



OKIEM
ELEKTRONIKA
Marcin Knafel

Jak przyspieszyć sobie wiązkę elektronów, czyli akcelerator cząstek od kuchni

Marcin Knafel – Okiem Elektronika

Disclaimer!

Cieszę się, że mogę wystąpić przed gronem tak wielu profesjonalistów i ludzi z branży elektronicznej!

Na wstępie chcę zaznaczyć, że na każdej konferencji musi być przynajmniej jedna prezentacja, przeprowadzona w nieco lżejszej formie i z przymrużeniem oka, i ta właśnie taka będzie :)

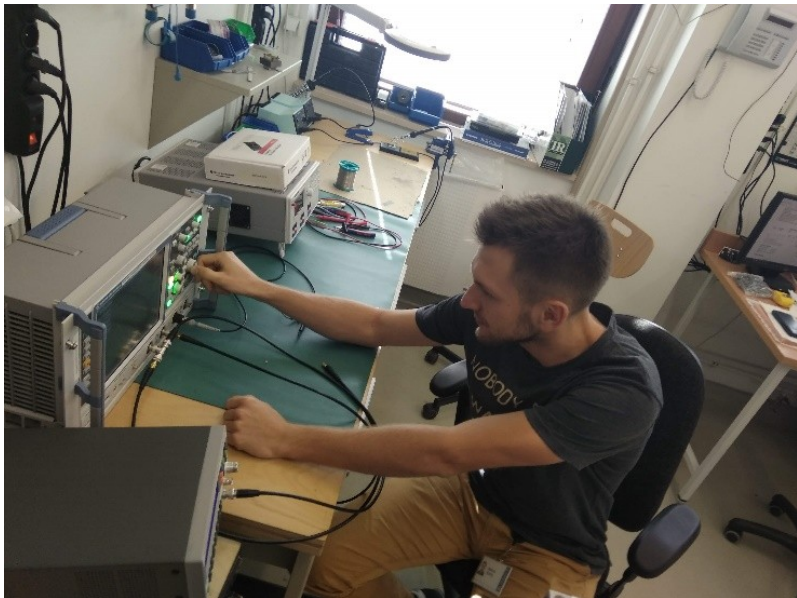
Chętnie odpowiem na wszystkie pytania po prezentacji

To może jakiś plan?

1. **Kim ja w ogóle jestem?**
2. Czym właściwie jest akcelerator cząstek?
3. Rodzaje akceleratorów
4. Jak działa Synchrotron SOLARIS?
 - 4.1 LINear ACcelerator
 - 4.2 Storage ring
5. Podsumowanie



Kilka słów o mnie :)



- Człowiek zbyt wielu zainteresowań i wiecznego niedoczasu. Strzelectwo, modelarstwo, sport (piłka, rowery, basen), elektronika i inżynieria, pirotechnika, itd.

- Zawodowo byłem już: elektrykiem-budowląncem, serwisantem automatyki, pracowałem z autonomicznymi maszynami budowlanymi, byłem operatorem i inżynierem wysokich częstotliwości w jedynym w Polsce synchrotronie Solaris, pracowałem w inżynierii wstecznej układów scalonych, przy megawatowych ładowarkach do ciężarówek elektrycznych a obecnie projektuję elektronikę do R&D w Hitachi Energy.

- Z hobby, które przerodziło się w coś więcej założyłem swoją firmę oraz bloga/FP - Okiem Elektronika, gdzie serwisuję, projektuję i uczę elektroniki każdego, kto tylko ma chęć :)



Okiem elektronika

Edytuj stronę na Facebooku | Edytuj profil na Instagramie
Zacznij korzystać z Meta Verified



okiem_elektronika Okiem_Elektronika

Obserwuj

Wiadomość



19 Obserwuje 19.3K Obserwujący 51.8K Polubień

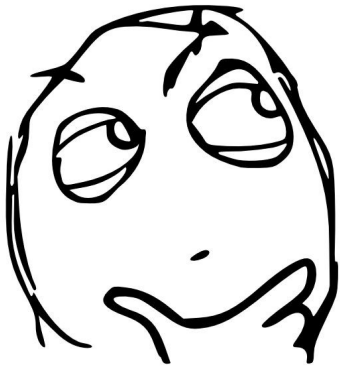
Twój ziem-elektronik.
Naprawiam-uczę-projektuję :)

buycofee.to/okiemelektronika

twatorów

To może jakiś plan?

1. Kim ja w ogóle jestem?
2. **Czym właściwie jest akcelerator cząstek?**
3. Rodzaje akceleratorów
4. Jak działa Synchrotron SOLARIS?
 - 4.1 LINear ACcelerator
 - 4.2 Storage ring
5. Podsumowanie



Akcelerator cząstek, to w zasadzie każde urządzenie, które potrafi zwiększyć energię cząstek elementarnych – elektronów, protonów, neutronów czy jonów.

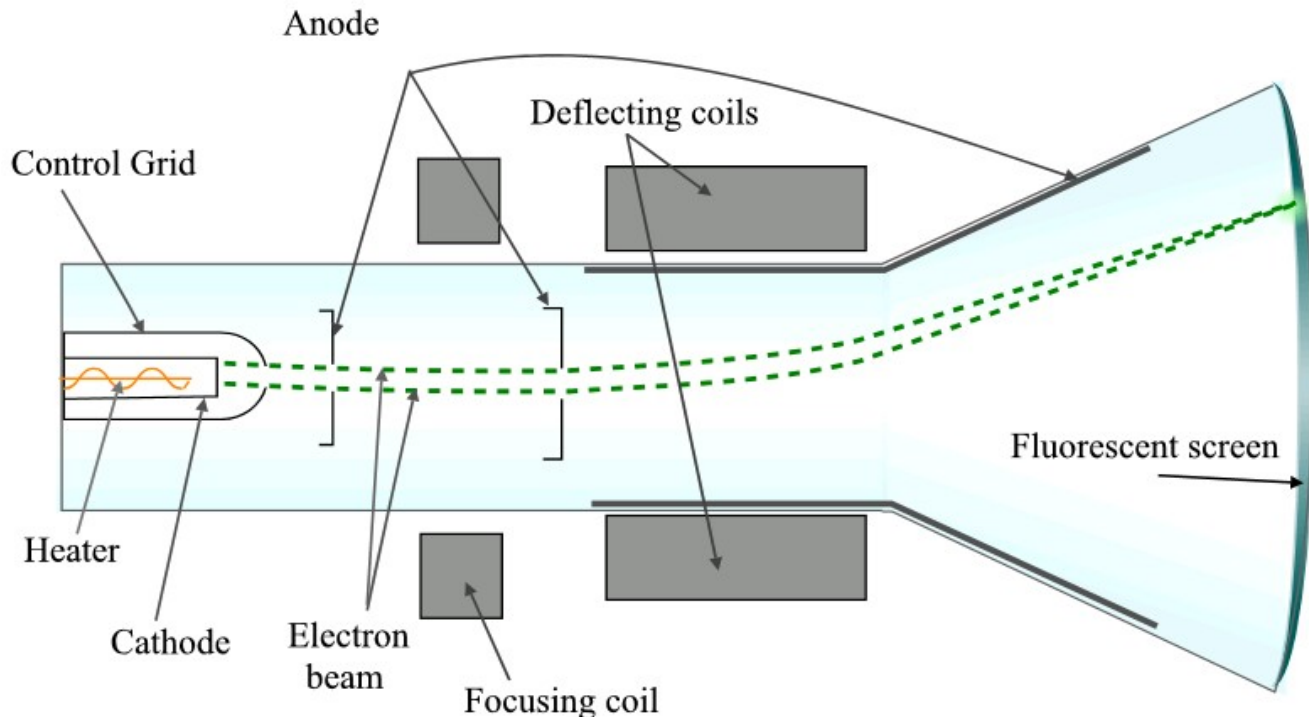
Akcelerator cząstek, to w zasadzie każde urządzenie, które potrafi zwiększyć energię cząstek elementarnych – elektronów, protonów, neutronów czy jonów.

Może nim być np. kawałek przewodu!



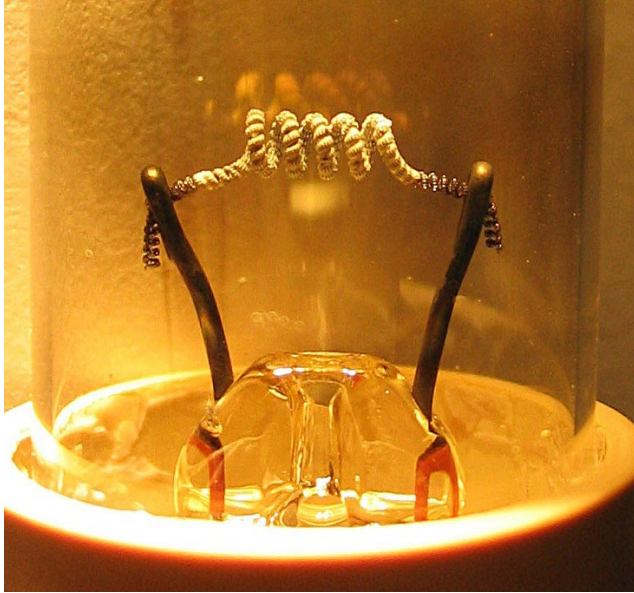
Akcelerator cząstek, to w zasadzie każde urządzenie, które potrafi zwiększyć energię cząstek elementarnych – elektronów, protonów, neutronów czy jonów.

W telewizorach z lampami CRT mieliśmy dobrze znany mechanizm wytwarzania i przyspieszania elektronów – rozgrzany żarnik na zasadzie termoemisji emitował elektrony (to już można podciągnąć pod ich przyspieszanie!) a następnie siatka kontrolna przyciągała je swoim potencjałem aby mogły polecieć w kierunku ekranu.



A skąd wziąć te cząstki do przyspieszenia?

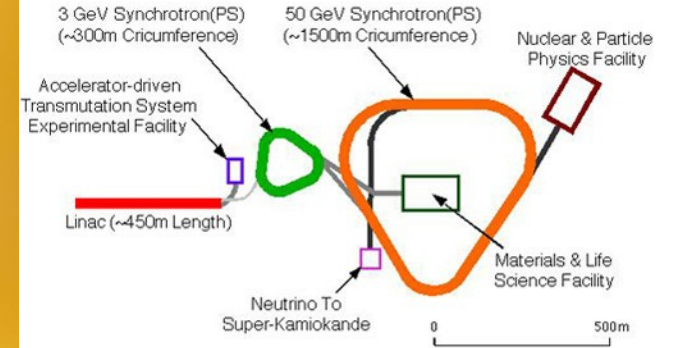
Elektrony - można wytworzyć na zasadzie termoemisji



Protony – wytwarza się poprzez jonizację wodoru a sam gaz można dostarczyć bezpośrednio z butli.



Neutrony – nie mają ładunku elektrycznego, zatem przyspieszyć material który emituje neutrony



High Intensity Proton Accelerator Project

A jak opiszemy prędkość?

Oczywiście najbardziej intuicyjne byłoby podawanie prędkości w jednostkach odległości / czas, ale mówimy tutaj o bardzo dużych prędkościach.

Wartości typu „dana wiązka cząsteczek ma prędkość 99,997% C robi wrażenie, ale bardzo szybko robi się z tego 99,99999956% C i 99,99999999999999234% C i staje się to problematyczne do zapisania

Dlatego w kontekście cząsteczek posługujemy się jednostką energii, która bezpośrednio wynika z prędkości. Jednostką energii będzie tutaj 1eV ~ 1.6 × 10⁻¹⁹ J

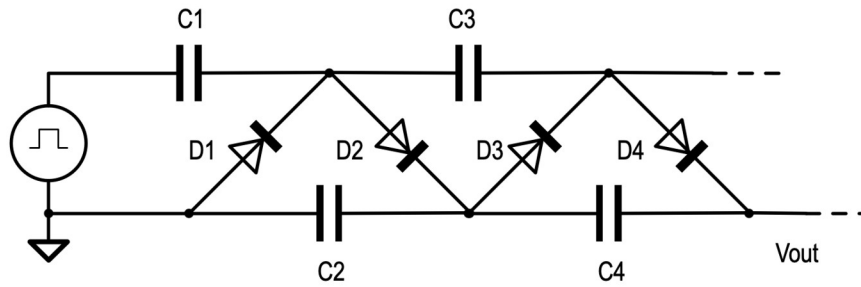
LHC zderza ze sobą wiązki protonów z energią 6,5 TeV na wiązkę, czyli energia zderzenia to 13 TeV ~ 2 μJ



To może jakiś plan?

1. Kim ja w ogóle jestem?
2. Czym właściwie jest akcelerator cząstek?
3. **Rodzaje akceleratorów**
4. Jak działa Synchrotron SOLARIS?
 - 4.1 LINear ACcelerator
 - 4.2 Storage ring
5. Podsumowanie

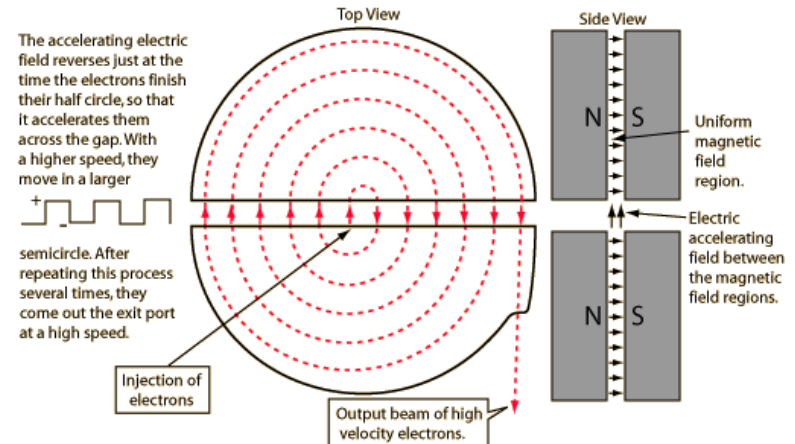
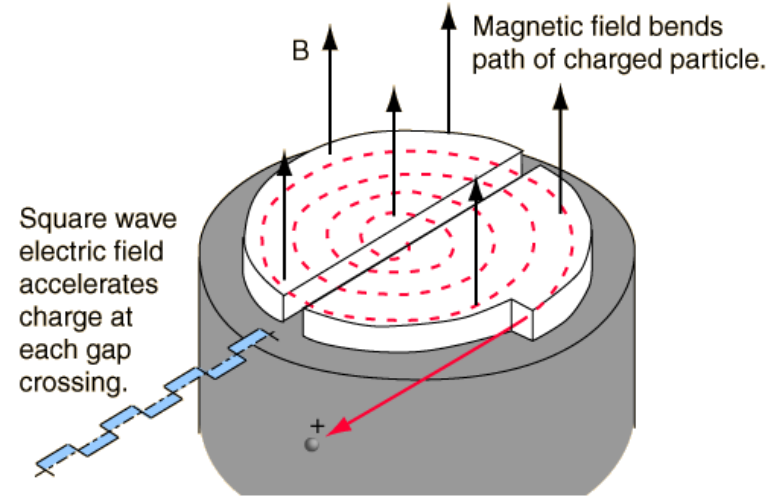
Pierwsze naukowe akceleratory cząstek wykorzystywały wysokie napięcia i przyspieszały cząstki elektrostatycznie – właśnie na ich potrzeby powstał powielacz napięcia Cockrofta-Waltona



Największy problem to potrzeba produkowania wysokich napięć i aparatury chroniącej przed przebiciami i wyładowaniem niezupełnymi. Do tego efekt przyspieszenia występuje tylko na krótkim odcinku, gdzie cząsteczki akurat znajdują się w polu elektrostatycznym.

**A co gdyby zamiast przyspieszać raz a mocno, przyspieszać ciągle?
Tutaj wchodzi akceleratorzy oparte o RF**

Najpierw cyklotron!

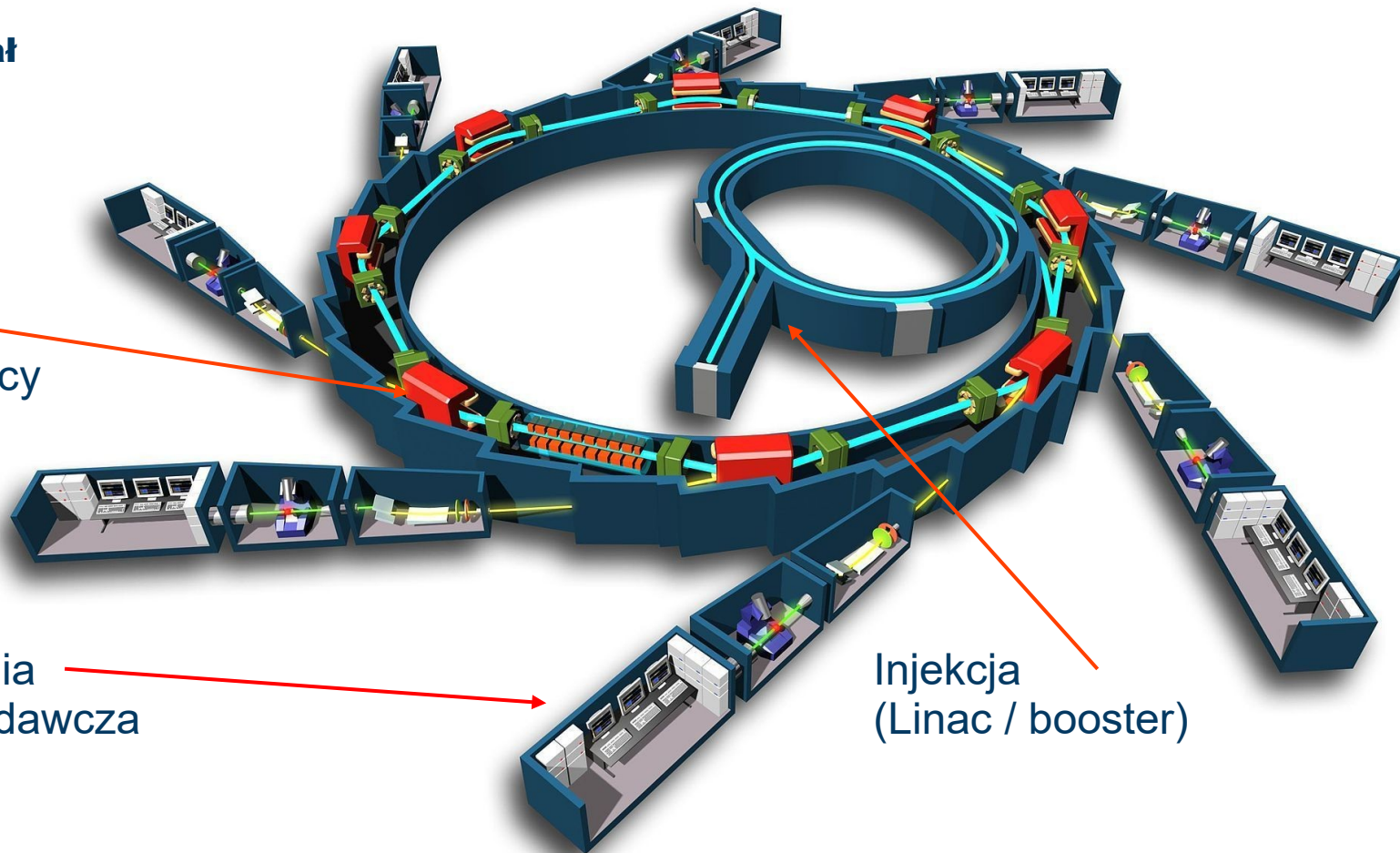


Następnie powstał synchrotron

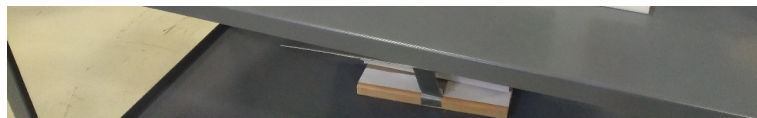
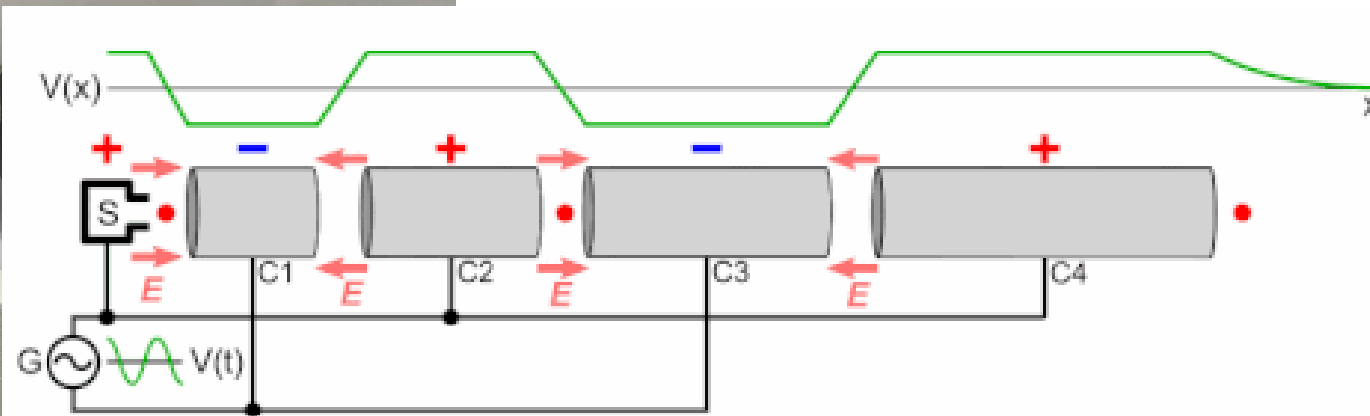
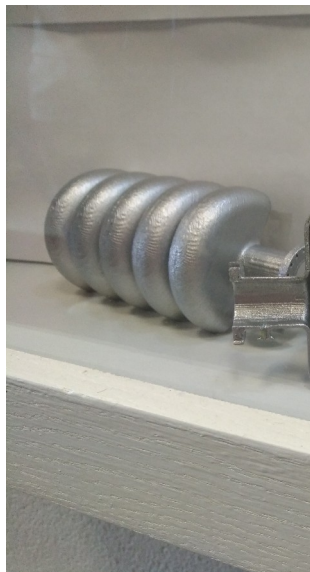
Magnes
zakrzywiający

Linia
badawcza

Injeksja
(Linac / booster)



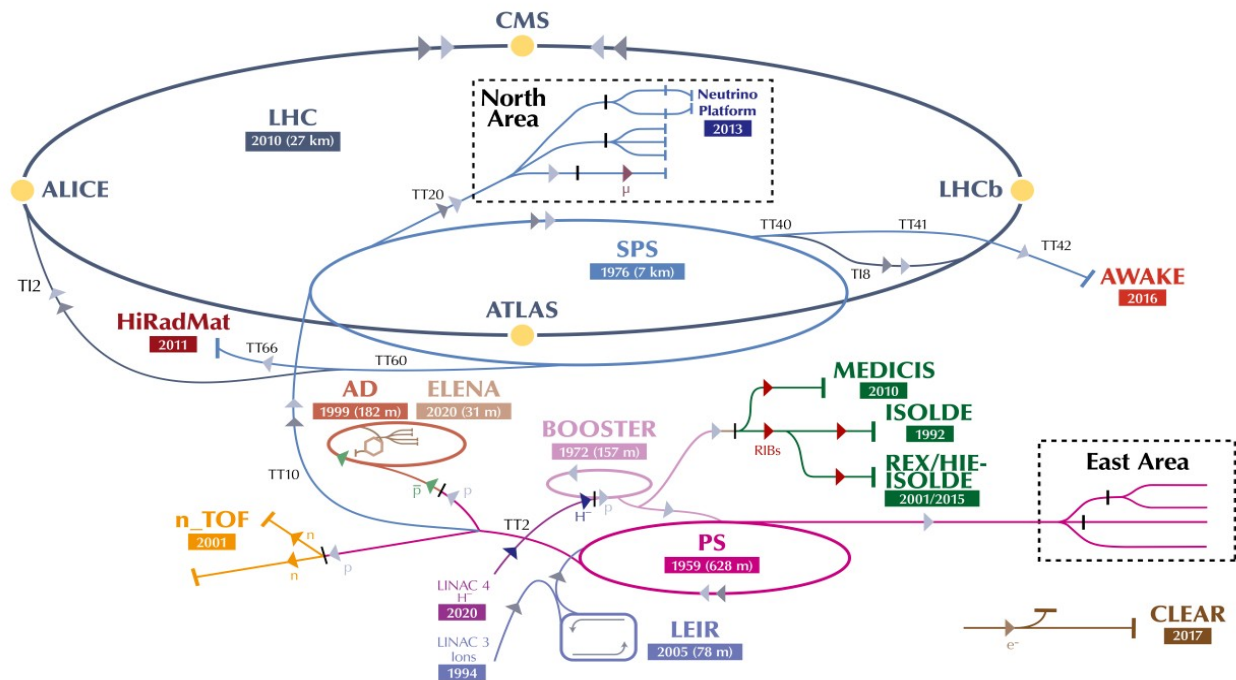
Często razem z synchrotronami współpracują akceleratory liniowe, tzw LINAC.



Zapewne większość z was słyszała o LHC – Wielkim Zderzaczu Hadronów, zbudowanym przez CERN, aby przeprowadzać eksperymenty naukowe.

Ale sam LHC to „stopień końcowy” całego szeregu różnych akceleratorów, o różnych zastosowaniach i przyspieszających różne cząsteczki.

The CERN accelerator complex Complexe des accélérateurs du CERN

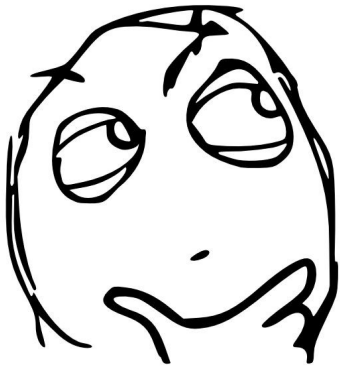


▶ H^- (hydrogen anions) ▶ p (protons) ▶ ions ▶ RIBs (Radioactive Ion Beams) ▶ n (neutrons) ▶ \bar{p} (antiprotons) ▶ e^- (electrons) ▶ μ (muons)

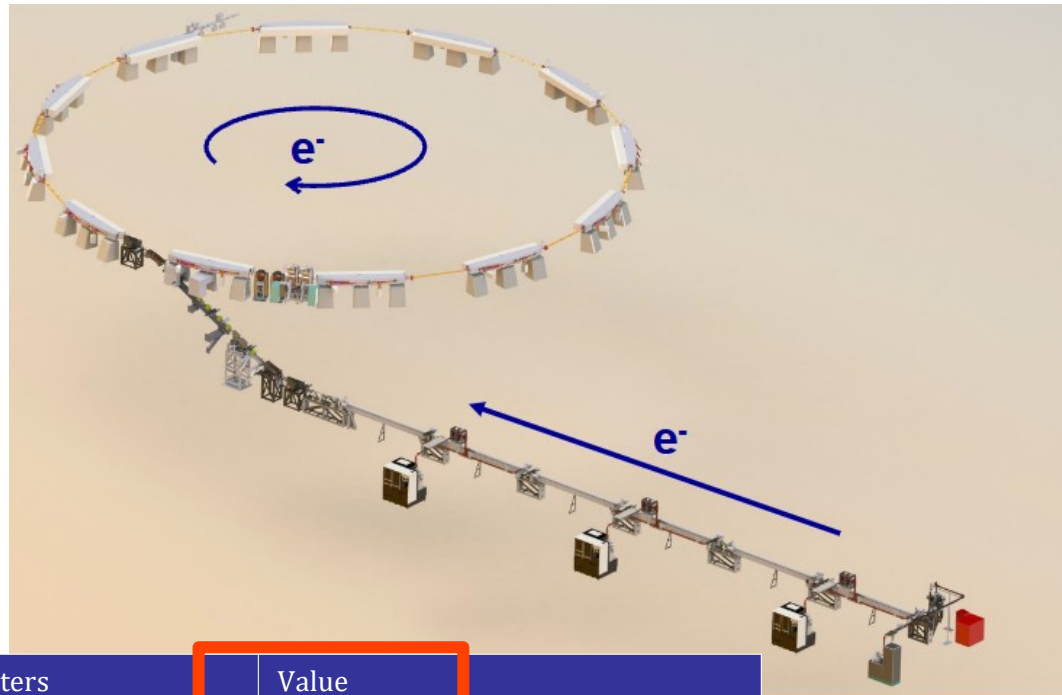
LHC - Large Hadron Collider // SPS - Super Proton Synchrotron // PS - Proton Synchrotron // AD - Antiproton Decelerator // CLEAR - CERN Linear Electron Accelerator for Research // AWAKE - Advanced WAKEfield Experiment // ISOLDE - Isotope Separator OnLine // REX/HIE-ISOLDE - Radioactive Experiment/High Intensity and Energy ISOLDE // MEDICIS // LEIR - Low Energy Ion Ring // LINAC - LINear ACcelerator // n_TOF - Neutrons Time Of Flight // HiRadMat - High-Radiation to Materials // Neutrino Platform

To może jakiś plan?

1. Kim ja w ogóle jestem?
2. Czym właściwie jest akcelerator cząstek?
3. Rodzaje akceleratorów
4. **Jak działa Synchrotron SOLARIS?**
 - 4.1 LINear ACcelerator
 - 4.2 Storage ring
5. Podsumowanie



Storage Ring Parameters	Value
Energy	1.5 GeV
Current	500 mA
Circumference	96 m
Horizontal emittance (bare lattice)	5.982 nm rad
Coupling	1%
Tunes Q_x, Q_y	11.22, 3.15
Natural chromaticities ξ_x, ξ_y	-22.96, -17.14
Momentum compaction	3.055×10^{-3}
Momentum acceptance	4%
Overall Lifetime	13 hrs



Injector Parameters	Value
Energy max	600 MeV
Bunch charge	0.1 nC
Emittance (geom, rms) x/y	3.1 / 2.0 nm rad
Energy spread (rms)	0.23%
Bunch length (rms)	3.68 ps
Injection repetition rate	Up to 10 Hz (linac up to 100Hz)

Ja dziś posłużę się przykładem Krakowskiego synchrotronu „Solaris”, gdyż jego budowę znam najlepiej :)

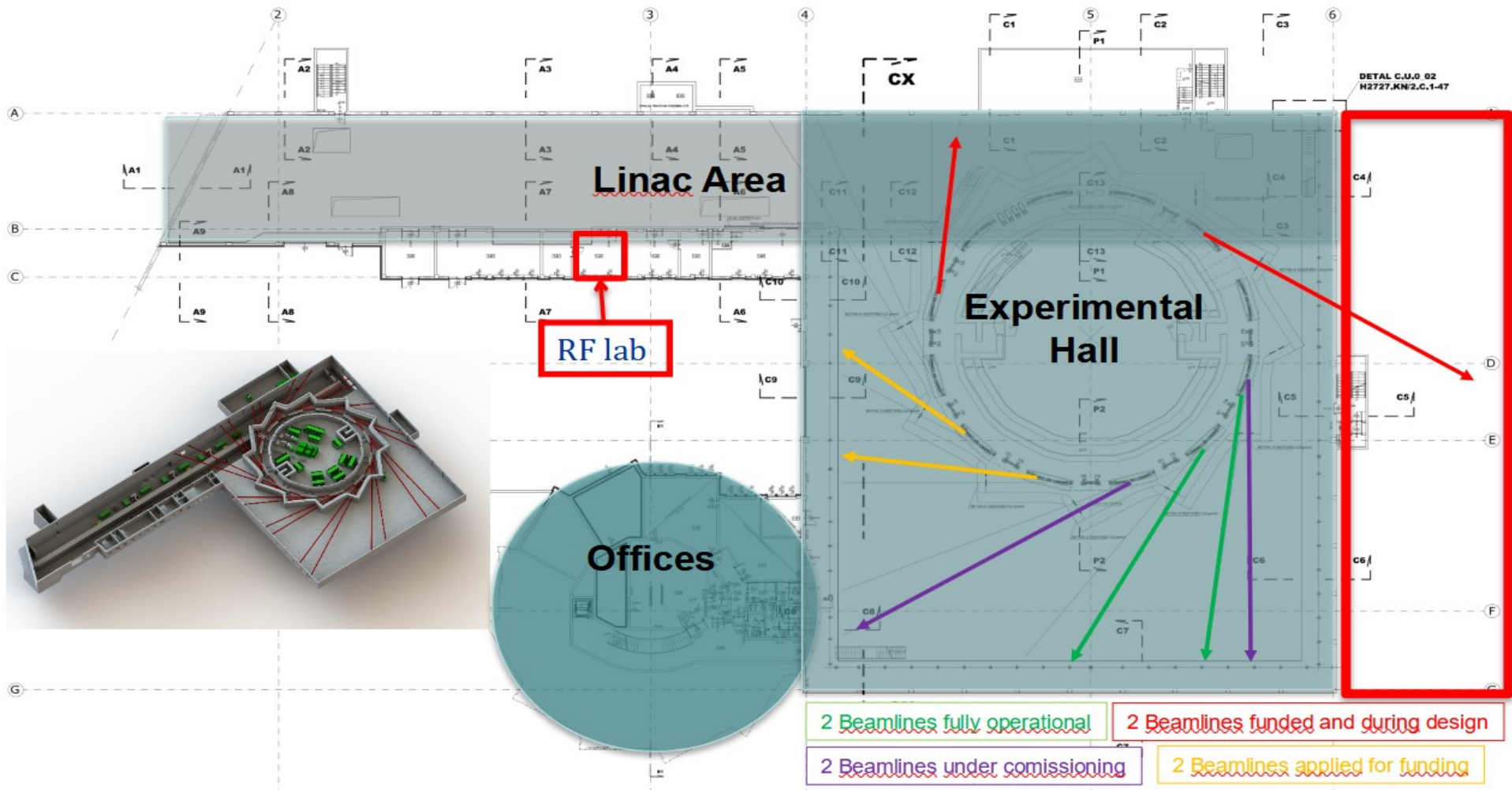
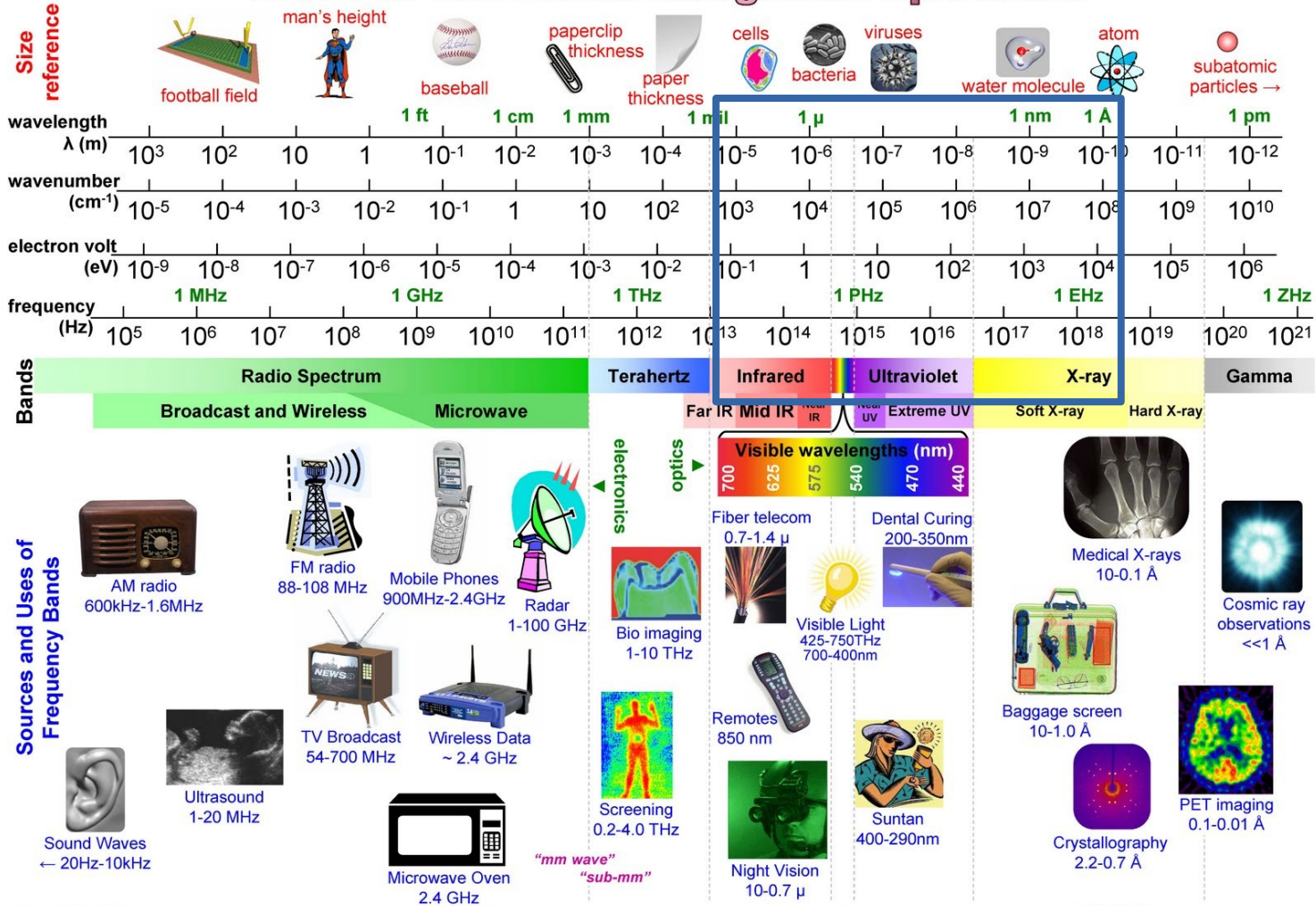


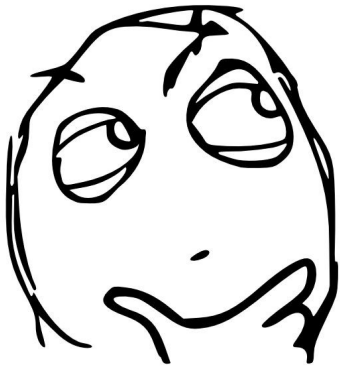
Chart of the Electromagnetic Spectrum



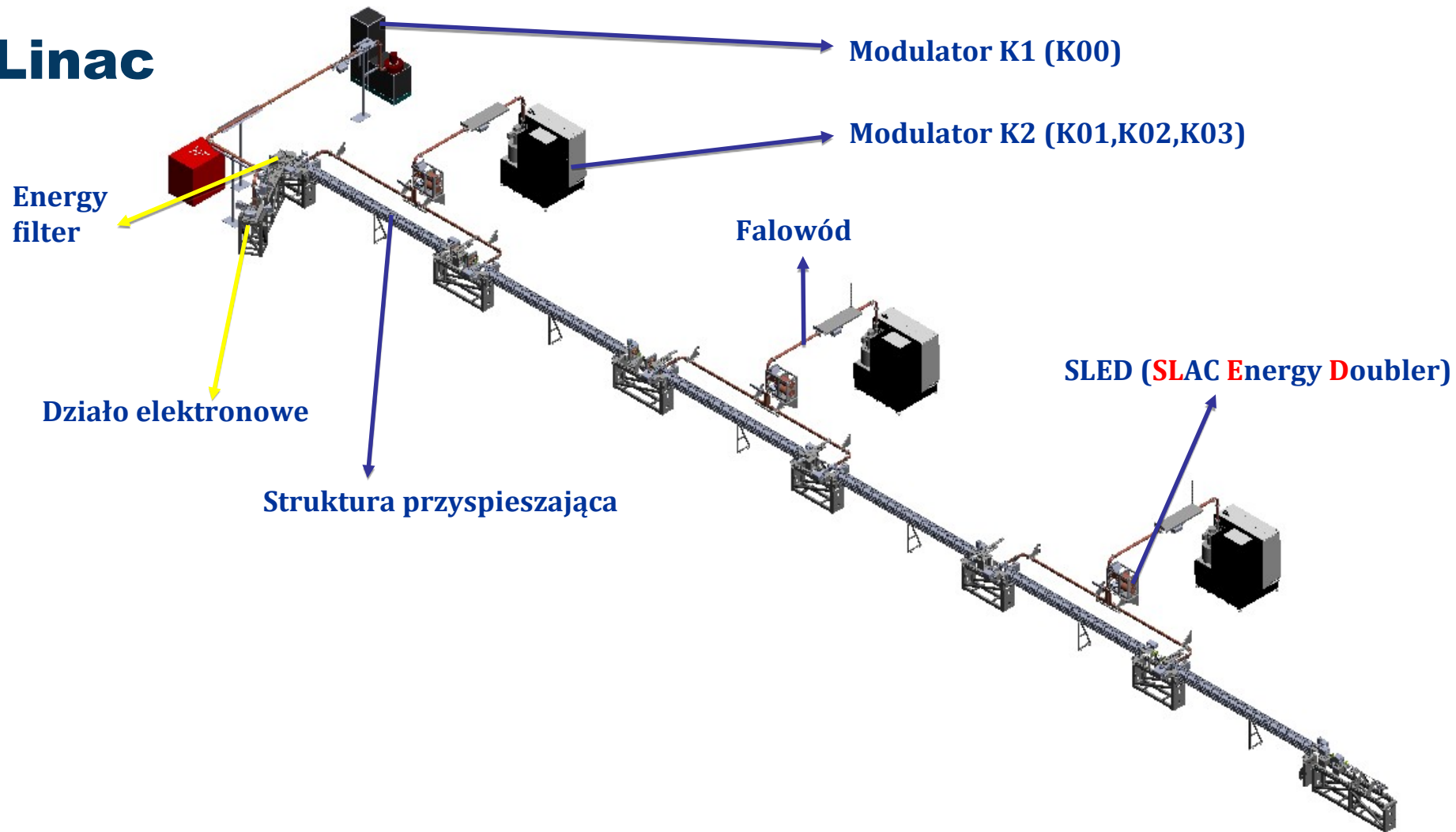
$$\lambda = 3 \times 10^8 / \text{freq} = 1 / (\text{wn} \times 100) = 1.24 \times 10^{-6} / \text{eV}$$

To może jakiś plan?

1. Kim ja w ogóle jestem?
2. Czym właściwie jest akcelerator cząstek?
3. Rodzaje akceleratorów
4. **Jak działa Synchrotron SOLARIS?**
 - 4.1 **LINEar ACcelerator**
 - 4.2 Storage ring
5. Podsumowanie



Linac



Modulator

7x HVPS (High Voltage Power Switcher)

3x HVPSU (High Voltage Power Supply Unit)

Transformator olejowy (w środku)



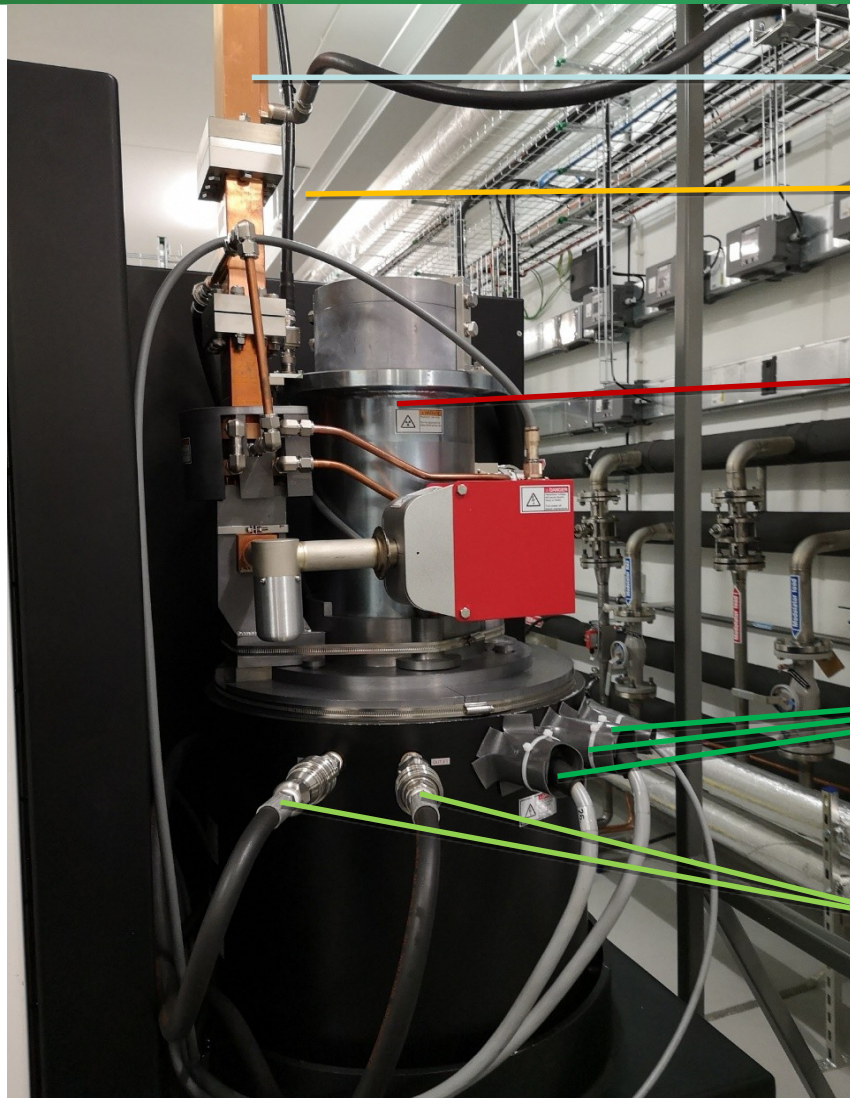
Falowód

HMI (Human-Machine Interface)

MCU (Main Control Unit)

Zasilacze do katody w klistronie

Klistron



Falowód

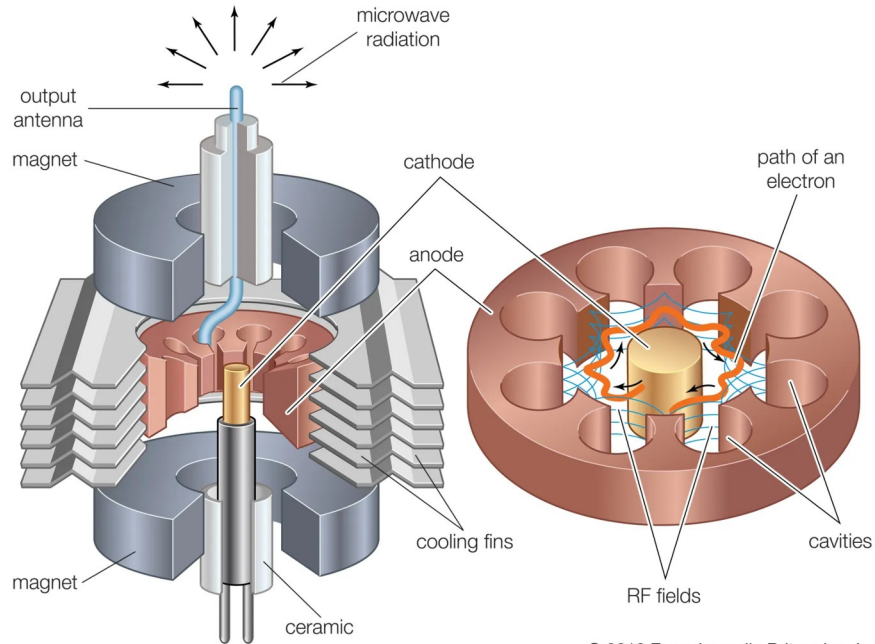
Przewód RF do
klistronu

Klistron

Przewody zasilające

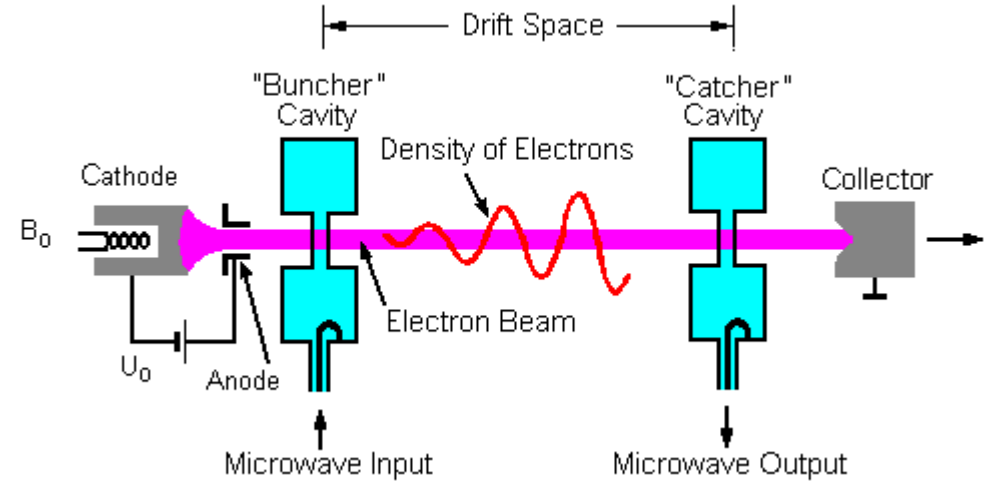
Chłodzenie wodne

Klistron vs Magnetron



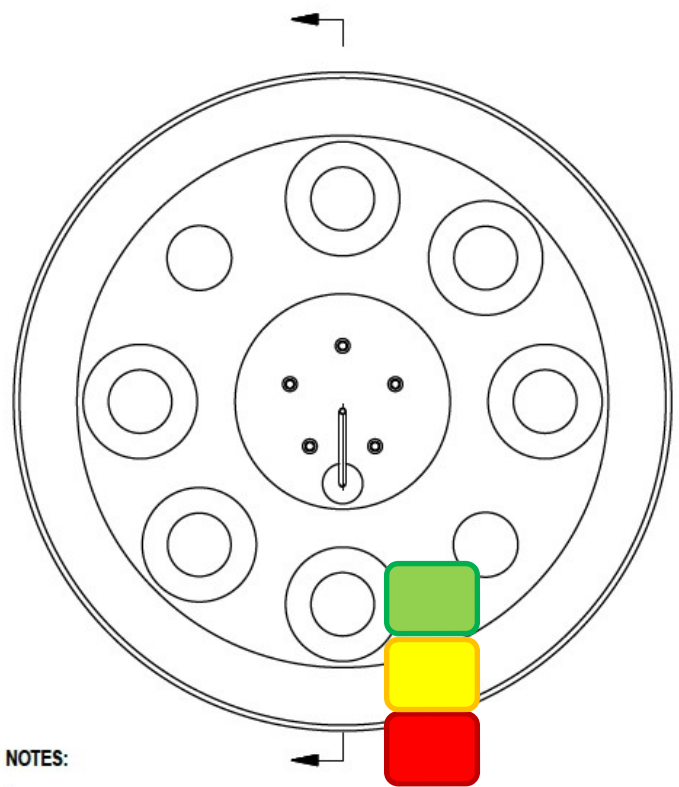
© 2010 Encyclopædia Britannica, Inc.

- + Prostszy w obsłudze
- Brak możliwości modulacji/zmiany sygnału wyjściowego



+ **Możliwość regulacji wyjścia (amplituda, **faza**) poprzez zmianę sygnału wejściowego**

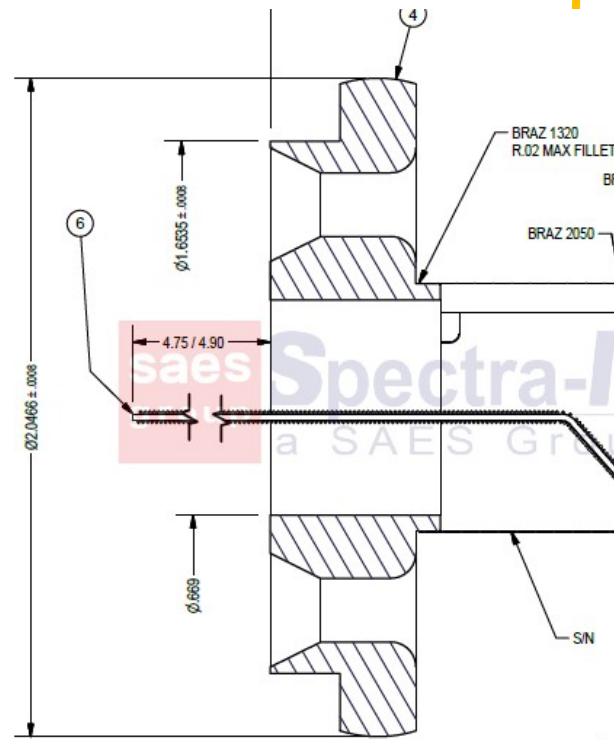
„Pierwszy strzał”



NOTES:

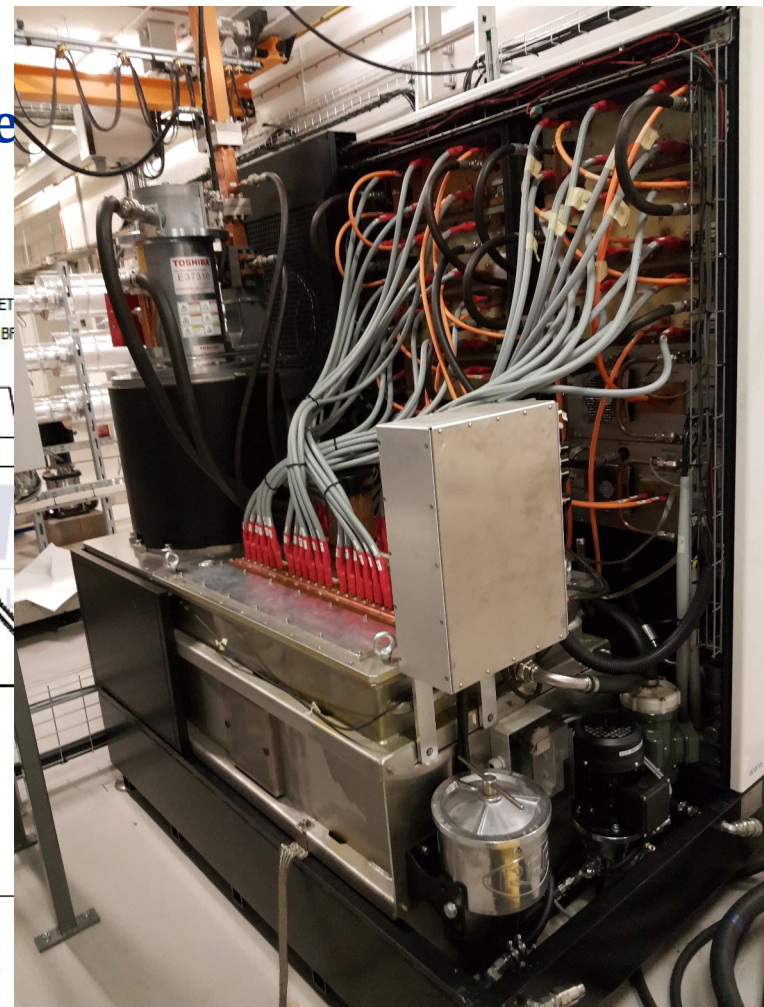
1.

Łauowanie



~270kV @ 310A

8 MW

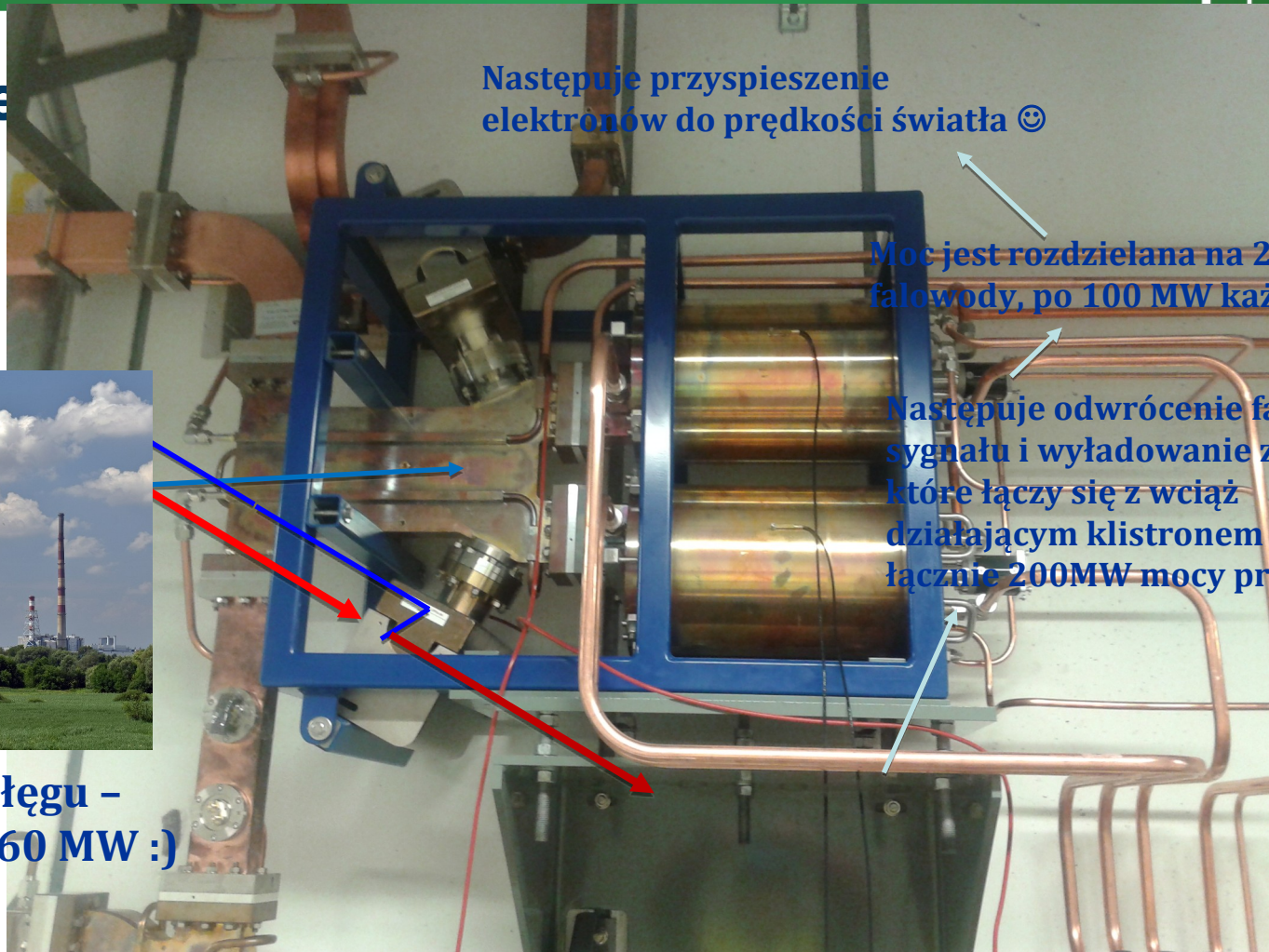


Elektrony le

e⁻



Elektrociepłownia w łęgu -
moc zainstalowana 460 MW :)

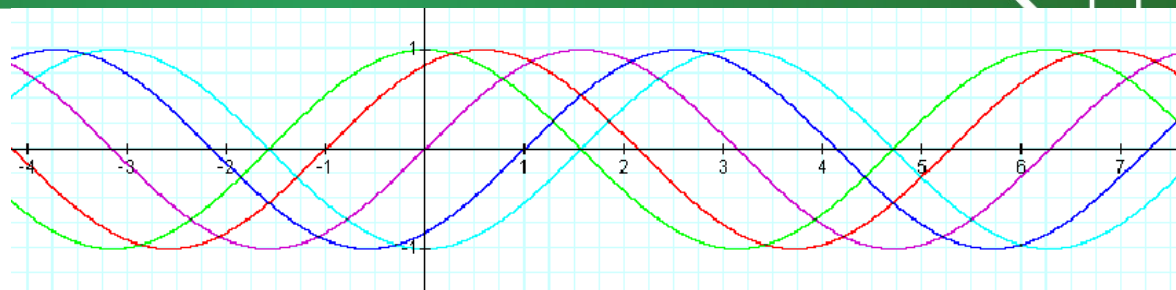
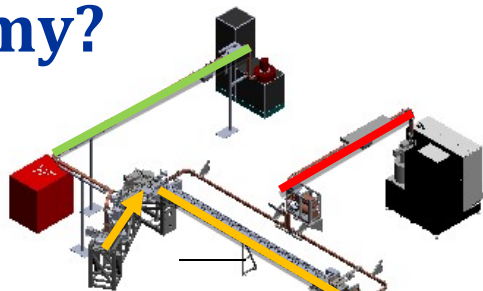


Następuje przyspieszenie
elektronów do prędkości światła ☺

Moc jest rozdzielana na 2
falowody, po 100 MW każdy

Następuje odwrócenie fazy
sygnału i wyładowanie ze SLEDA,
które łączy się z wciąż
działającym klustronem i daje
łącznie 200MW mocy przez 0,8 μ s

Jak to odpalamy?



Więc sterujemy fazą,
poprzez elektroniczne
zadajniki

Ale...

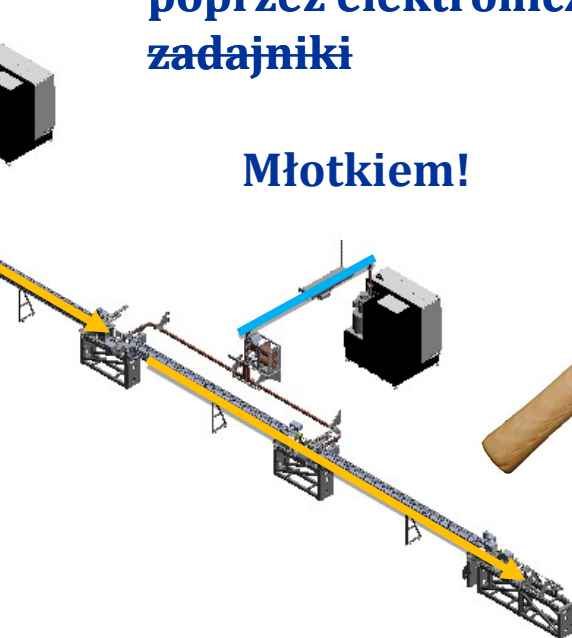
Jedna struktura ma ~6m

Elektrony lecą ~ 299 792 458 m/s

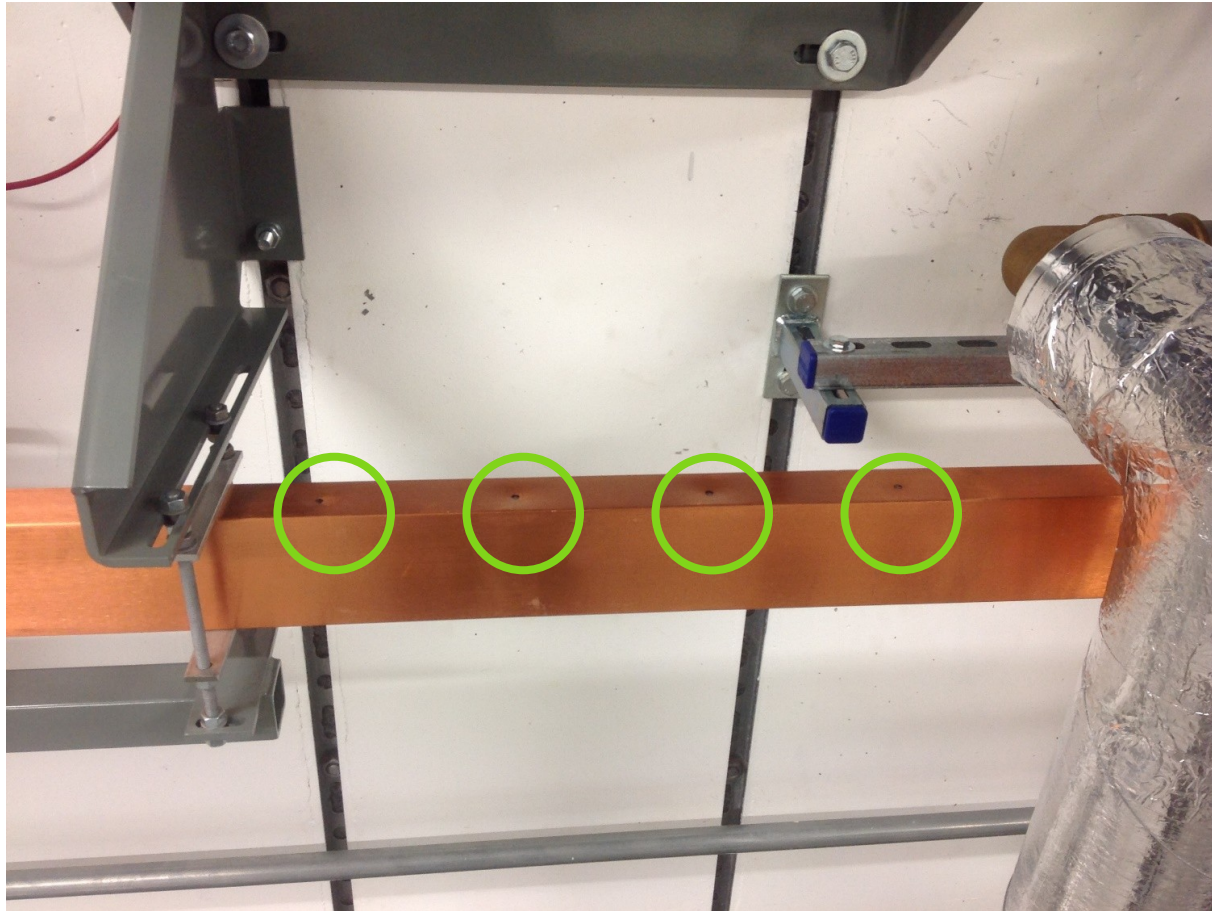
Czas lotu przez dwie struktury ~ 40 ns

Bardzo trudno jest załączać klustrony w odstępach 40 ns!

Młotkiem!



Falowody fazuje się poprzez zmianę ich geometrii – są do tego specjalne narzędzia, ale dawniej robiono to młotkiem 😊



Przelecieliśmy przez LINAC, to teraz którą na górę?

Na końcu LINACA mamy dwie opcje

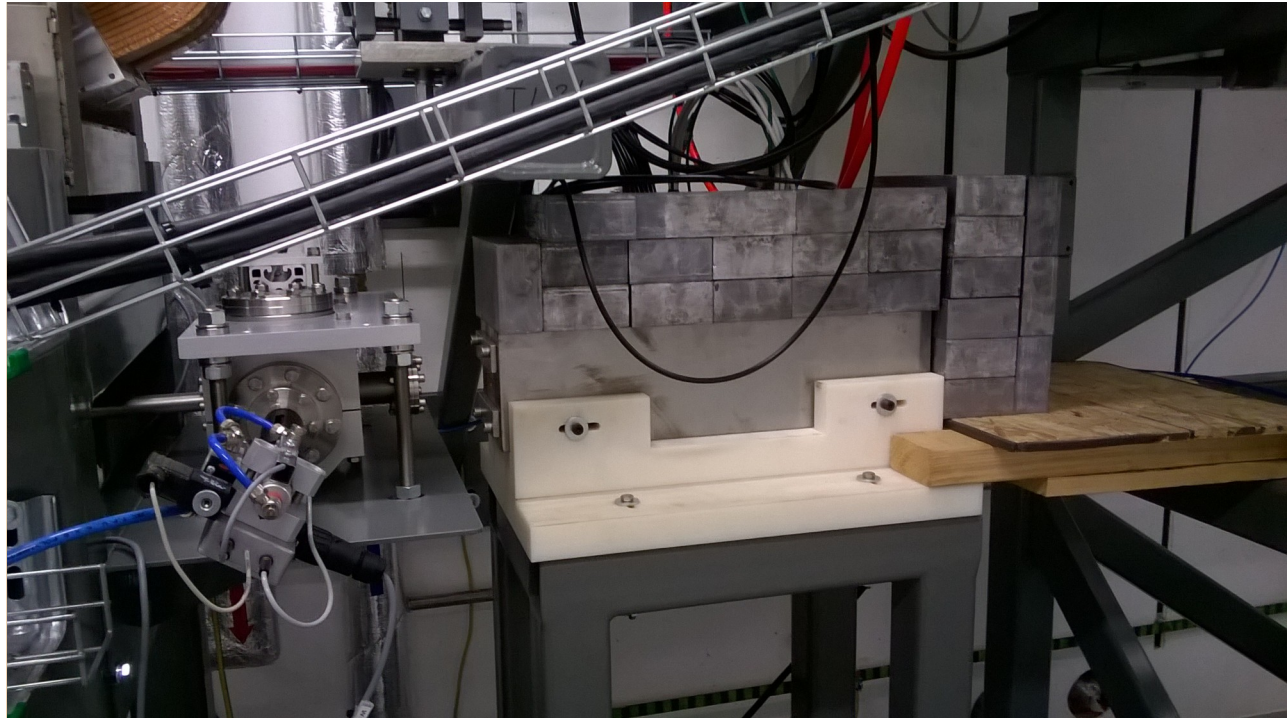


Uruchamiamy dwa zestawy elektromagnesów - linię transferową i tzw. Kicker.

Linia transferowa ma dwa magnesy zakrzywiające, jeden podrywa wiązkę do góry, drugi zrównuje ją z płaszczyzną pierścienia.

Kicker to elektromagnes impulsowy, który wpycha elektrony na „orbitę” wewnątrz pierścienia akumulacyjnego.

→ Nie wstrzykujemy wiązki do pierścienia, i trafia ona w „beam dump” czyli cegły ołowiane :)

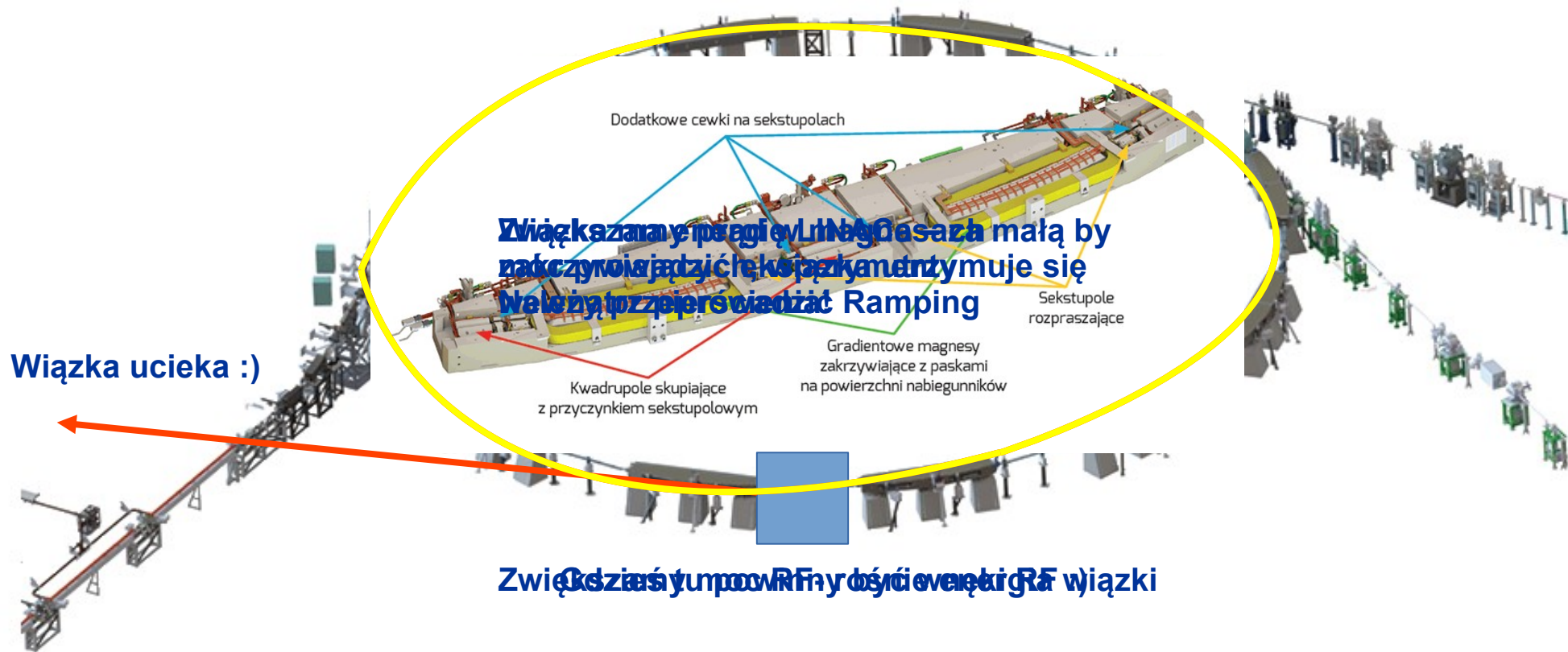




To może jakiś plan?

1. Kim ja w ogóle jestem?
2. Czym właściwie jest akcelerator cząstek?
3. Rodzaje akceleratorów
4. **Jak działa Synchrotron SOLARIS?**
 - 4.1 LINear ACcelerator
 - 4.2 Storage ring
5. Podsumowanie

Jak działa pierścień akumulacyjny?



System LLRF dba o balans – zwiększanie mocy RF i pola w magnesach

Linia koncentryczna

Cyrkulator 120kW

**Transmittery THR9
60kW**

Low Level RF

System RF w pierścieniu

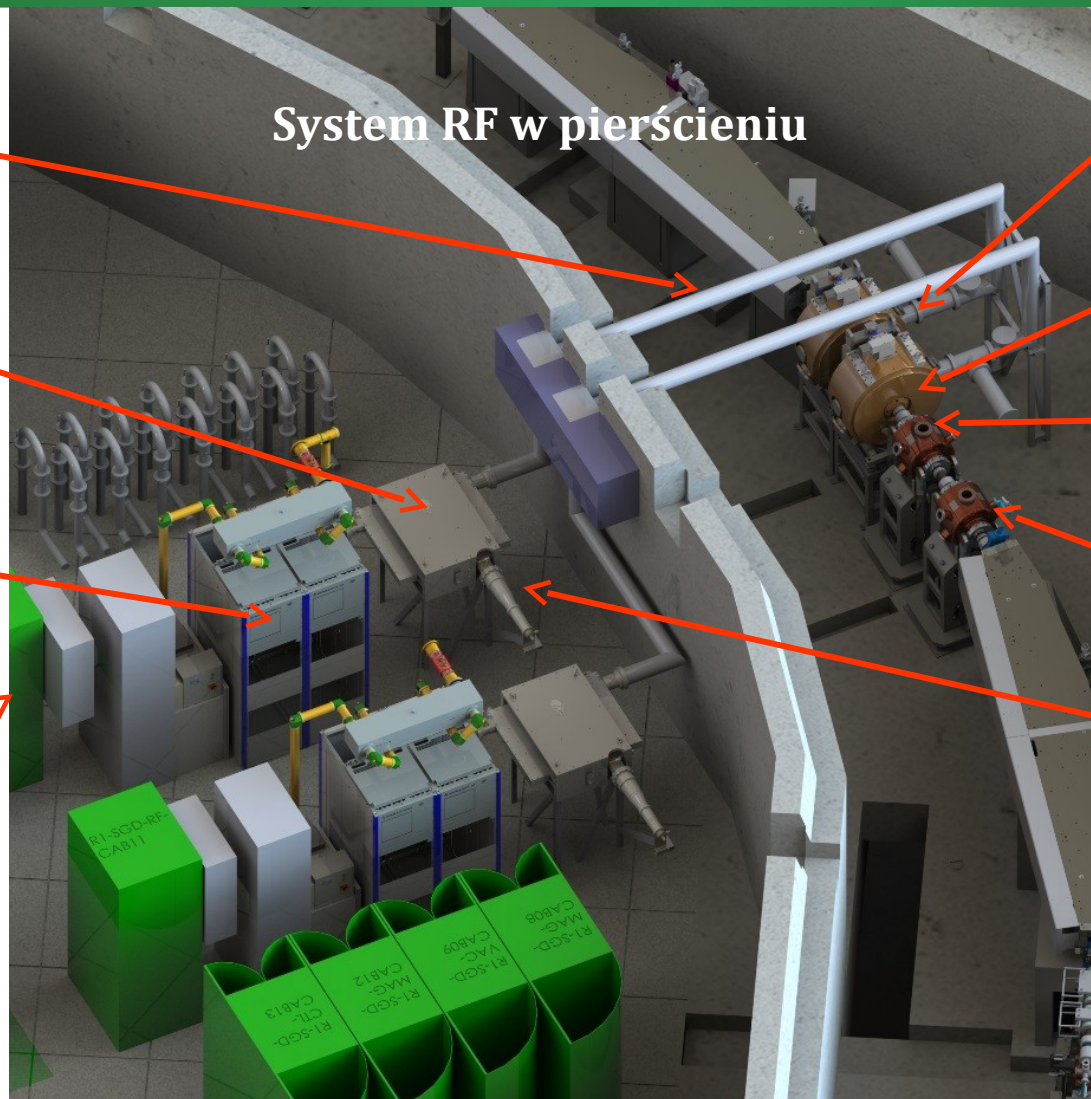
**Sprzęgacz mocy - Power
coupler**

**Aktywna wnęka
rezonansowa 100MHz**

**System strojenia wnęk
Landau - Plungery**

**Pasywna wnęka
rezonansowa 300MHz
"Landau"**

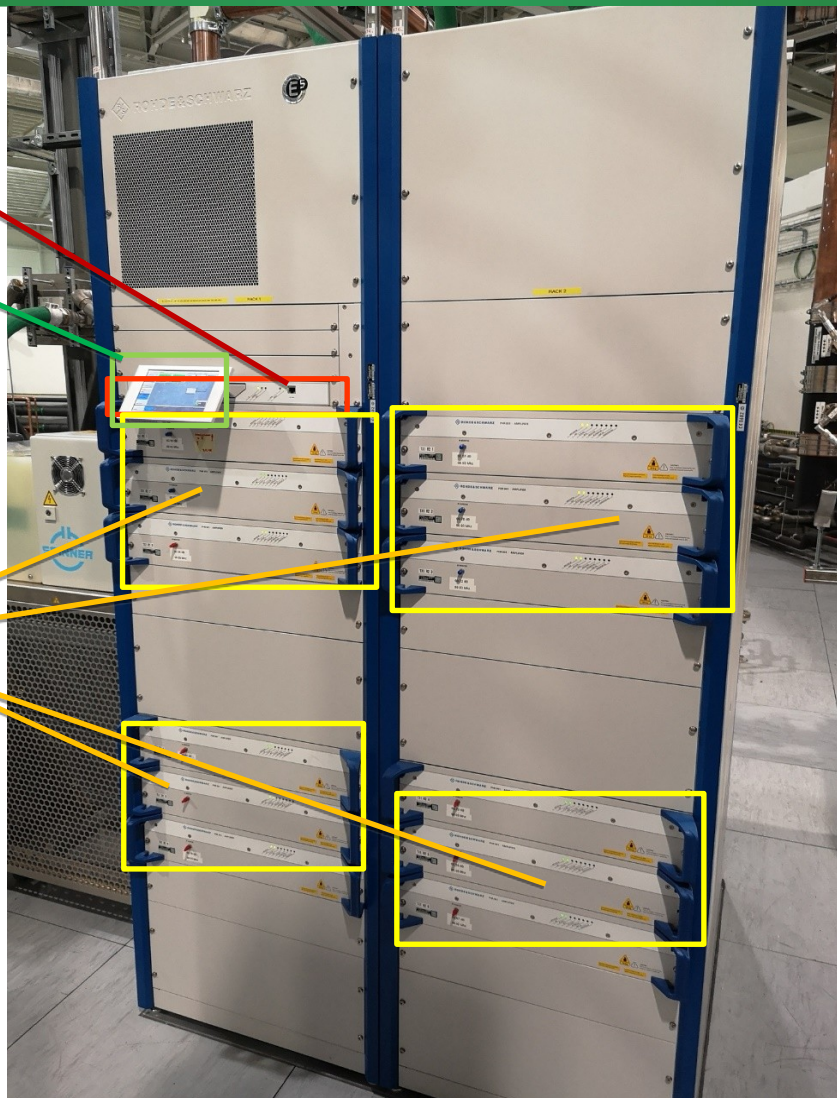
Sztuczne obciążenie



Komputer główny

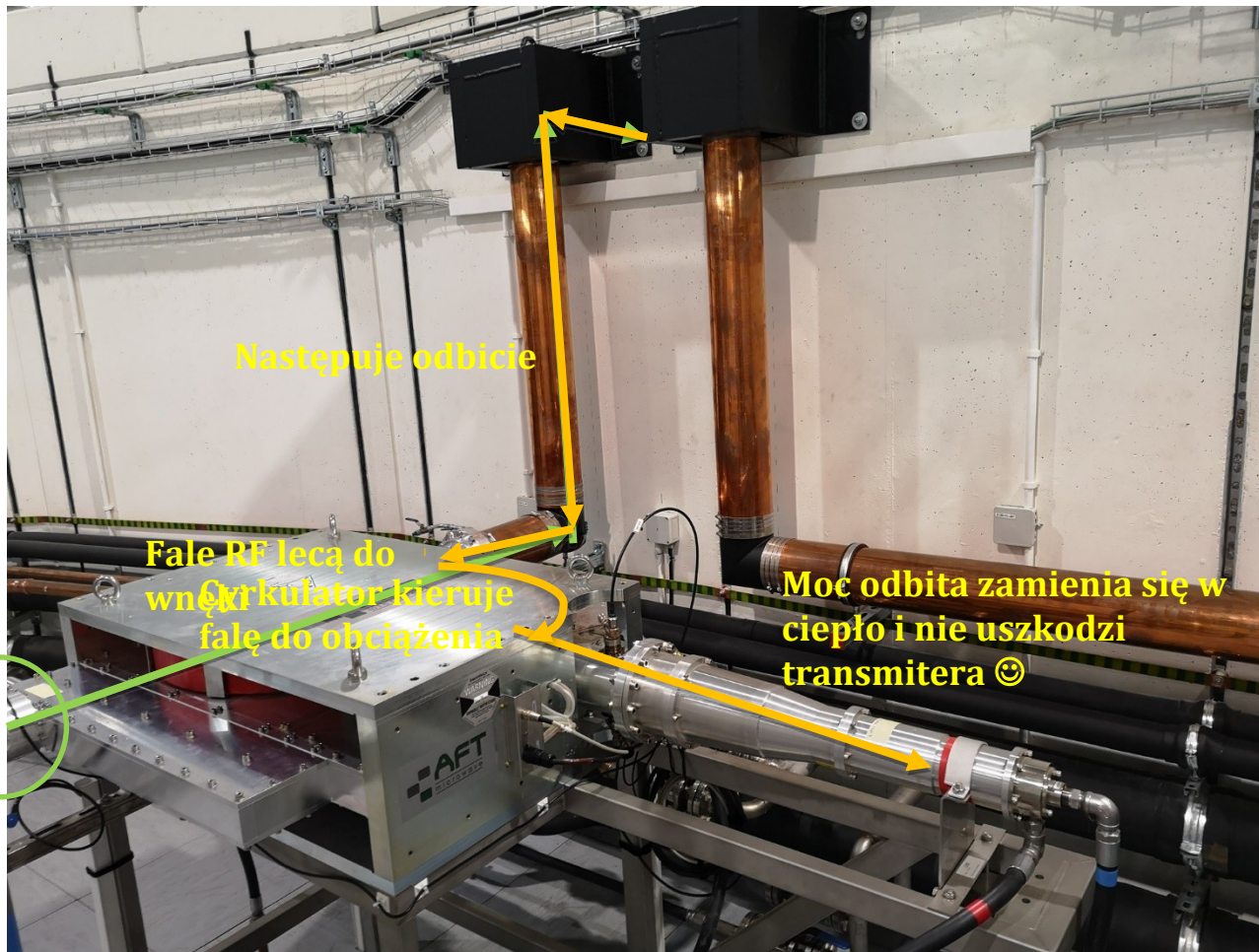
HMI (Human-Machine Interface)

**12x Kasety PHR 901
5kW @ 100MHz**



Transmitter

Cyrkulator – układ zabezpieczający między transmitters a wnęką rezonansową

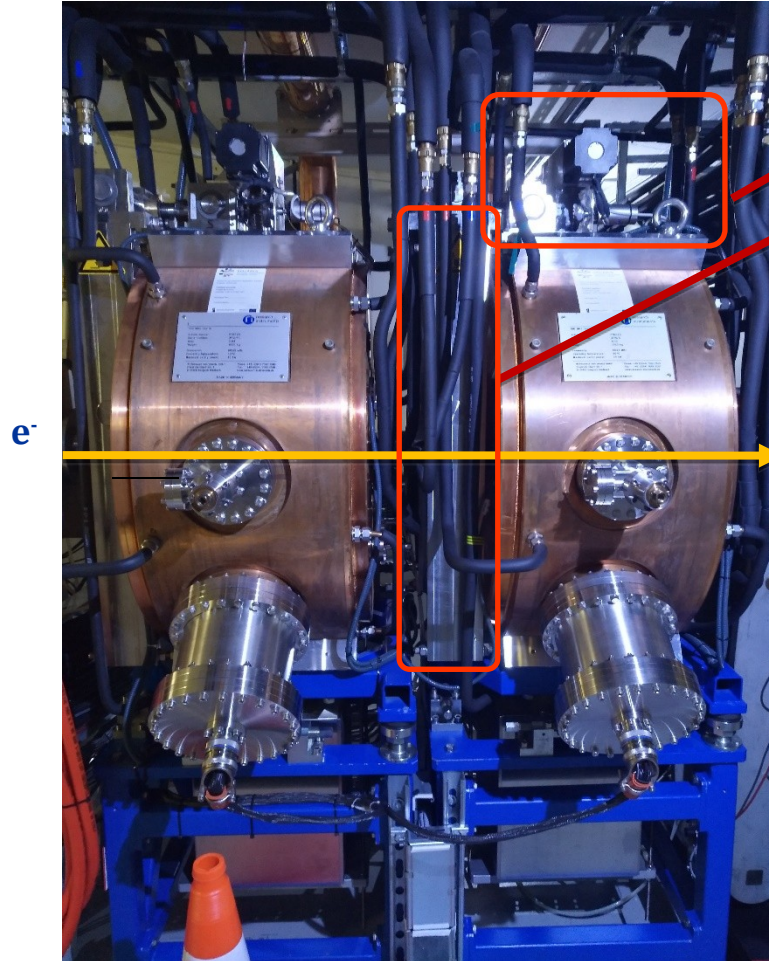


Port wejściowy

Wnęki rezonansowe z bliska

Wnęki rezonansowe 100MHz

- Aktywne, bo zasilane
- Przyspieszają elektrony (pomagają im odzyskać straconą energię)
- Biorą udział w „rampingu”
- Strojone na bieżąco podczas pracy



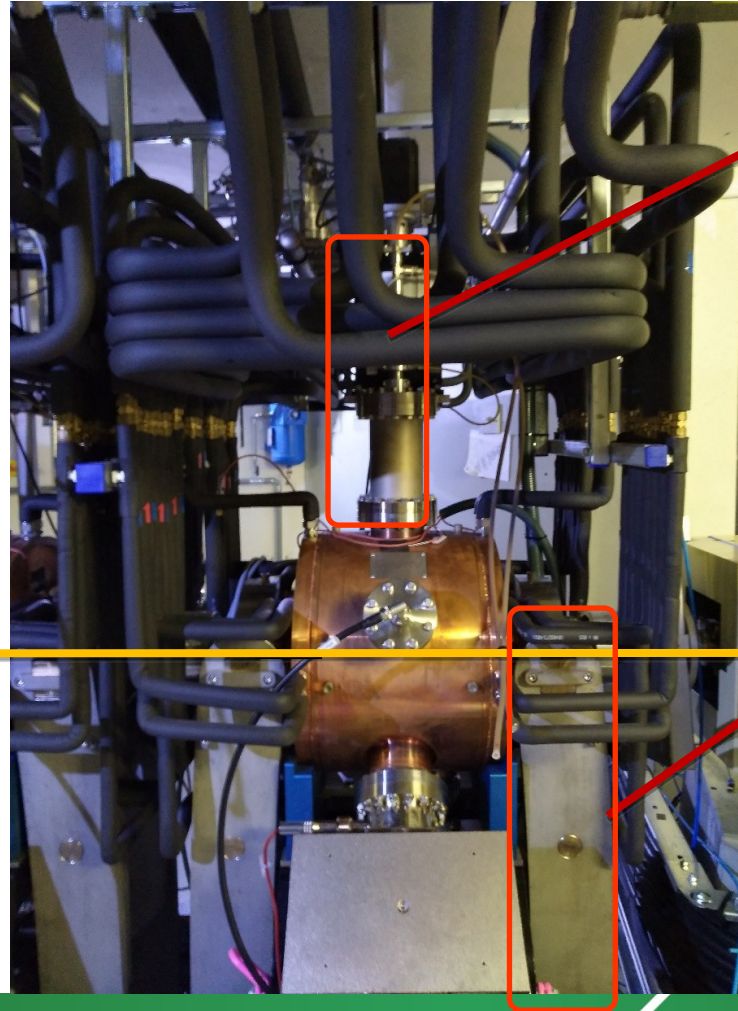
Napęd układu strojenia

Ramię mechanizmu strojenia

Wnęki rezonansowe z bliska

Wnęki rezonansowe 300MHz,
tzw. „Landau”

- Pasywne, nie dostarczamy do nich żadnego pola RF
- Stabilizują wiązkę elektronową i wydłużają „bunch-e”
- Wymagają strojenia ręcznego
- Podczas pracy z wiązką nie wymagają żadnych ingerencji (teoretycznie ☺)
- Elektron-y przelatując przez wnękę Landau same wytwarzają sobie pole elektromagnetyczne, które oddziałuje wtórnie na wiązkę



Plunger

Ramię mechanizmu
strojenia

e⁻

A dlaczego w ogóle to 100MHz w pierścieniu?



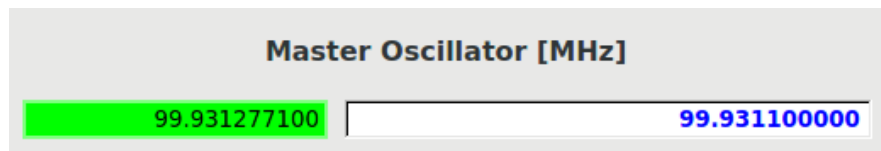
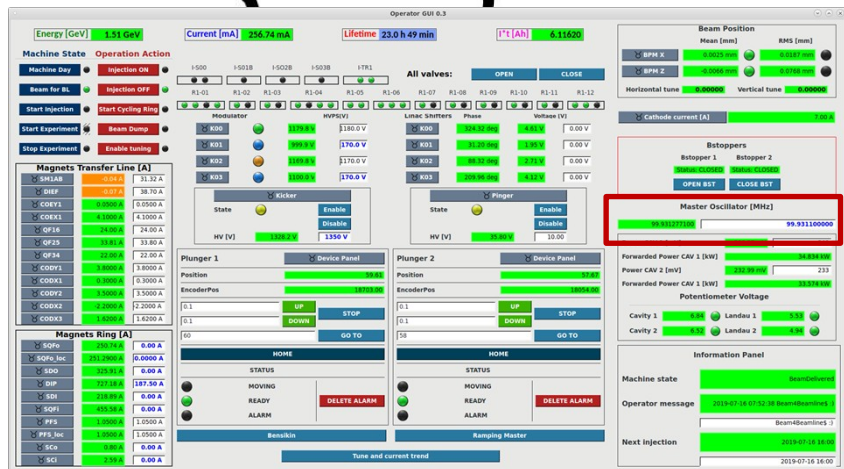
Pierścień w SOLARIS ma ~96 metrów obwodu
Elektrony lecą ~ 299 792 458 m/s

Jeden elektron wykonuje więc obrót w 320 ns

Daje to 3 122 838 obrotów na sekundę = 3,123 MHz

Mamy 32 bunche elektronowe w pierścieniu

Daje to więc około 99,931 MHz



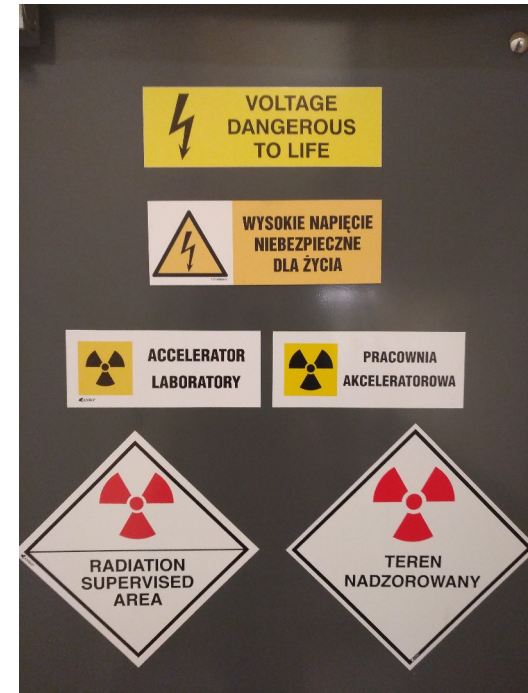


To może jakiś plan?

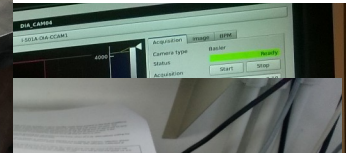
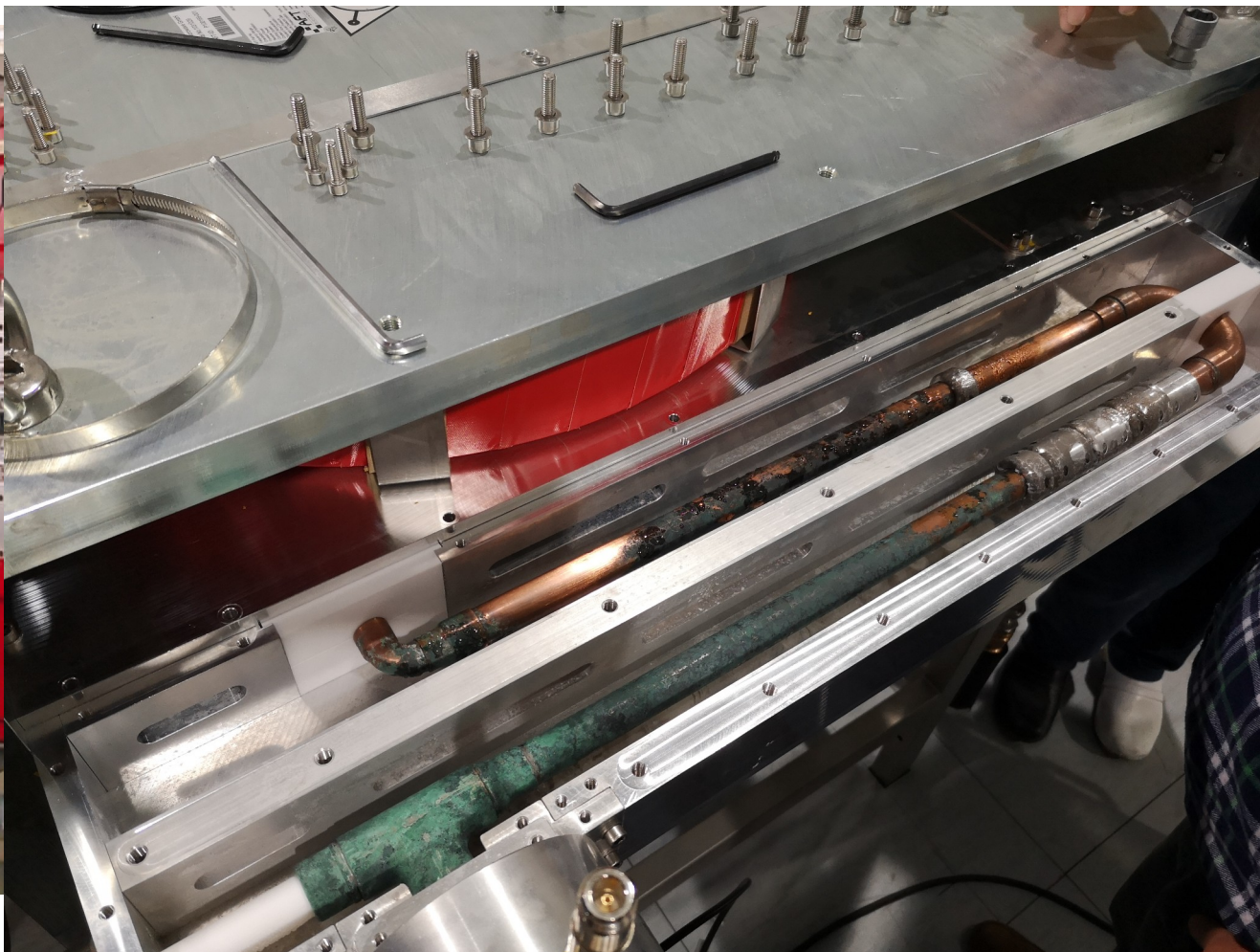
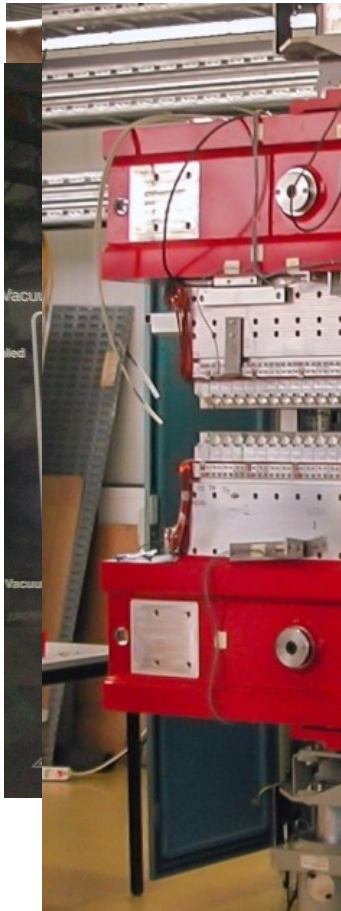
1. Kim ja w ogóle jestem?
2. Czym właściwie jest akcelerator cząstek?
3. Rodzaje akceleratorów
4. Jak działa Synchrotron SOLARIS?
 - 4.1 LINear ACcelerator
 - 4.2 Storage ring
5. Podsumowanie

Akceleratory cząstek to nie tylko sprzęt do badań naukowych!

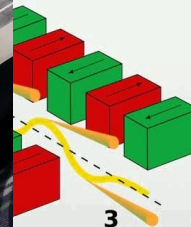
Obok takich maszyn jak SOLARIS czy LHC, znajdują one zastosowanie też w medycynie, zarówno przy leczeniu jak i produkcji izotopów. Również niektóre urządzenia do produkcji promieniowania rentgenowskiego korzystają z akceleratorów i są jak akceleratory klasyfikowane przez PAA



Poruszyliśmy tylko zasadę działania, ale jest jeszcze sporo ciekawych kwestii...



ator



ndulator.png



Dzięki za uwagę!



okiem
elektronika
Marcin Knafel