

Rozszczepienie Fermiego

Zakład Częstek i Oddziaływań Fundamentalnych

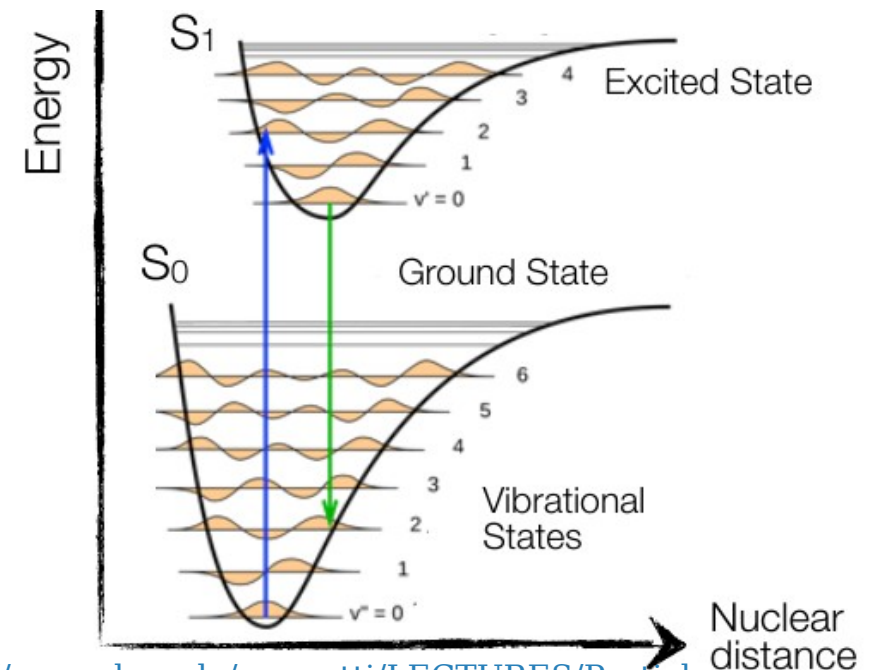
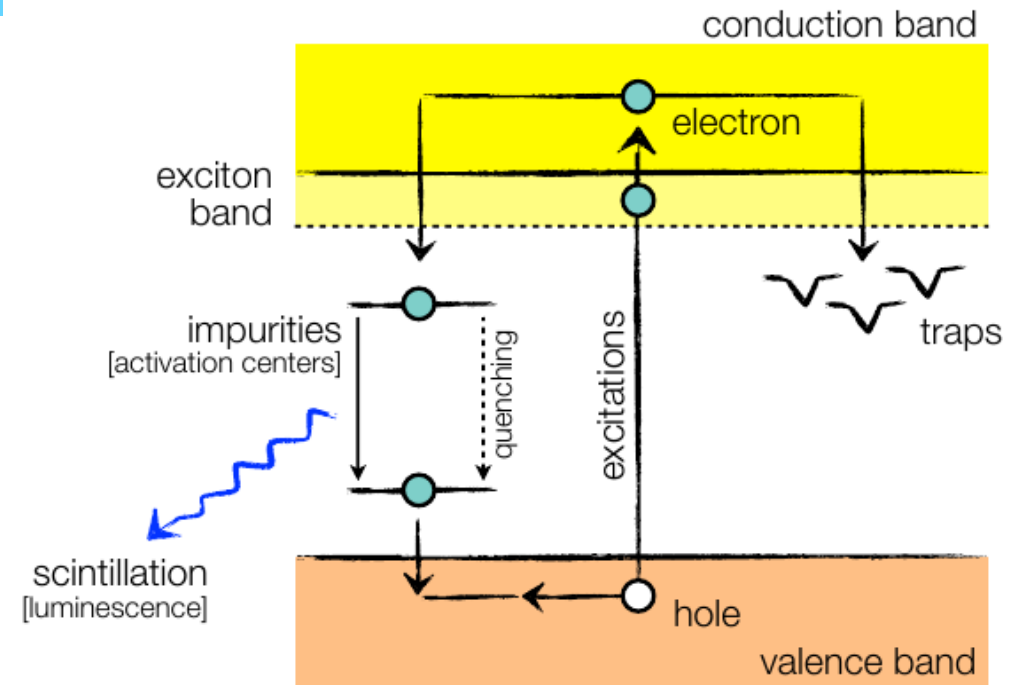
Artur.Kalinowski@fuw.edu.pl

Idea działania scyntylatora:
zamiana energii jonizacji na światło

Materiał scyntylatora musi być przezroczysty dla własnego promieniowania.

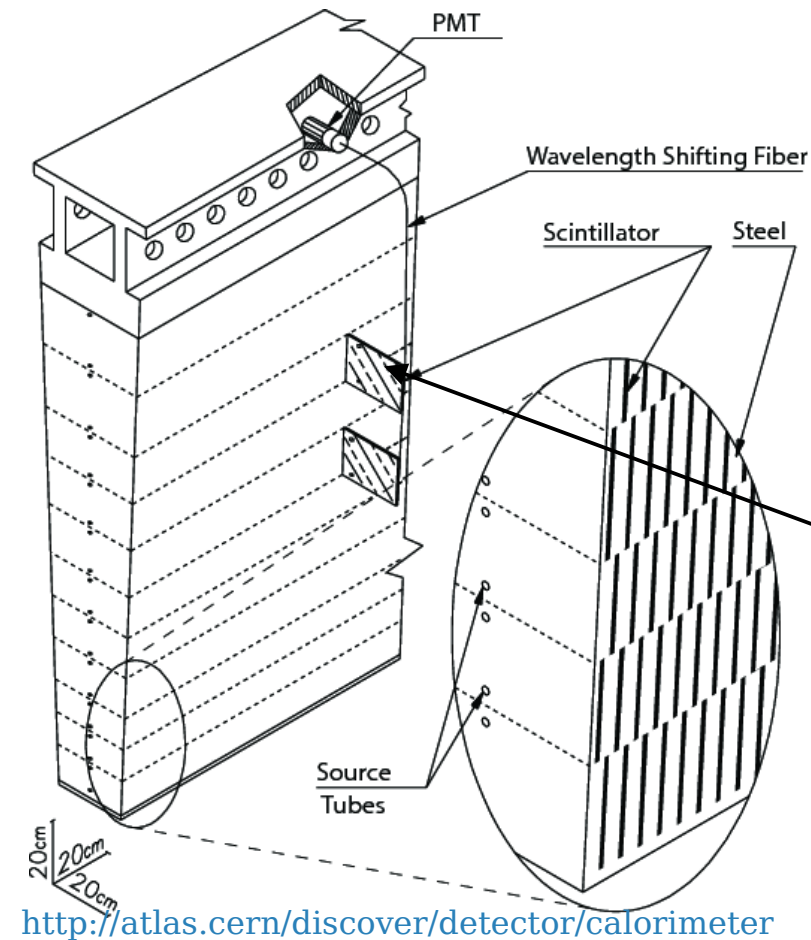
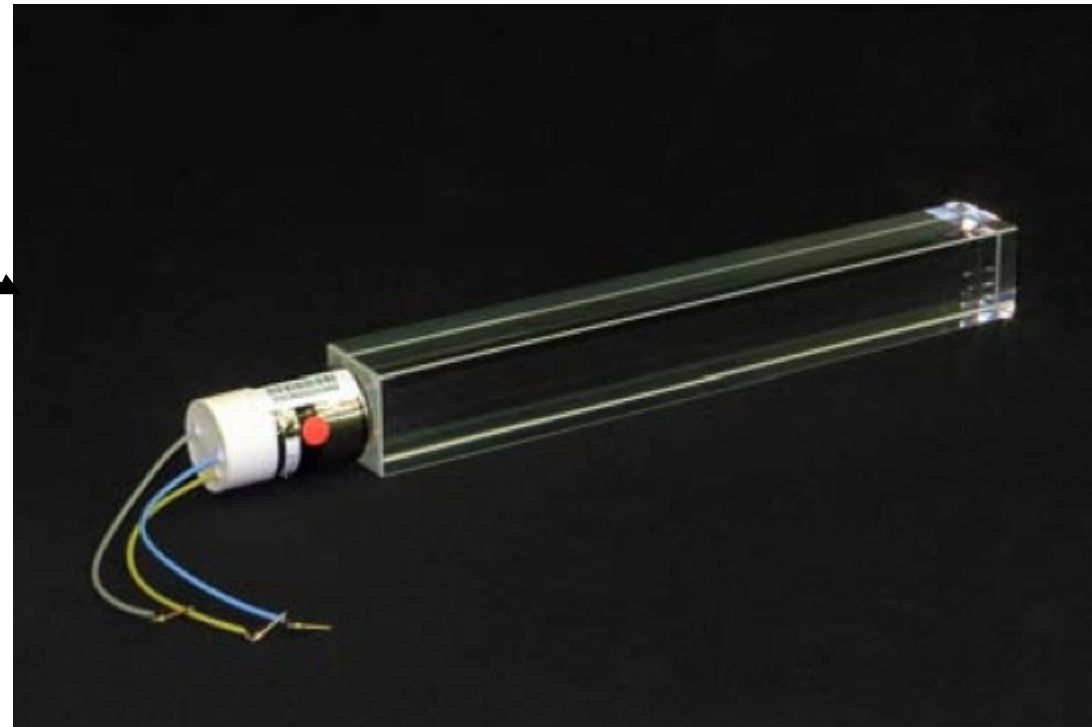
Scyntylatory nieorganiczne: jonizacja przenosi elektrony z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa. Deeksycytacja następuje za pośrednictwem stanów domieszek. Często używany materiał: kryształy jodku sodu, aktywowane(domieszkowane) tellurem: NaI(Tl)

Scyntylatory organiczne: jonizacja wzbudza stany elektronowe, a w ramach stanu elektronowego stany wibracyjne cząstek. Emisja zachodzi z podstawowego stanu wibracyjnego.



<http://cms.web.cern.ch/news/electromagnetic-calorimeter>

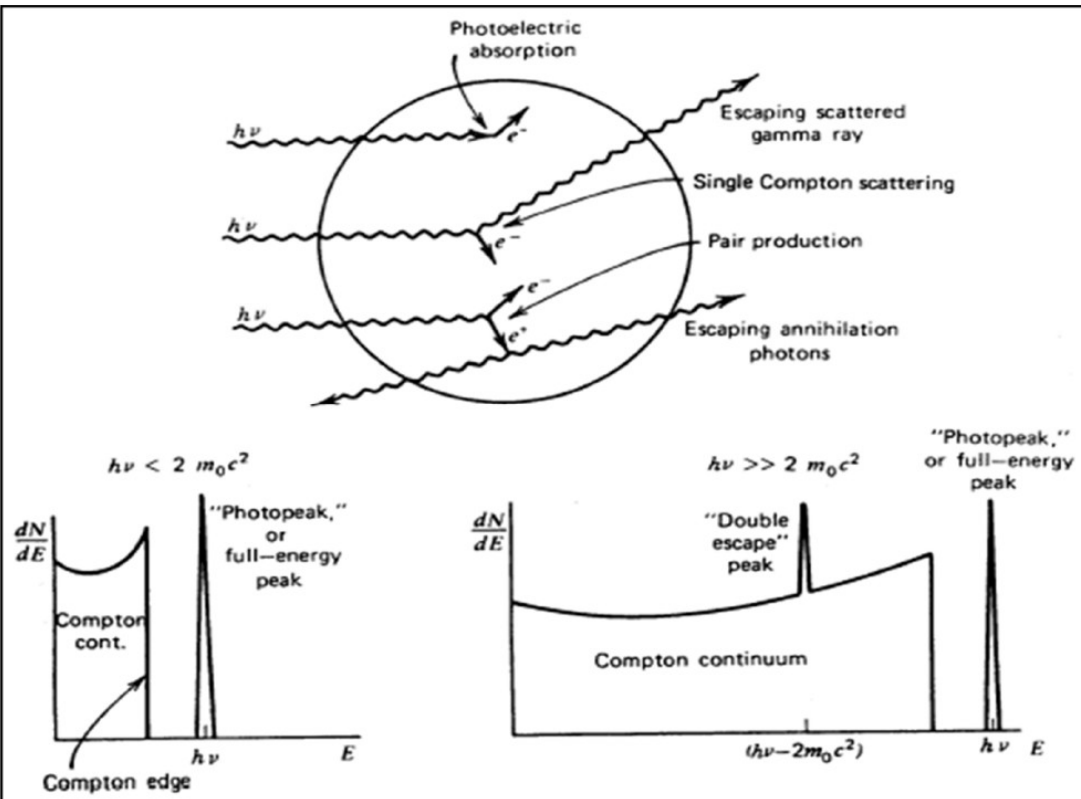
Kryształy PbWO_4 używane w detektorze CMS (scyntytlatory nieorganiczne)



Organiczne scyntylatory, w postaci płyt używane w detektorze ATLAS

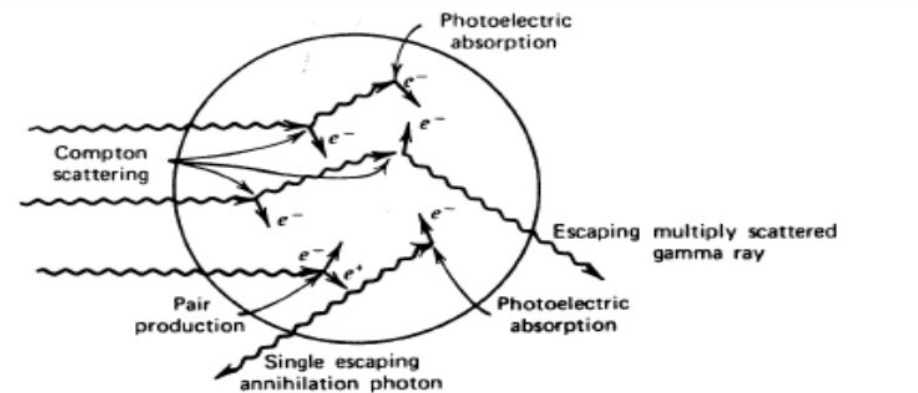
<http://atlas.cern/discover/detector/calorimeter>

Pomiar promieniowania γ w scyntylatorach

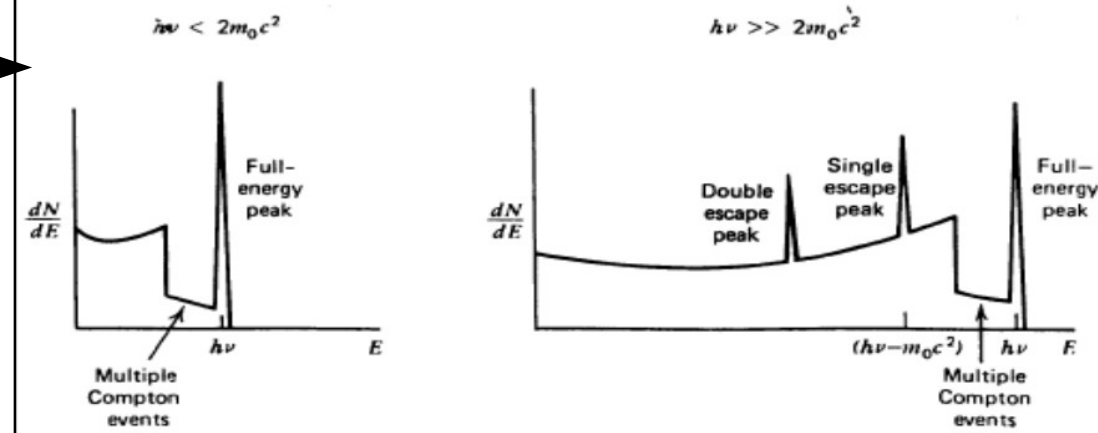


„mały” detektor

Radiation detection and measurement, Glenn F. Knoll

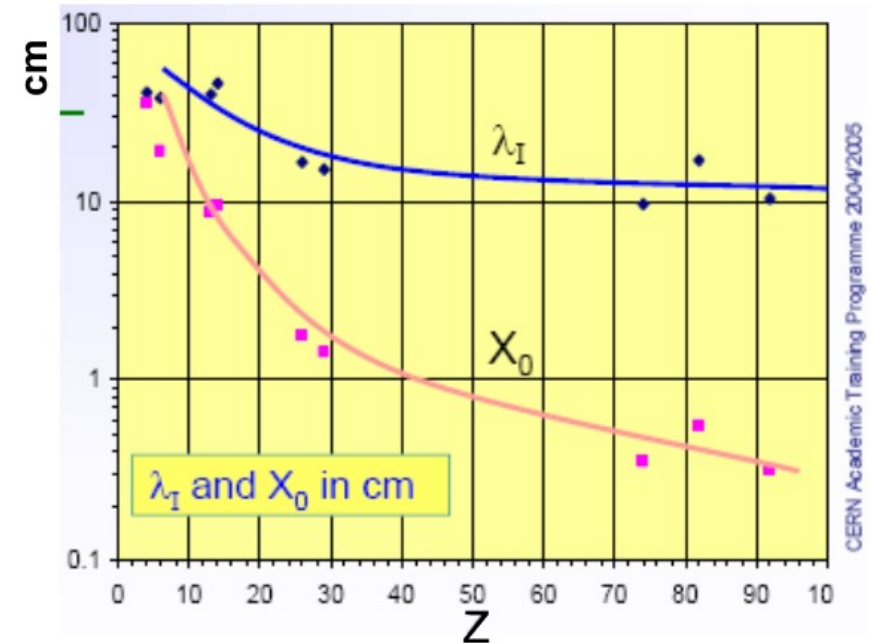
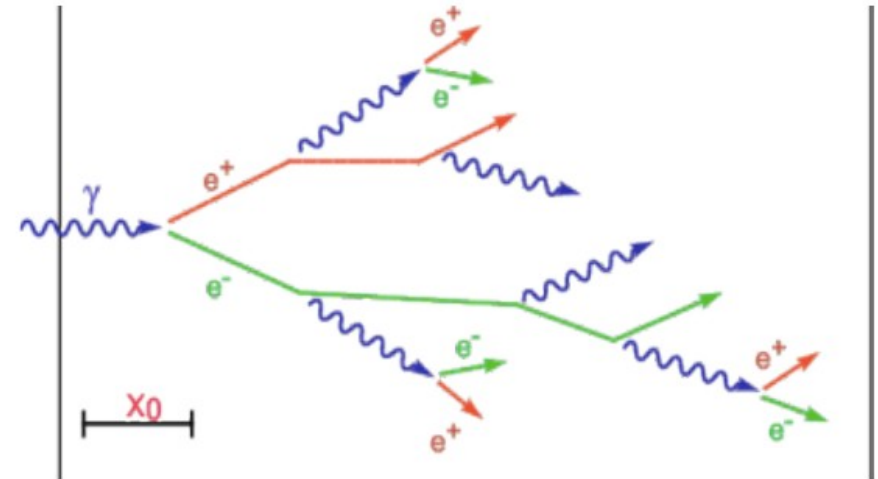


„średni” detektor

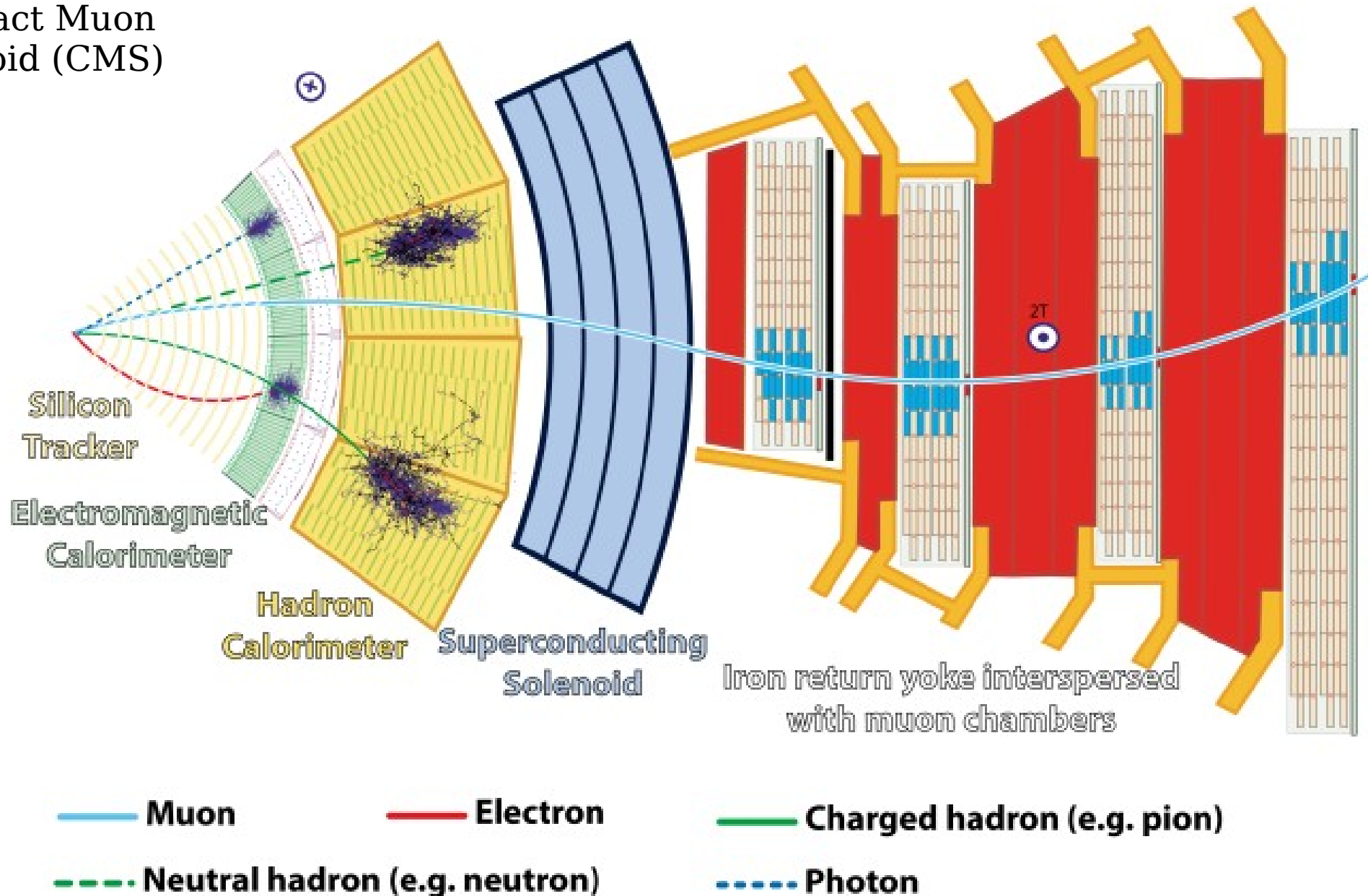


Kalorymetr: detektor którego zadaniem jest pomiar całkowitej energii cząstek. Zasada działania:

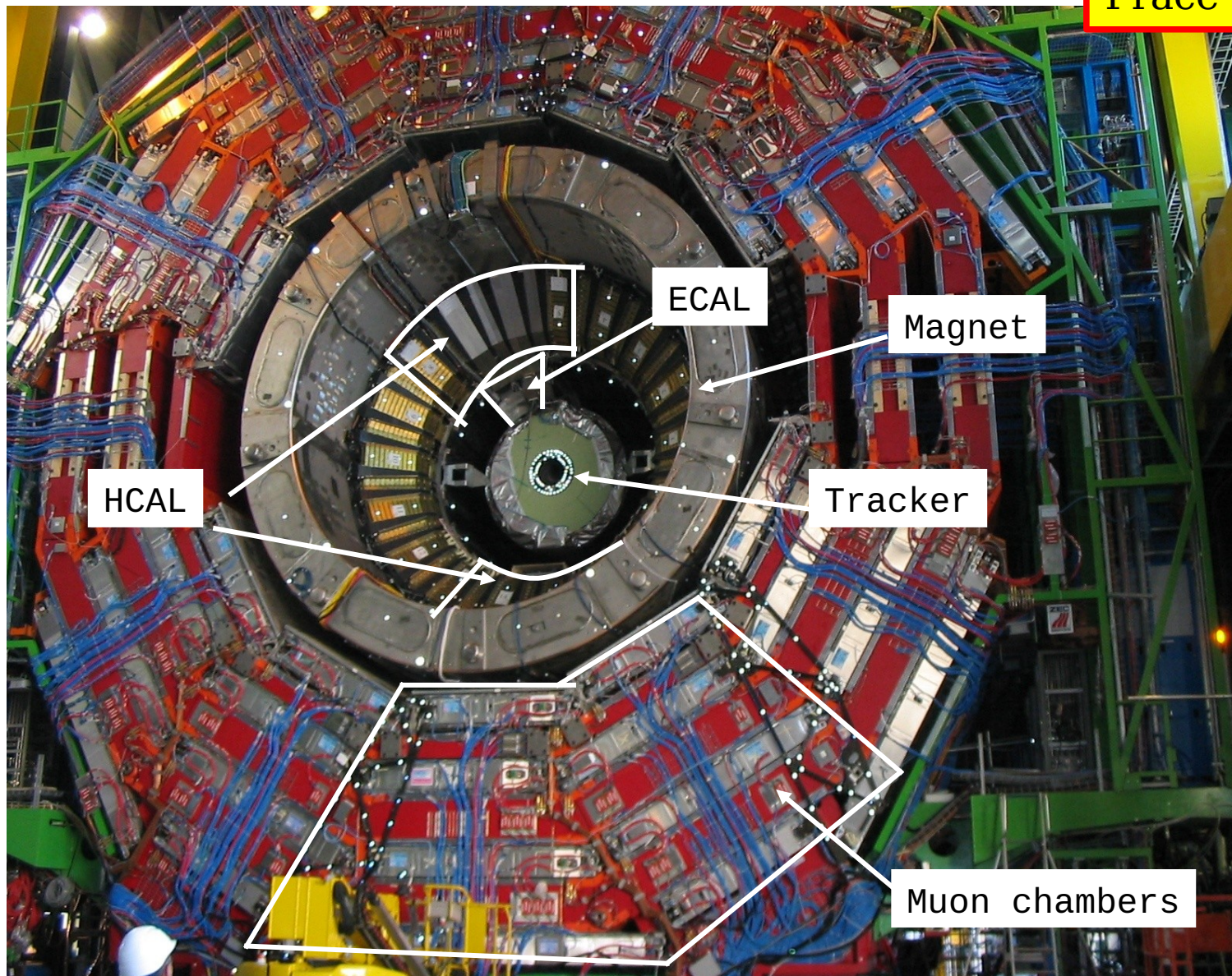
1. cząstka wpada w obszar kalorymetru. Tracąc energię w materiale tworzy kaskadę elektromagnetyczną (e i γ) lub hadronową.
2. energie cząstek naładowanych w kaskadzie są mierzone przy użyciu scyntylatorów i fotopowielaczy
3. **średnia droga swobodna na oddziaływanie jądrowe hadronu jest dużo większa niż średnia droga radiacyjna dla elektronu** → dużo więcej materiału jest potrzebne by zatrzymać hadron niż elektron
4. część energii w kaskadzie hadronowej jest uwięziona w cząstkach neutralnych (powolne neutrony i jadra atomowe) i nie jest mierzona



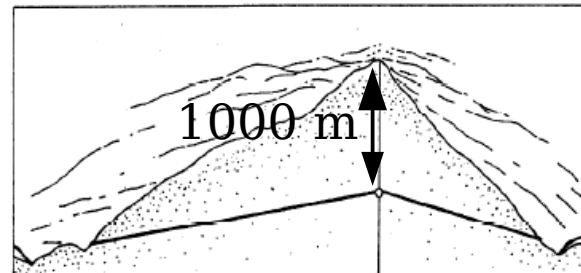
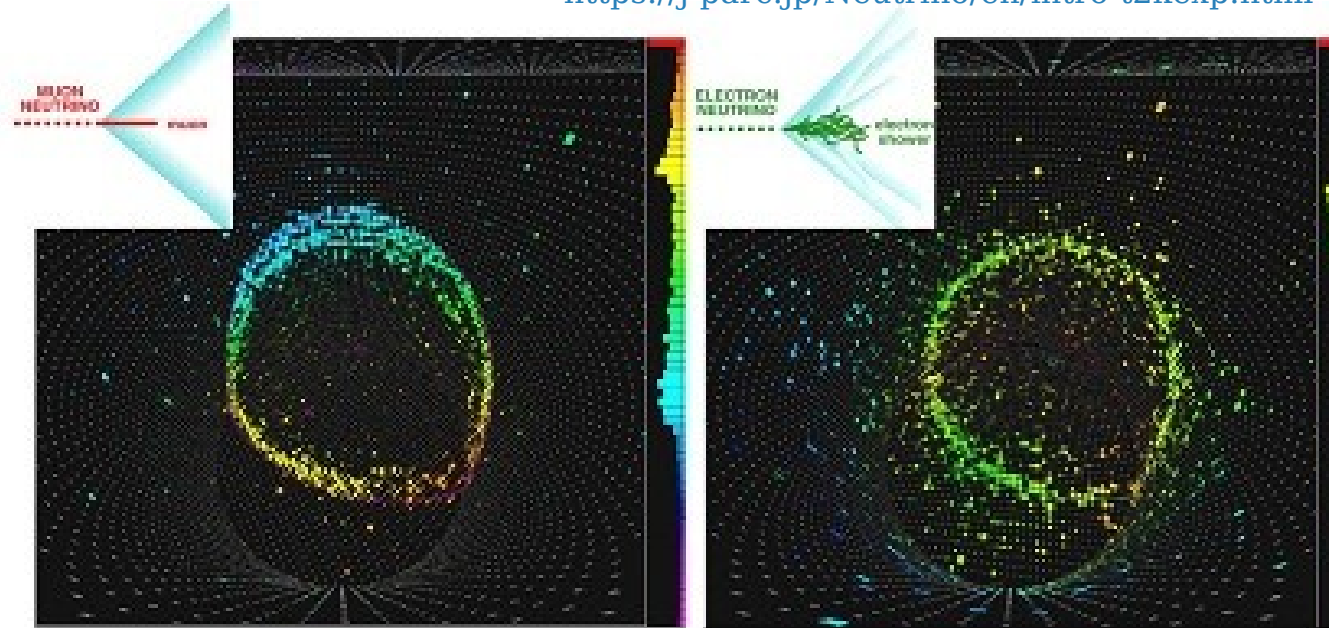
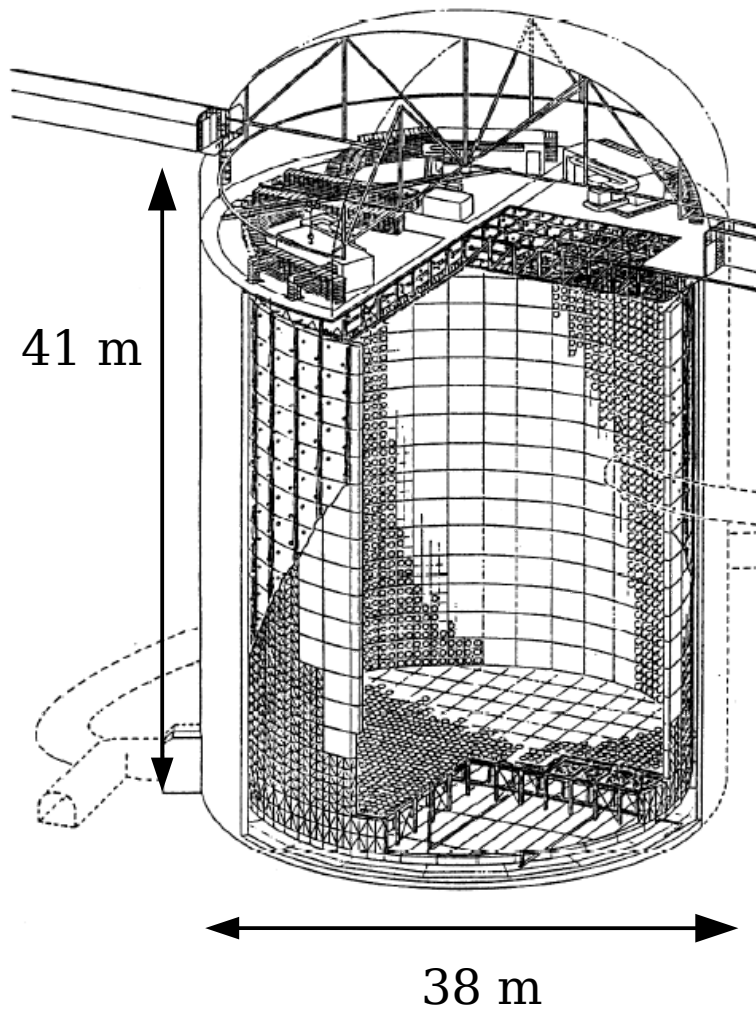
Compact Muon Solenoid (CMS)



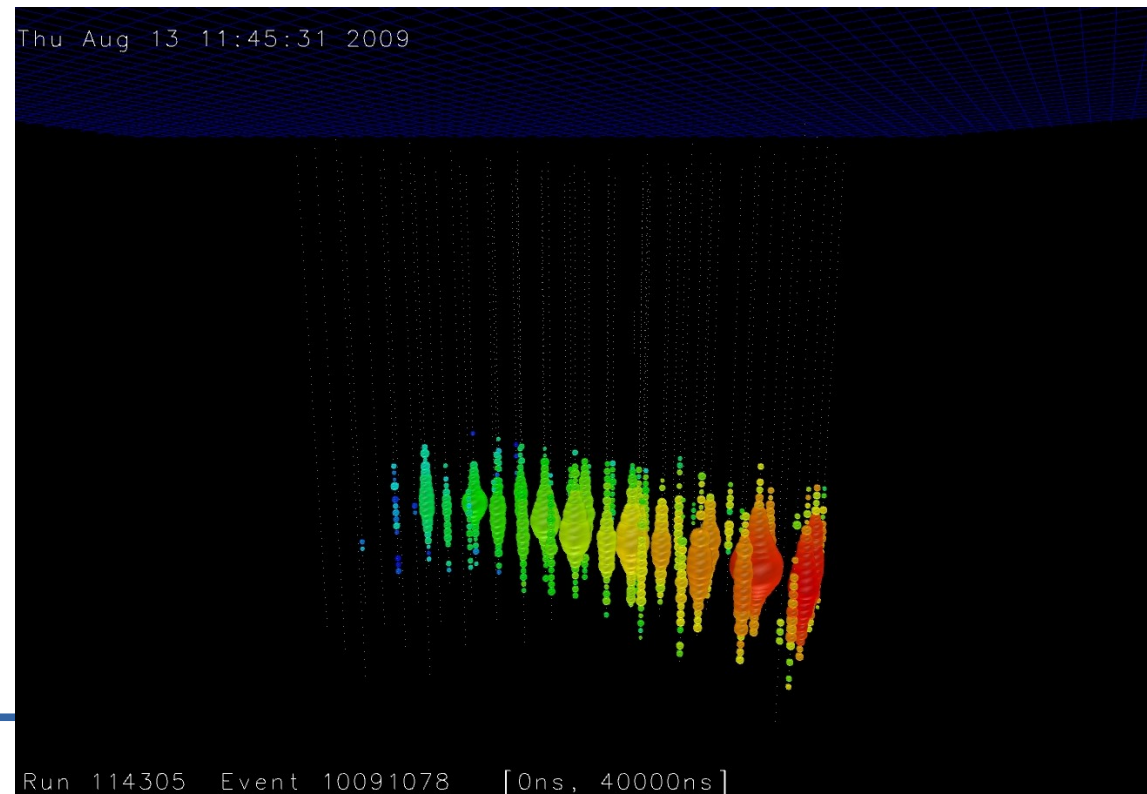
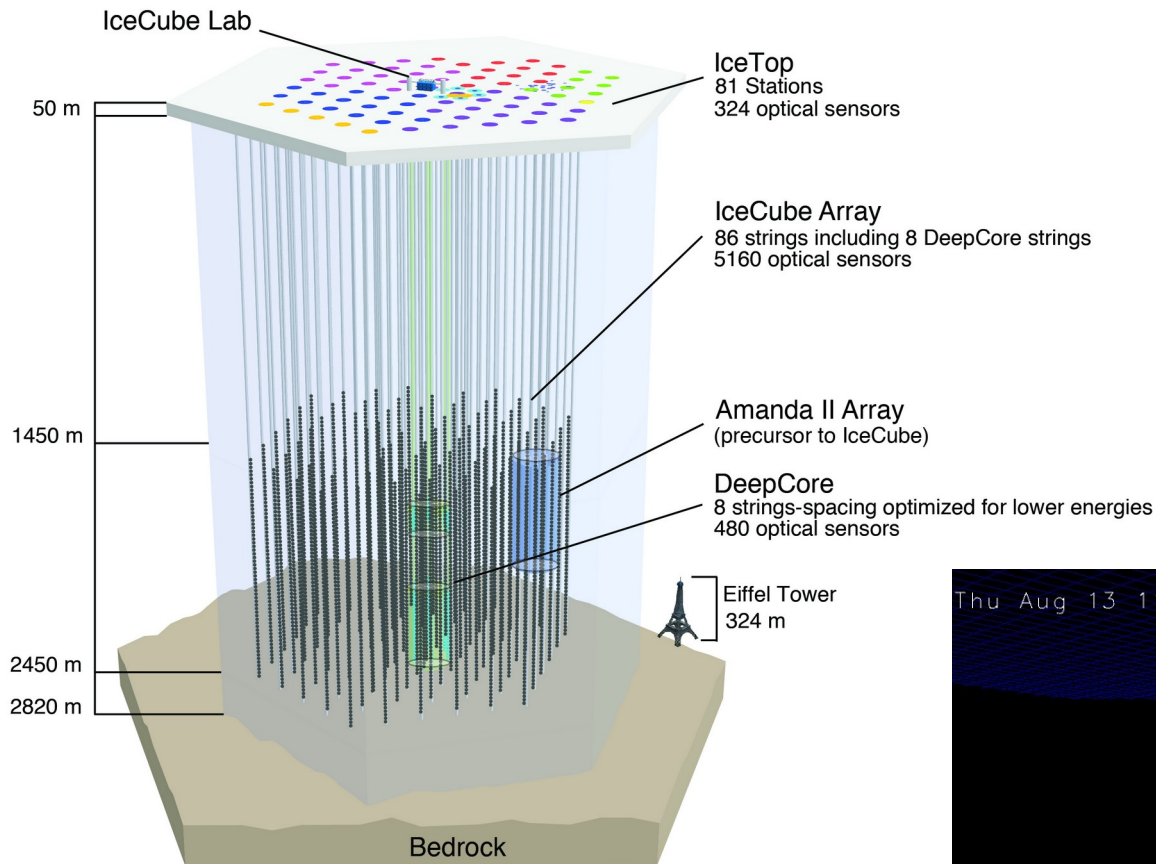
<https://cds.cern.ch/record/2120661>



<https://j-parc.jp/Neutrino/en/intro-t2kexp.html>



<http://t2k-experiment.org/photo/super-kamiokande/>



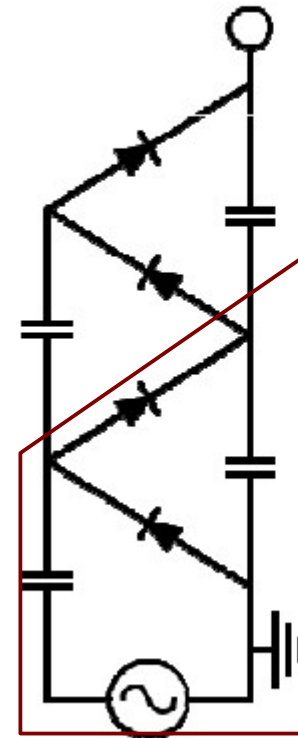


Metoda: cząstki są przyspieszane przez różnicę potencjałów między elektrodami.

Akceleratorzy elektrostatyczne: napięcie między elektrodami jest stałe. Uzyskanie dużych energii wymaga odpowiednio dużego napięcia. Napięcie możliwe do uzyskania między elektrodami jest ograniczone przez możliwość przebicia. Zależnie od gazu w którym znajduje się urządzenie przebicie następuje dla napięcia rzędu 1 (powietrze) do 10 (SF_6) MV.

Generator Cockrofta-Waltona: wysokie napięcie jest uzyskiwane przez układ diod i kondensatorów w postaci powielacza napięcia.

Napięcie wyjściowe dla n stopni: $2nV_p$
 V_p – napięcie szczytowe źródła napięcia zmiennego.

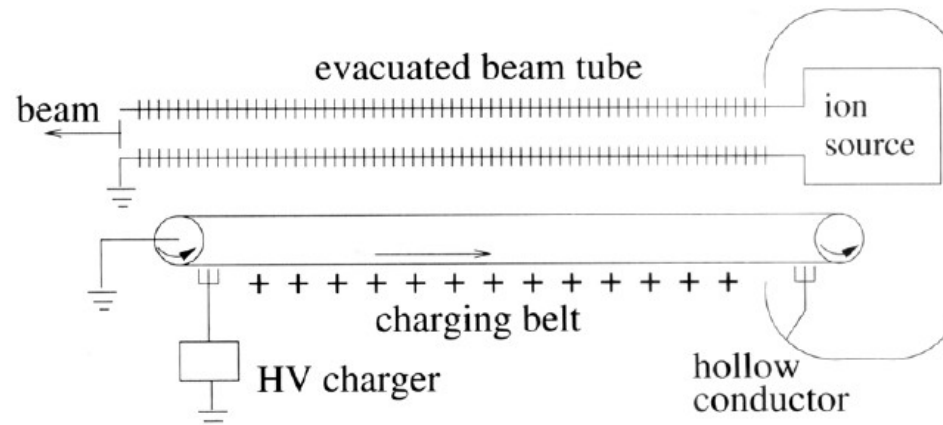


Metoda: cząstki są przyspieszane przez różnicę potencjałów między elektrodami.

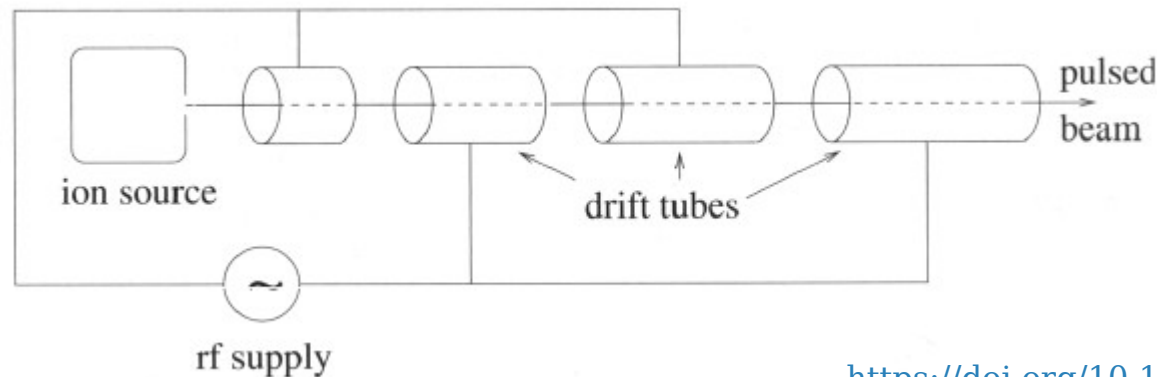
Akcelerator elektrostatyczne: napięcie między elektrodami jest stałe.

Uzyskanie dużych energii wymaga odpowiednio dużego napięcia. Napięcie możliwe do uzyskania między elektrodami jest ograniczone przez możliwość przebicia. Zależnie od gazu w którym znajduje się urządzenie przebicie następuje dla napięcia rzędu 1 (powietrze) do 10 (SF_6) MV.

Generator Van de Graaffa: wysokie przez ładowanie kopuły pasem transmisyjnym.

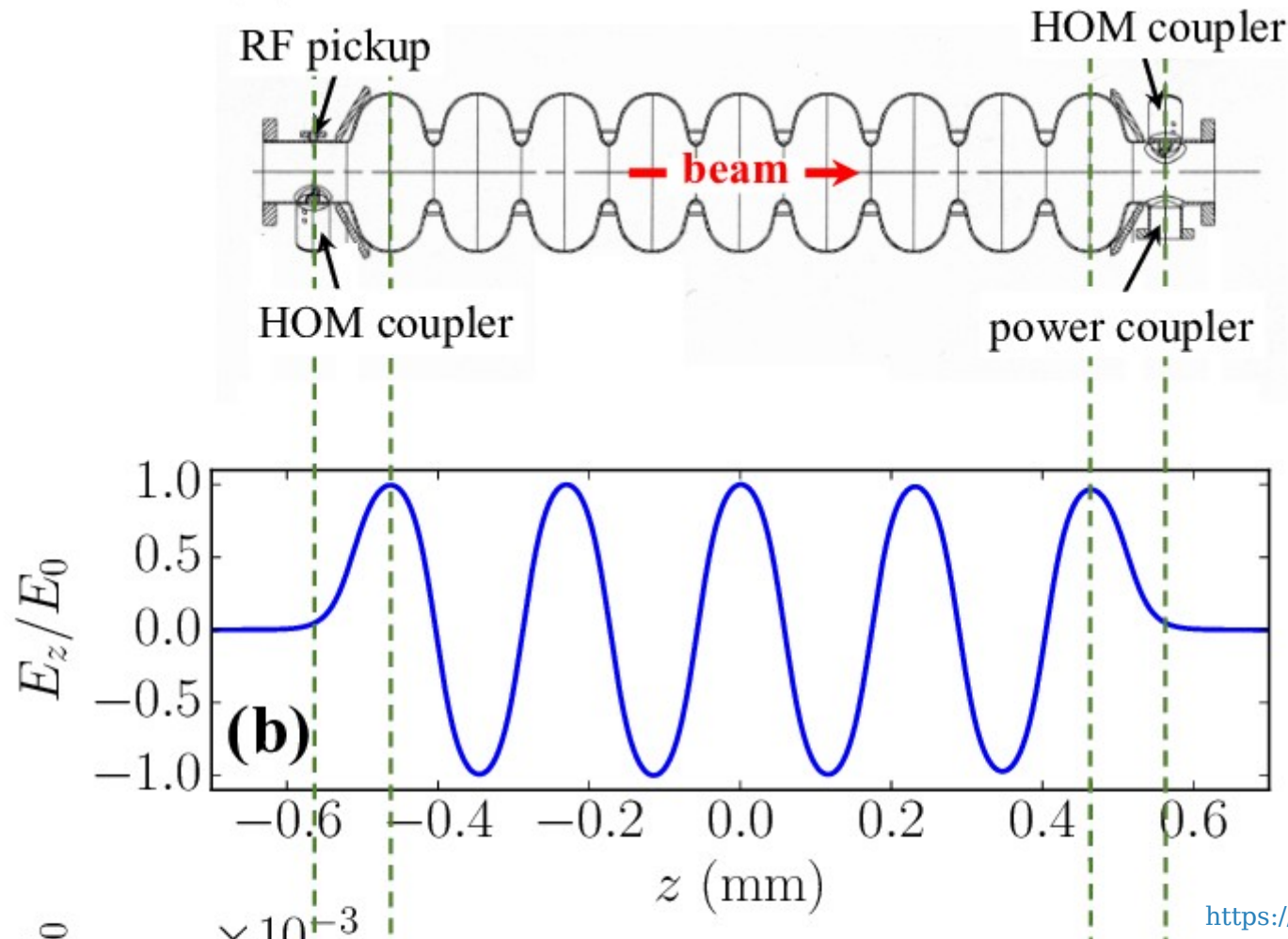


Akceleratorzy liniowe: napięcie między elektrodami jest zmienne. Uzyskanie dużych energii uzyskuje się dzięki przejściu cząstki przez szereg elektrod (ang. drift tubes). Kolejne elektrody są coraz dłuższe, by przyspieszane cząstki trafiały w tę samą fazę zmiennego pola elektrycznego.



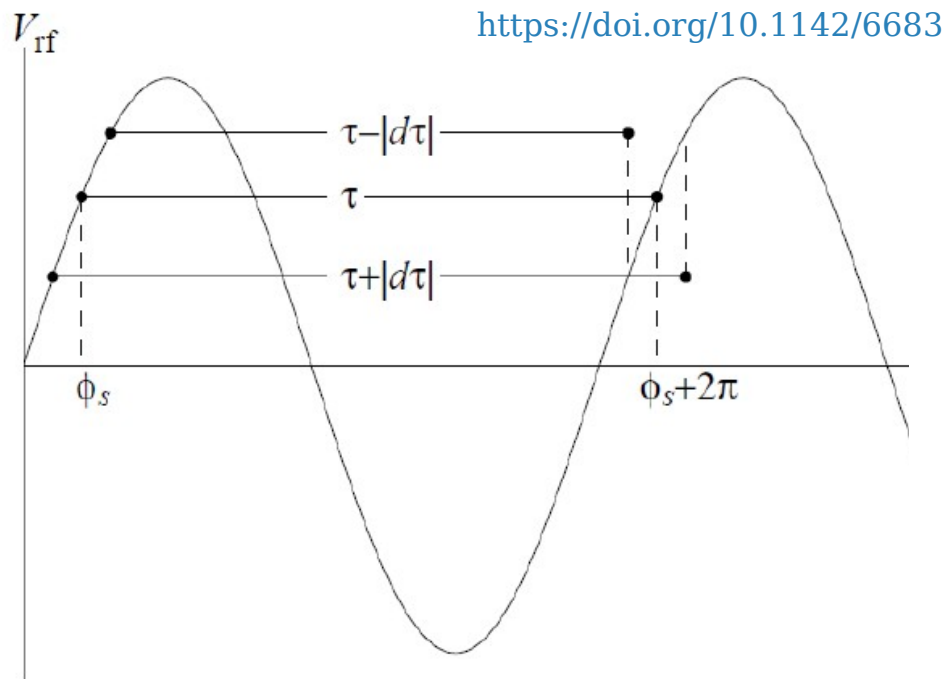
<https://doi.org/10.1142/6683>

Wnęki przyspieszające: wętki z (nad)przewodnika w których jest generowana stojąca fala elektromagnetyczna o częstościach fal radiowych – stąd nazwa „*radio frequency cavities, RF*”. Cząstki trafiające w odpowiednią fazę fali są przyspieszane przez osiowe pole elektryczne.

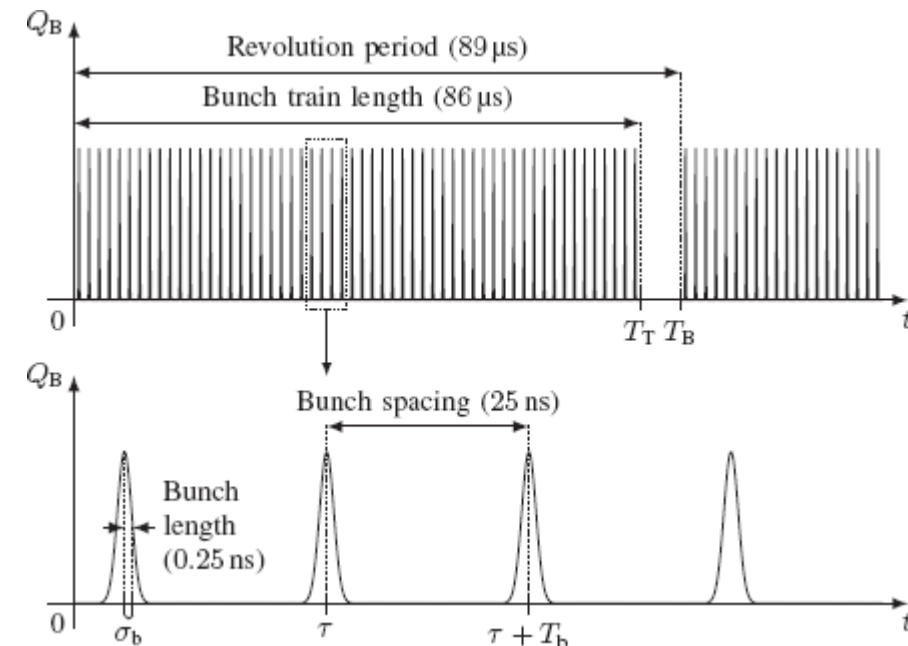


<https://arxiv.org/abs/1701.08187>

Stabilizacja fazowa: cząstki które przylatują za wcześnie lub za późno doznają innego przyspieszenia niż cząstki przylatujące w optymalnym czasie, co prowadzi do podzielenia wiązki na paczki (ang. bunches) które przelatują przez elektrody w przybliżeniu w optymalnym czasie.



struktura wiązki LHC



Cyklotron: napięcie między elektrodami jest zmienne. Uzyskanie dużych energii uzyskuje się dzięki wielokrotnemu przejściu cząstki przez **tę samą parę elektrod**. Cząstki znajdują się w polu magnetycznym, prostopadłym do płaszczyzny ruchu, wobec czego krążą po okręgach. Promienie okręgów rosną wraz z pędem cząstek.

Nierelatywistycznie:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B} \quad \text{dla} \quad \vec{v} \perp \vec{B}:$$

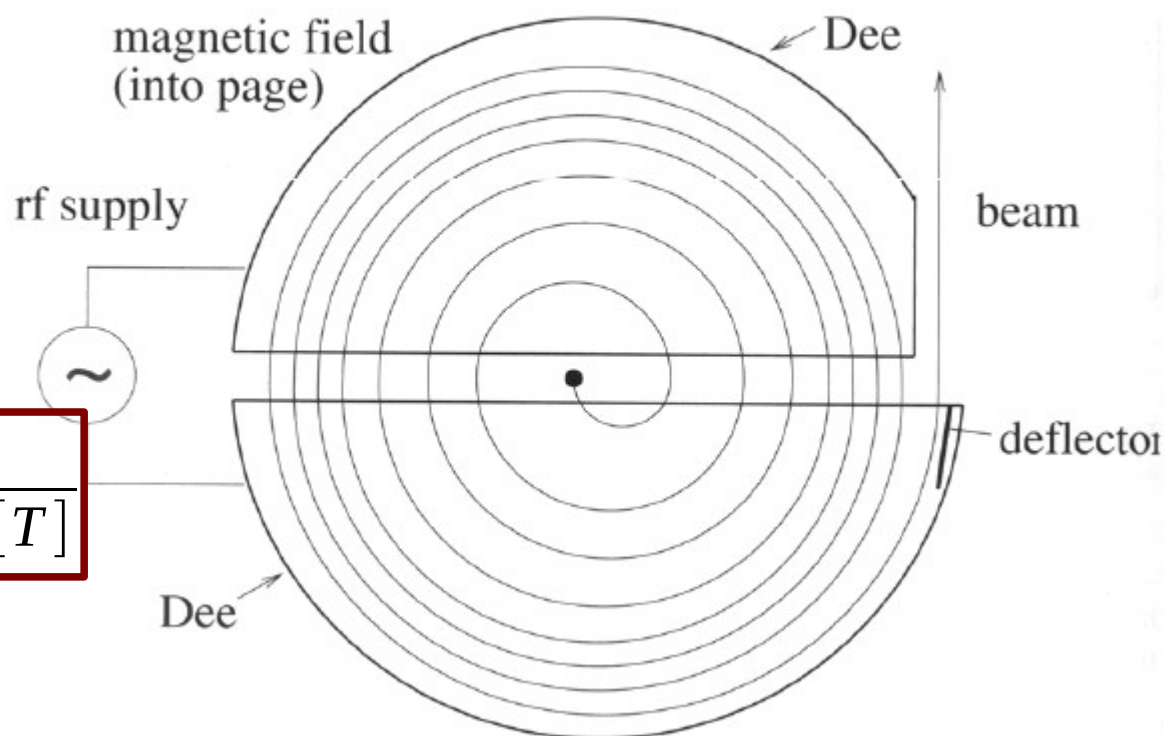
$$q \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{\rho}$$

$$q \cdot B = \frac{m \cdot v}{\rho} = \frac{p}{\rho} \rightarrow \rho = \frac{p}{q \cdot B} = \frac{p [\text{GeV}/c]}{0.3 \cdot q [e] \cdot B [T]}$$

$$v = \frac{B q \rho}{m}, \quad T = \frac{2 \pi \rho}{v} = \frac{2 \pi \rho \cdot m}{B q \rho} = \frac{2 \pi \cdot m}{B q}$$

$$f_c = \frac{1}{T} = \frac{B q}{2 \pi \cdot m}$$

**Częstotliwość obiegu
jest stała →
częstotliwość
cyklotronowa.**



Cyklotron: napięcie między elektrodami jest zmienne. Uzyskanie dużych energii uzyskuje się dzięki wielokrotnemu przejściu cząstki przez **tę samą parę elektrod**. Cząstki znajdują się w polu magnetycznym, prostopadłym do płaszczyzny ruchu, wobec czego krążą po okręgach. Promienie okręgów rosną wraz z pędem cząstek.

Relatywistycznie:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}, \vec{p} = \gamma m \vec{v}, \vec{v} = v \hat{e}_\phi$$

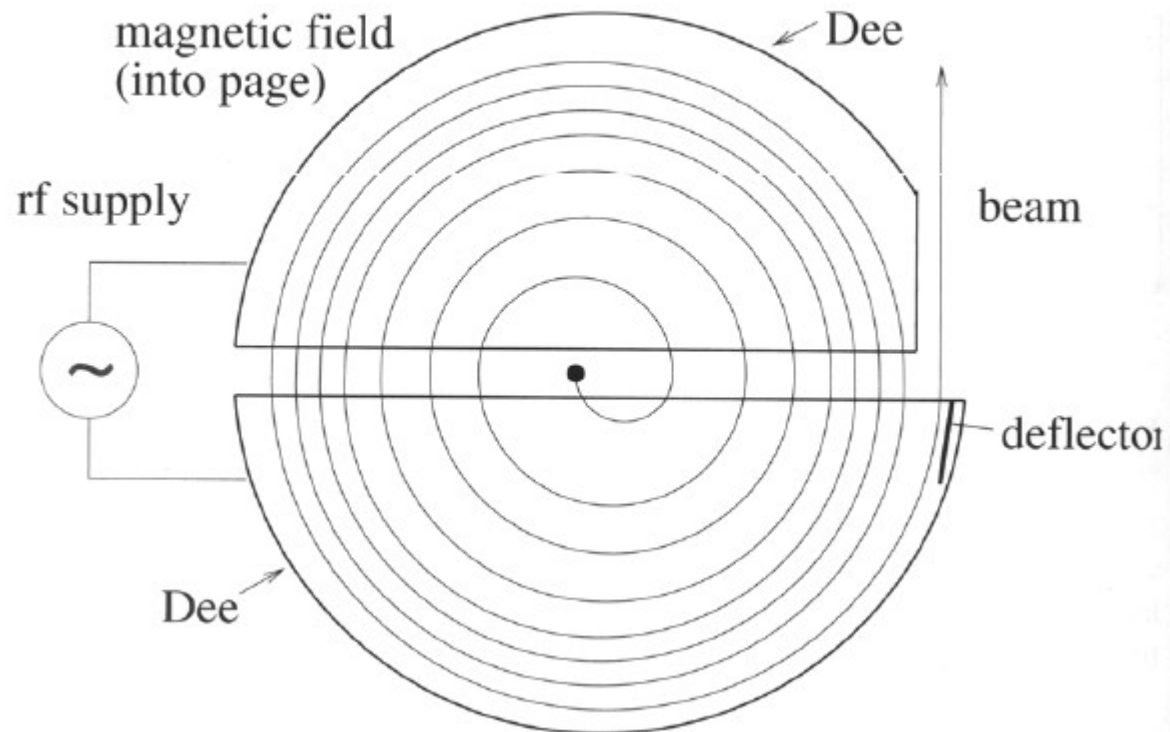
$$\frac{d\vec{p}}{dt} = -p\omega \hat{e}_\rho = -\frac{pv}{\rho} \hat{e}_\rho$$

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \rightarrow qvB = \frac{pv}{\rho}$$

$$\rho = \frac{p}{q \cdot B} = \frac{p[\text{GeV}/c]}{0.3 \cdot q[e] \cdot B[\text{T}]}$$

$$T = \frac{2\pi\rho}{v} = \frac{2\pi\rho\gamma m}{p} = \gamma \frac{2\pi m}{B \cdot q}$$

okres obiegu zależy od prędkości.



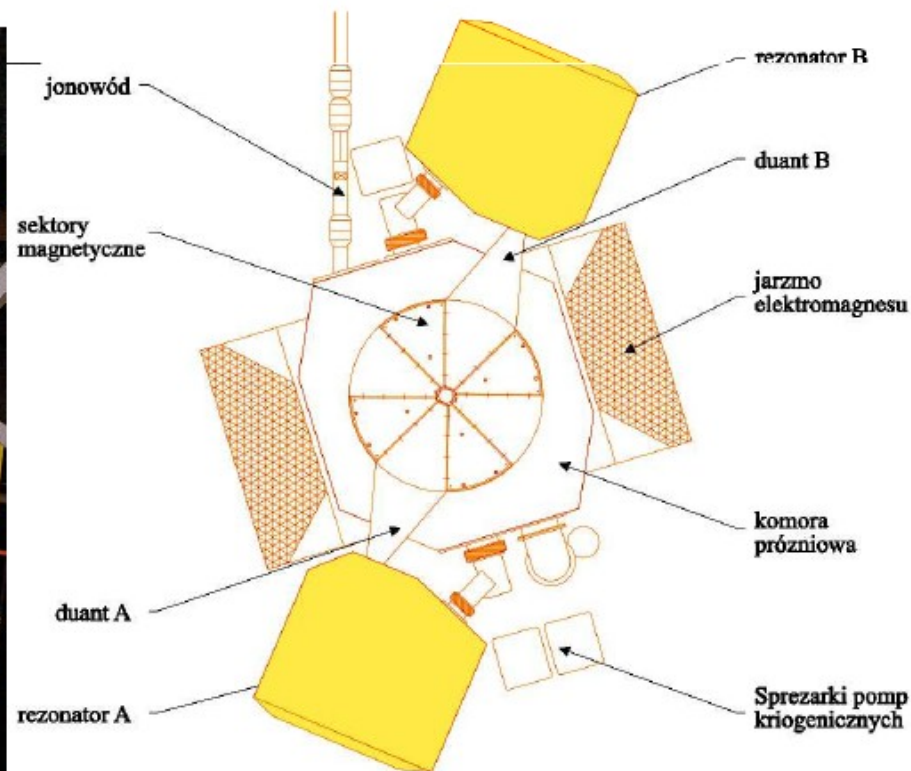
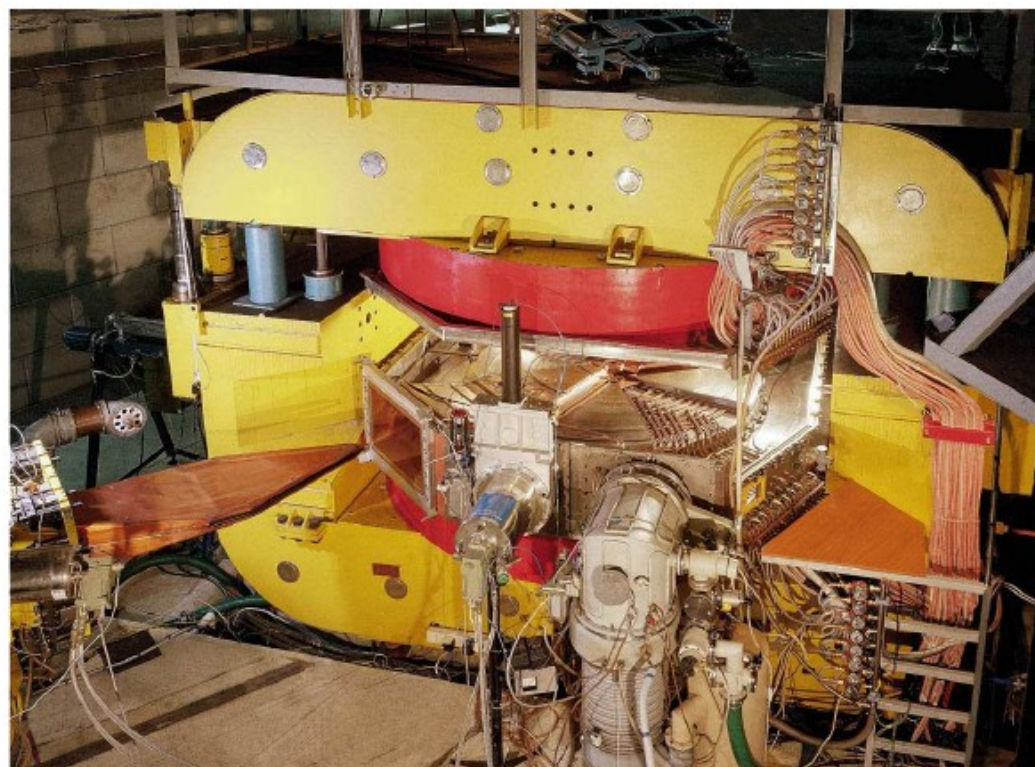
Cyklotron warszawski

Przyspiesza ciężkie jony od $^{10}\text{B}^{+2}$ do $^{40}\text{Ar}^{+8}$

$$B(\rho) = B_0 \gamma(\rho)$$

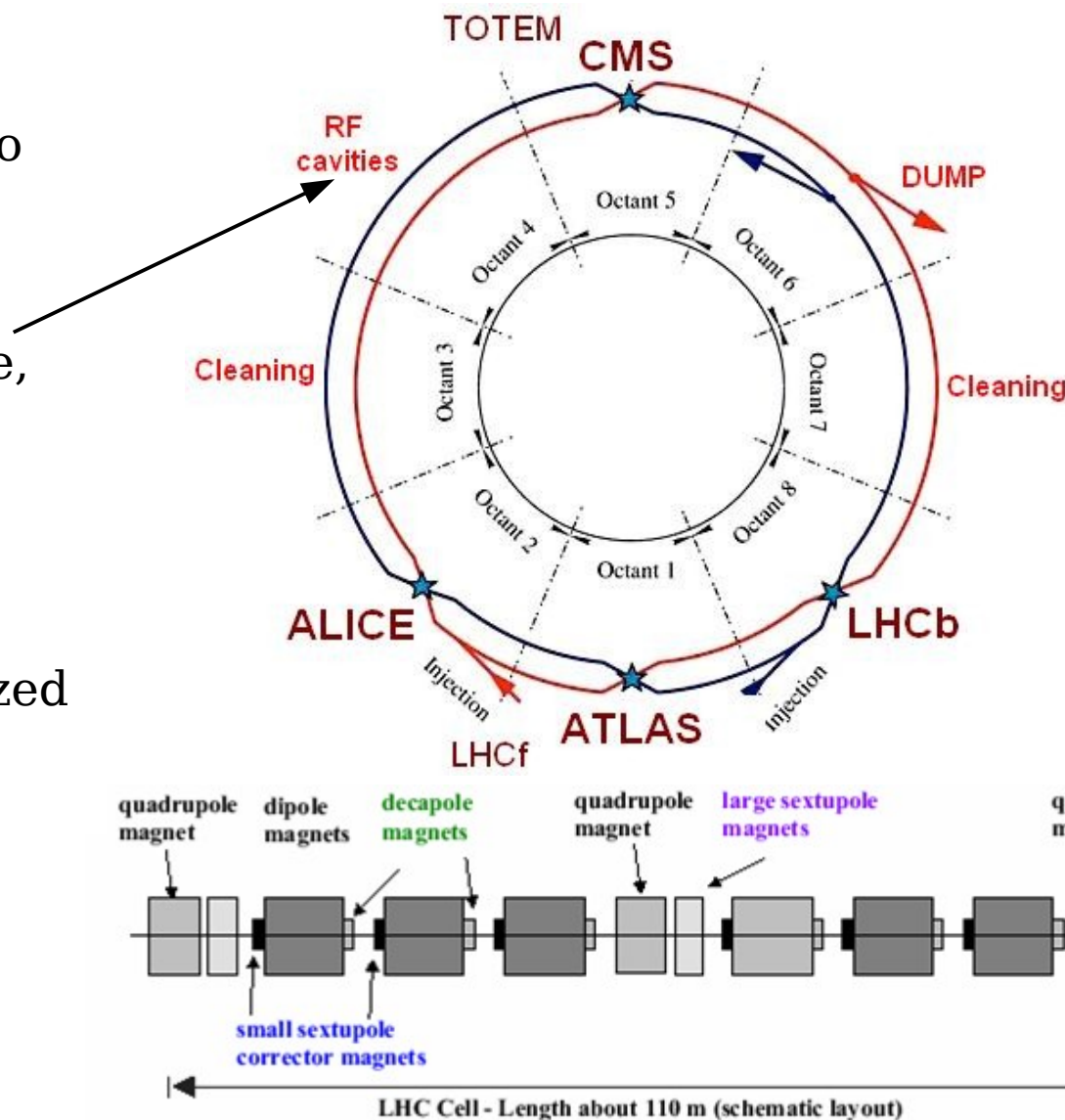
Podstawowe parametry:

- **Typ:** Izochroniczny, AVF
- **Średnica:** 2 m
- **Parametr K:** 120-160
- **Struktura magnetyczna:** Cztery sektory, prosta
- **Struktura RF:** Generatory 2x120 kW 12-21 MHz, dwa 45-stopniowe duanty, napięcie przyspieszania 70 kV
- **Metoda wyprowadzenia wiązki:** Zdzieranie ładunku
- **Zakres wartości stosunku masa/ładunek jonów:** 2-10



Synchrotron: pole magnetyczne zmienia się tak, by cząstki poruszały się zawsze po tej samej orbicie. Natężenie pola magnetycznego rośnie wraz ze wzrostem pędu cząstek.

- cząstki w synchrotonach krążą po orbitach o ustalonym promieniu.
- w wybranych punktach orbity znajdują się wnęki przyspieszające, działające („RF cavities”) analogicznie do akceleratorów liniowych
- ugięcie toru jest uzyskane przez pole magnetyczne wytwarzane przed magnesami dipolowe



Synchrotron: pole magnetyczne zmienia się tak, by cząstki poruszały się zawsze po tej samej orbicie. Natężenie pola magnetycznego rośnie wraz ze wzrostem pędu cząstek.

- dokładne położenie i rozmiar wiązki są kontrolowane przez dodatkowe magnesy o większej multipolowości, działające analogicznie do soczewek optycznych
- w kilku punktach na obwodzie synchrotronu znajdują się eksperymenty w których zachodzi do zderzeń.

