

Wszechświat cząstek elementarnych

Wykład 2: Detekcja cząstek

prof. A.F.Żarnecki

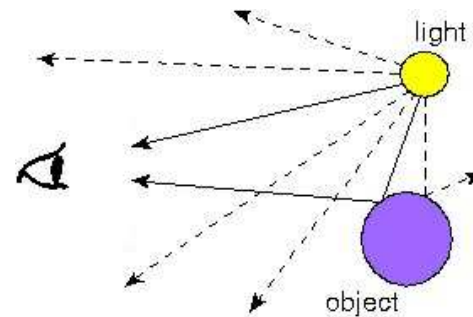
Zakład Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych
Instytut Fizyki Doświadczalnej

Detekcja cząstek

- Wprowadzenie
 - Istota obserwacji w świecie cząstek
- Podstawowe procesy fizyczna
 - efekt fotoelektryczny
 - jonizacja
 - scyntylacja
 - promieniowanie Czerenkowa
- Metody detekcji cząstek
 - detektory śladowe
 - kalorymetry
- Współczesne eksperymenty
 - Detektory hybrydowe

Wprowadzenie

Istota obserwacji



W świecie makroskopowym możliwa jest obserwacja nie zakłócająca obserwowanego procesu



Wprowadzenie

Istota obserwacji

Cząstek nie możemy "zobaczyć" nie zakłócając ich stanu.

W świecie cząstek każdy pomiar wiąże się z jakimś oddziaływaniem.

Obserwujemy nie cząstki, ale (efekty) ich oddziaływania z materią.

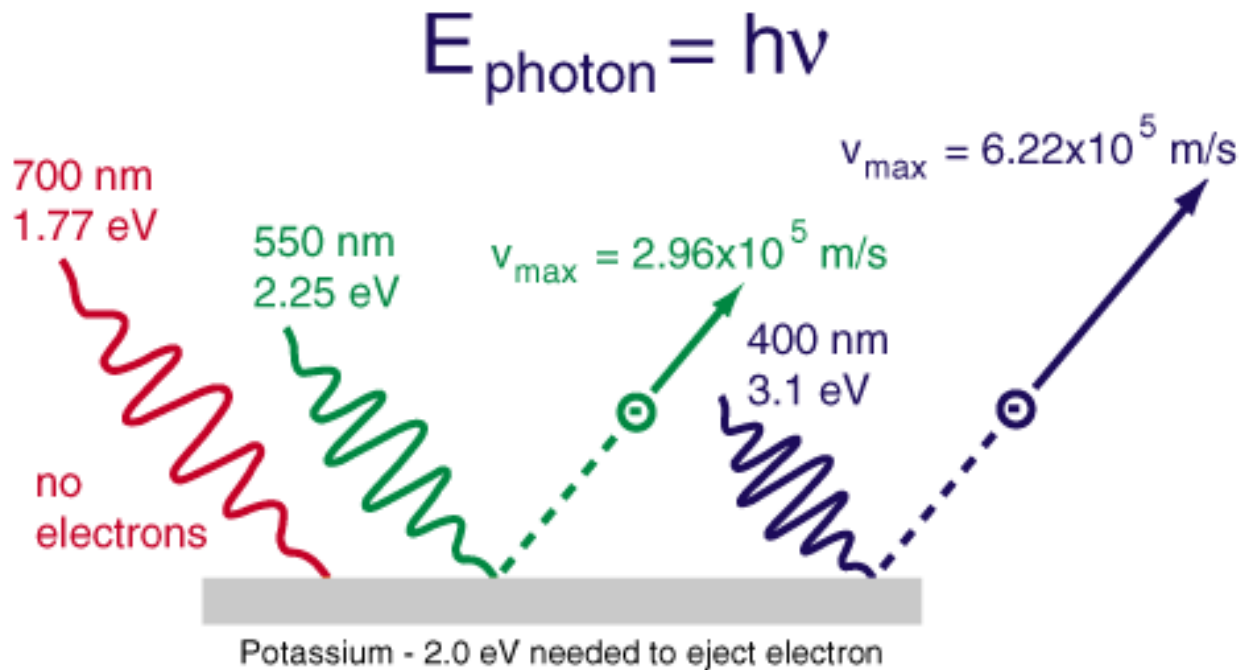
Podstawowe procesy wykorzystywane do detekcji cząstek:

- efekt fotoelektryczny
- jonizacja i scyntylacja
- promieniowanie Czerenkowa

Efekt fotoelektryczny

Odkryty przez Hertza w 1887.

Padający foton uwalnia z powierzchni metalu elektron. W 1902 Philipp Lenard pokazał, że efekt fotoelektryczny obserwujemy tylko dla wybranych **długości fali** światła:



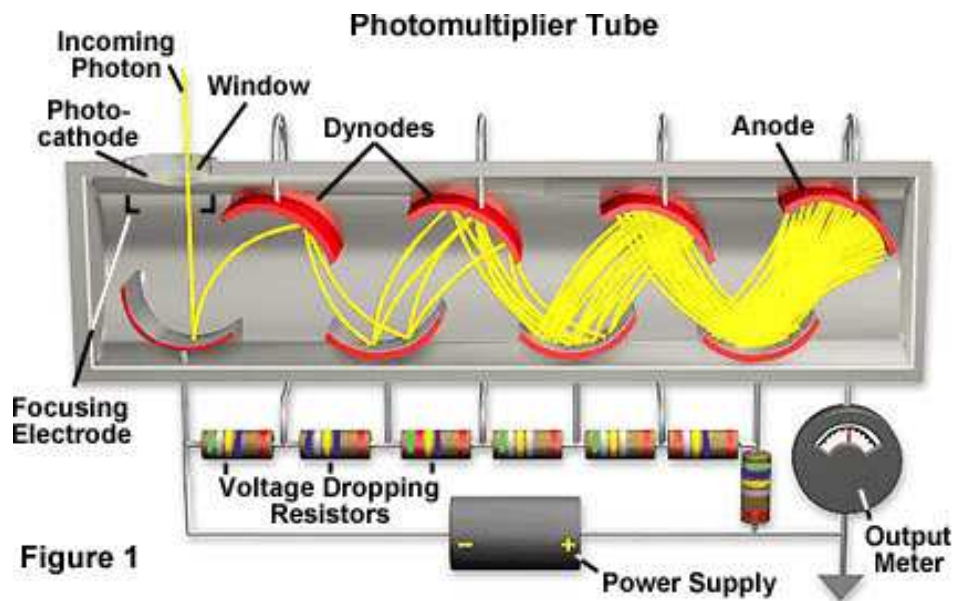
Photoelectric effect



Efekt fotoelektryczny

Fotopowielacz

Aby móc zmierzyć pojedynczy foton musimy wzmocnić pojawiający się ładunek.

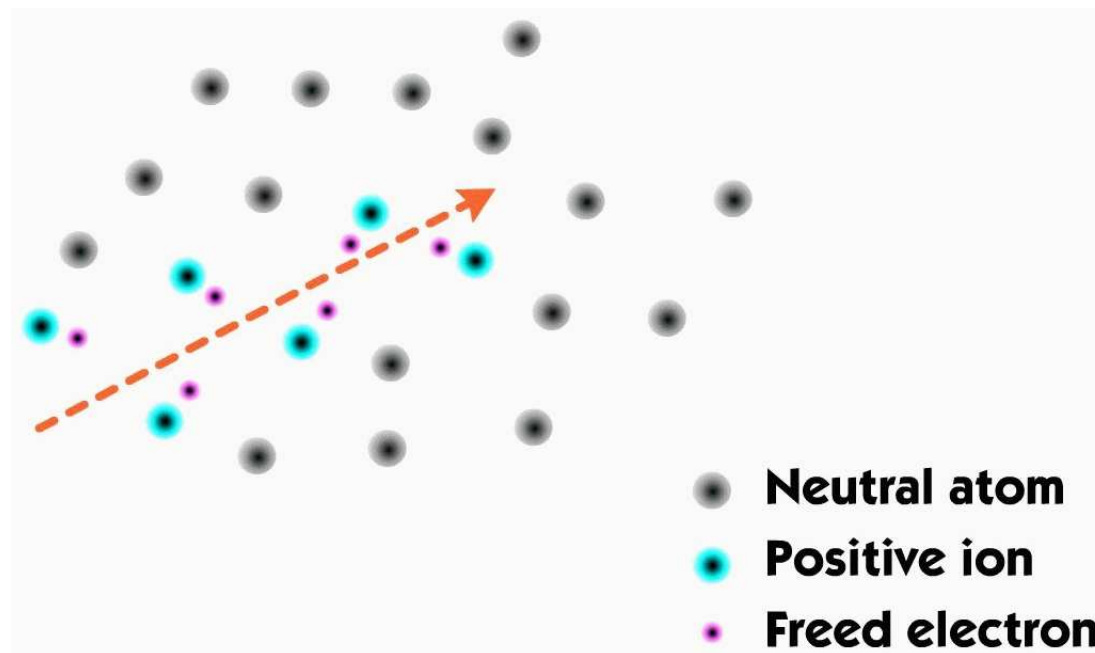


Jeden foton powoduje przepływ makroskopowego prądu.

Detekcja cząstek

Jonizacja

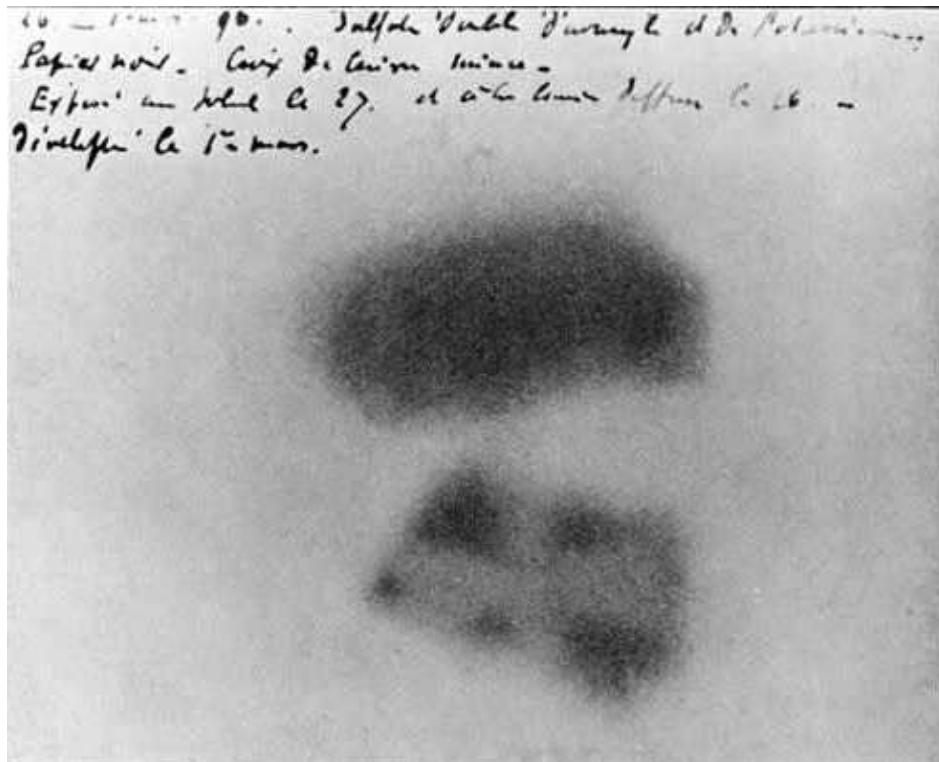
U podstaw działania przeważającej większości detektorów cząstek elementarnych leży **zjawisko jonizacji**:



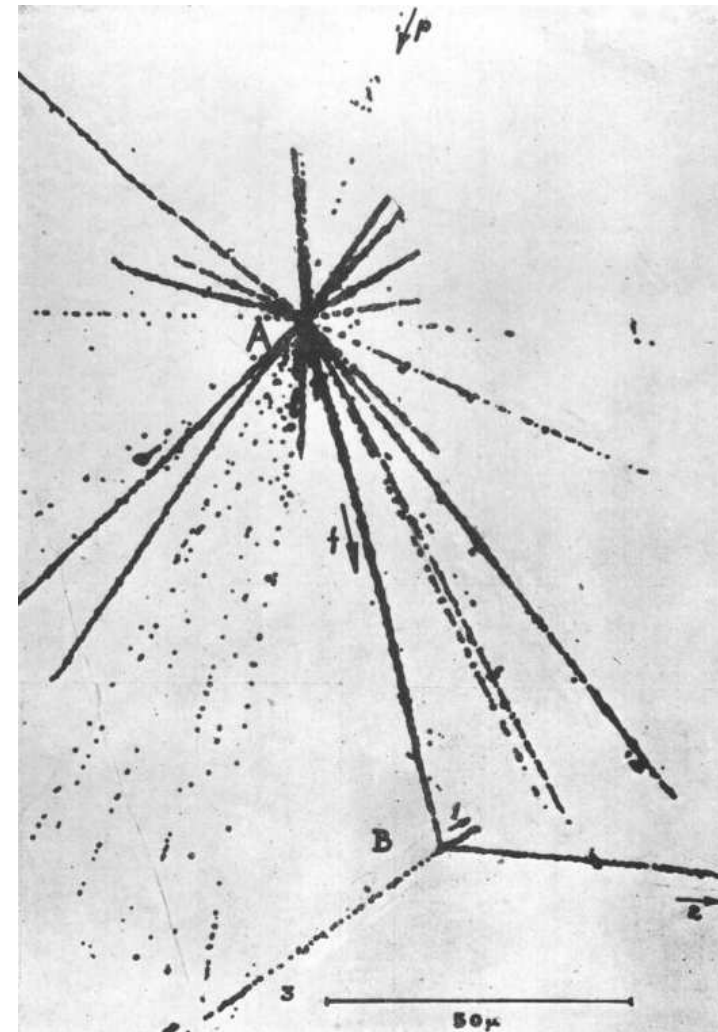
Cząstka naładowana przechodząc przez ośrodek **oddziałuje Kulombowsko** z elektronami i oddaje im część swojej energii “wybijając” je z atomów.

Detekcja cząstek

Emulsja fotograficzna



H. Becquerel, 1896

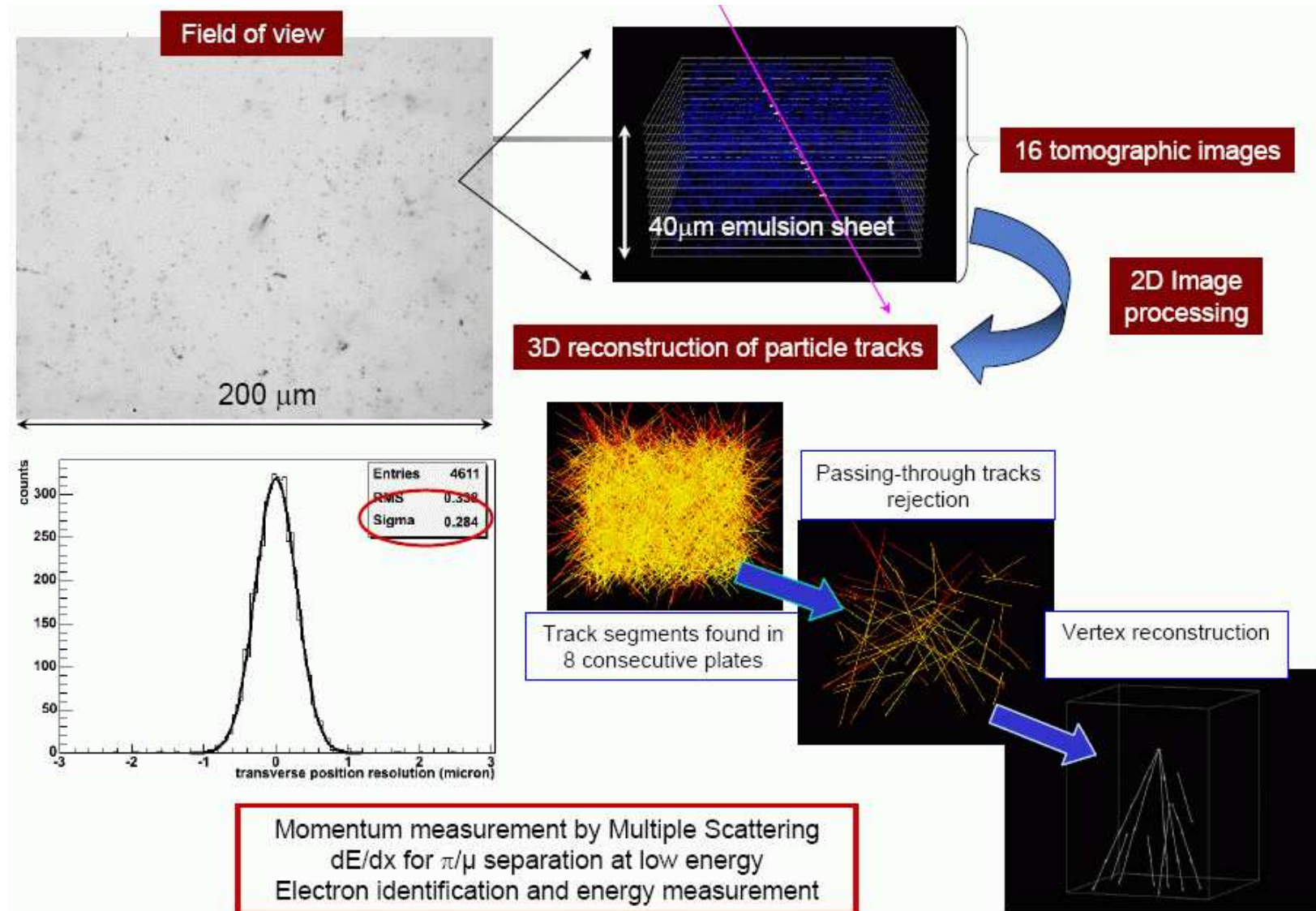


M. Danysz i J. Pniewski, 1953

Detekcja cząstek

Emulsja fotograficzna

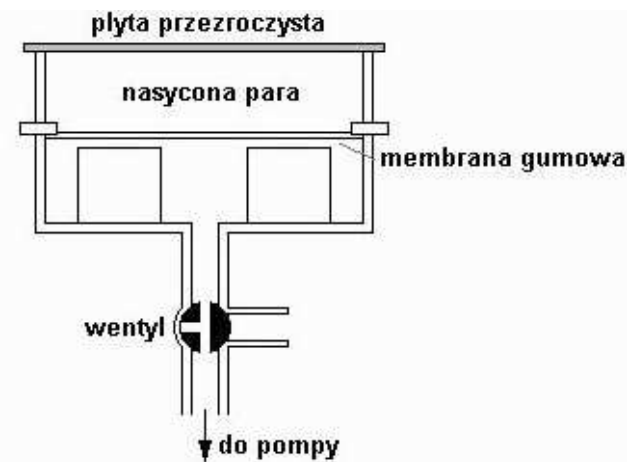
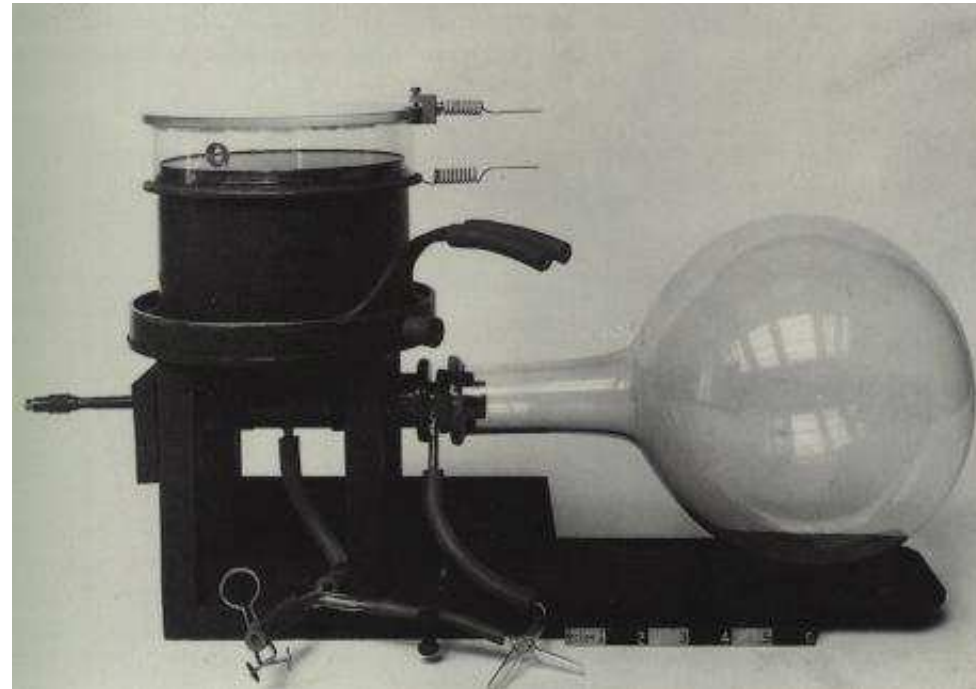
eksperyment OPERA



Detekcja cząstek

Komora Wilsona

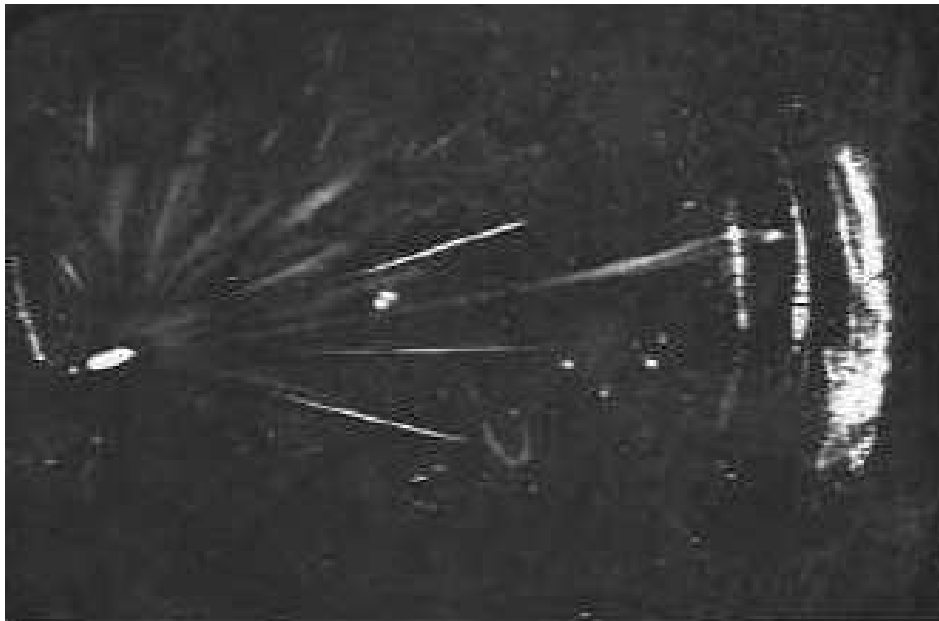
Charles Wilson, 1911



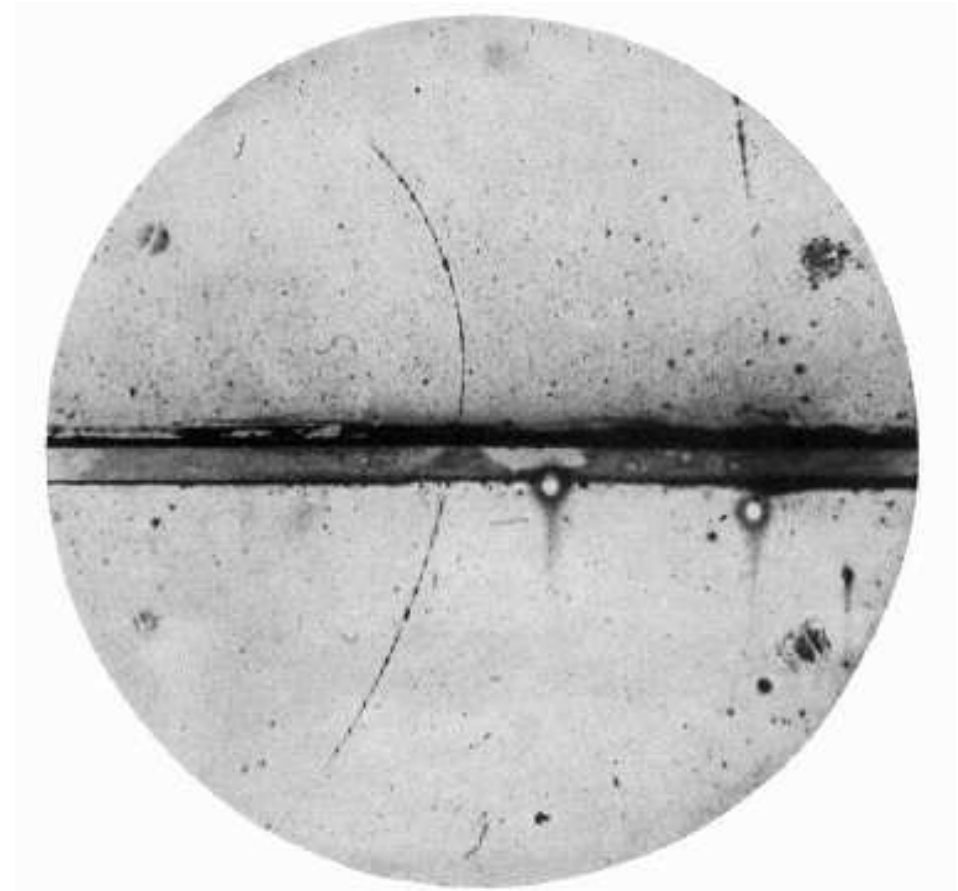
Detekcja cząstek

Komora Wilsona

Charles Wilson, 1911



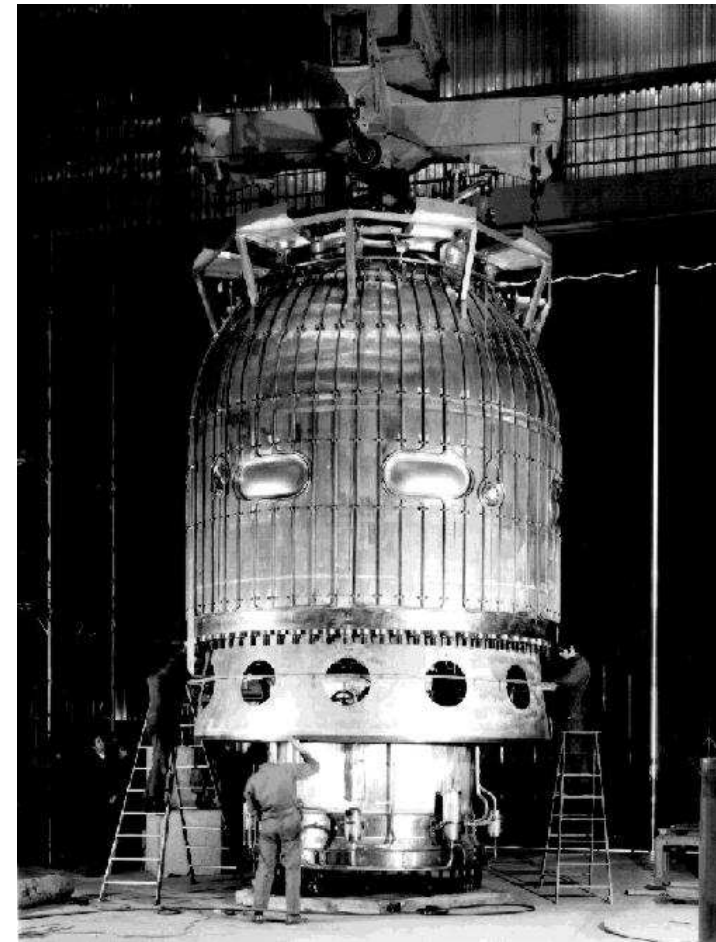
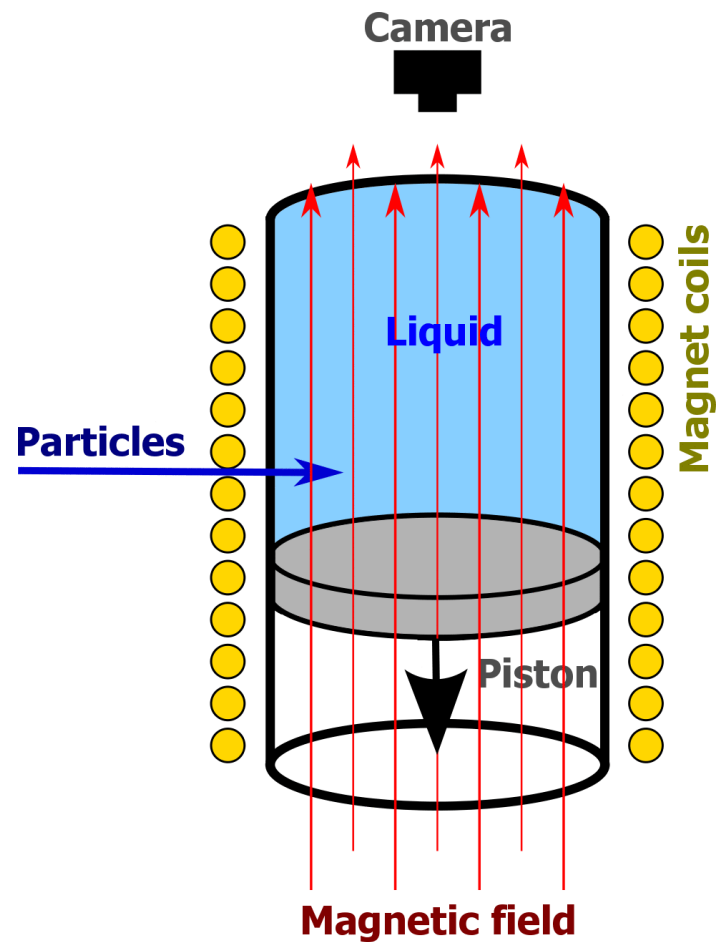
Carl Anderson, 1932



odkrycie pozytonu

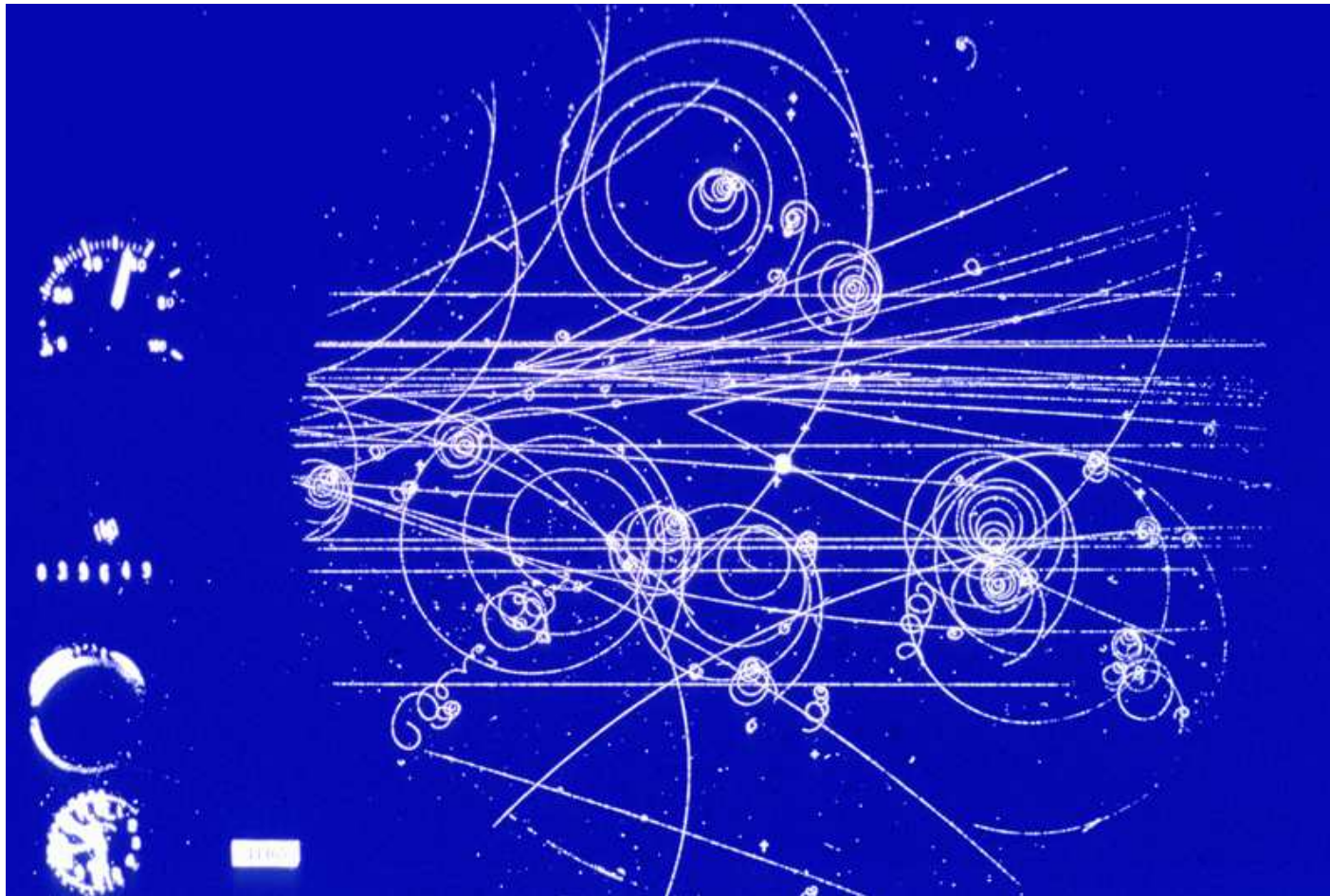
Detekcja cząstek

Komora pęcherzykowa, 1952



Detekcja cząstek

Komora pęcherzykowa



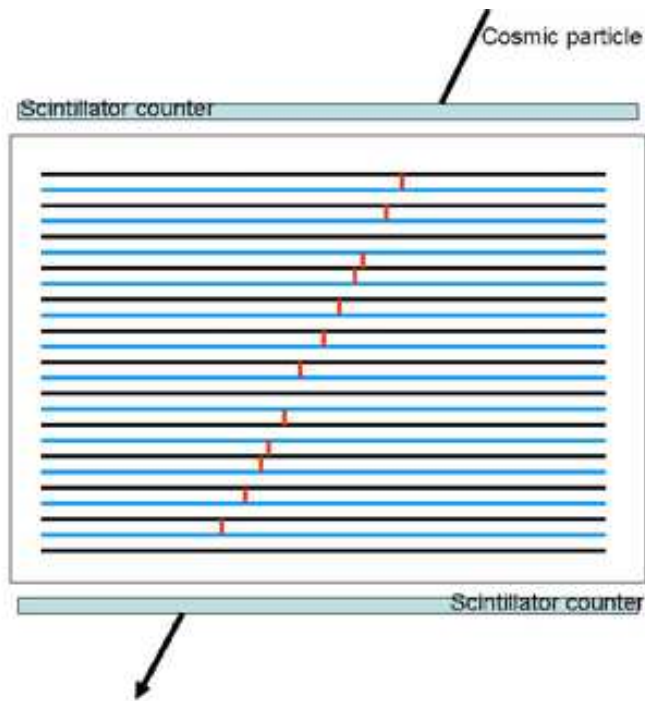
Cząstki wiązki oddziałują z cząstkami cieczy - "tarczy".



Detekcja cząstek

Komora iskrowa

Jonizacja powoduje przeskok iskry pomiędzy elektrodami



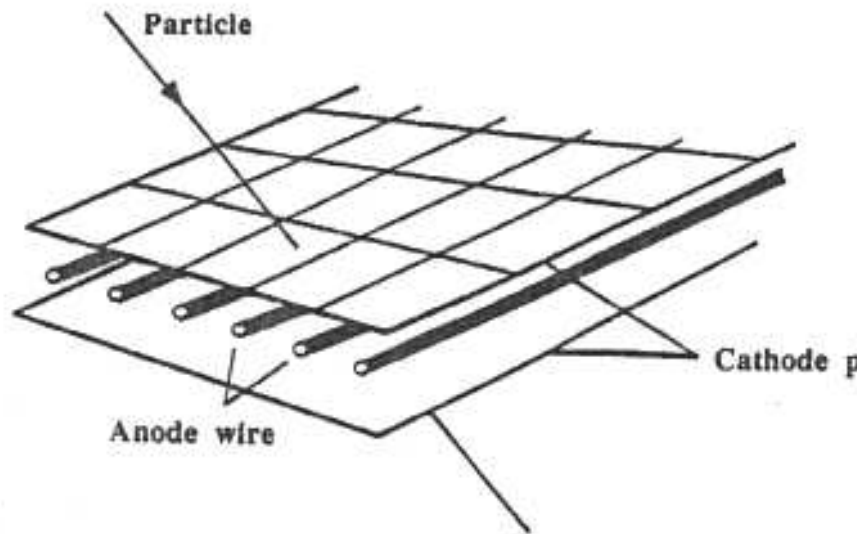
Możliwość wyboru zdarzeń
(sterowanie napięciem)



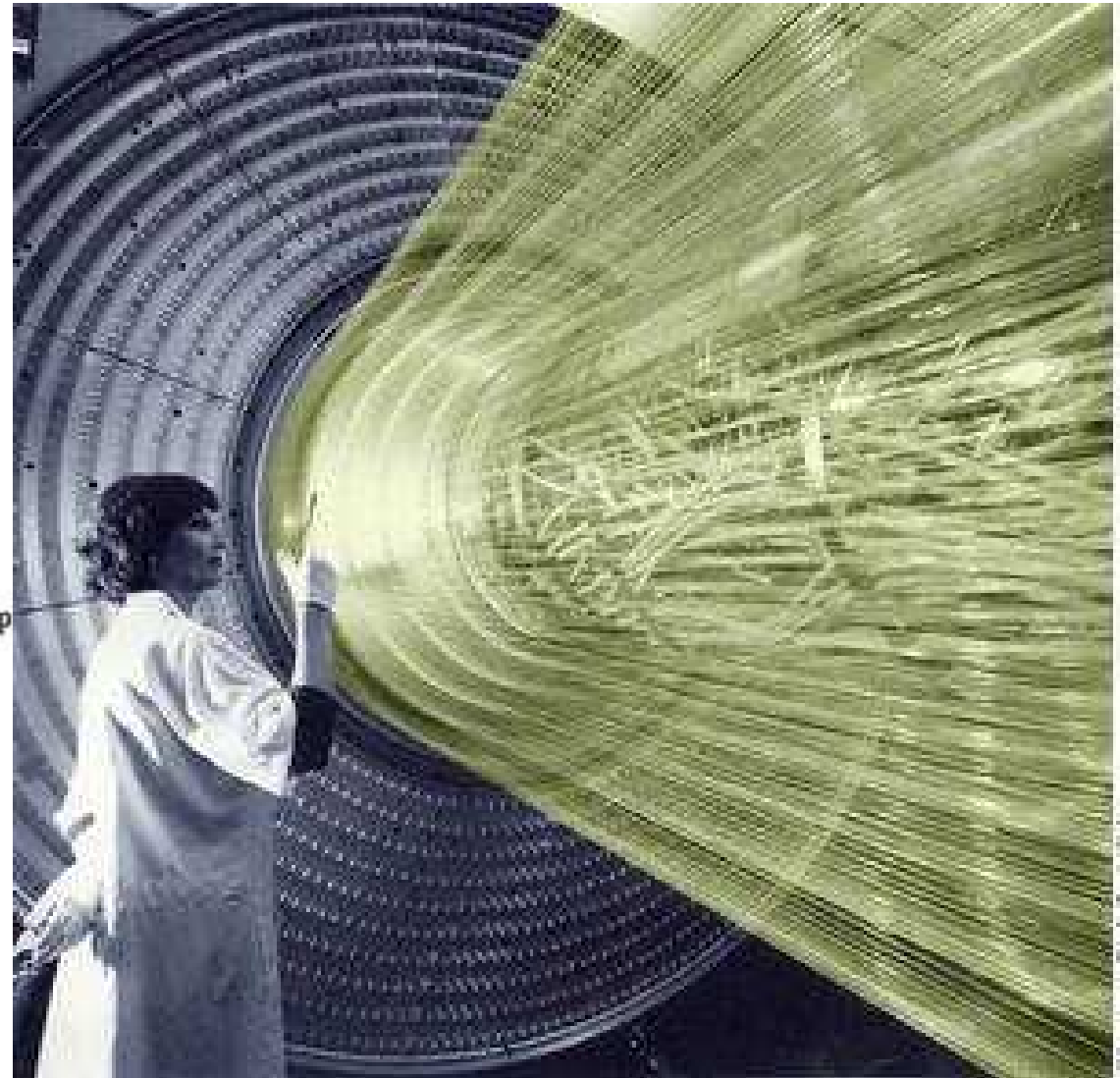
Detekcja cząstek

Komora wielodrutowa

Georges Charpak 1970
(Nobel 1992)



Tanie!
Odczyt w pełni elektroniczny!
elektronika+komputer
⇒ rewolucja



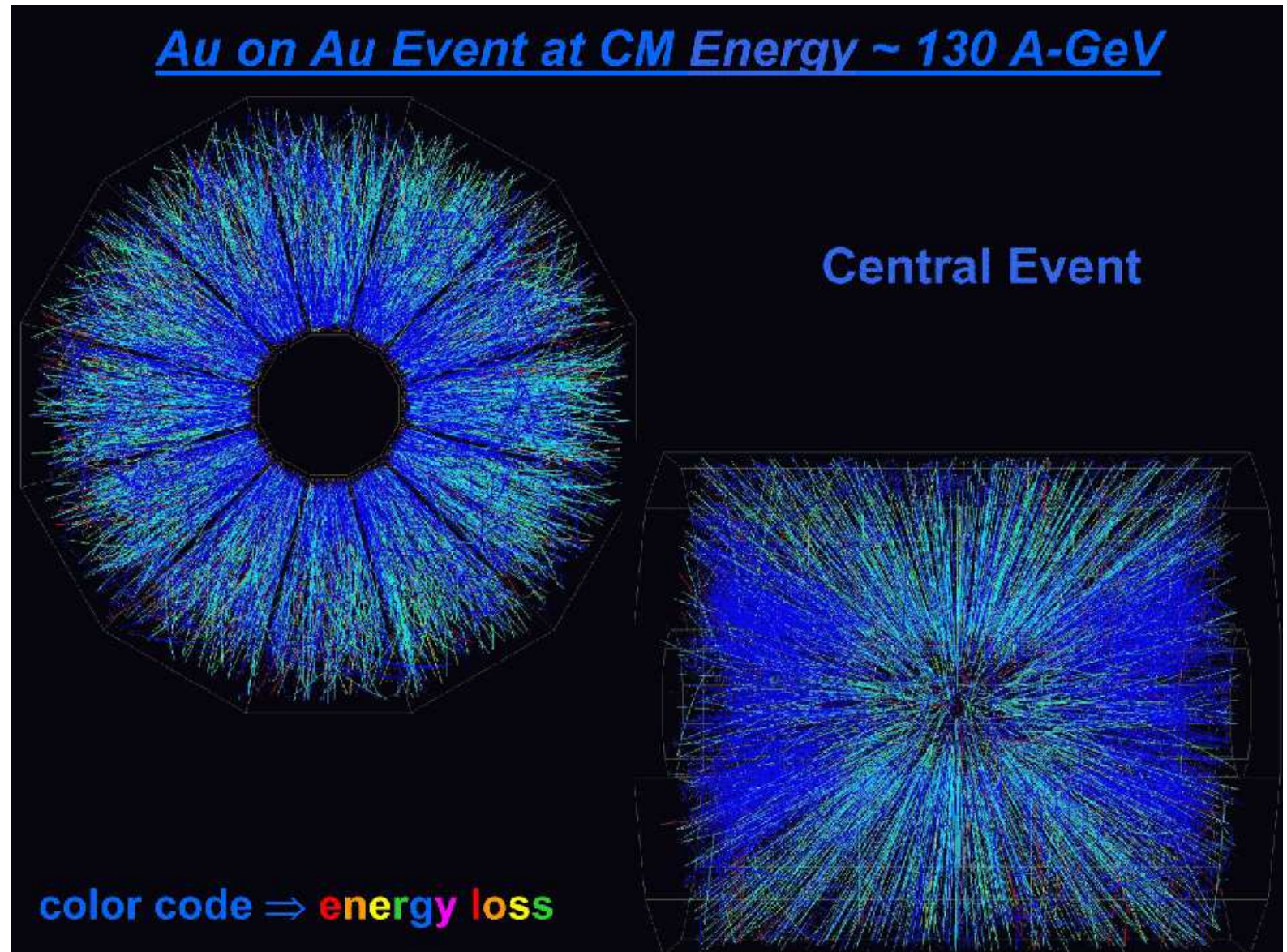
Detekcja cząstek

TPC

Komora
projekcji
czasowej

Przypadek
zderzenia
ciężkich
jonów

detektor
STAR
przy RHIC



Detekcja cząstek

Detektory półprzewodnikowe

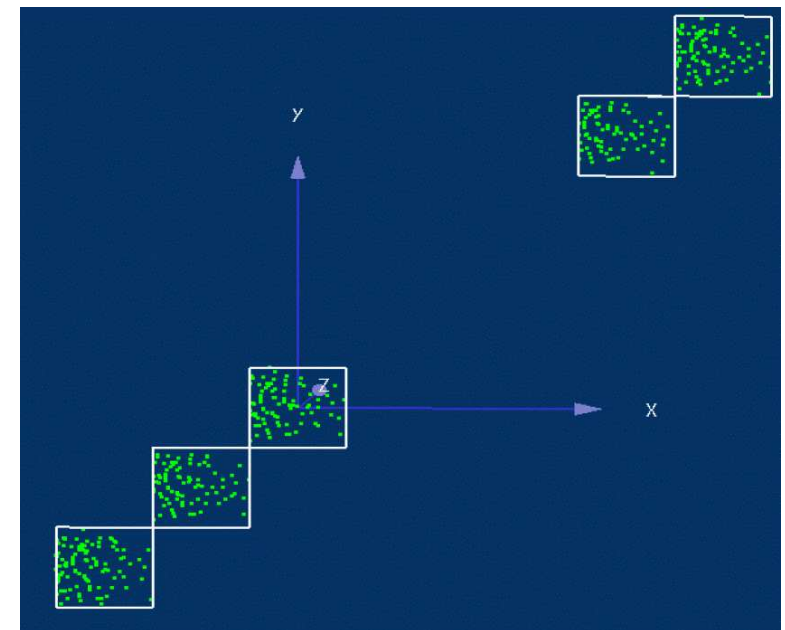
Coraz powszechniej używane.

Bardzo różne technologie, m.in. CCD (używane w fotografii cyfrowej)



Bardzo precyzyjny pomiar pozycji cząstek (rzędu μm)

Mierzone punkty przejścia wiązki cząstek przez pięć warstw "teleskopu":



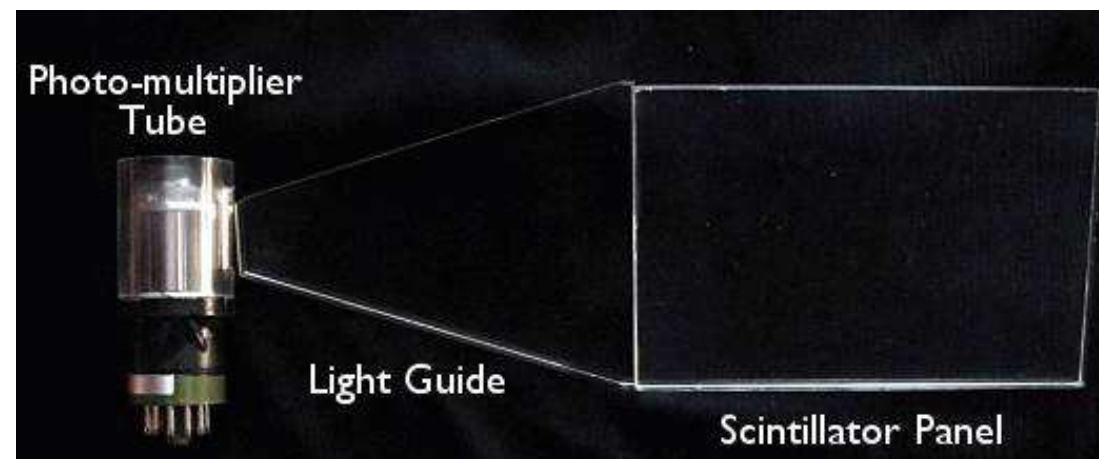
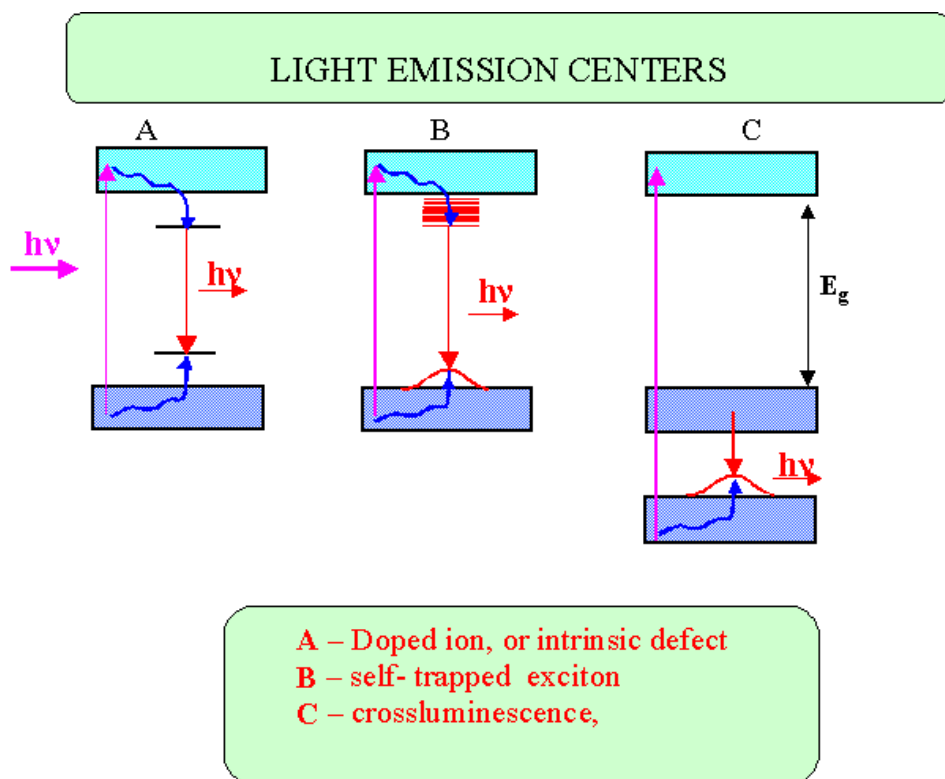
Niestety wciąż drogie...

Detekcja cząstek

Scyntylacja

W szeregu materiałów atomy wzbudzone na skutek jonizacji emitują fotony światła

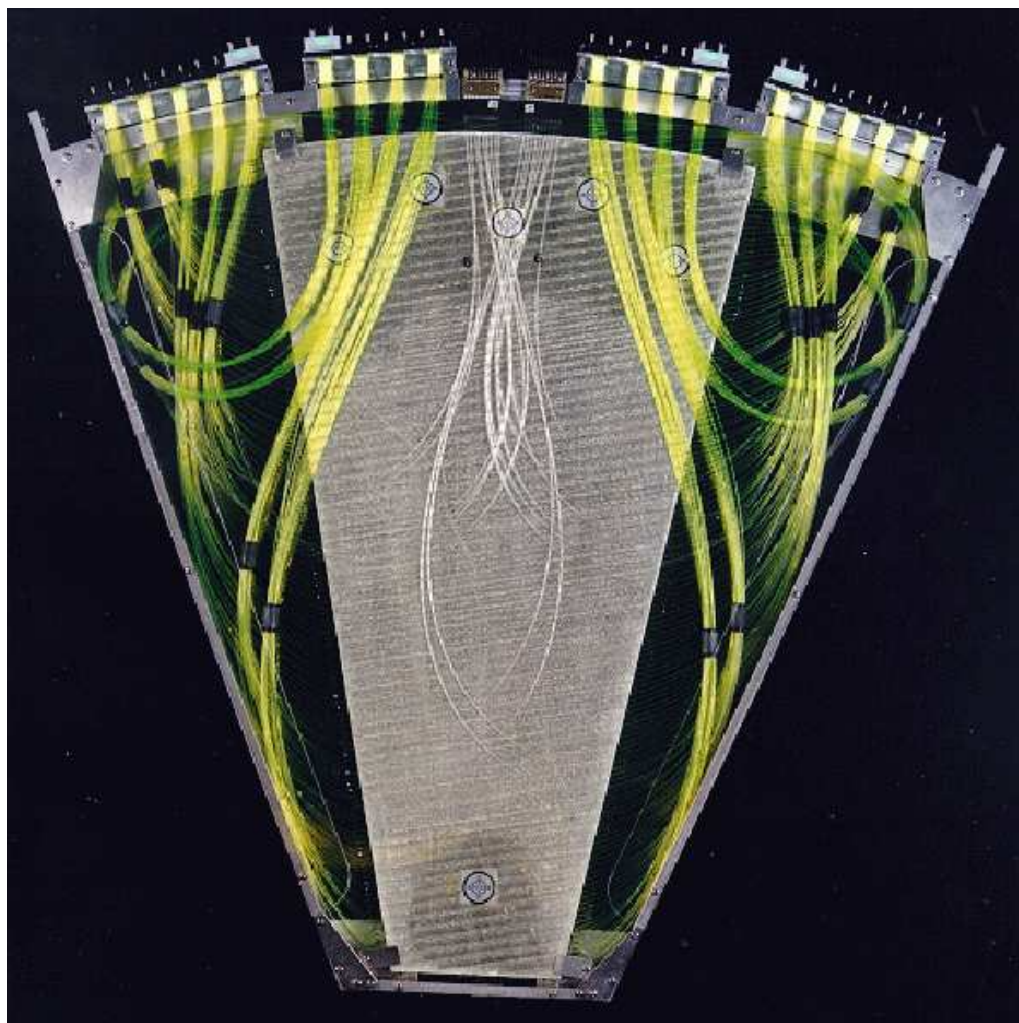
Błysk światła w scyntylatorze możemy rejestrować przy pomocy fotopowielacza



Brak pomiaru pozycji
 Bardzo dobry pomiar czasu przejścia cząstki

Detekcja cząstek

Detektory scyntylacyjne

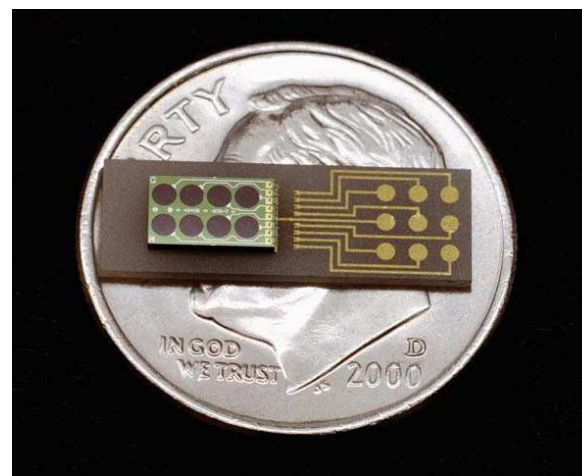


Tradycyjne liczniki scyntylacyjne coraz rzadziej używane.

Nowe koncepcje:

← włókna scyntylujące,

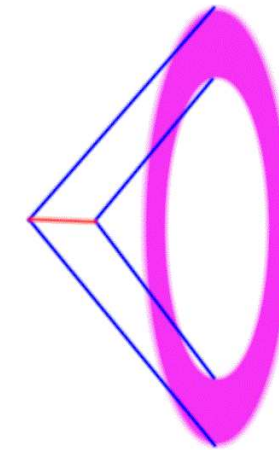
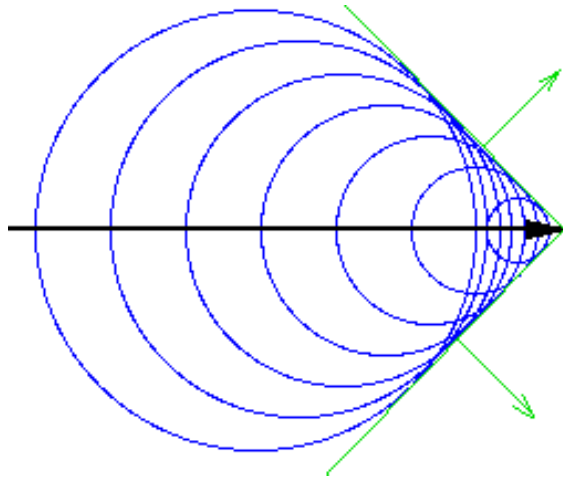
↓ fotonowielacze krzemowe.



Detekcja cząstek

Promieniowanie Czerenkowa

Emitowane przez cząstkę poruszającą się w ośrodku z prędkością większą niż prędkość światła w tym ośrodku.



Światło emitowane na pewnym odcinku widoczne jest w postaci charakterystycznych pierścieni

Zachodzi w wodzie, lodzie, powietrzu...

Tania technologia dla dużych detektorów!

Współczesne eksperymenty

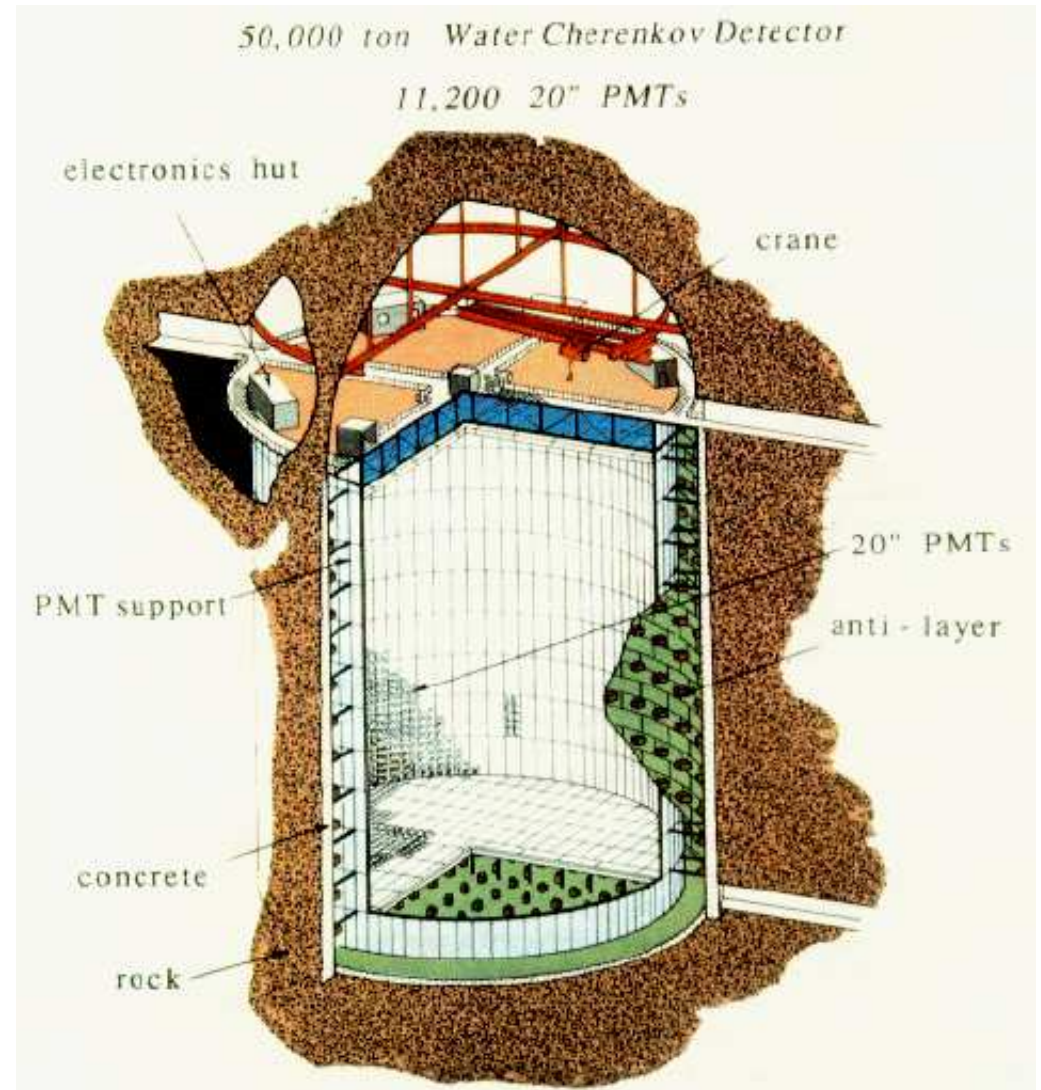
Super-Kamiokande

eksperyment neutrinowy

Japonia, w starej kopalni, 1 km pod górą Kamioka, komora o wysokości 40 m i średnicy 40 m, wypełniona **wodą**

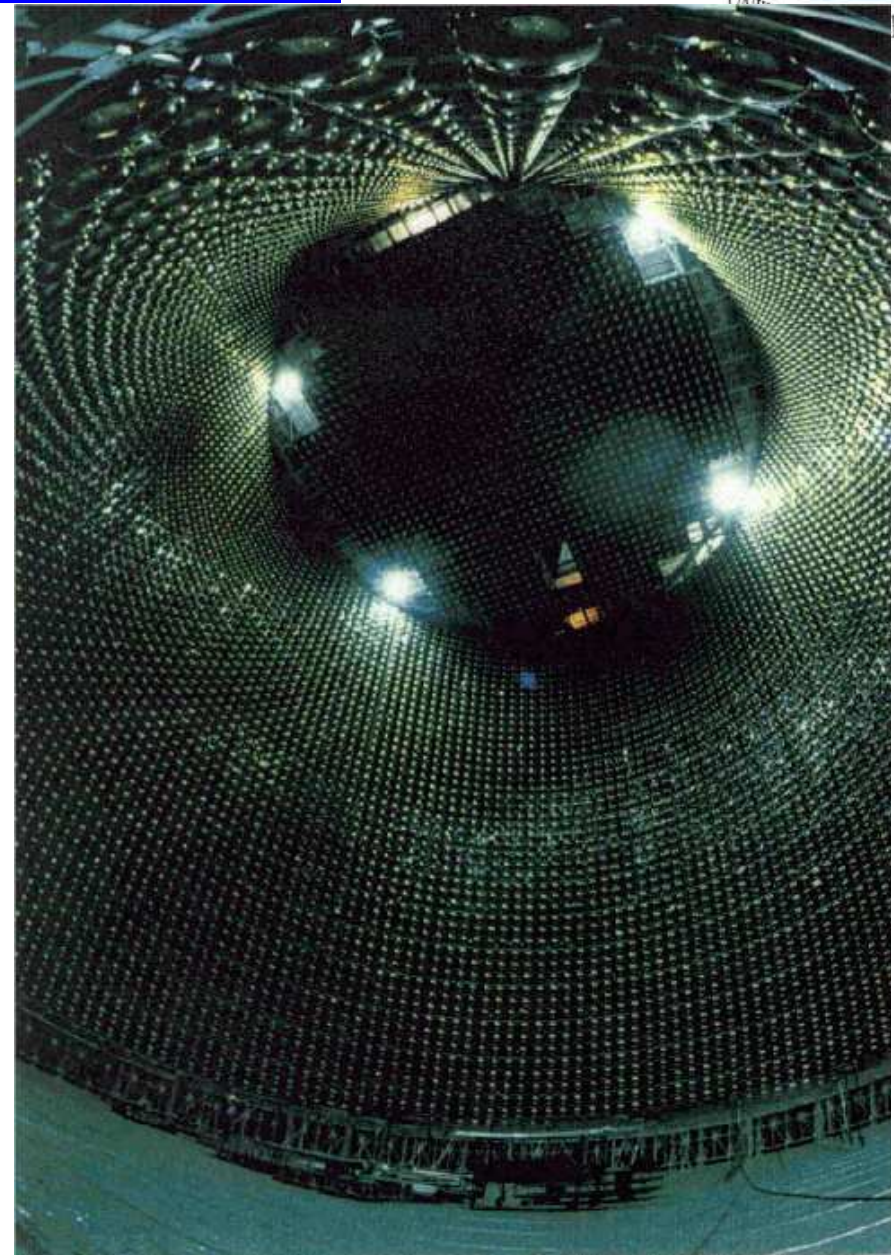
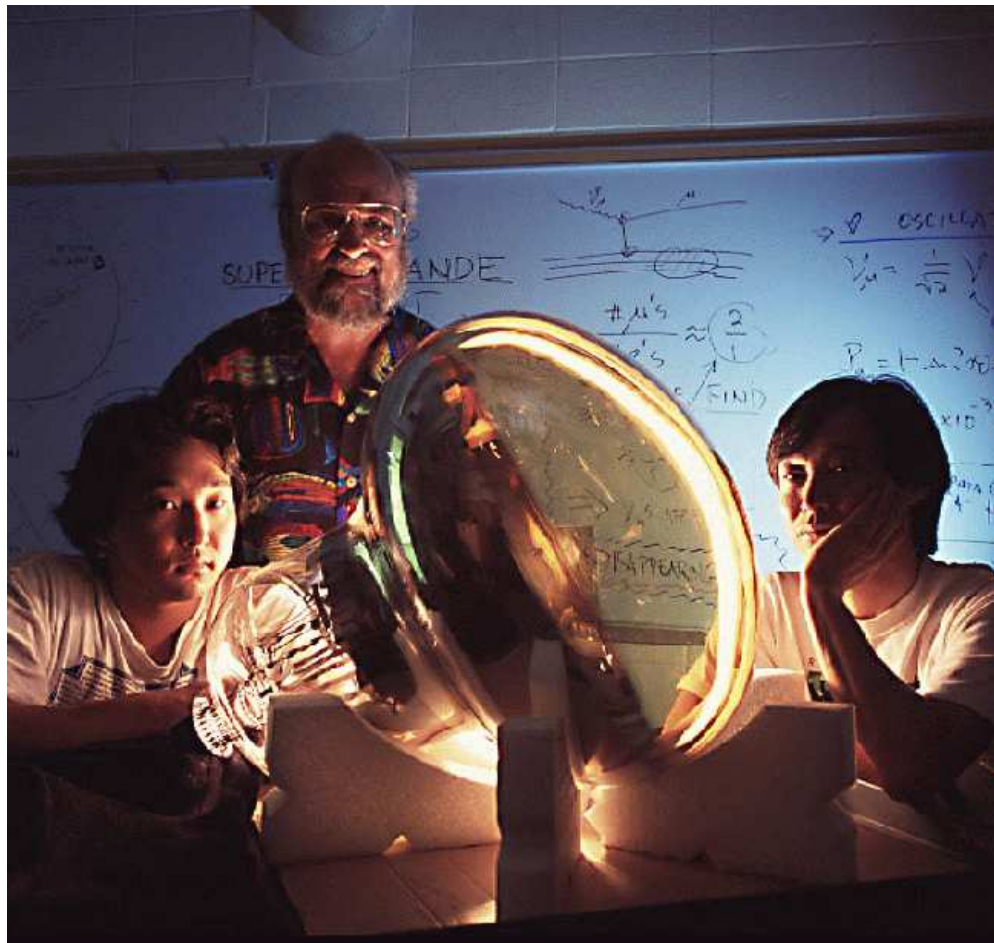
11'000 fotopowielaczy (50 cm średnicy!) rejestruje przechodzące cząstki

rejestrowane jest **promieniowanie Czerenkowa**



Współczesne eksperymenty

Super-Kamiokande



Współczesne eksperymenty

Super-Kamiokande

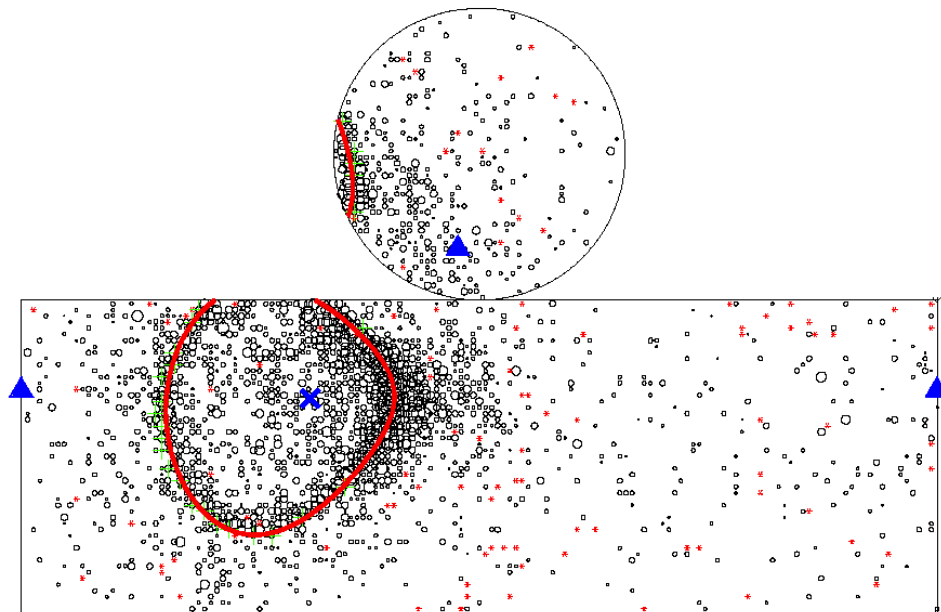
Przykłady obserwowanych oddziaływań neutrin.

Neutrino elektronowe

Przypadek $\nu_e n \rightarrow e^- p$

Krótki zasięg elektronu

“cienki” pierścień

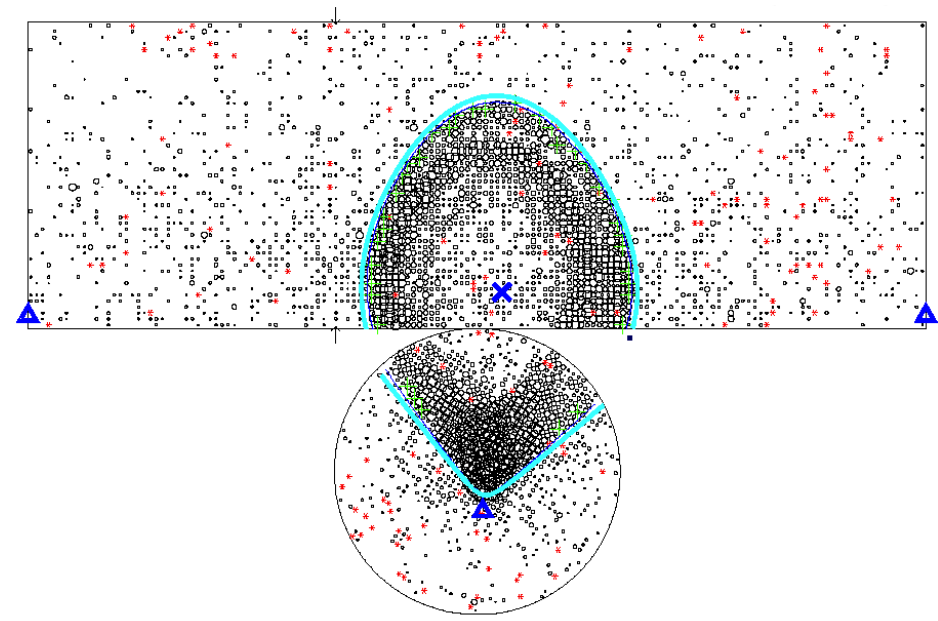


Neutrino mionowe

Przypadek $\nu_\mu n \rightarrow \mu^- p$

Długa droga mionu w wodzie

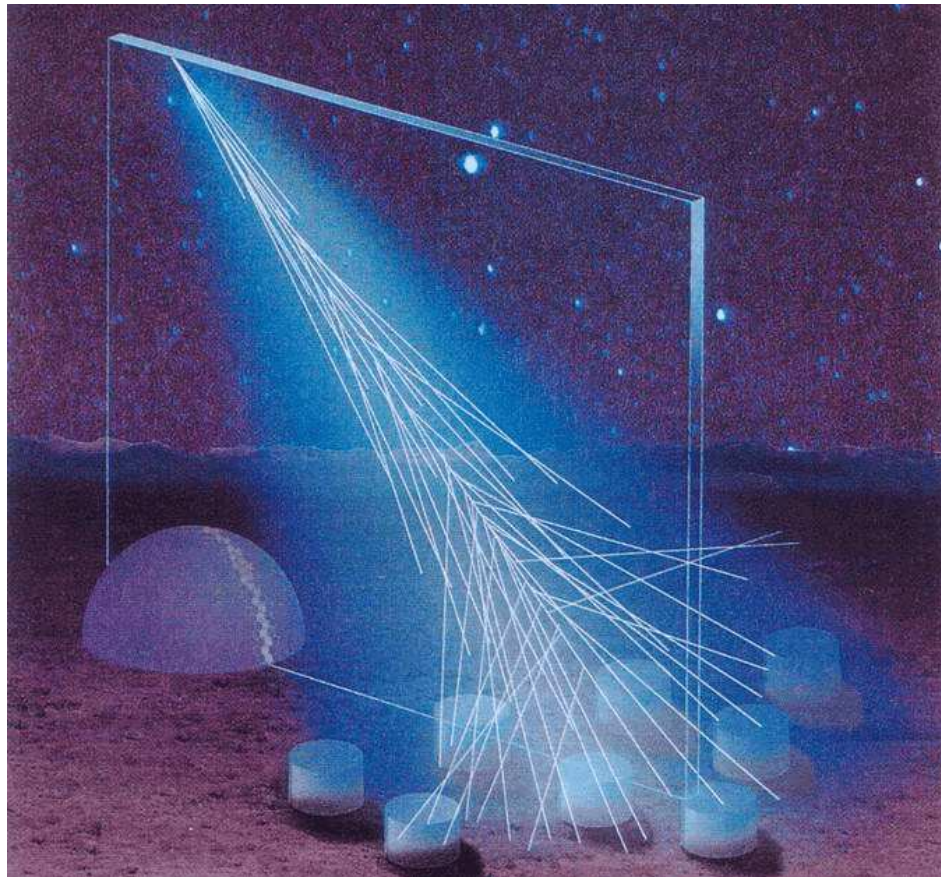
“gruby” pierścień.



Współczesne eksperymenty

Obserwatorium Pierre Auger

Obserwacja wysokoenergetycznego promieniowania kosmicznego.

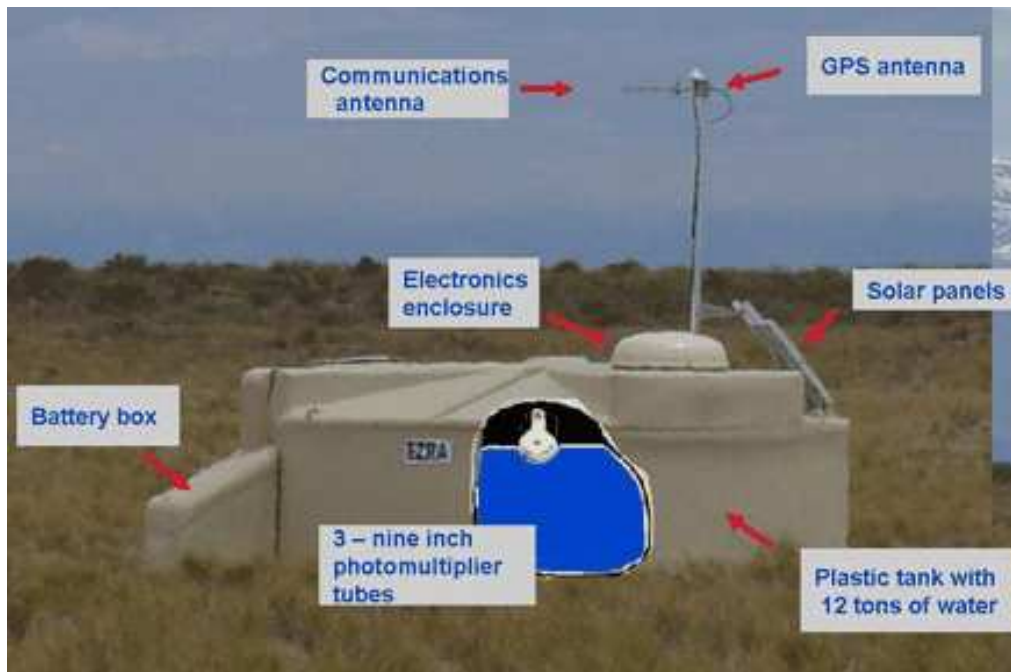


Scyntyllacja w powietrzu.
Promieniowanie Czerenkowa w
detektorach na powierzchni.

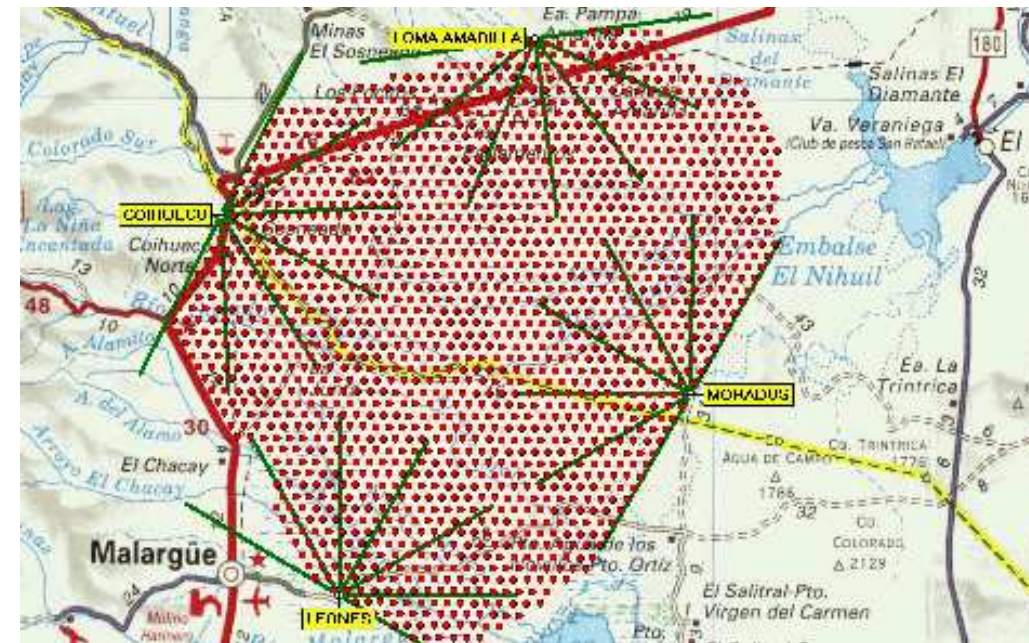
Współczesne eksperymenty

Obserwatorium Pierre Auger

Detektor powierzchniowy



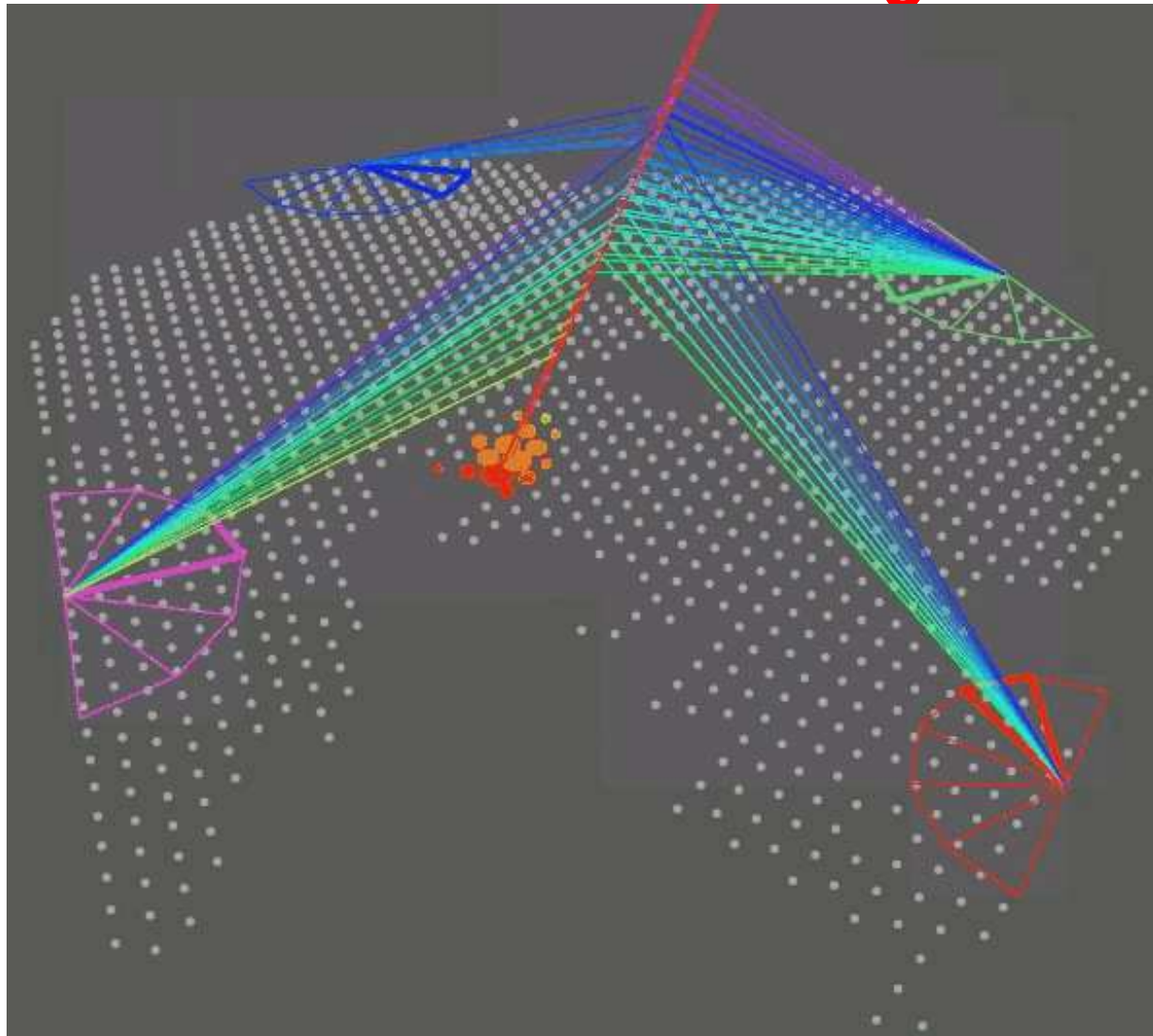
Mapa obserwatorium:



4 stacje po 6 teleskopów obserwujących świecenie w atmosferze (UV)
1600 detektorów powierzchniowych rozstawionych na 3000 km² !!!

Współczesne eksperymenty

Obserwatorium Pierre Auger



Schemat obserwacji
"pęku atmosferycznego":
4 "zjęcia" z teleskopów
+ "ślady" na powierzchni

Detekcja cząstek

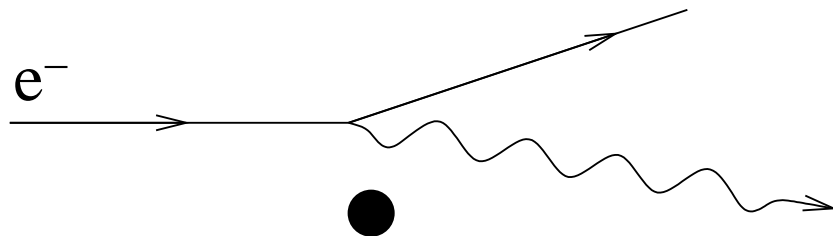
Kalorymetry

Wszystkie przedstawione do tej pory detektory rejestrowały przejście cząstki, ślad cząstki w materii \Rightarrow detektory śladowe.

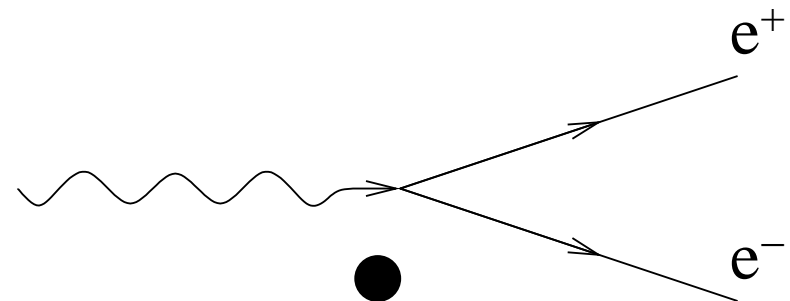
Aby zmierzyć energię cząstki musimy sprawić, aby w wyniku wielokrotnych oddziaływań "oddała ją" w całości detektorowi.

Kalorymetr elektromagnetyczny

Wysokoenergetyczne elektrony tracą energię prawie wyłącznie na **promieniowanie hamowania**



Wysokoenergetyczne fotony ulegają **konwersji na pary $e^+ e^-$**



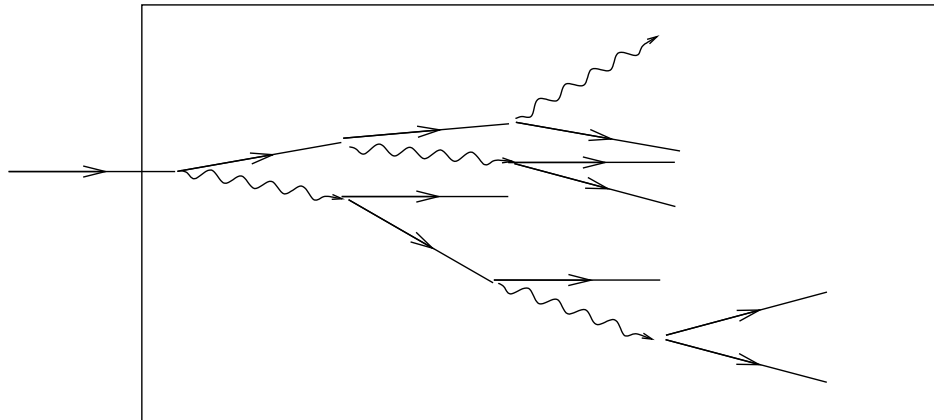
Detekcja cząstek

Kalorymetry

Wysokoenergetyczny **elektron lub foton** wpadając do detektora wywołuje **kaskadę** składającą się z $N \sim E$ cząstek

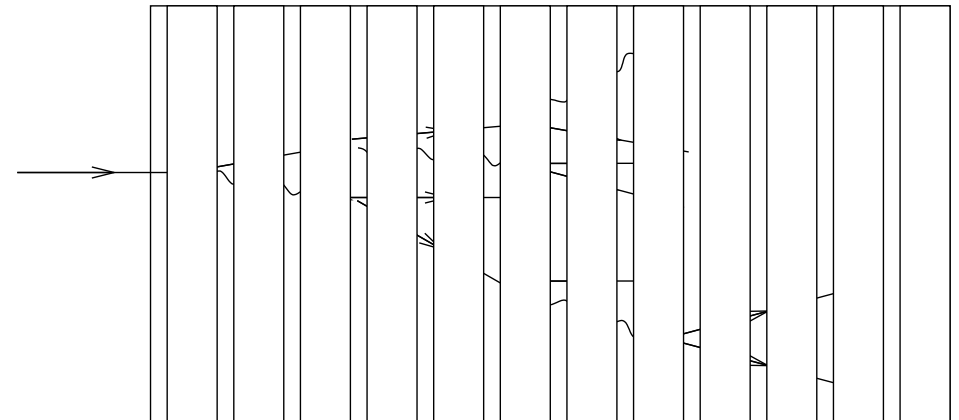
Mierząc liczbę cząstek lub całkowitą długość torów (całkowaną jonizację) możemy dokładnie określić energię cząstki początkowej

Kalorymetr jednorodny



np. blok scyntylnatora

Kalorymetr próbkujący



warstwy detektora na przemian z gęstym absorberem

Detekcja cząstek

Kalorymetry

Symulacja rozwoju
kaskady hadronowej
(pomiar energii protonu)

