

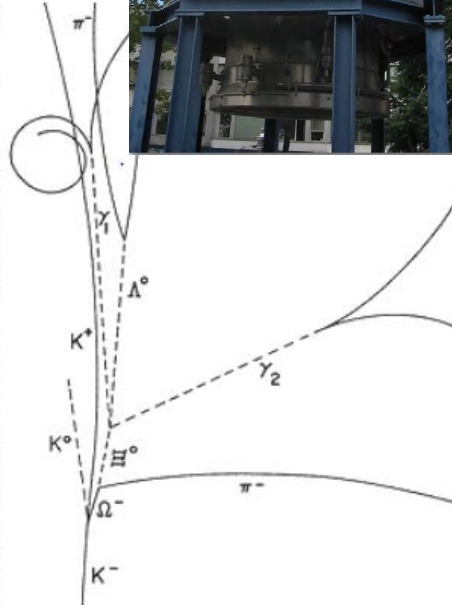
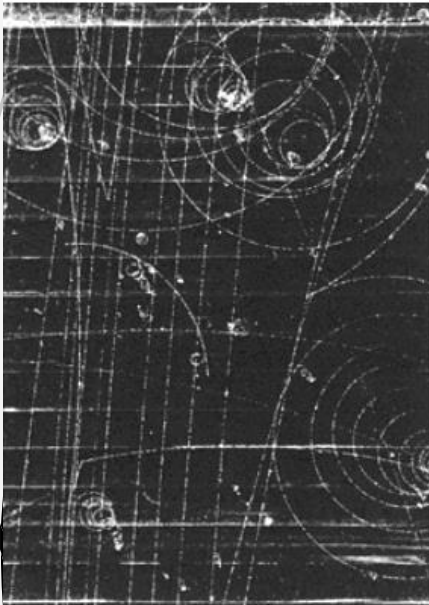
# Oddziaływanie Promieniowania Jonizującego z Materią

**Tomasz Szumlak, Agnieszka Obłąkowska-Mucha**

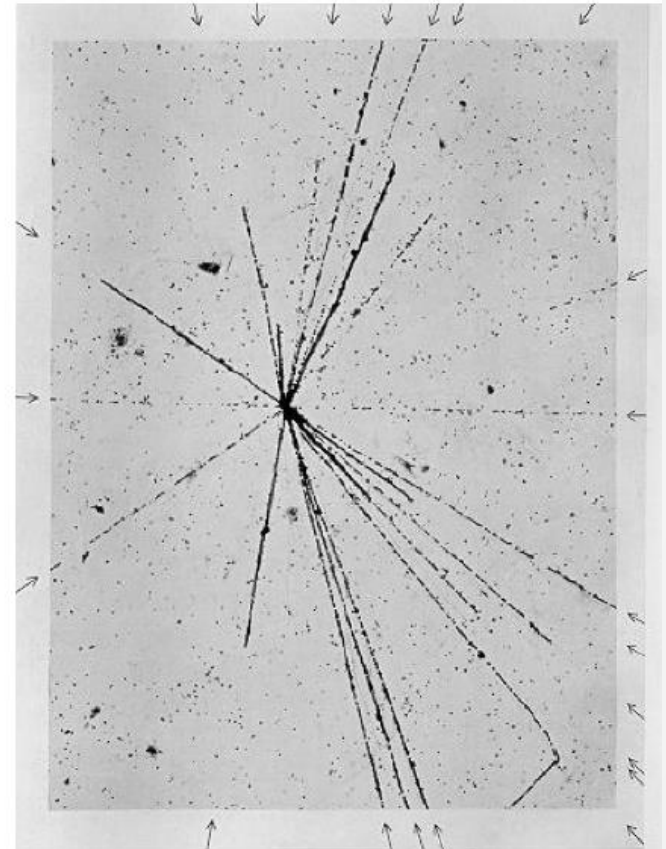
**WFiIS AGH**  
**25.02.2020, Kraków**

# Trochę historii

- Cloud chambers
- Emulsions
- Bubble chambers



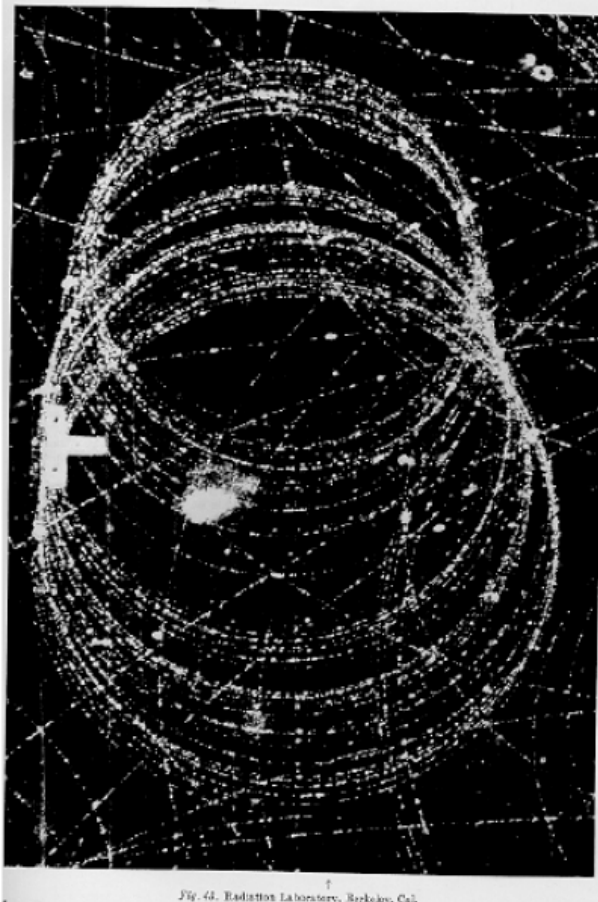
Discovery of the  $\Omega^-$  in 1964



'EXPLOSIVE' DISINTEGRATION OF A NUCLEUS

nuclear disintegrations in 1937

# Historia



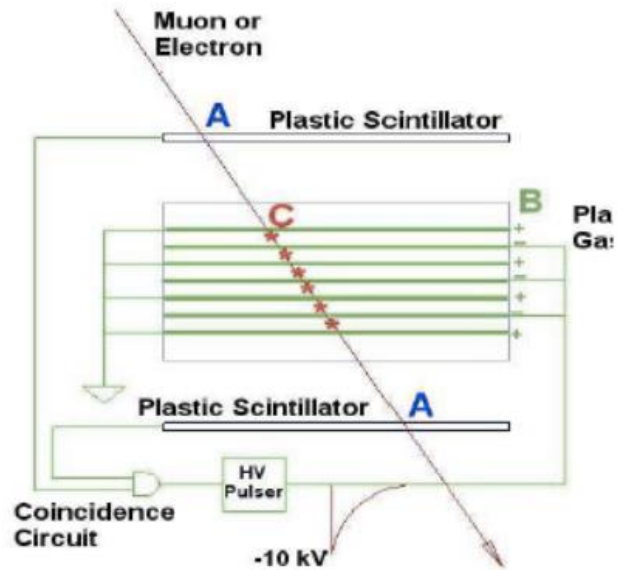
The picture shows an electron with 16.9 MeV initial energy. It spirals about 36 times in the magnetic field.

At the end of the visible track the energy has decreased to 12.4 MeV. From the visible path length (1030 cm) the energy loss by ionization is calculated to be 2.8 MeV.

The observed energy loss (4.5 MeV) must therefore be caused in part by **Bremsstrahlung**.

The curvature indeed shows sudden changes as can most clearly be seen at about the seventeenth circle.

# Ważne odkrycia



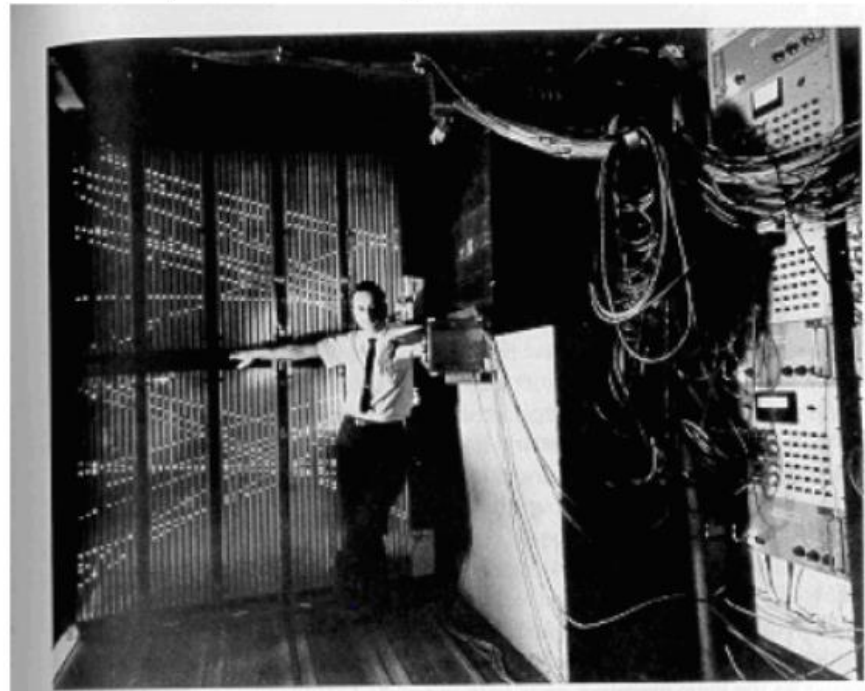
A charged particle traverses the detector and leaves an ionization trail.

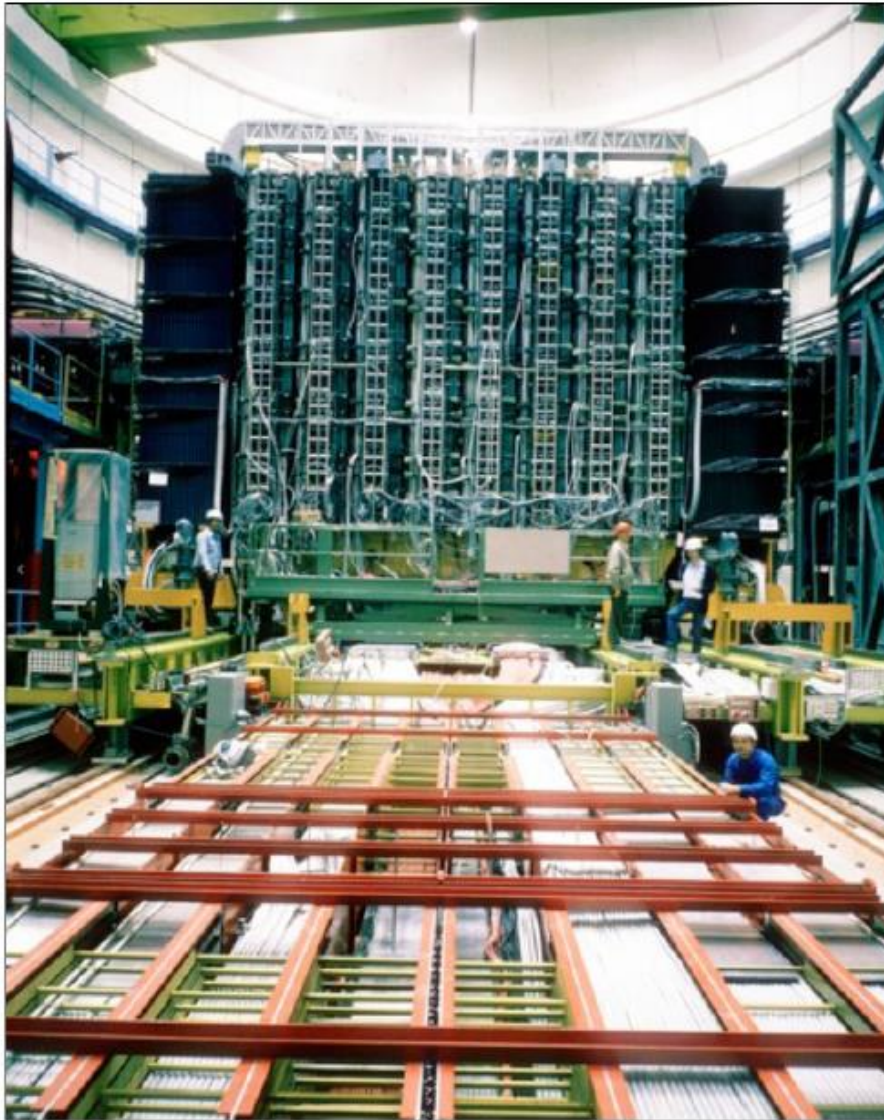
The scintillators trigger an HV pulse between the metal plates and sparks form in the place where the ionization took place.

The Spark Chamber was developed in the early 60ies.

Schwartz, Steinberger and Lederman used it in discovery of the muon neutrino

Pions from AGS (Brookhaven) decay in flight into muon and neutrino  
5,000-ton steel wall stops muons. Neutrinos detected as spark trails due to the impact on aluminum plates in a neon-filled detector.





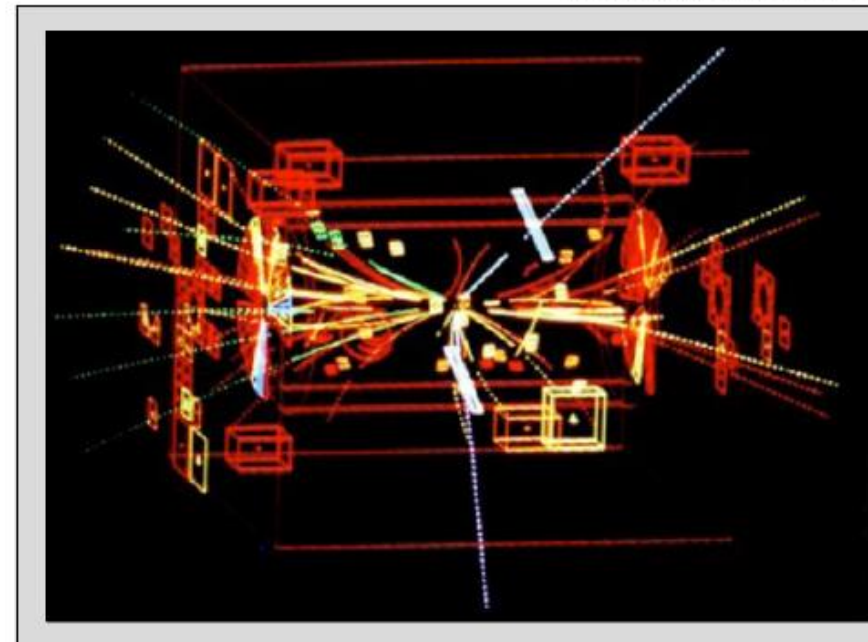
UA1  
Detector

## Discovery of the W/Z boson (1983)

Carlo Rubbia  
Simon Van der Meer

[Nobel prize 1984]

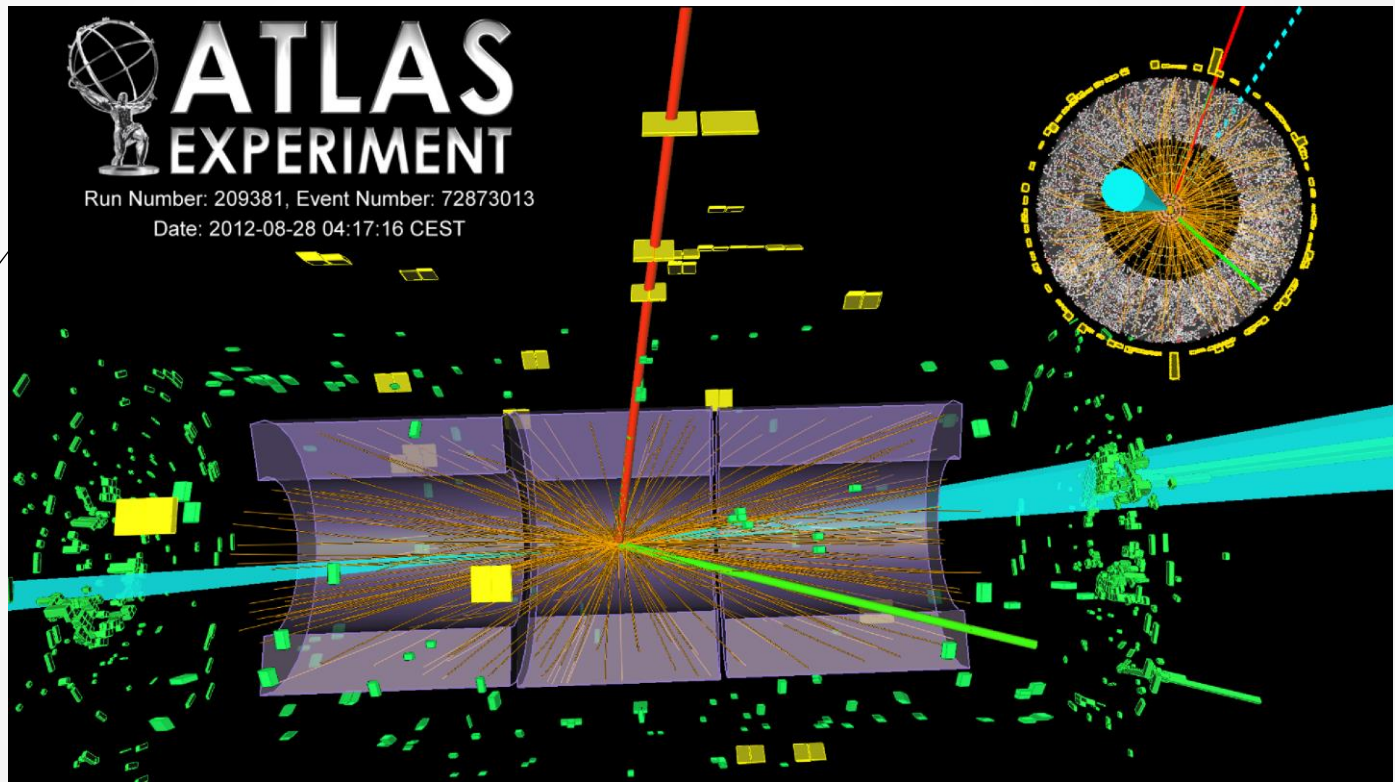
First  $Z^0$  particle seen by UA1



$$Z_0 \rightarrow e^+e^-$$

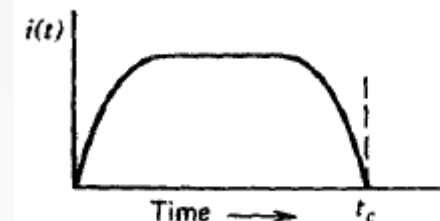
6

# Przypadek z bozonem Higgsa



# 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 duży czas martwy.
- ❑ A na końcu okaże się, że sygnał był tak niewielki, że nie widać go na tle szumu.

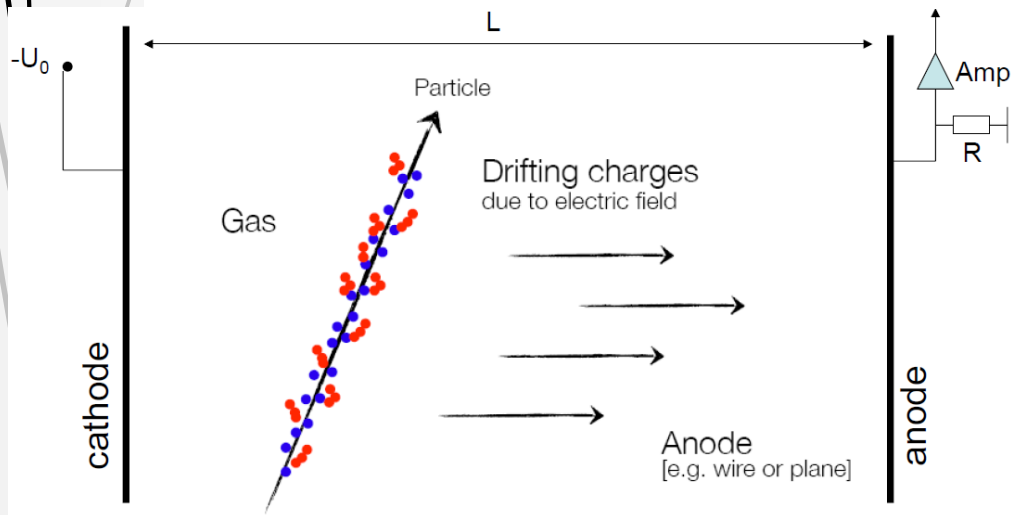


$$\int_0^{t_c} i(t) dt = Q$$

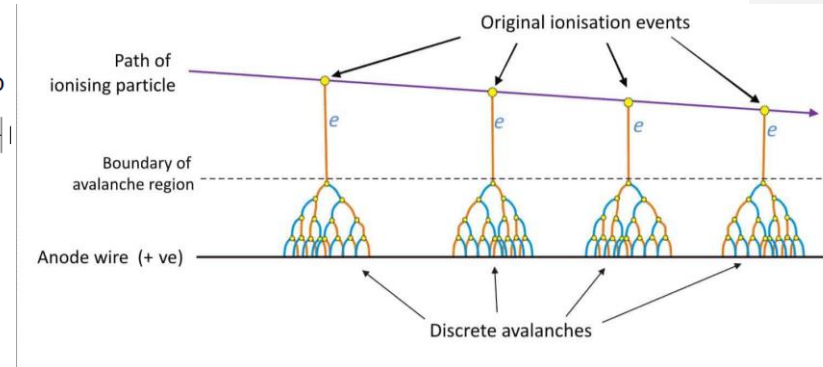
Dzisiaj omówię pokrótce dwa typy detektorów: gazowy i półprzewodnikowy.

# 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.

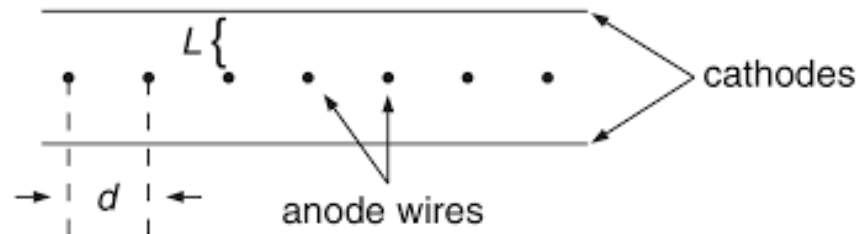


- Primary Ionization
- Secondary Ionization (due to  $\delta$ -electrons)

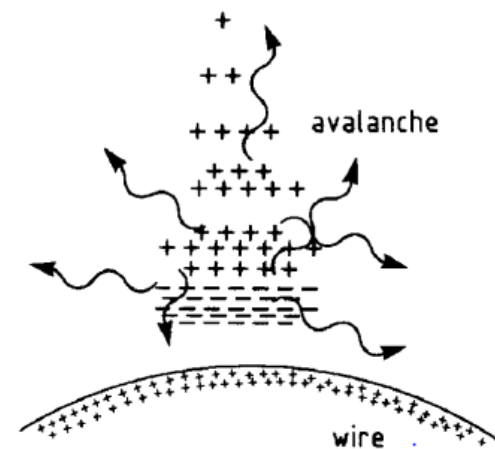




# Sygnal



- ❑ Sygnal 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 sygnal elektryczny. A szybkość (mobilność) jonów jest dwa rzędy wielkości mniejsza niż elektronów i to sygnal od jonów jest znacznie większy.
- ❑ W licznikach proporcjonalnych sygnal jest proporcjonalny do liczby zebranego ładunku



# Wzmocnienia gazowe

## Ionization mode:

full charge collection  
no multiplication; gain  $\approx 1$

## 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:

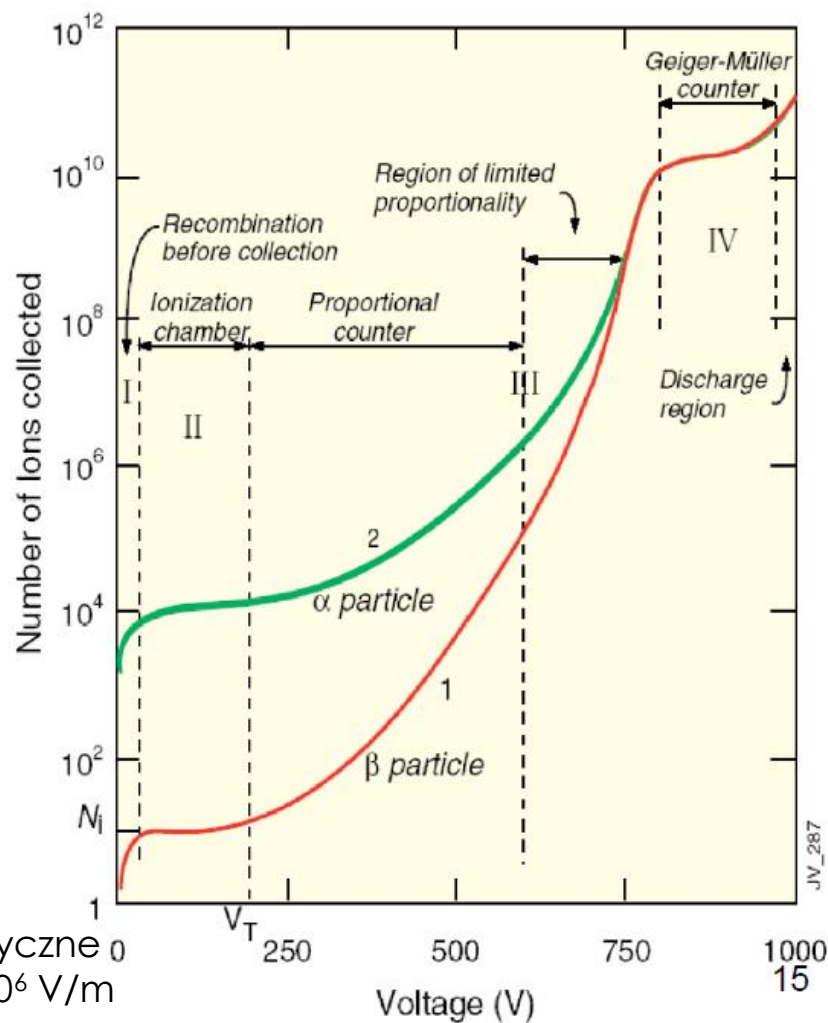
[saturated, streamer]

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

## Geiger mode:

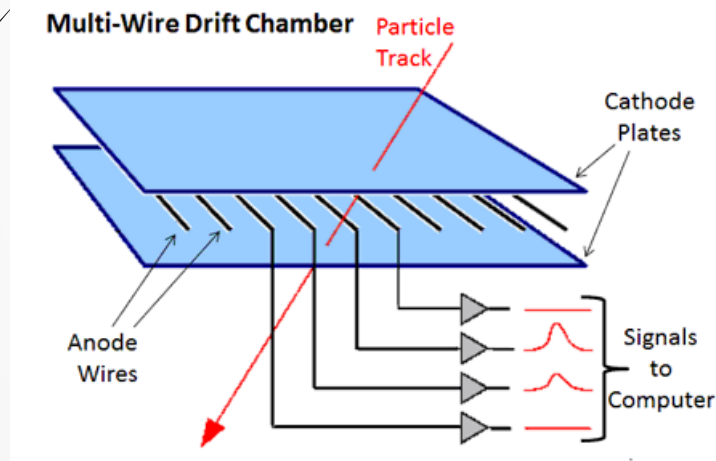
massive photoemission;  
full length of the anode wire affected;  
discharge stopped by HV cut

powielanie jest możliwe, gdy pole elektryczne 0  
przekroczy wartość krytyczną, typowo  $10^6$  V/m

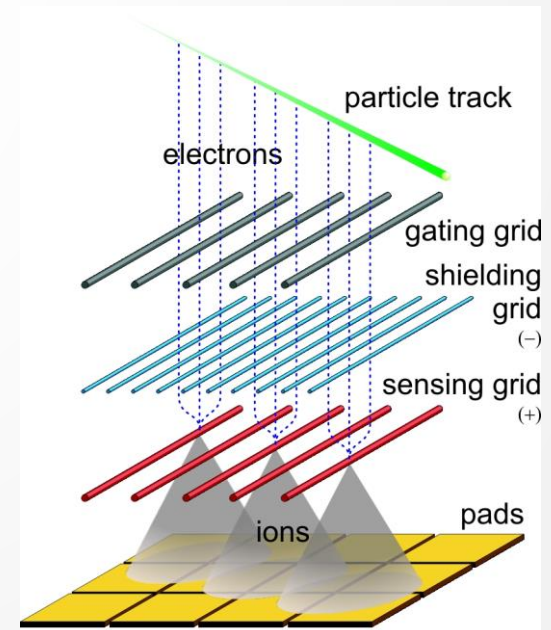
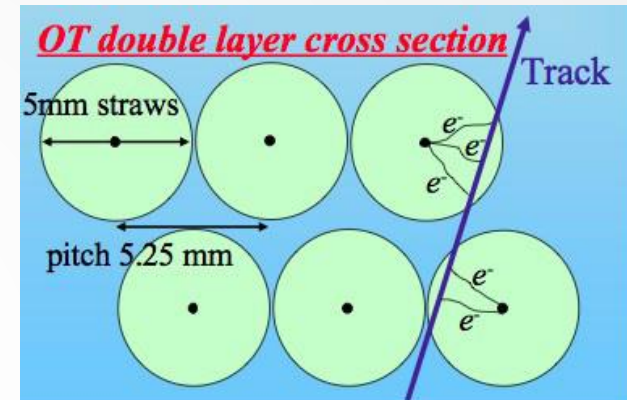


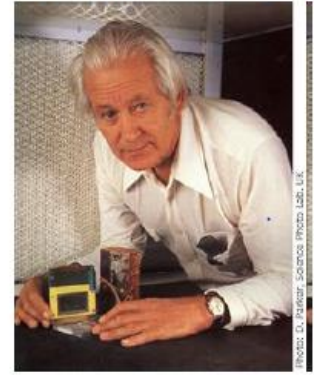
# Detektory słomkowe

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



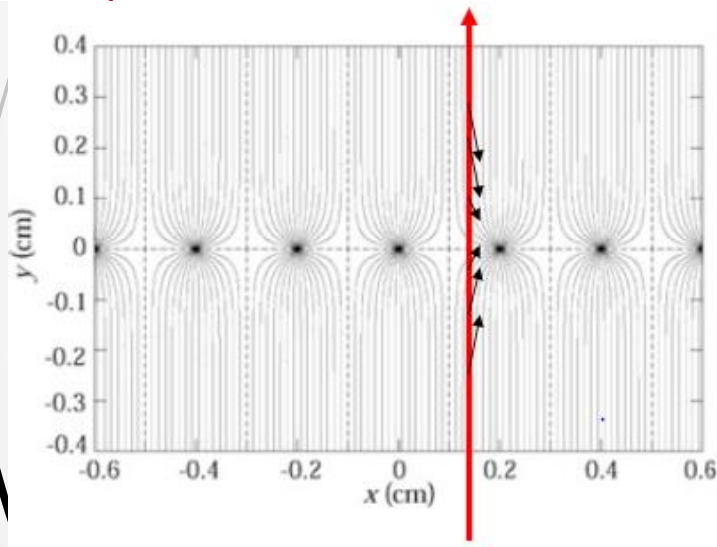
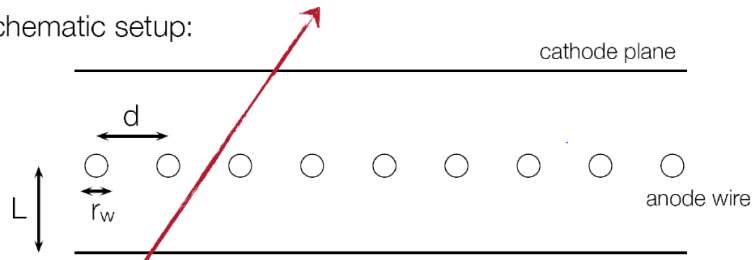
- Lub nawet usunąć i płaszczyzny....



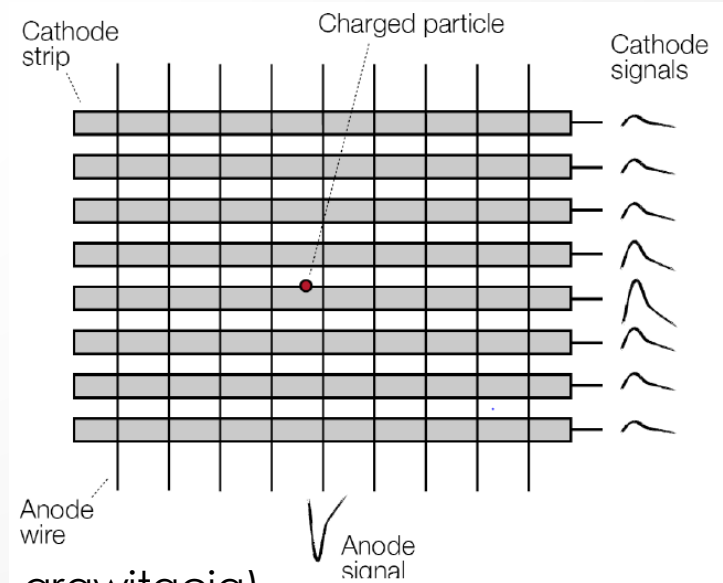


# Komora wielodrutowa (MWPC)

Schematic setup:



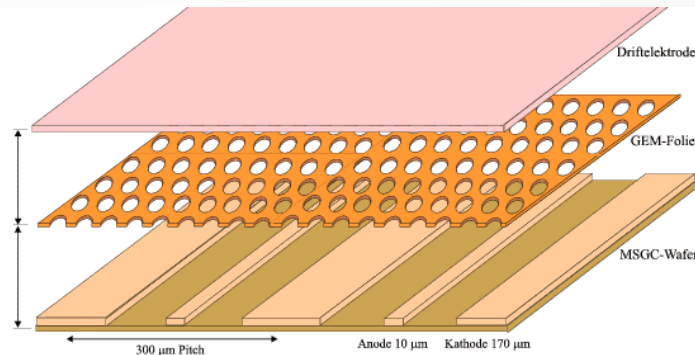
- ❑ Elektrony dryfują do najbliższego drutu.
- ❑ Powielanie jest tylko w pobliżu anody,
- ❑ Sygnał jest generowany przez elektrony, ale głównie pochodzi z **powolnych JONÓW** rozdzielczość czasowa ok. 10 ns,



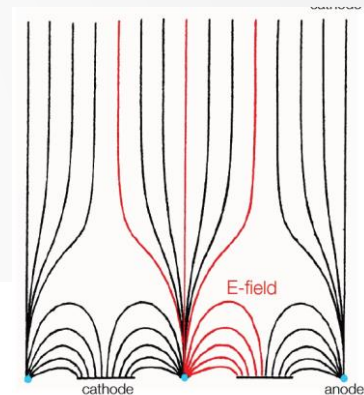
- ❑ Druty stanowią tu ograniczenia (starzenie, grawitacja), konstrukcja droga i mało użyteczna do szybkich sygnałów

# Micro-strip gas chambers (MSGC)

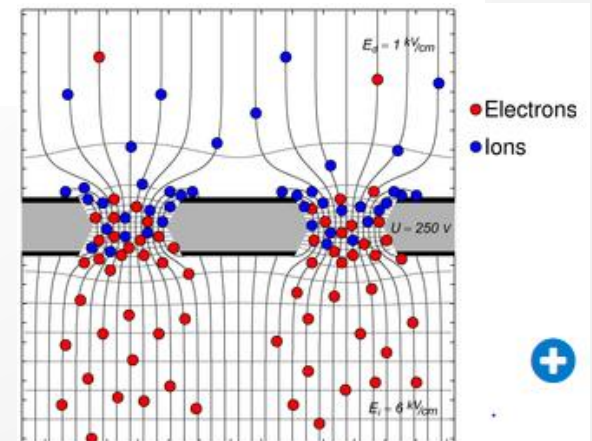
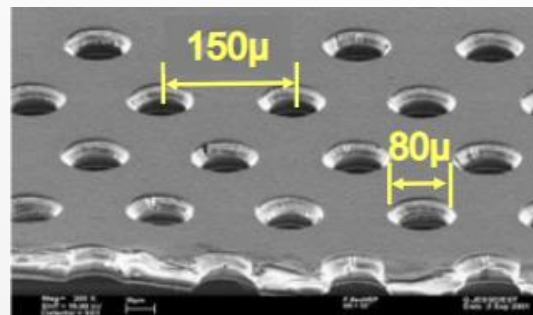
- ❑ Zamiast drutów-mikrostruktury, poprawiają rezolucję przestrzenną
- ❑ Powielanie lawinowe w niewielkim obszarze



- ❑ Problem z niejednorodnością pola

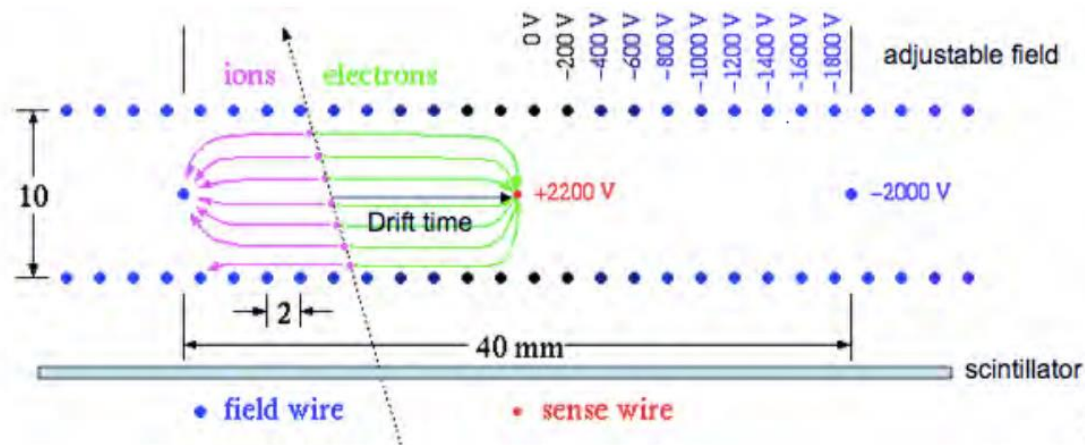


- ❑ GEM (Gas Electron Multiplier):
  - wytrawiane otwory o średnicy 100-200  $\mu\text{m}$  w specjalnej metalizowanej folii.
  - Powielanie lawinowe tylko w pobliżu otworów
  - Dryft elektronów do anody,
  - Sygnał głównie od jonów.

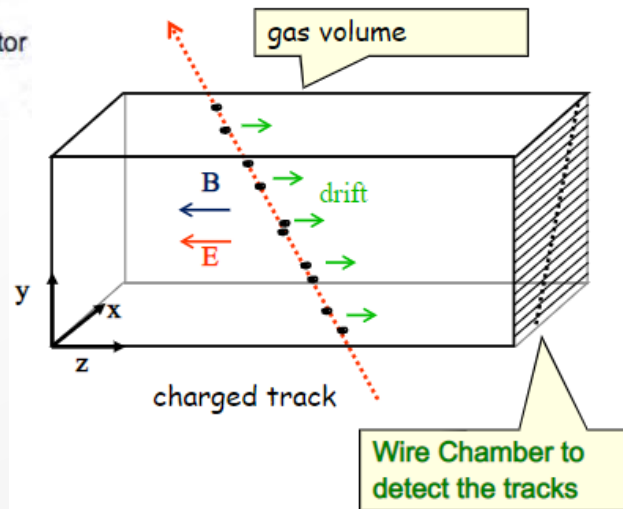


# Komory dryfowe

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

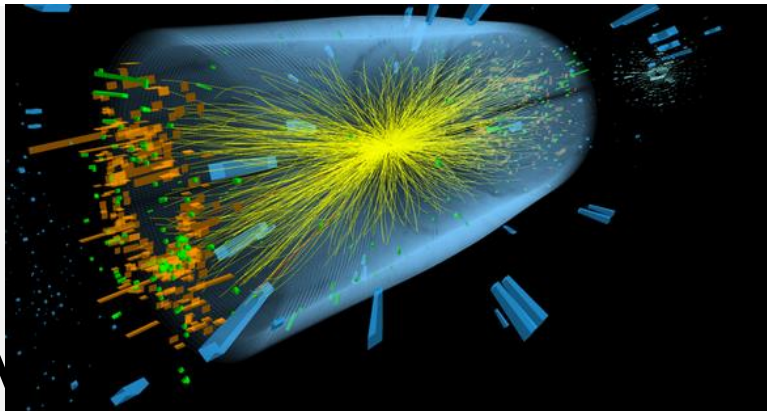
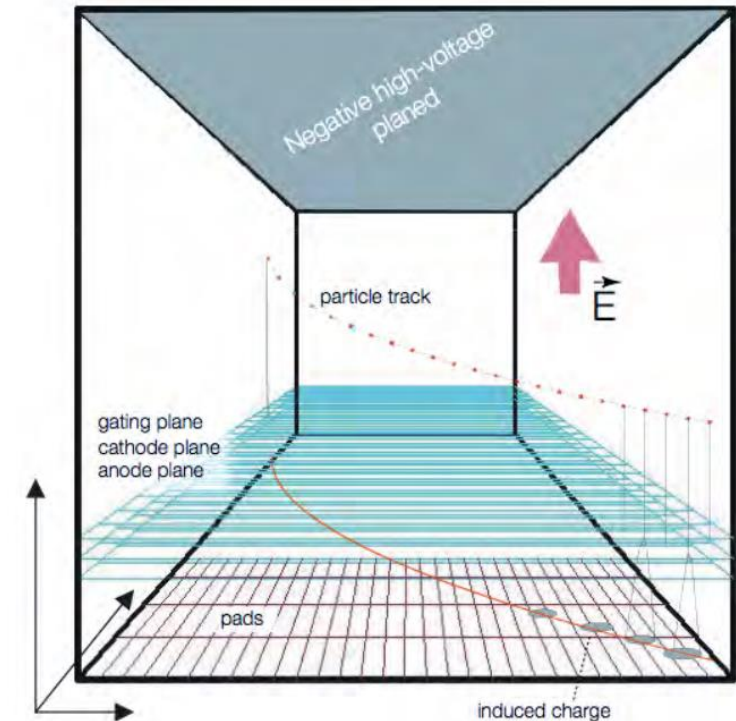
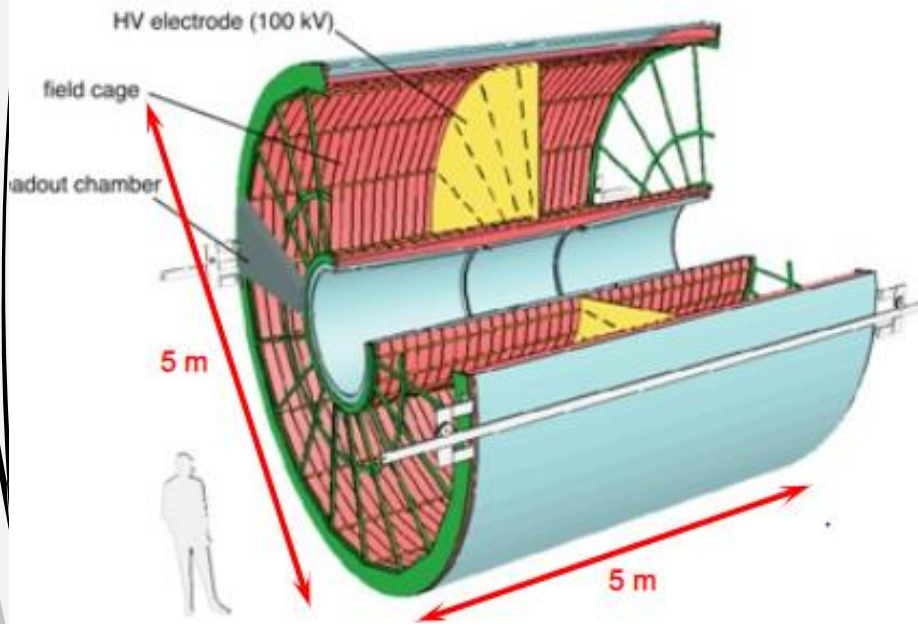


- W komorze dryfowej często jest również pole magnetyczne.



15

# 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 m<sup>2</sup> of silicon, 4088 modules, 6x10<sup>6</sup> channels

Pixels: 1744 modules, 80 x 10<sup>6</sup> channels

## CMS

the world largest silicon tracker  
200 m<sup>2</sup> of strip sensors (single sided)  
11 x 10<sup>6</sup> readout channels

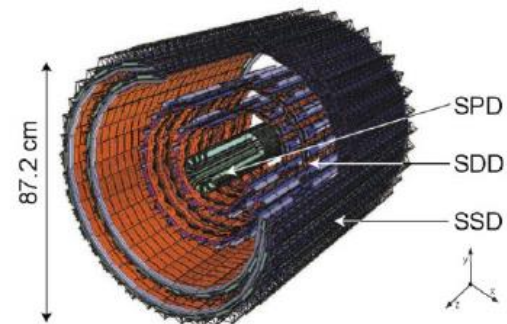
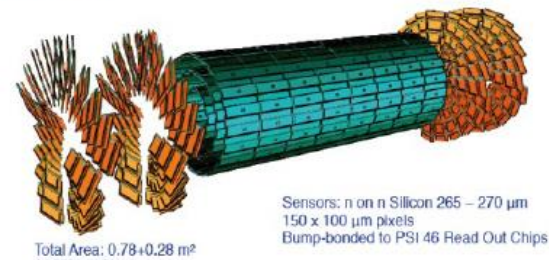
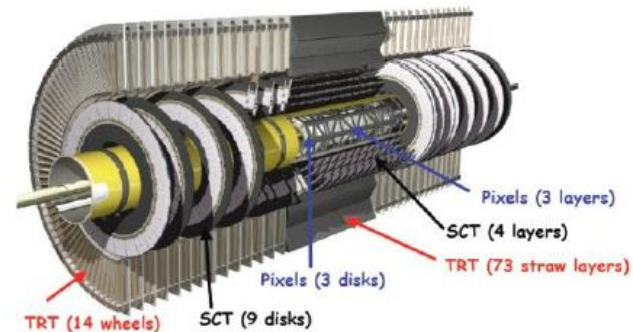
~1m<sup>2</sup> of pixel sensors, 60x10<sup>6</sup> channels

## ALICE

Pixel sensors  
Drift detectors  
Double sided strip detectors

## LHCb

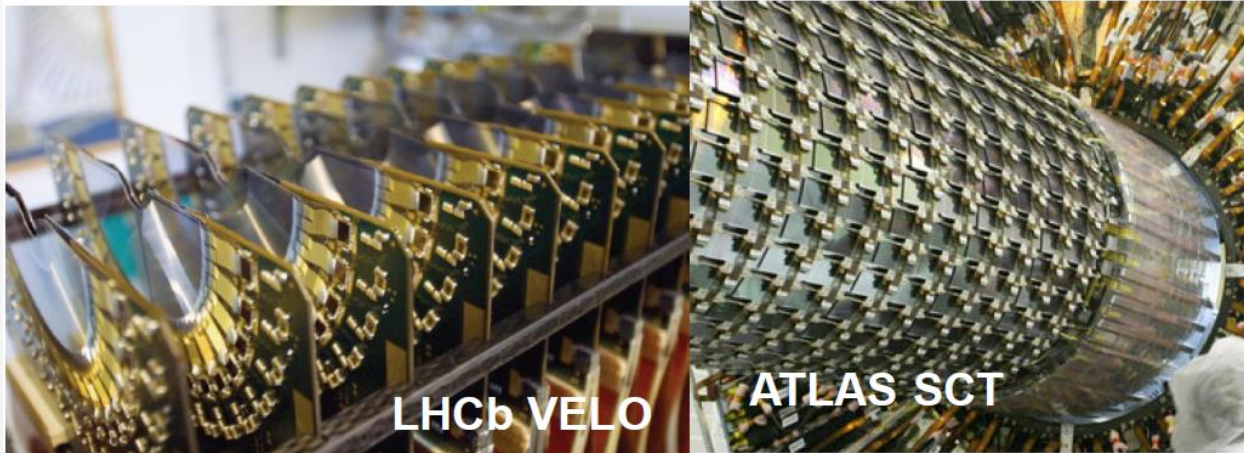
VELO: Si Strips





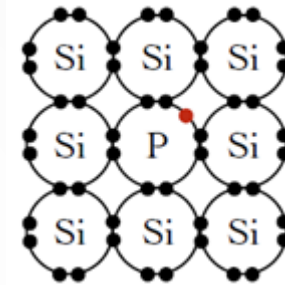
# Detektory półprzewodnikowe

- ❑ 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.

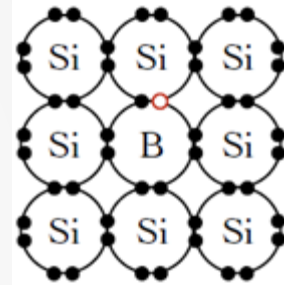


# Detektory krzemowe

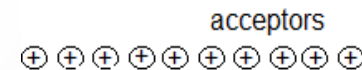
- Silicon belongs to IV group with four valence electrons which form a covariant bonding with the neighbour atoms.
- Si atom substituted from III (B) or V (P) group form an additional energy slightly below the conduction band (**donors, n-type**) and a bit above the valence level (**acceptors, p-type**).
- **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.



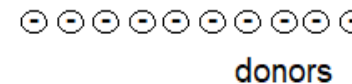
Conduction Band



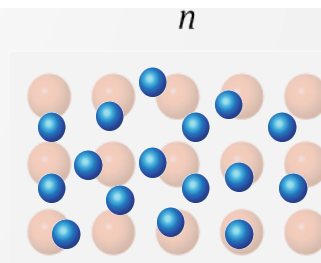
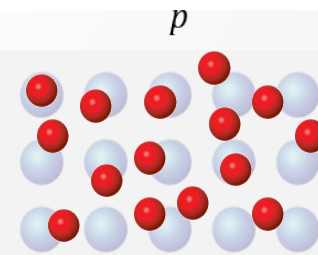
Conduction Band



Valence Band

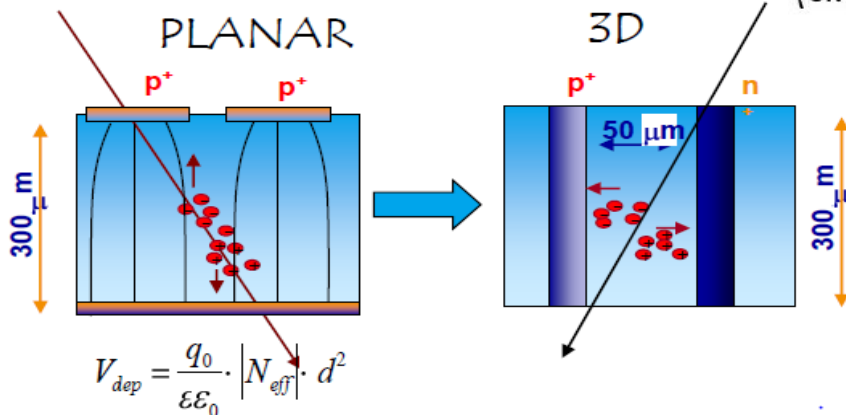
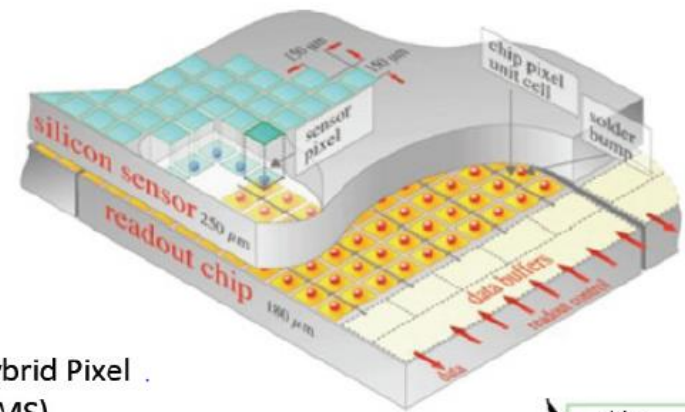
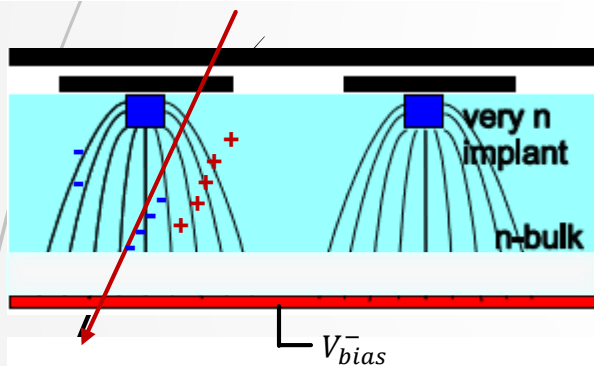
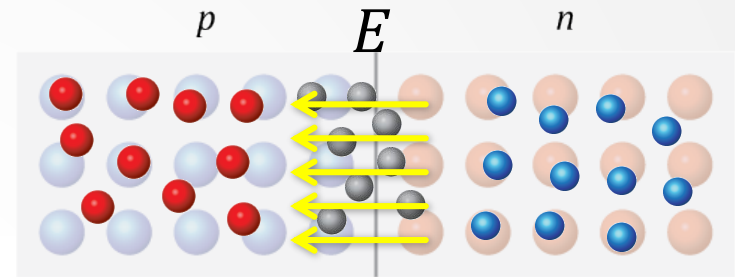


Valence Band

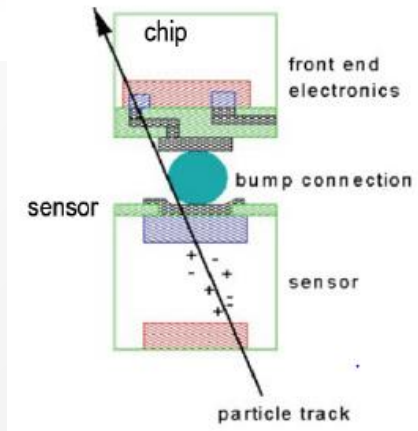


# Detektory krzemowe

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

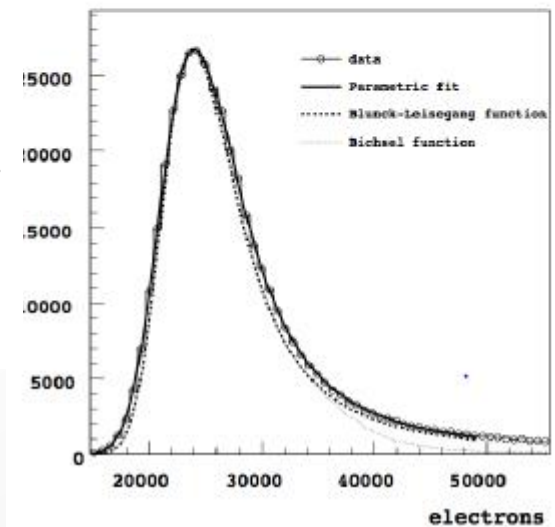
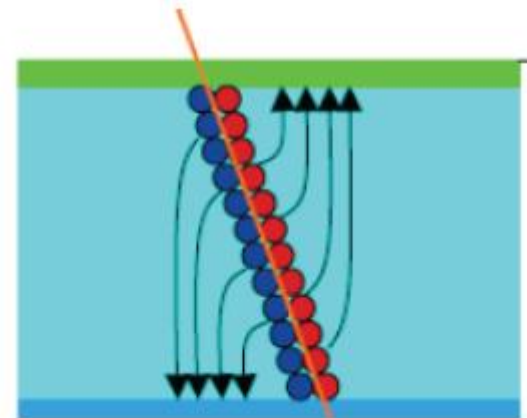


Hybrid Pixel  
(CMS)

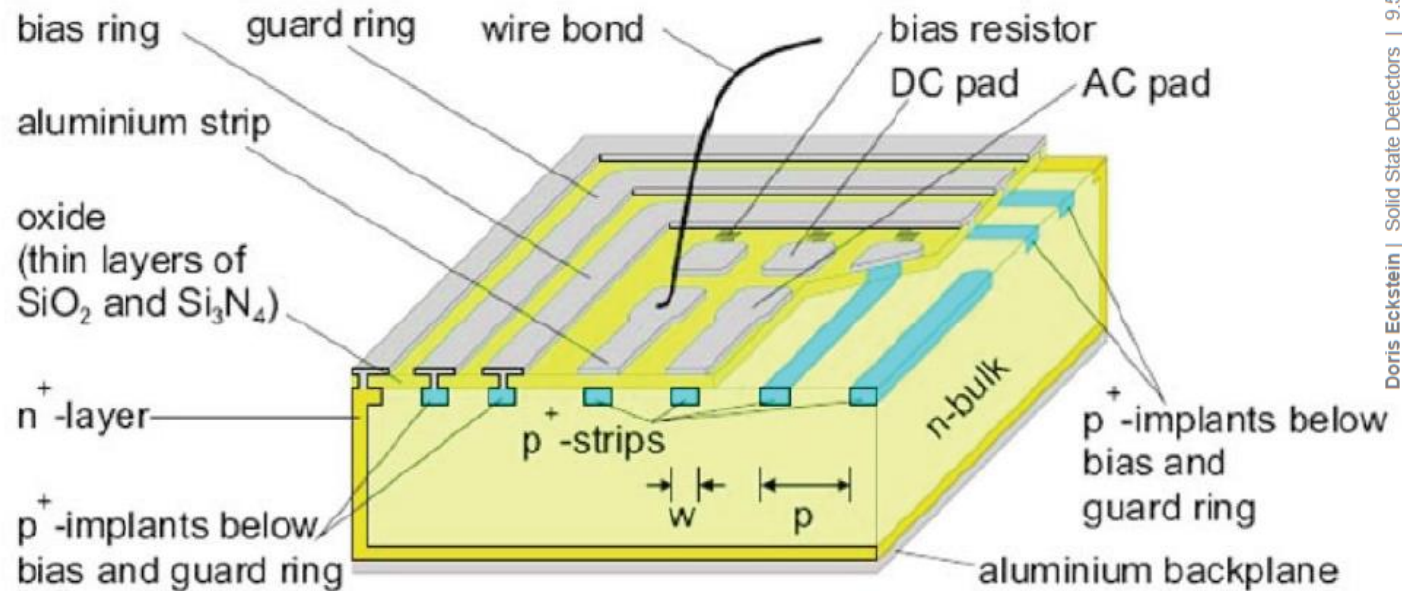


# Detektory krzemowe

- ❑ Sygnał z detektorów krzemowych zależy od szerokości strefy zubożenia.
- ❑ Średnia strata energii MIP to  $3.87 \text{ MeV/cm}$
- ❑ 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  $\mu\text{m}$ .



# Typowy detektor paskowy (AC coupled)



Typical thickness:  $300\mu\text{m}$   
 Typical strip-pitch:  $50\text{-}100\mu\text{m}$

# Na koniec....

- ▶ Statystyka w generacji sygnału....