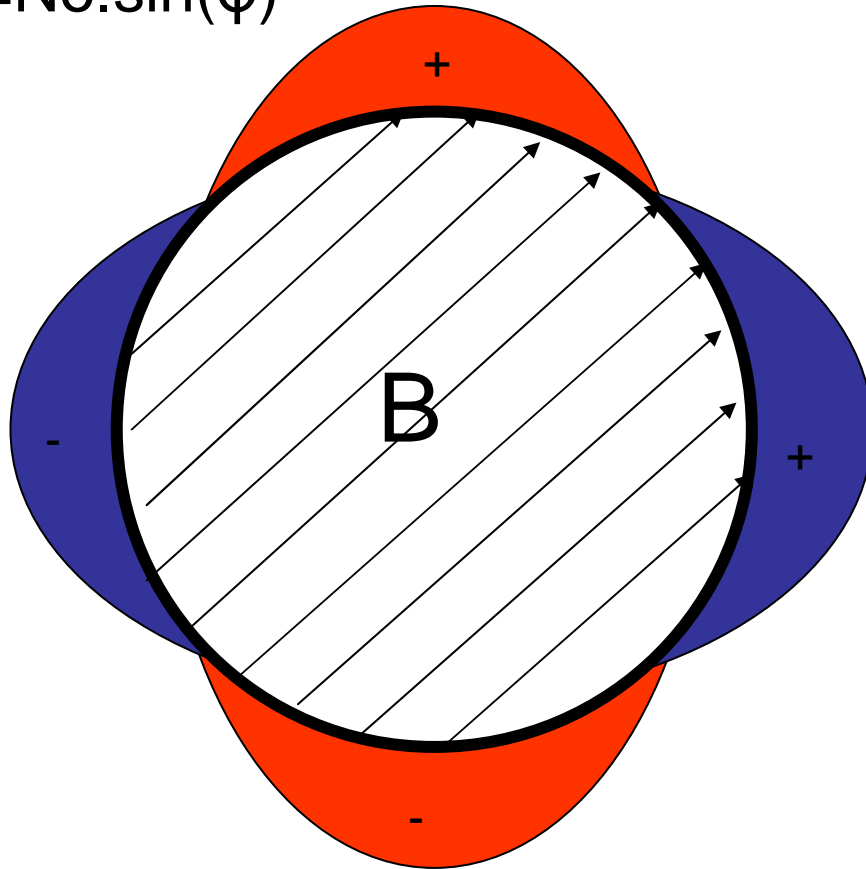
# Magnes kwadrupolowy



# Magnes dipolowy - steering

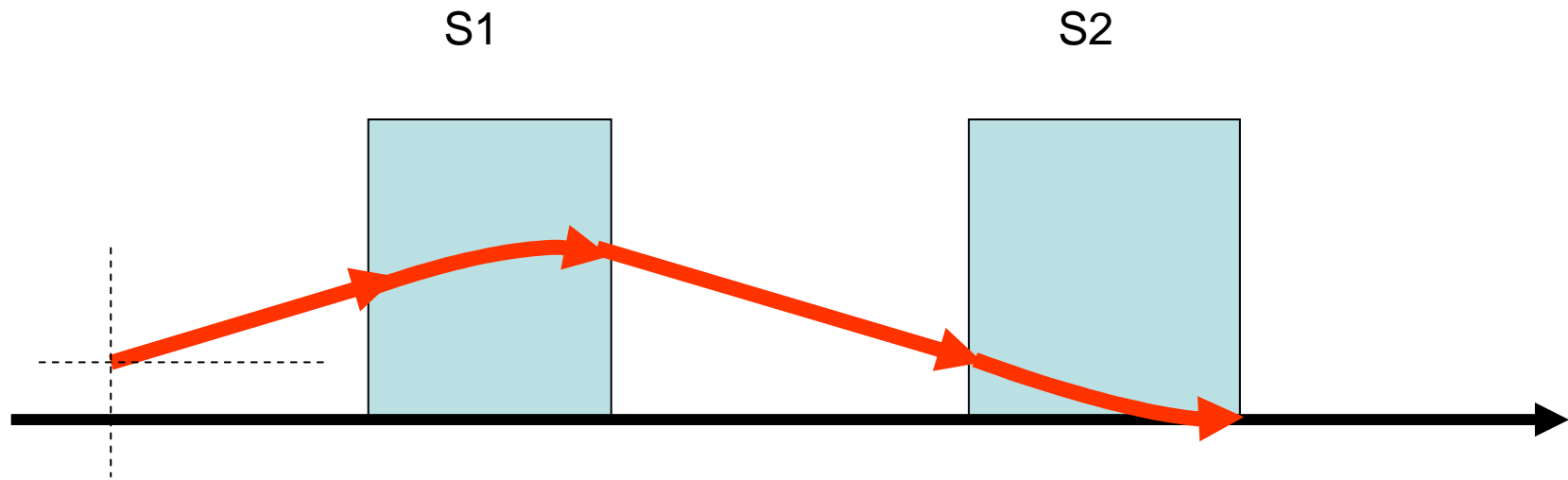
$$N1 = N_0 \cdot \cos(\varphi)$$

$$N2 = N_0 \cdot \sin(\varphi)$$

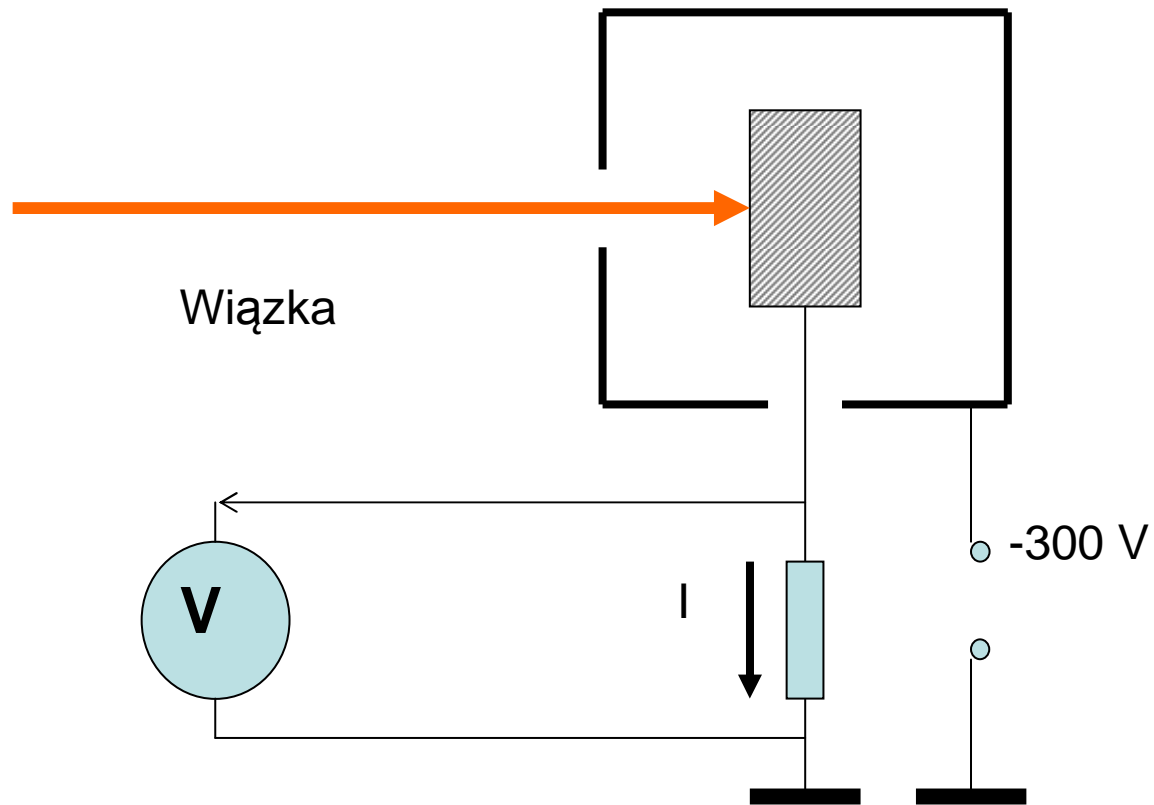




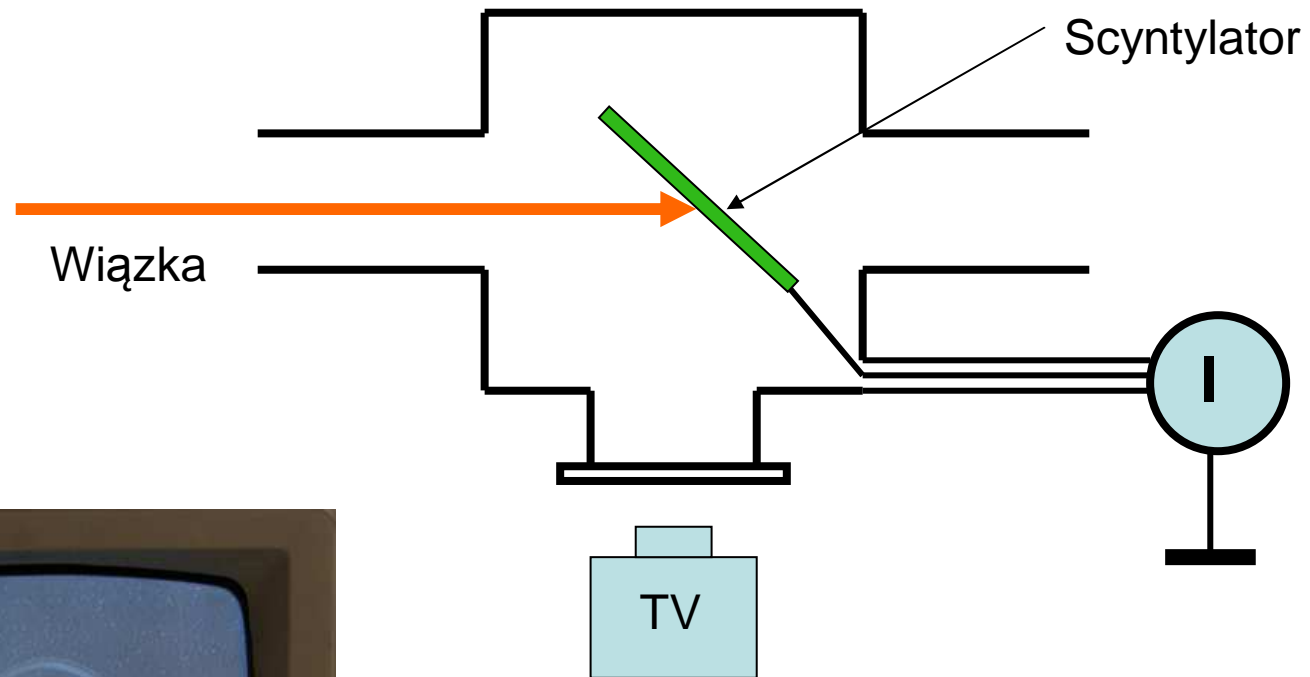
# Magnes dipolowy - steering



# Diagnostyka wiązki - kubek Faraday'a



# Diagnostyka wiązki - „luminofor”





**Dziękuję za uwagę!**