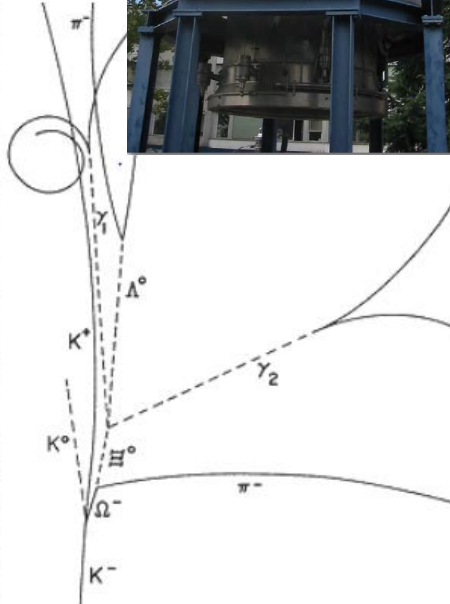
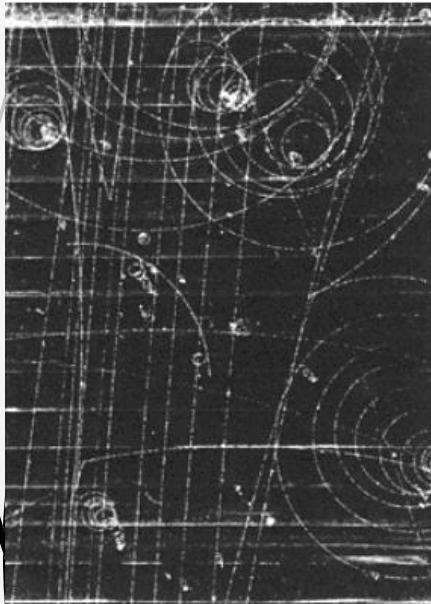


Oddziaływanie Promieniowania Jonizującego z Materią

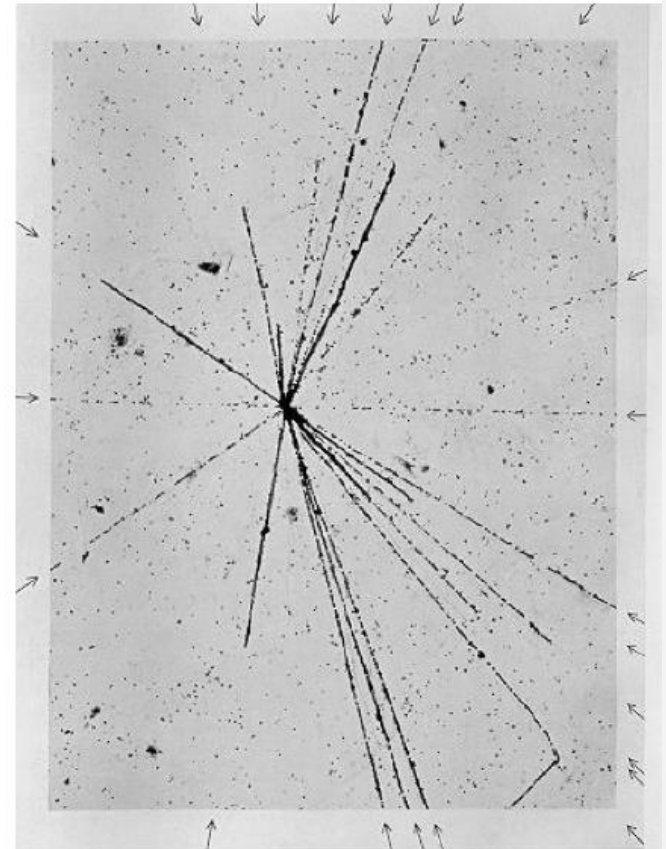
Tomasz Szumlak, Agnieszka Obłąkowska-Mucha

Trochę historii

- Cloud chambers
- Emulsions
- Bubble chambers



Discovery of the Ω^- in 1964

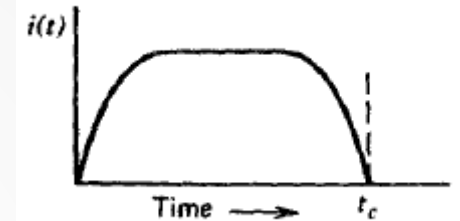


'EXPLOSIVE' DISINTEGRATION OF A NUCLEUS

nuclear disintegrations in 1937

Model detektora

- ❑ Detektor ma za zadanie zbierać ładunek.
- ❑ Od jego powstania do końca.. czasu zbierania.
- ❑ W każdym typie detektora użytecznym parametrem jest całkowita liczba jonów wytworzona przez przechodzące promieniowanie.
- ❑ Problem powstanie, gdy jest dużo przechodzących cząstek, sygnały się nałożą.
- ❑ Problemem też może być zbyt długi czas martwy.
- ❑ A na końcu okaże się, że sygnał był tak niewielki, że nie widać go na tle szumu.

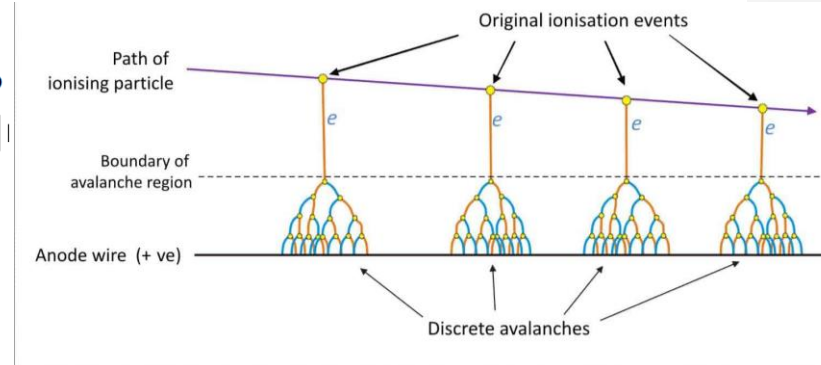
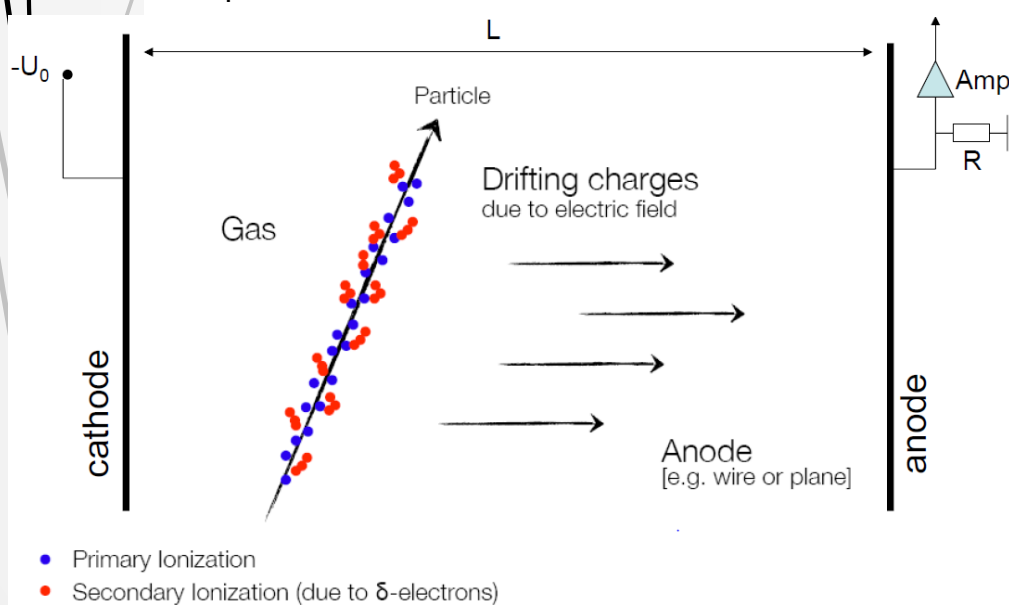


$$\int_0^{t_c} i(t) dt = Q$$

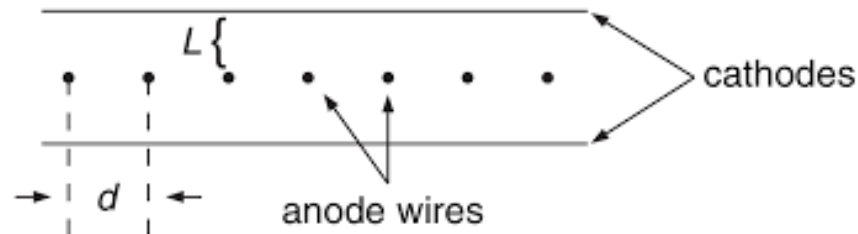
Dzisiaj omówię pokrótce dwa typy detektorów: gazowy i półprzewodnikowy.

Detektory gazowe – licznik proporcjonalny

- ❑ Przechodząca cząstka (p) jonizuje gaz X : $X + p \rightarrow X^+ + p + \delta_{el}$ (jonizacja pierwotna).
- ❑ Jeśli $E_\delta > E_j$ następuje jonizacja wtórna. Typowo $E_j \sim 30 \text{ eV}$, ok 100 par/3 keV cząstki padającej.
- ❑ Jeśli w liczniku jest pole elektryczne, pary dryfują do elektrod lub/i są powielane.



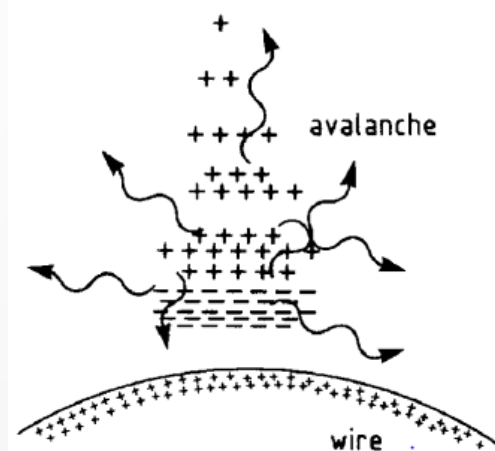
Sygnal



- ❑ Sygnał pochodzi głównie z rejonów w pobliżu anody (bo tam jest b. duże pole elektryczne i powstaje lawina)
- ❑ Nie ma zatem znaczenia, w którym miejscu ładunek został wytworzony. Liczy się czas dotarcia elektronów i jonów z miejsc w pobliżu anody, a nie czas trwania impulsu pierwotnie wytworzonej pary.
- ❑ Dryft elektronów i jonów indukuje sygnał elektryczny. A szybkość (mobilność) jonów jest dwa rzędy wielkości mniejsza niż elektronów i to sygnał od jonów jest znacznie większy.
- ❑ W licznikach proporcjonalnych sygnał jest proporcjonalny do liczby zebranego ładunku

$$v_{del} \approx cm/\mu s$$

$$v_{djon} \approx cm/ms$$



Wzmocnienia gazowe

Ionization mode:

full charge collection
no multiplication; gain ≈ 1

Proportional mode:

multiplication of ionization
signal proportional to ionization
measurement of dE/dx
secondary avalanches need quenching;
gain $\approx 10^4 - 10^5$

Limited proportional mode:

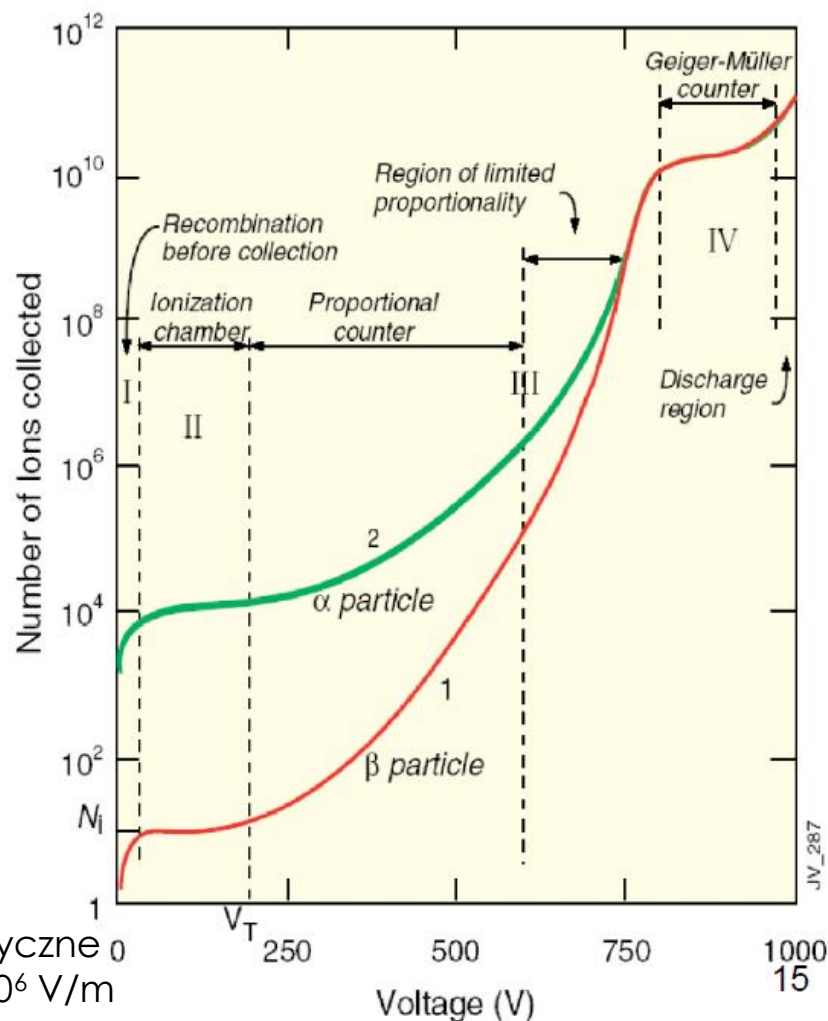
[saturated, streamer]

strong photoemission
requires strong quenchers or pulsed HV;
gain $\approx 10^{10}$

Geiger mode:

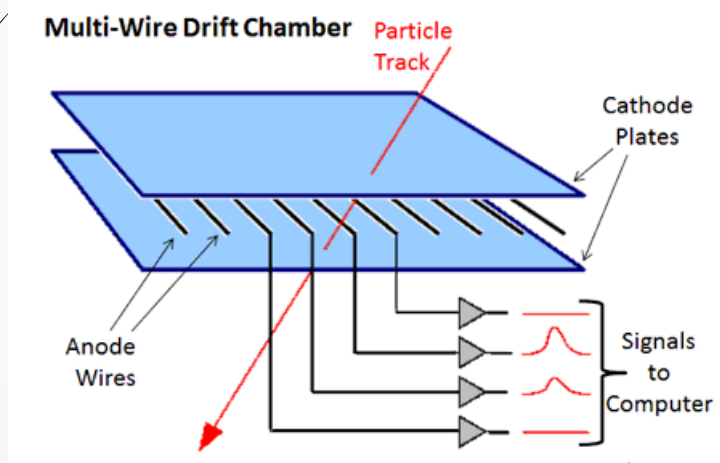
massive photoemission;
full length of the anode wire affected;
discharge stopped by HV cut

powielanie jest możliwe, gdy pole elektryczne o
przekroczy wartość krytyczną, typowo 10^6 V/m

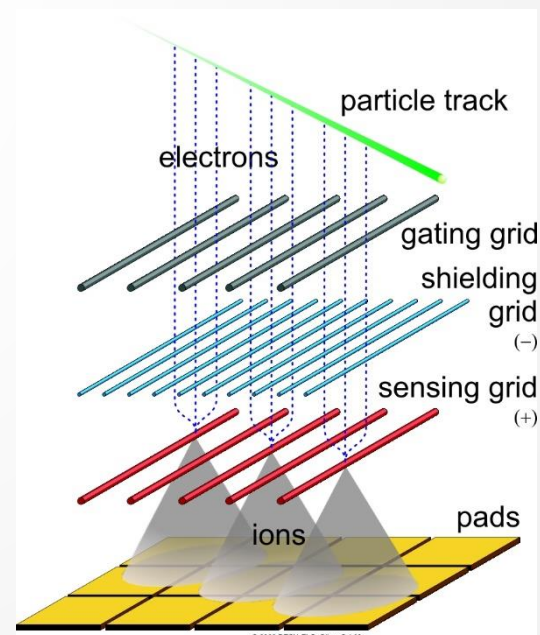
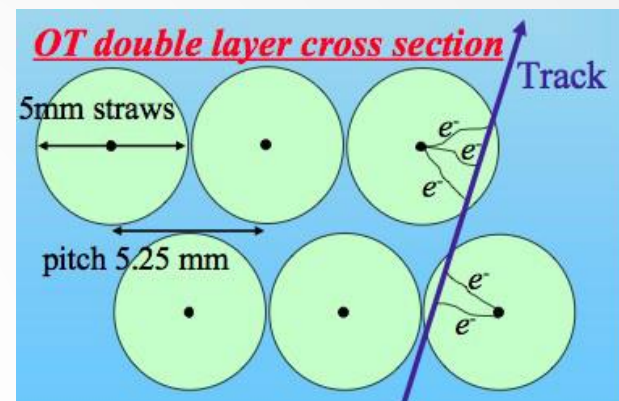


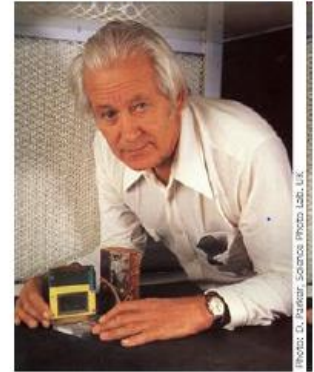
Detektory słomkowe

- Można też połączyć kilka liczników proporcjonalnych razem:
- Lub połączyć katody liczników w płaszczyznę:



- Lub nawet usunąć i płaszczyznę....

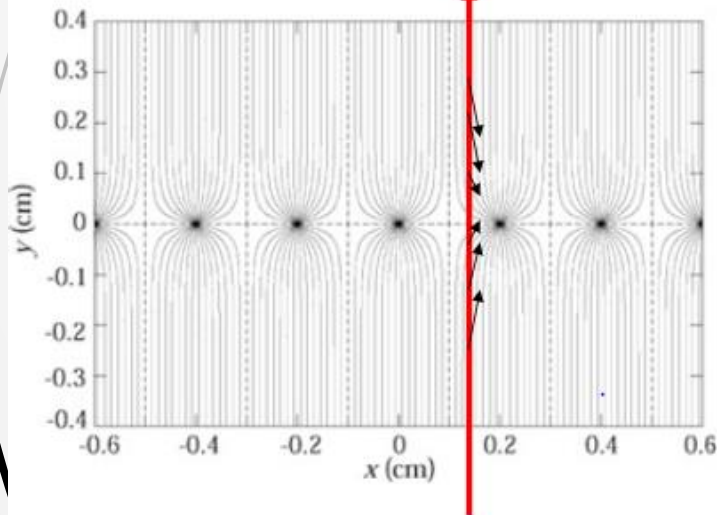
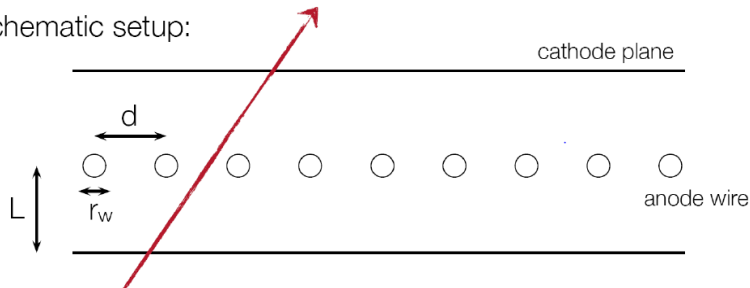




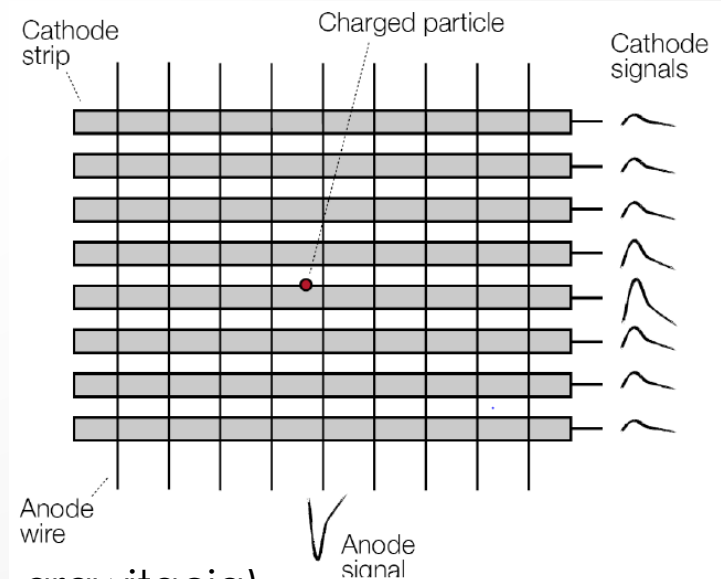
8

Komora wielodrutowa (MWPC)

Schematic setup:



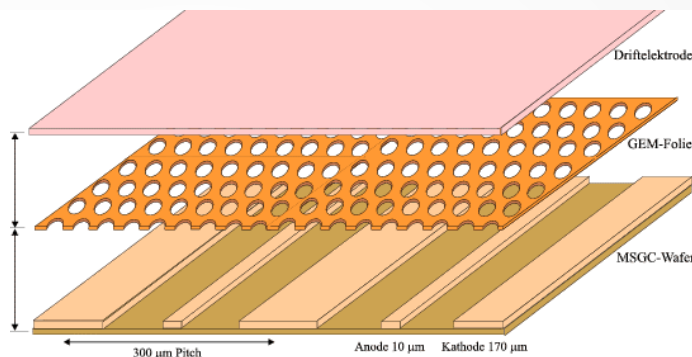
- ❑ Elektrony dryfują do najbliższego drutu.
- ❑ Powielanie jest tylko w pobliżu anody,
- ❑ Sygnał jest generowany przez elektrony, ale głównie pochodzi z **powolnych JONÓW** rozdzielczość czasowa ok. 10 ns,



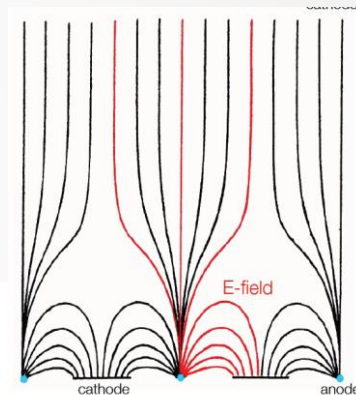
- ❑ Druty stanowią tu ograniczenia (starzenie, grawitacja), konstrukcja droga i mało użyteczna do szybkich sygnałów

Micro-strip gas chambers (MSGC)

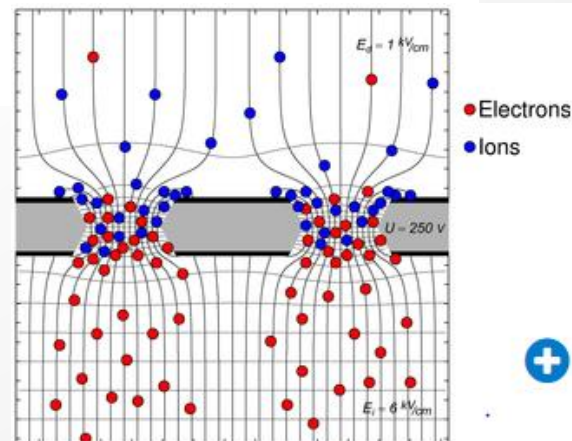
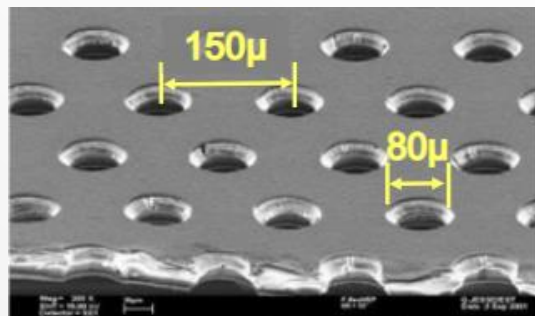
- ❑ Zamiast drutów-mikrostruktury, poprawiają rezolucję przestrzenną
- ❑ Powielanie lawinowe w niewielkim obszarze



- ❑ Problem z niejednorodnością pola

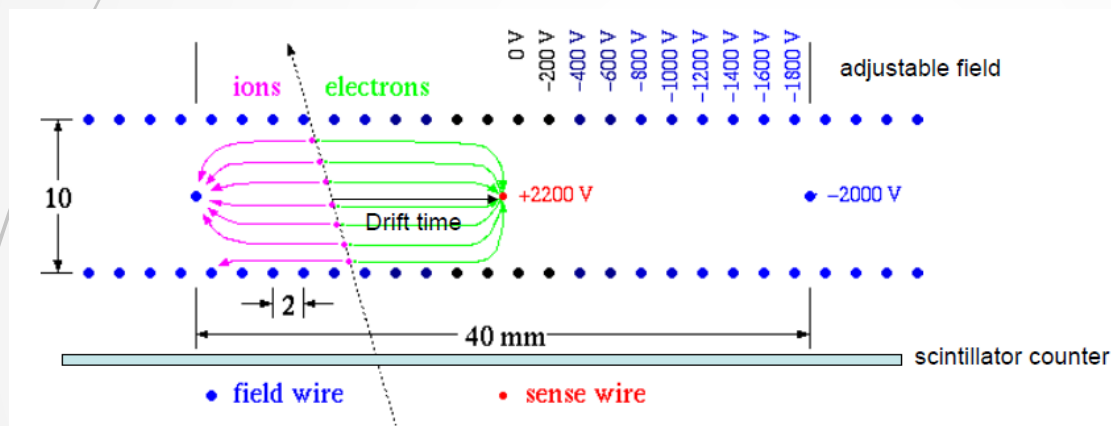


- ❑ GEM (Gas Electron Multiplier):
 - wytrawiane otwory o średnicy 100-200 μm w specjalnej metalizowanej folii.
 - Powielanie lawinowe tylko w pobliżu otworów
 - Dryft elektronów do anody,
 - Sygnał głównie od jonów.

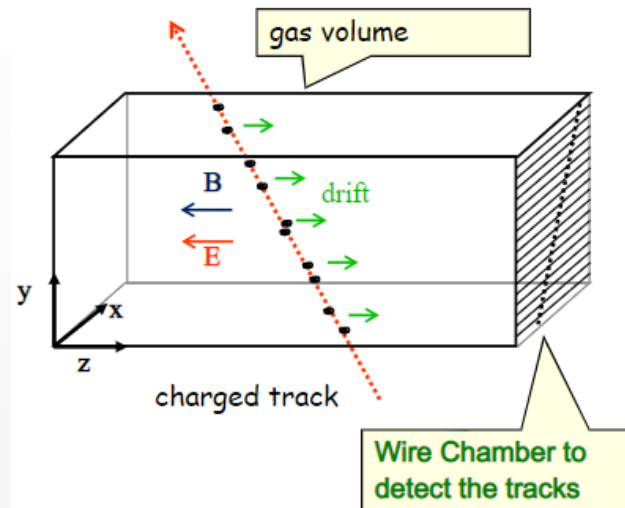


Komory dryfowe

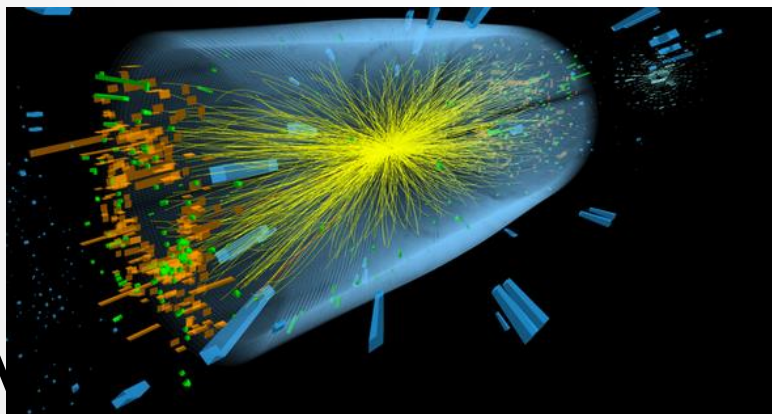
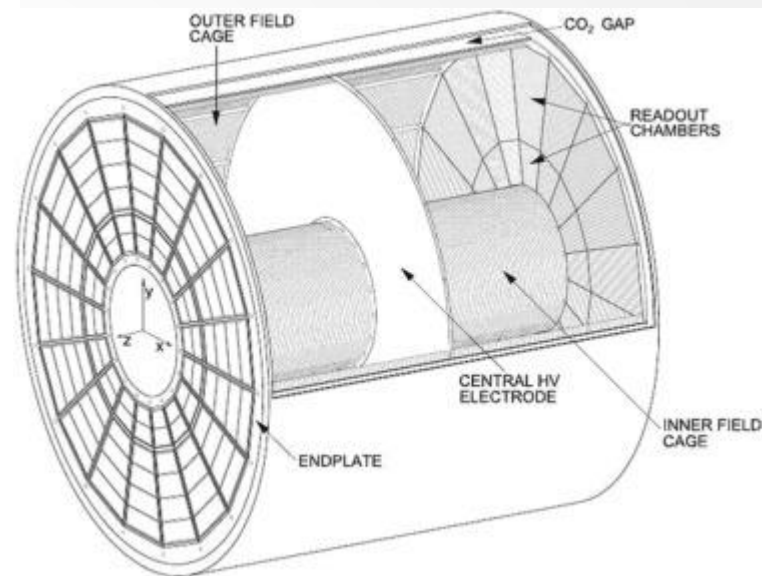
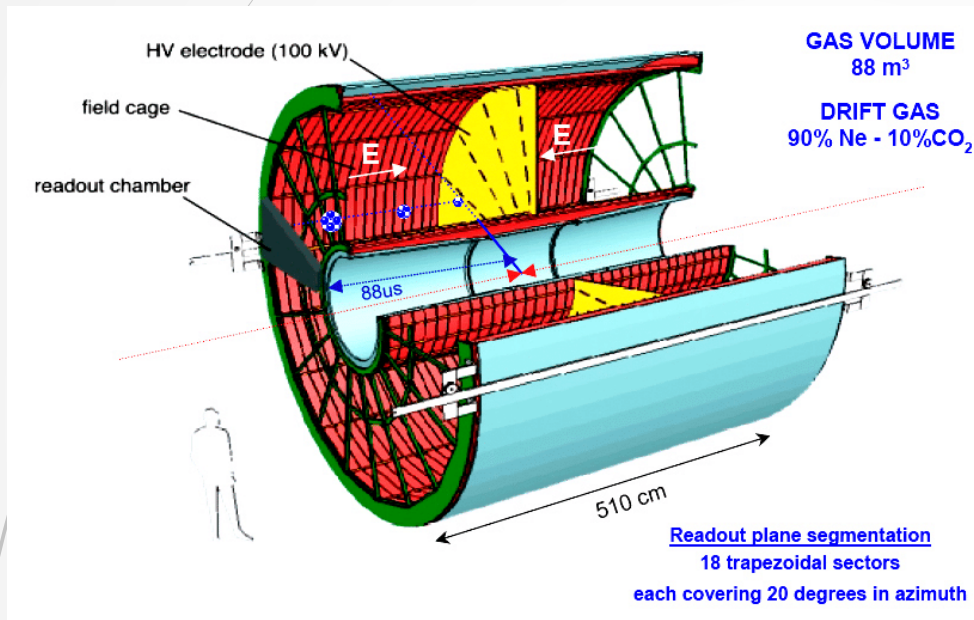
- Można też skonstruować detektor mierzący położenie w oparciu o pomiar czasu dryfu w stosunku do zewnętrznego sygnału (np. scyntylatora).



- W komorze dryfowej często jest również pole magnetyczne.

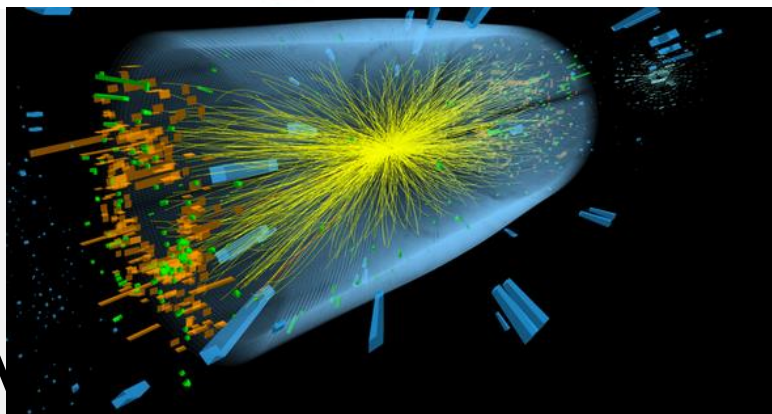
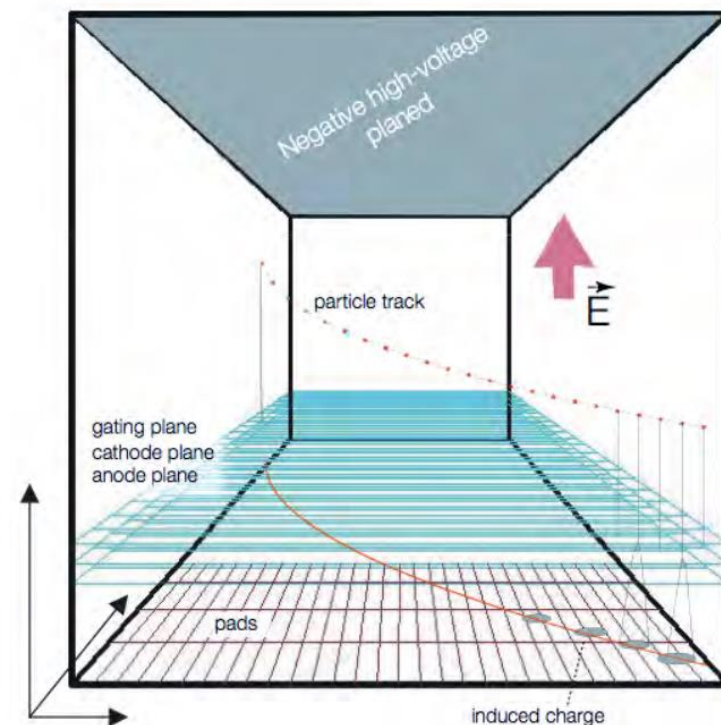
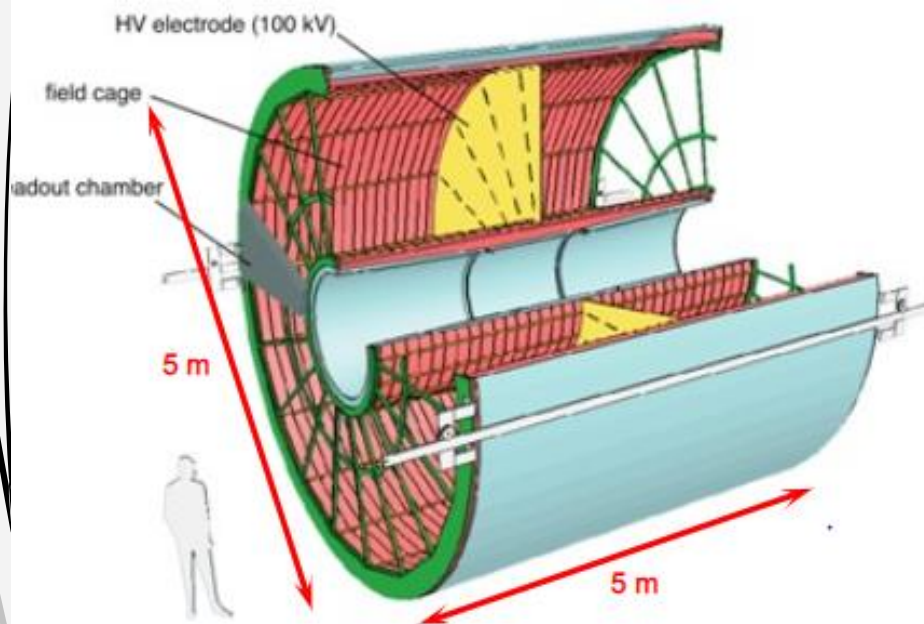


Duże komory dryfowe



pomiar dE/dx umożliwia:
 wyznaczenie trajektorii cząstki,
 Identyfikację,
 Rezolucja: $z, y \sim mm$, $x \sim 150 - 300 \mu m$

Duże komory dryfowe (ALICE)



pomiar dE/dx umożliwia:
 wyznaczenie trajektorii cząstki,
 Identyfikację,
 Rezolucja: $z, y \sim mm, x \sim 150 - 300 \mu m$

Detektory półprzewodnikowe

ATLAS

Strips: 61 m² of silicon, 4088 modules, 6x10⁶ channels

Pixels: 1744 modules, 80 x 10⁶ channels

CMS

the world largest silicon tracker
200 m² of strip sensors (single sided)
11 x 10⁶ readout channels

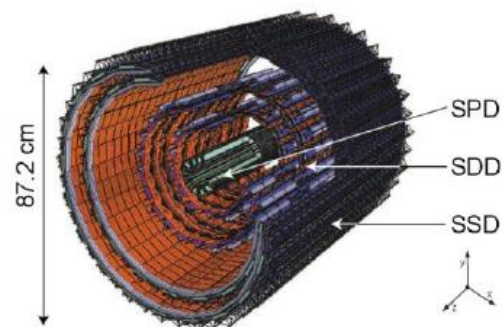
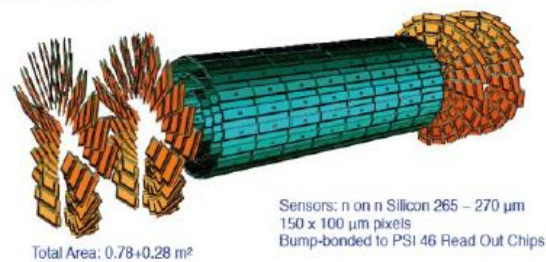
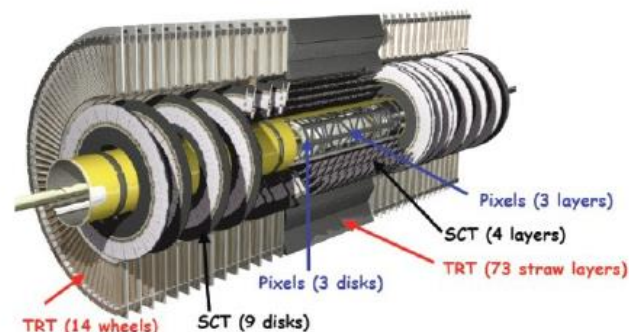
~1m² of pixel sensors, 60x10⁶ channels

ALICE

Pixel sensors
Drift detectors
Double sided strip detectors

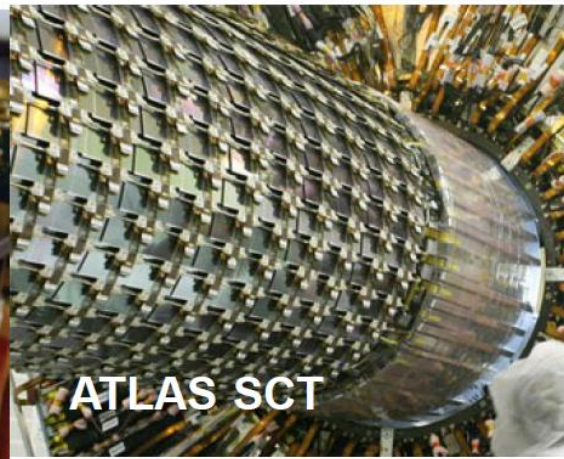
LHCb

VELO: Si Strips



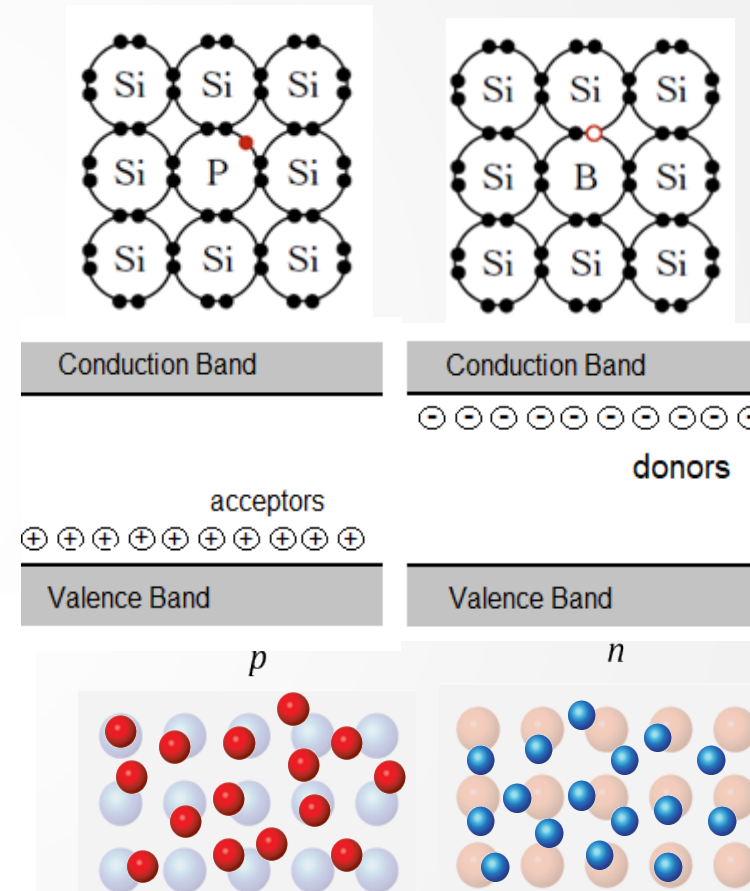
Detektory półprzewodnikowe

- ❑ Półprzewodniki mają większą gęstość i niższy potencjał jonizacyjny w porównaniu do gazów (kilka eV/eh)
- ❑ Nośniki mają wysoką mobilność (szybki detektor)
- ❑ German – wymaga chłodzenia, używany w fiz. jądrowej.
- ❑ Krzem – temp. pokojowa, synergia z elektroniką, najczęściej używany detektor śladowy i do wyznaczenia wierzchołków oddziaływań.
- ❑ Diament – bardzo odporny radiacyjnie, drogi i trudny w produkcji, stosowany do monitorów wiązek.



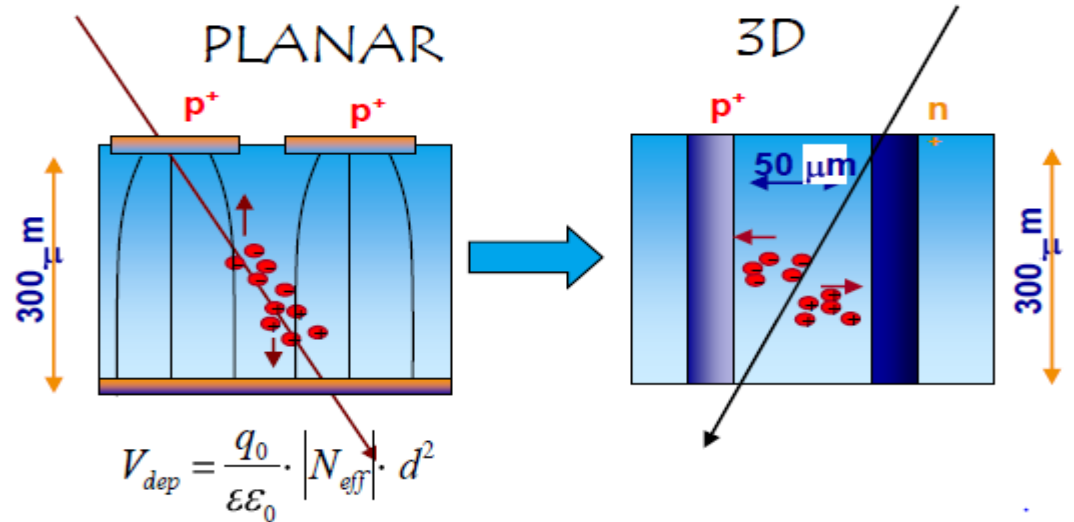
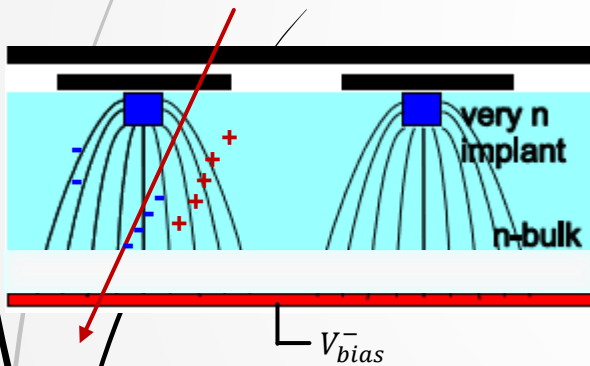
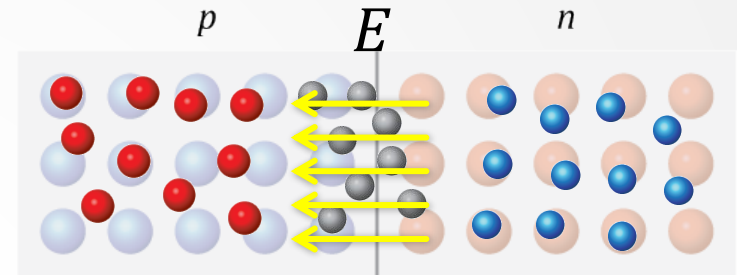
Detektory krzemowe

- Silicon belongs to IV group with four valence electrons which form a covariant bonding with the neighbour atoms.
- Si atom substituted from III (B) or V (P) group form an additional energy slightly below the conduction band (**donors, n-type**) and a bit above the valence level (**acceptors, p-type**).
- **At room temperature 99.6% of the donors electrons are ionized**, and therefore contribute to conduction. The same happens for holes.
- Once an n-type silicon is put into physical contact with a p-type silicon, the donors diffuse to the p-side and recombine with acceptors on p-side.
- The diffusion of electrons (majority carriers) leaves positive ions on the n-side and causes the excess of negative charge on the p-side. An electrical field builds up what prevents further diffusion.



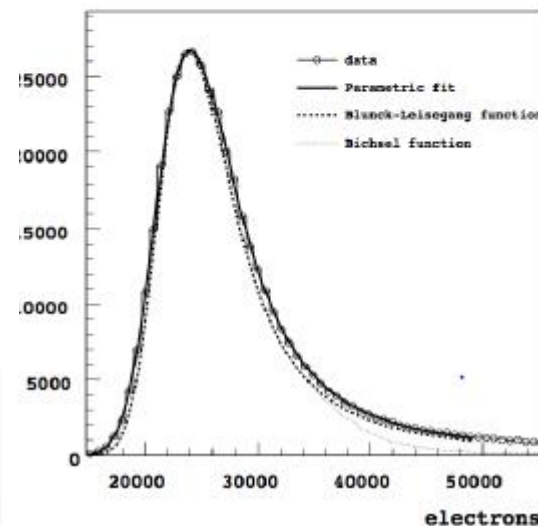
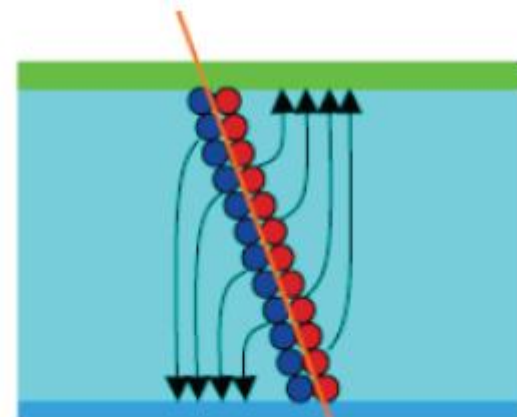
Detektory krzemowe

- Region around the junction is free of charge, so is called the **depletion zone**.
- The reverse bias is applied to broaden the depleted region

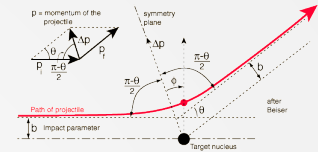


Detektory krzemowe

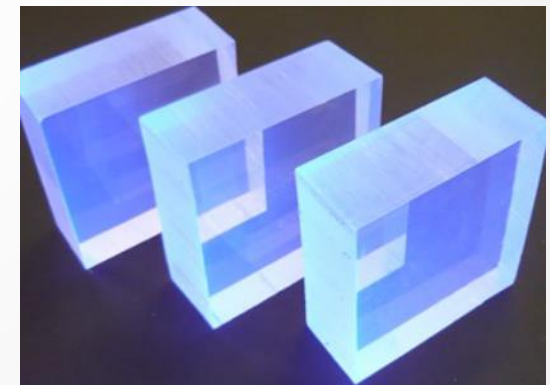
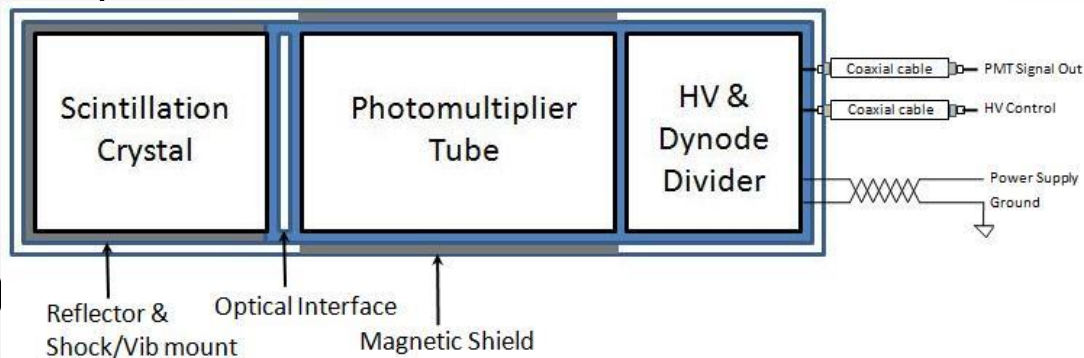
- ❑ Sygnał z detektorów krzemowych zależy od szerokości strefy zubożenia.
- ❑ Średnia strata energii MIP to 3.87 MeV/cm
- ❑ Rozkład Landaua i $\text{MPV} = 0.7 \text{ max}$
- ❑ Dla $300 \mu\text{m}$ sensora, MPV to ok. 23 400 par e/h.
- ❑ Szum w detektorach krzemowych zależy od wielu parametrów: geometrii, napięcia, elektroniki odczytu, temperatury.
- ❑ Rozdzielczość przestrzenna zależy od geometrii detektora i jest rzędu kilkudziesięciu μm .



Scyntylatory



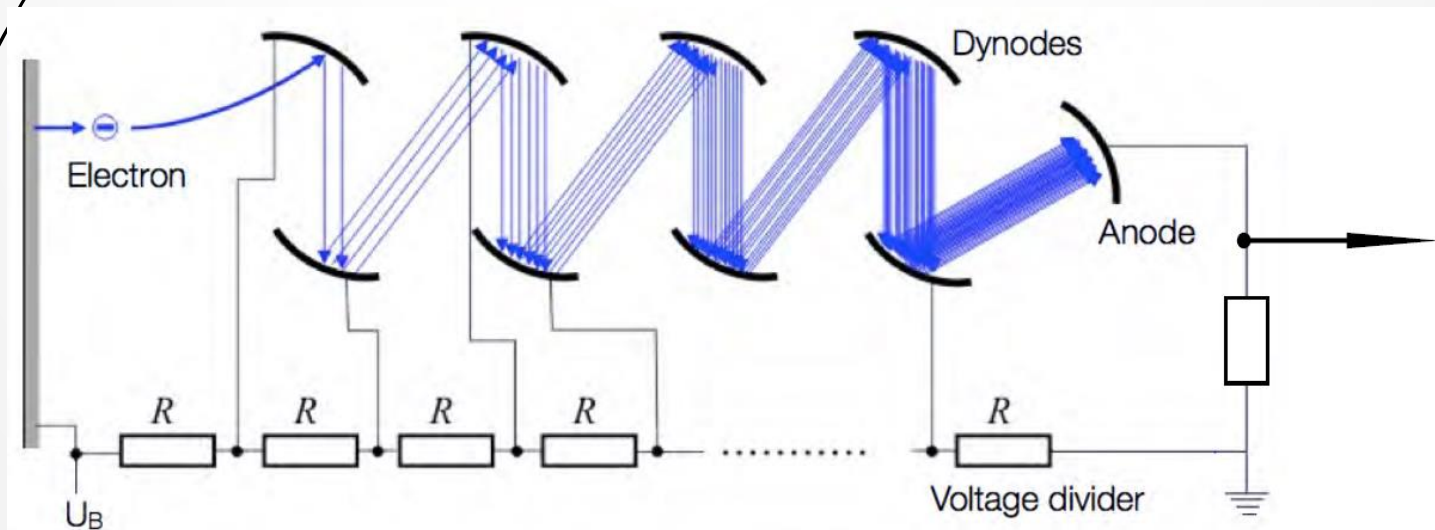
- ❑ Bardzo popularne detektory do detekcji przejścia cząstek naładowanych
 - ❑ Ograniczona czułość dotycząca krotności
 - ❑ Niezwykle użyteczne, gdy **nie potrzebna** jest **dokładna** informacja dotycząca **położenia cząstek**
 - ❑ Również użyteczne w budowaniu układów koincydencyjnych
- ❑ Materiały scyntylacyjne wykazują własności tzw. **luminescencji**, na skutek wzbudzenia przez cząstki naładowane – cząstki scyntylatora pochłaniają energię i emitują fotony przy de-ekscytacji



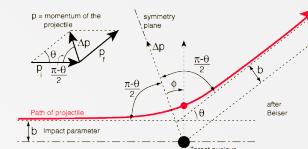
Fotopowielacze



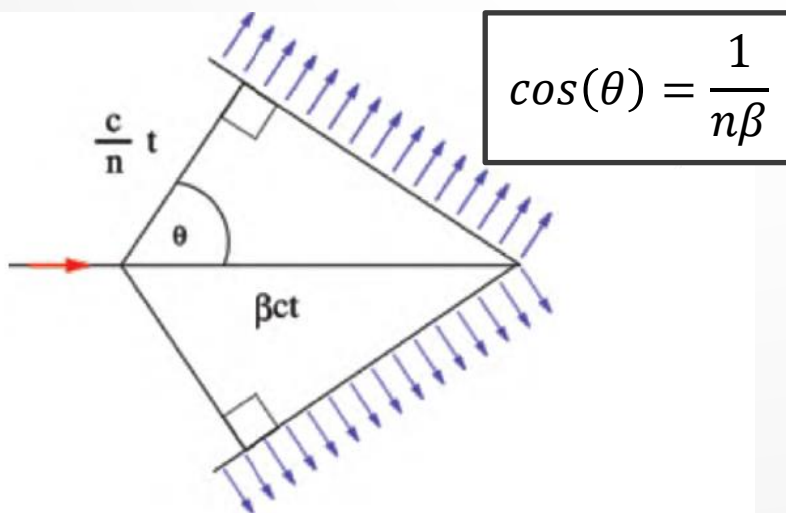
- ❑ Detektory światła
- ❑ Fotony są absorbowane na fotokatodzie, wybity fotoelektron jest następnie przyspieszany i powielany na kolejnych fotodynodach
- ❑ Wzmocnienia ok. 10^6 - 10^8 , a sygnał jest proporcjonalny do liczby pierwotnych fotonów
- ❑ Problem: praca w polu magnetycznym



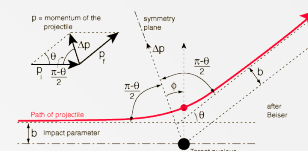
Efekt Czerenkowa



- ❑ Naładowane cząstki mogą powodować polaryzację molekuł materiału o własnościach dielektrycznych, który penetrują
- ❑ Po przejściu molekuly powracają do stanu podstawowego poprzez emisję fotonów
- ❑ Jeżeli prędkość cząstek jest większa niż prędkość światła w tym materiale, $v = c/n$, wówczas może zajść konstruktywna interferencja – czyli obserwujemy promieniowanie Czerenkowa
- ❑ Promieniowanie to jest koherentne i emitowane pod ściśle określonym kątem, θ , w stosunku do toru cząstki



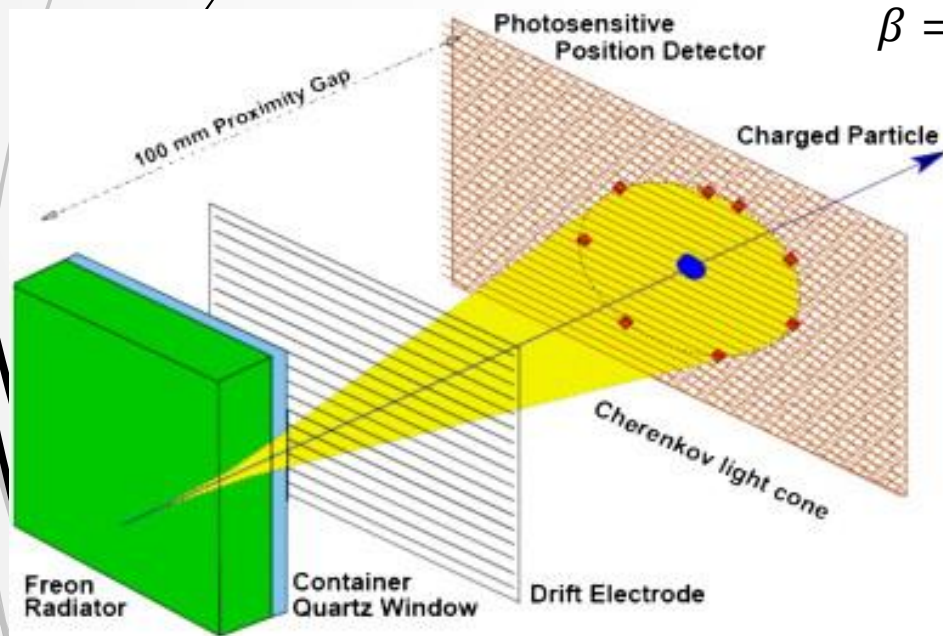
Efekt Czerenkowa



- ❑ Efekt Czerenkowa pozwala wykryć **cząstki relatywistyczne**
 - ❑ Powszechne zastosowanie w **detekcji neutron**
- ❑ Detektory Czerenkowa powszechnie stosuje się do identyfikacji naładowanych hadronów – **efekt progowy**
- ❑ Promieniowanie jest emitowane tylko wtedy gdy prędkość cząstki jest większa niż $\beta > 1/n$, można łatwo pokazać, że:

$$\beta = \frac{pc}{E} = \frac{p}{(p^2 + m^2c^2)^{1/2}}$$

$$mc < (n^2 - 1)^{1/2}p$$

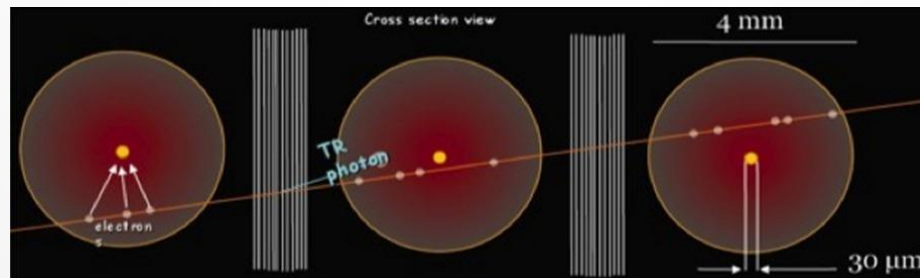


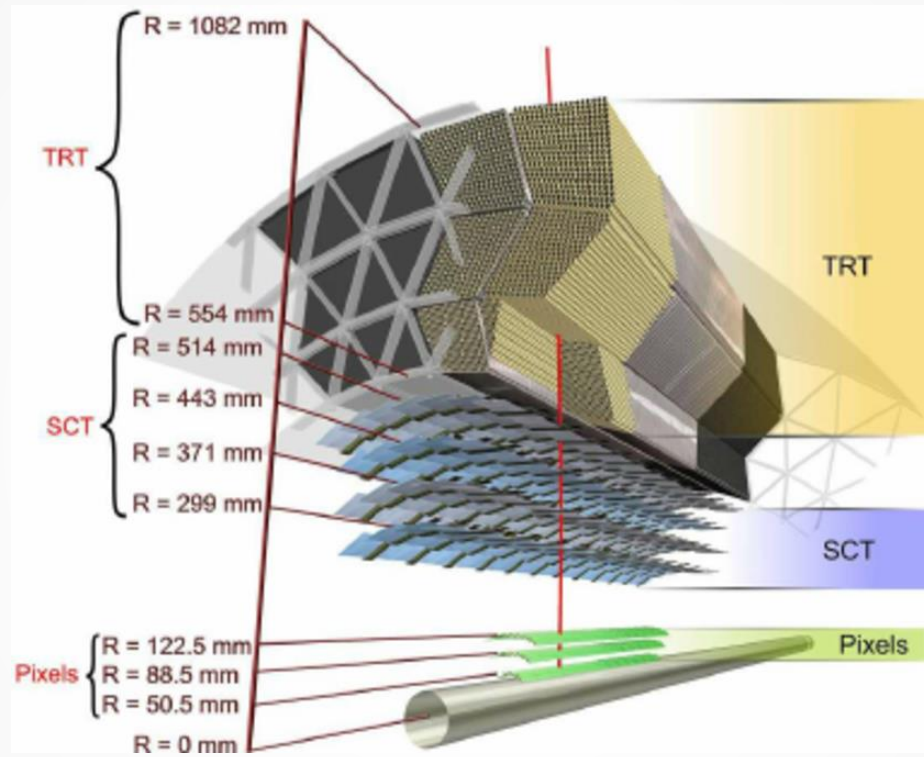
Promieniowanie przejścia

- Promieniowanie emitowane, gdy naładowana cząstka przejdzie przez ośrodki o różnych stałych dielektrycznych
- Cząstka naładowana propagując przez materiał wywołuje jego lokalną polaryzację, t.j. zmienia wokół siebie pole elektromagnetyczne. W innym ośrodku polaryzacja taka ma inne właściwości, stąd jeśli znajdujemy się na granicy ośrodków powstaje nieciągłość pola elektromagnetycznego.
- Okazuje się, że zniwelowanie tej nieciągłości wymaga emisji fotonu.

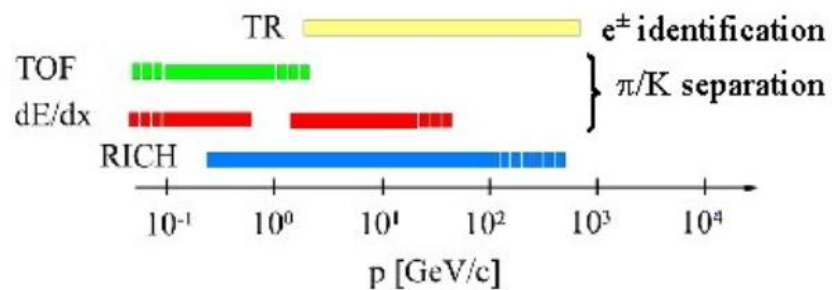
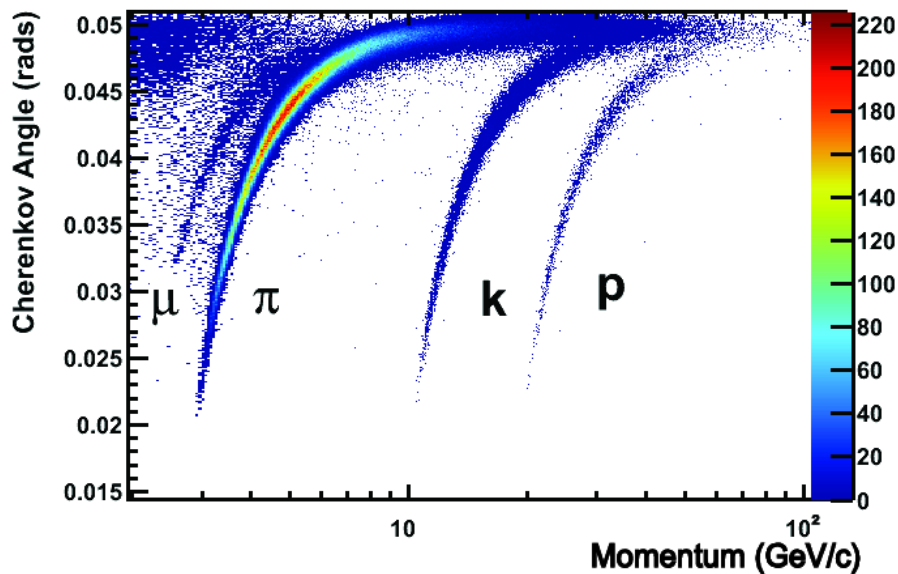
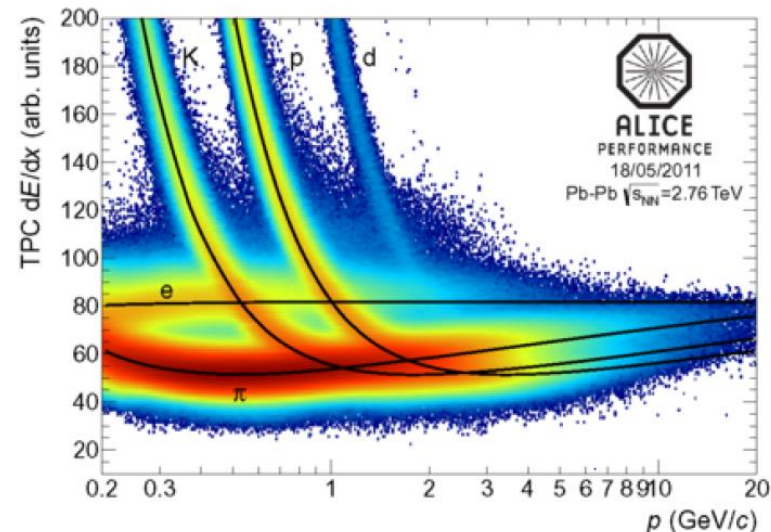
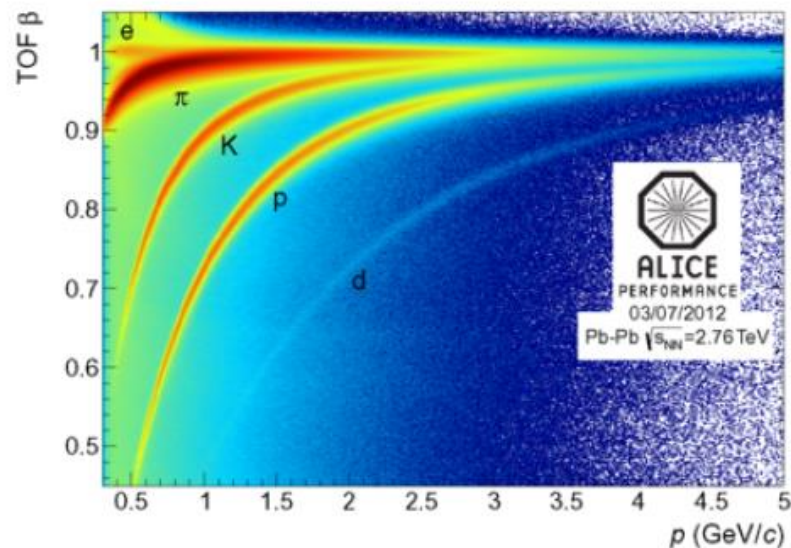
$$I \propto z^2 \gamma$$

- Efekt promieniowania przejścia może być wykorzystany do odrożnienia od siebie dwóch rodzajów cząstek lekkich – np. e/π , π/K .





Identyfikacja naładowanych cząstek



Na koniec....

- Statystyka w generacji sygnału....