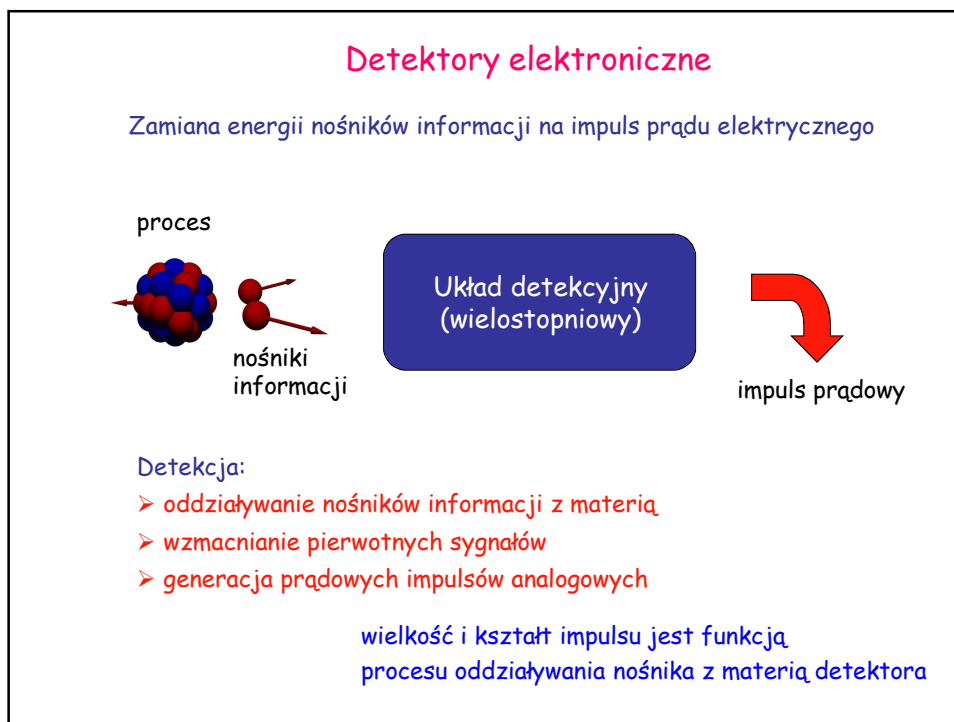
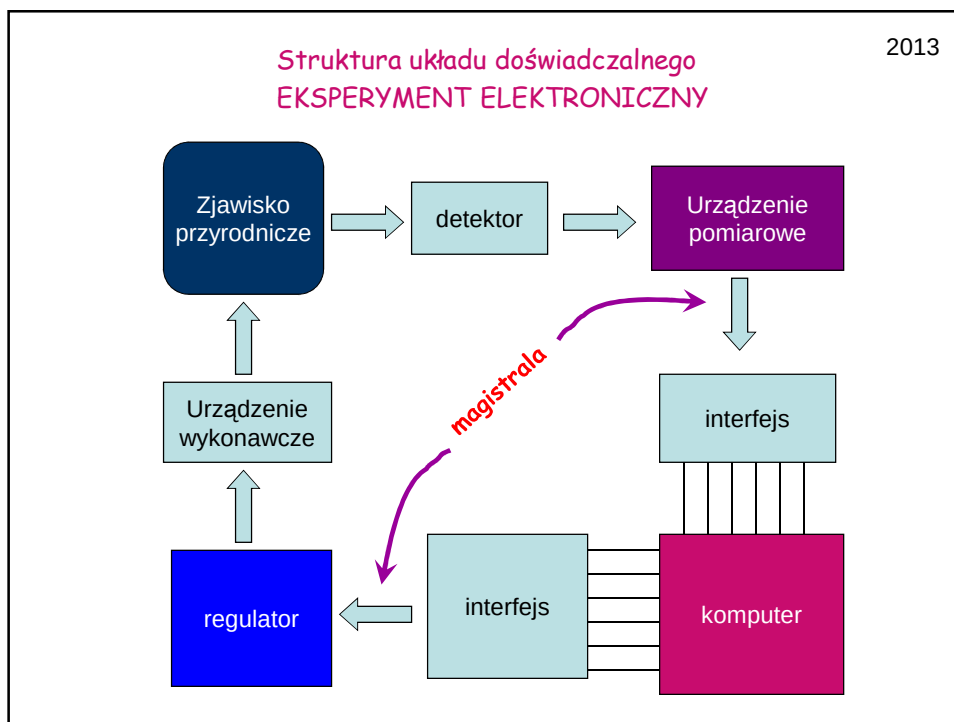




Wczesna historia pomiarów promieniowania

- ❑ Ekrany scyntylacyjne
- ❑ Emulsje fotograficzne
- ❑ Licznik Geigera-Mullera
- ❑ Komora mgłowa Wilsona

NOBEL
1927 - Charles Wilson



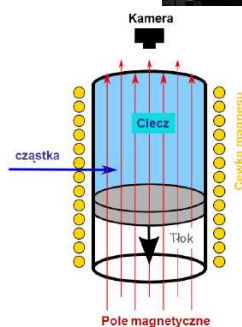
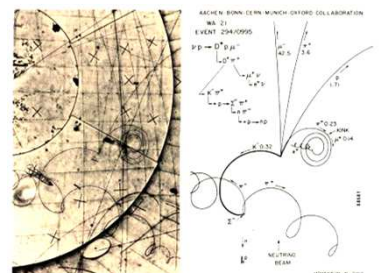
Jonizacja

Historia - niedawna

NOBEL
1960 - Donald Glaser

1959

Komora pęcherzykowa -
Zapis fotograficzny



Precyzyjny pomiar topologii oddziaływań ale ...

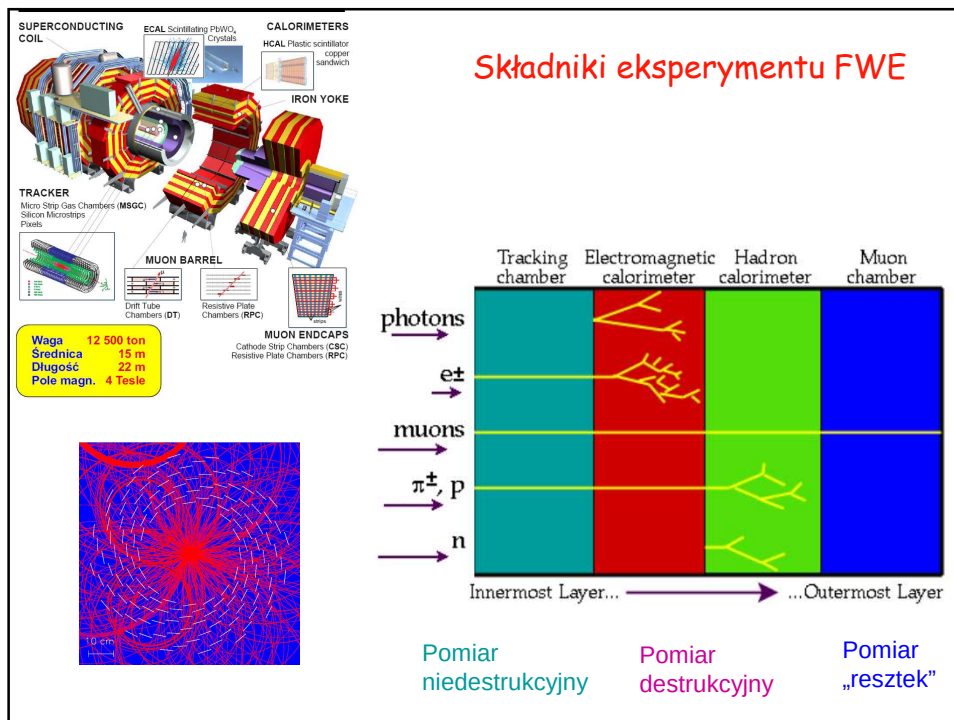
- ❑ Nie znamy chwili zajścia zdarzenia
- ❑ Brak możliwości wyboru przypadków oddziaływań

Co chcemy mierzyć (obecnie) ?

- ☐ Trajektoria lotu cząstki
- ☐ Energia
- ☐ Pęd
- ☐ Identyfikacja – rodzaj cząstki i ładunek elektryczny
- ☐ Chwilę w czasie

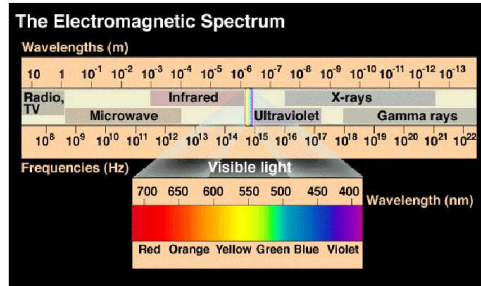
Należy pamiętać, że:

- ☐ Cząstki możemy zobaczyć tylko kiedy oddziałują z materią detektora (stąd neutrino 'prawie' niewidzialne)
- ☐ Oddziaływanie odbywa się zawsze poprzez depozyt energii



Detektory promieniowania

- Detektory fotonów - zakres widmowy w pobliżu pasma widzialnego



$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$$

$$1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E[\text{eV}] = \frac{1.24}{\lambda[\mu\text{m}]}$$

- Detektory promieniowania jonizującego:

- ❑ wysokoenergetyczne fotony
- ❑ stabilne cząstki naładowane

Fizyka oddziaływań
promieniowania z materią
fundamentem technik detekcji

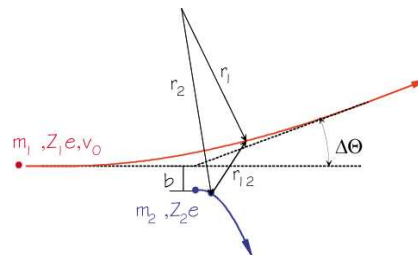
Detektory elektroniczne:

- scyntylacyjne
- jonizacyjne
 - gazowe
 - półprzewodnikowe

Pomiar śladu

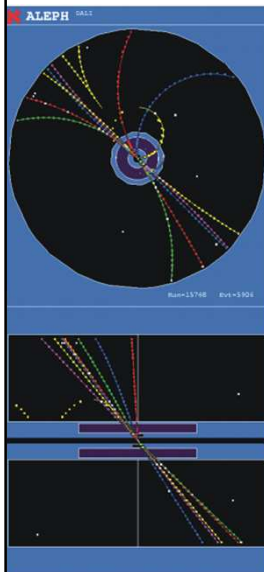
Jonizacja: dE/dx - straty energii

Rozproszenie nierelatywistyczne – 'rutherfordowskie



Formuła Bethe-Bloch

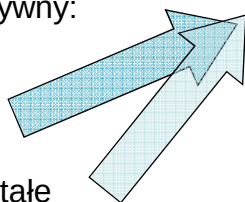
$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi n z^2}{m_e v^2} \cdot \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \cdot \left[\ln \left(\frac{2m_e v^2}{I} \right) \right]$$



Detektory jonizacyjne

Ośrodek aktywny:

- Gaz
- Ciało stałe (półprzewodnik)



Multi Wire Proportional Chambers MWPC

Time Projection Chambers

Time Expansion Chambers

Materiały:

Krzem,
German,
Węgiel (diament),
Arsenek Galu

Technologia:

Paskowe
Mozaikowe
Dryfowe

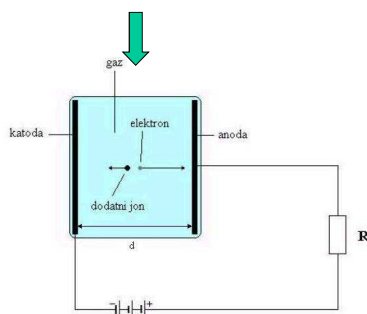
Micro Strip Gas Chambers

GEM - Gas Electron Multiplier

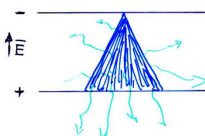
Micromegas – Micromesh Gaseous Structure

Detektory gazowe

Argon, Hel, Neon, Krypton, Ksenon + domieszki



Kemery
lawinowe



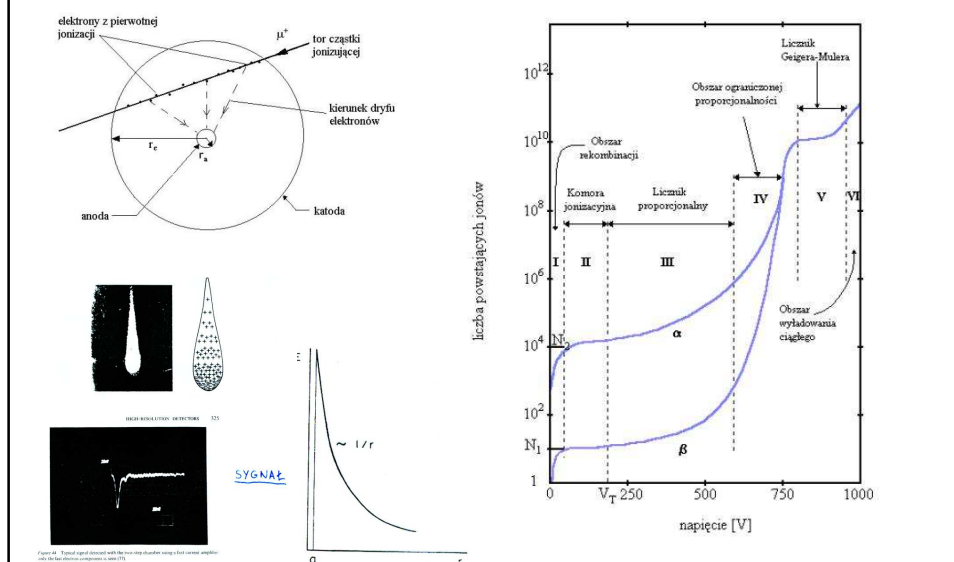
$e^- dx$

Emisja fotonów stowarzyszona
z procesem lawinowego
powielania elektronów

Detektory gazowe

➤ liczniki proporcjonalne

➔ wielodrutowe komory proporcjonalne i dryfowe



MultiWire Proportional Chamber (Charpak 1968)

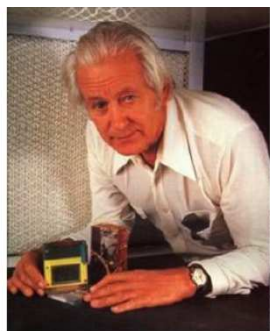
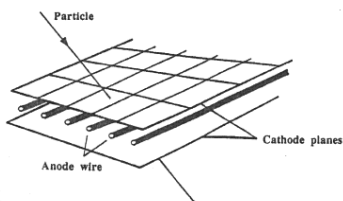
NUCLEAR INSTRUMENTS AND METHODS 62 (1968) 262-268; © NORTH-HOLLAND PUBLISHING CO.

THE USE OF MULTIWIRE PROPORTIONAL COUNTERS TO SELECT AND LOCALIZE CHARGED PARTICLES

G. CHARPAK, R. BOUCLIER, T. BRESSANI, J. FAVIER and C. ZUPANČIĆ

CERN, Geneva, Switzerland

Received 27 February 1968



Georges Charpak
Nobel Prize in Physics 1992

Properties of chambers made of planes of independent wires placed between two plane electrodes have been investigated. A direct voltage is applied to the wires. It has been checked that each wire works as an independent proportional counter down to separations of 0.1 cm between wires.

Counting rates of 10^6 /wire are easily reached; time resolutions

of the order of 100 nsec have been obtained in some gases; it is possible to measure the position of the tracks between the wires using the time delay of the pulses; energy resolution comparable to the one obtained with the best cylindrical chambers is observed; the chambers operate in strong magnetic fields.

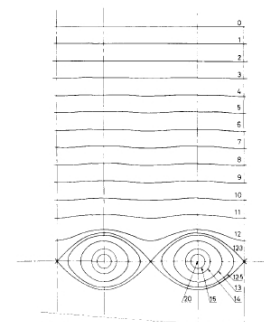
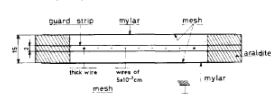
1. Introduction

Proportional counters with electrodes consisting of many parallel wires connected in parallel have been used for some years, for special applications. We have investigated the properties of chambers made up of a plane of independent wires placed between two plane electrodes. Our observations show that such chambers offer properties that can make them more advantageous than wire chambers or scintillation hodoscopes for many applications.

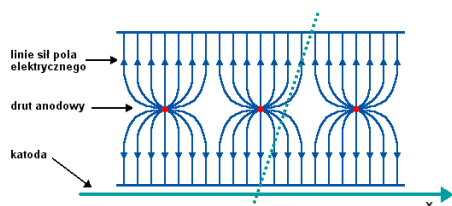
2. Construction

Wires of stainless steel, 4×10^{-3} cm in diameter, are stretched between two planes of stainless-steel mesh, made from wires of 5×10^{-3} cm diameter, 5×10^{-2} cm apart. The distance between the mesh and the wires is 0.75 cm. We studied the properties of chambers with wire separation $a = 0.1, 0.2, 0.3$ and 1.0 cm. A strip of metal placed at 0.1 cm from the wires, at the same potential (fig. 1), plays the same role as the guard rings

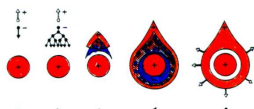
in cylindrical proportional chambers. It protects the wires against breakdown along the dielectrics. It is



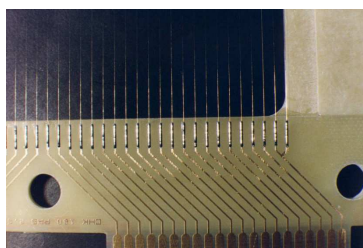
Wielodrutowe komory proporcjonalne (Georges Charpak, 1968)



RYŚ. 2.3.3 - STRUKTURA POLA ELEKTRYCZNEGO WIELODRUTOWEGO LICZNIKA PROPORCJONALNEGO



Simplified representation of the avalanche process around thin wires.



Poszczególne anody
niezależnymi detektorami



Pomiar pozycji trafienia cząstki

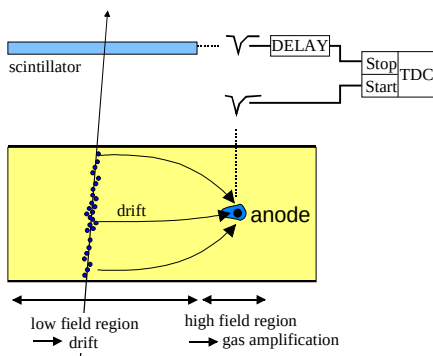
Lawinowe powielanie elektronów

Wzmocnienie gazowe do 10^7

Gazowe detektory dryfowe

Czas dryfu ładunku jonizacyjnego zależy od:

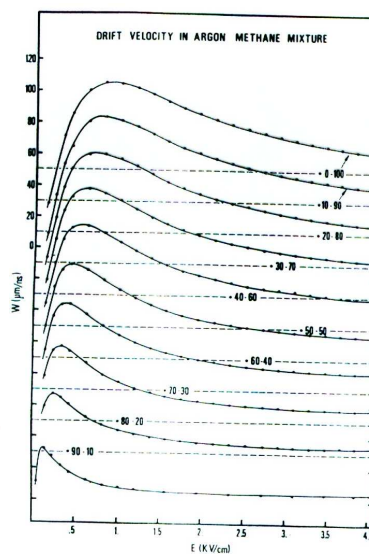
- składu ośrodka
- natężenia pola elektrycznego



Pomiar czasu przepływu ładunku jonizacyjnego



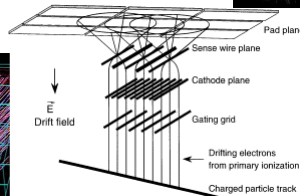
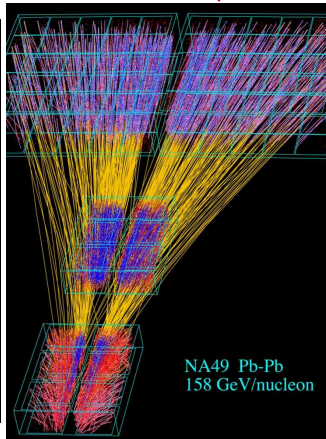
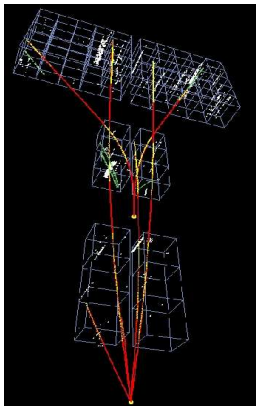
Pomiar pozycji trafienia cząstki



Detektory śladowe - Time projection Chamber (TPC)

SHINE
NA61

TPC - trajektorie cząstek naładowanych

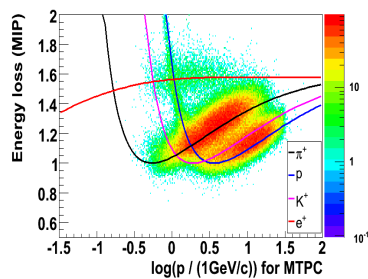


- ❑ 4 moduły TPC
- ❑ Całkowita objętość obszaru aktywnego: 45 m³
- ❑ 180 000 czujników - pikseli
- ❑ 62 moduły komór wielodrutowych
- ❑ Pole magnetyczne 1.5 Tesla
- ❑ Mieszanka gazowa: Ar + CO₂

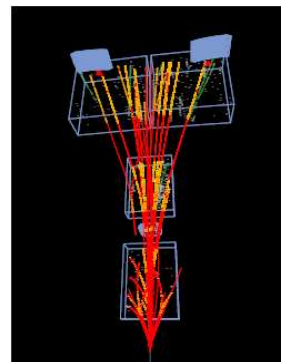
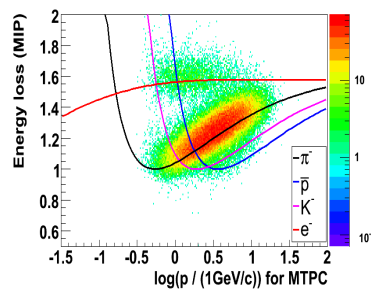
Identyfikacja cząstek przez pomiar dE/dx

NA61 2007 pC data

Positive tracks

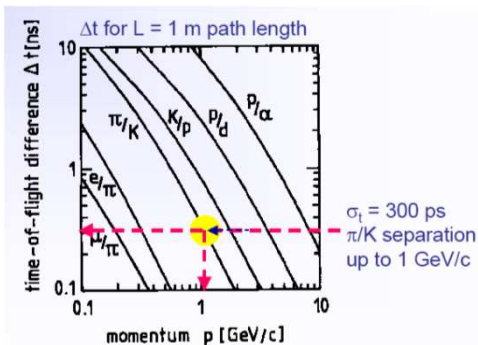
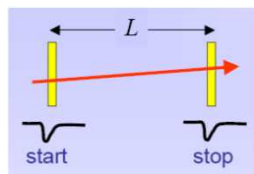


Negative tracks

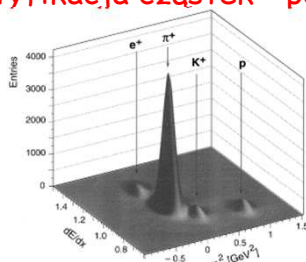


Identyfikacja cząstek przez pomiar czasu przelotu TOF

TOF – pomiar pędu konieczny



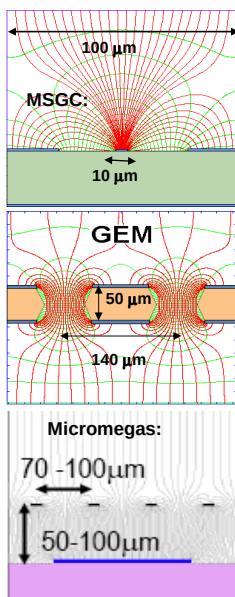
Identyfikacja cząstek - połączony pomiar dE/dx i TOF



NA49

Zderzenia Pb+Pb
 Przedział pędu 5–6 GeV/c

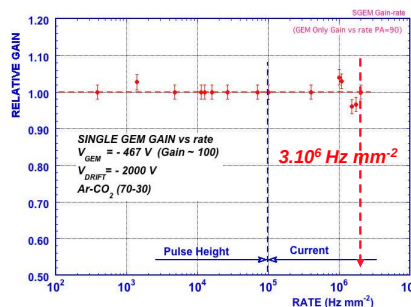
Nowe techniki w detektorach gazowych



Micro-Pattern Gas Detectors (GEM, Micromegas)

- Zdolność rejestracji silnych strumieni promieniowania
- Odczyt do Time Projection Chamber

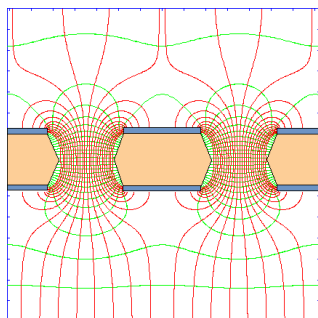
Odczyt pikselowy Micro-Pattern Gas Detectors



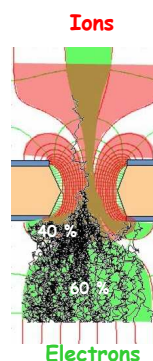
Gas Electron Multiplier (GEM) Detector

(Fabio Sauli 1995)

- ❑ Gęsta siatka otworów (sitko) w cienkiej folii plastikowej o zewnętrznych powierzchniach pokrytych miedzią
- ❑ Przyłożenie różnych potencjałów do obu stron folii powoduje powstanie dipolowego pola elektrycznego w otworkach



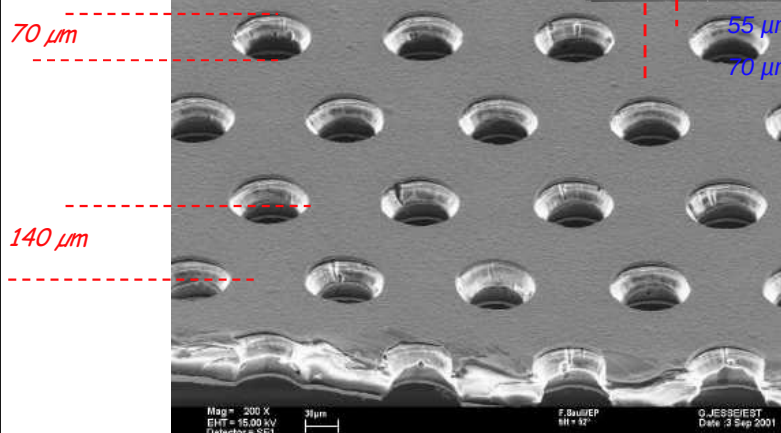
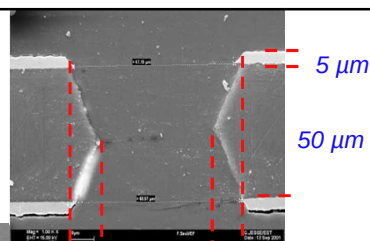
F. Sauli, Nucl. Instrum. Methods A386(1997)531

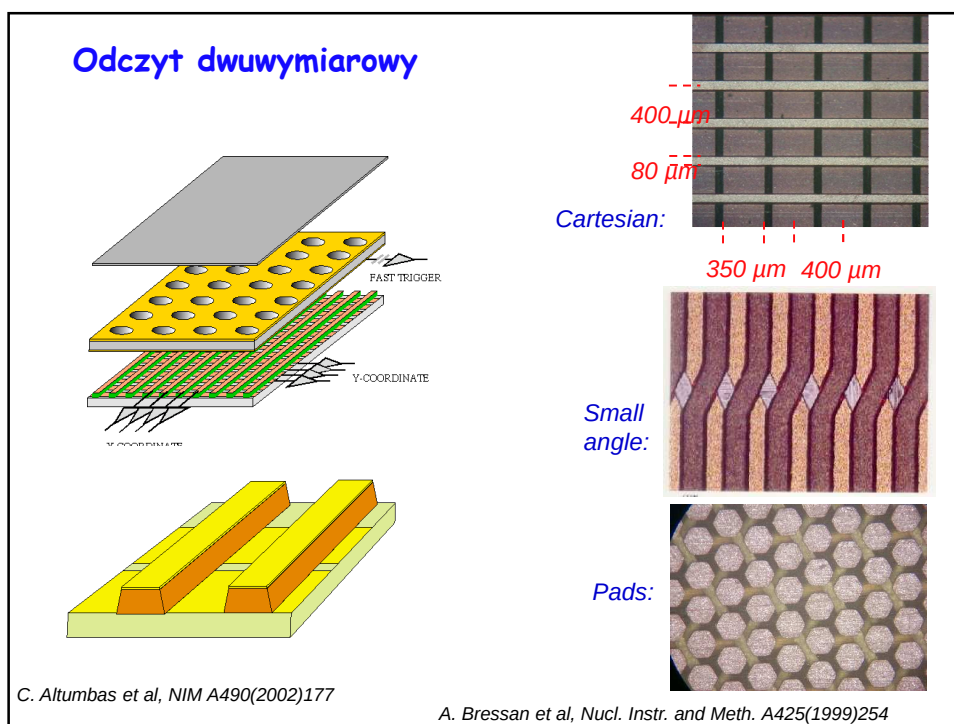
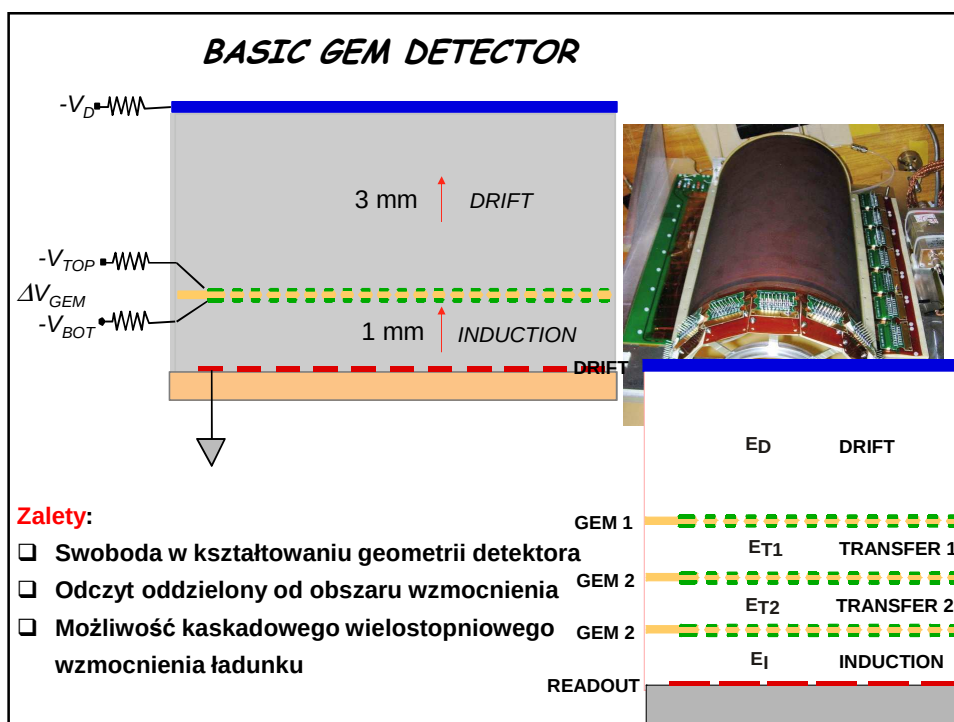


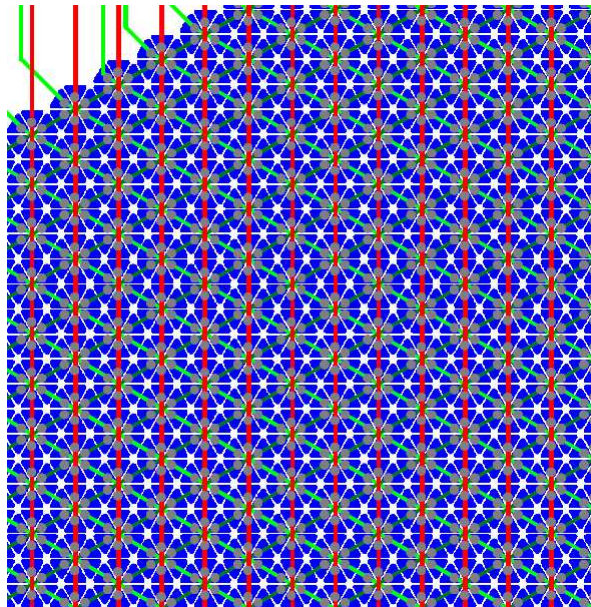
GEM: Gas Electron Multiplier

Duża gęstość komórek (50-100/mm²)

Typowa geometria: 5 μ m Cu na 50 μ m kaptonie
70 μ m otwór
140 μ m odstęp







Odczyt mikropixelowy detektorów gazowych

Zastosowanie „nagiego” układu CMOS jako anody

Medipix2 collaboration <http://www.cern.ch/Medipix>

- 17 instytutów (16 EU i 1 US)
- Zastosowania:
 - Radiografia dentystyczna
 - Mamografia
 - Angiografia
 - Dynamiczna autoradiografia
 - Promieniowanie synchrotronowe
 - Mikroskop elektronowy
 - Kamera Gamma
 - Dyfrakcja X
 - Detekcja neutronów
 - Monitor promieniowania

Pixel: 55 μm

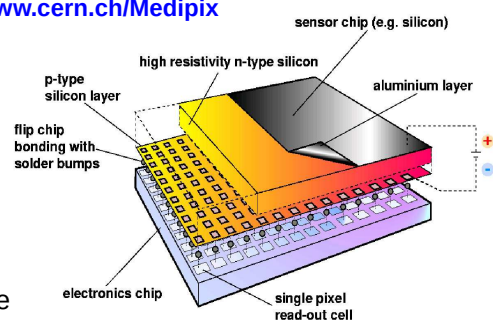
256 x 256 pixeli

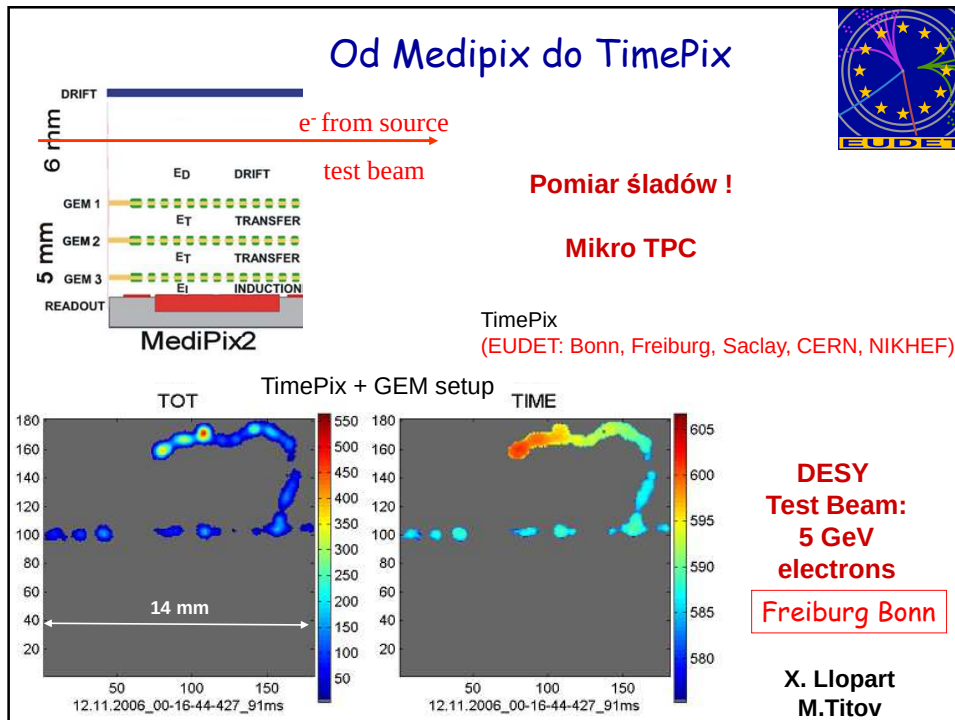
14-bit licznik odczytu na każdym pikselu

Odczyt szeregowy <5ms@180MHz

Odczyt równoległy <300us@120MHz (>1KHz kadr)

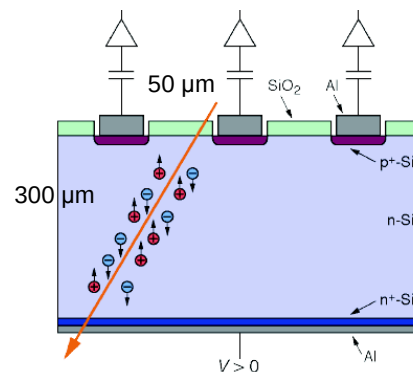
Powierzchnia ~2cm²



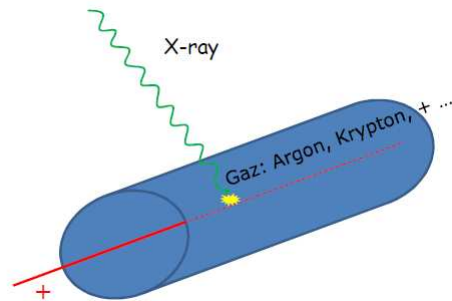


Krzemowe detektory paskowe (Silicon strip detectors)

- ❑ Płaska płytka z krzemu wysokooporowego (wysoka czystość) - tutaj: typu n
- ❑ Jedną powierzchnię posegmentowaną na paski w postaci złącz n^+p
- ❑ Odległość między paskami 20 do 200 μm - fotolitografia wysokiej precyzji
- ❑ Przestrzeń w pełni zubożona przez przyłożenie napięcia zaporowego (25- 500V)
- ❑ Cząstka jonizująca powoduje tworzenie par elektron-dziura (25k w warstwie 300 μm).

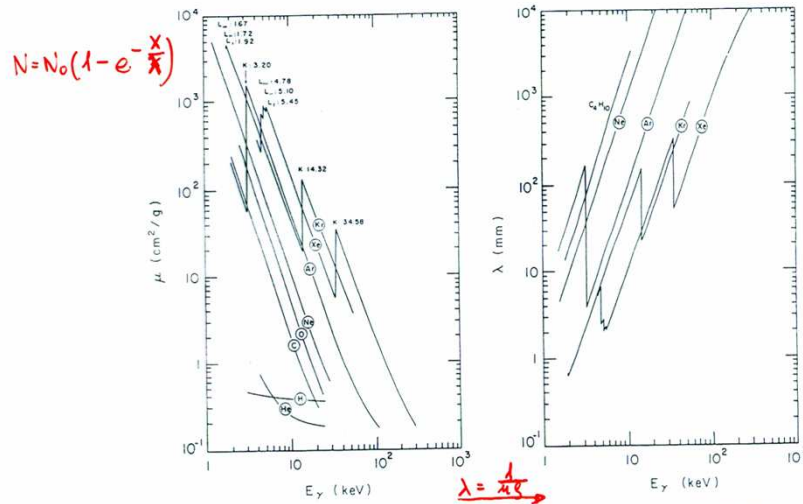


Detektory gazowe - detekcja promieniowania X



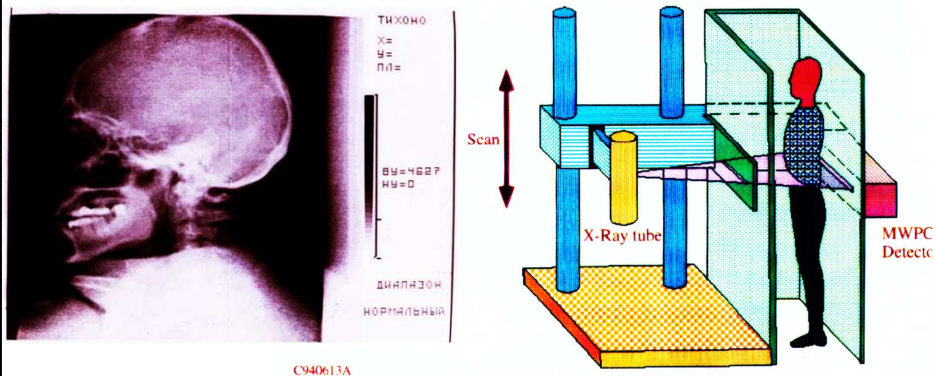
Zakres stosowności: energia fotonów $X < 100 \text{ keV}$

Absorpcja fotonów w ośrodku gazowym



DIGITAL RADIOGRAPHY WITH MWPC:

Budker Institute for Nuclear Physics, Novosibirsk (Russia)
S. Baru et al. Nucl. Instr. Methods A283 (1989) 431
E. Babichev et al. Nucl. Instr. Methods A323 (1992) 49



Zastąpienie kliszy rentgenowskiej specjalną wielodrutową komorą proporcjonalną

Pomiar 1D >>> scanning >>> obraz 2D

Zalety:

- obraz cyfrowy
- zmniejszenie dawki promieniowania
- poprawa kontrastu

Fotony ?

Efekt fotoelektryczny - Einstein 1905)

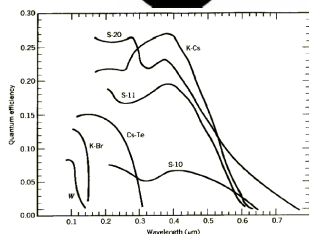
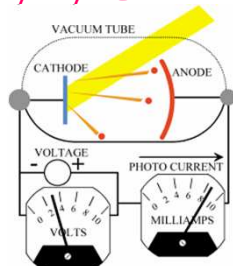
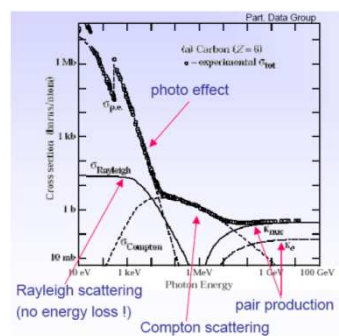
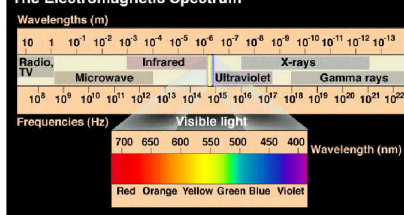


Figure 14. Spectral Response of various photocathodes. (from Denzlik and Crowe)

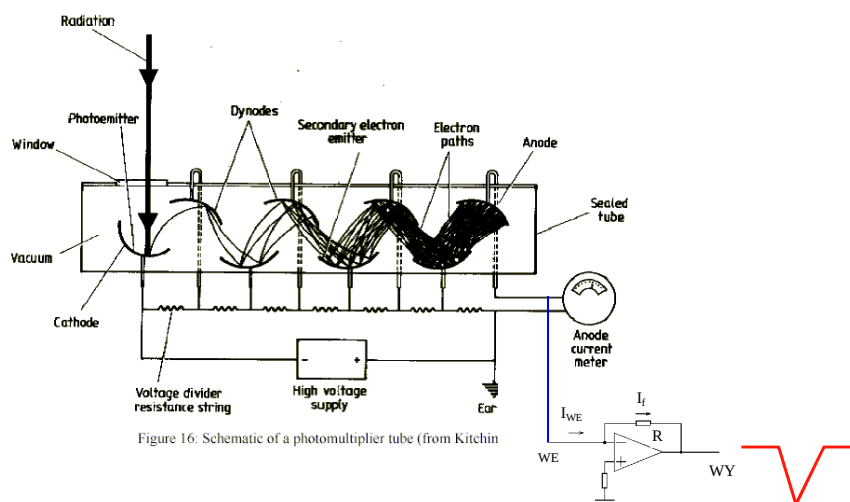
Wydajność fotoemisji zależy od:

- energii fotonu
- rodzaju materiału fotokatody

The Electromagnetic Spectrum



FOTOPOWIELACZ

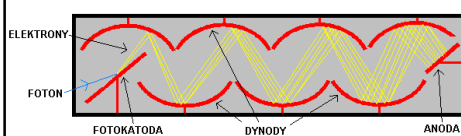


Fotopowielacz = źródło prądowe

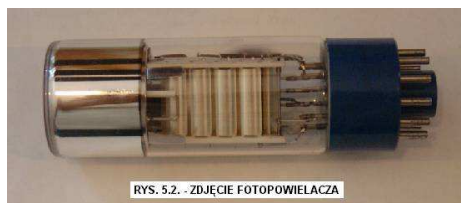


Konwerter prąd-napięcie

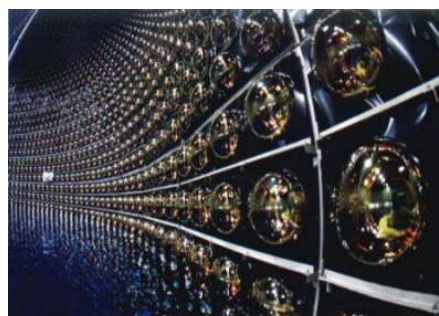
Fotopowielacz cd.



RYS. 5.3 - SCHEMAT BUDOWY FOTOPOWIELACZA

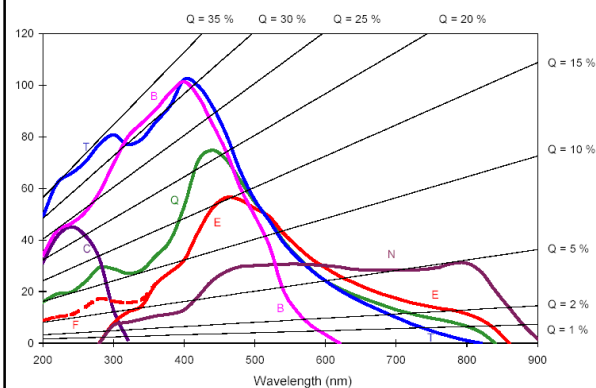


RYS. 5.2. - ZDJĘCIE FOTOPOWIELACZA



Fotokatoda i materiał okna

Spectral Sensitivity S (mA/W)



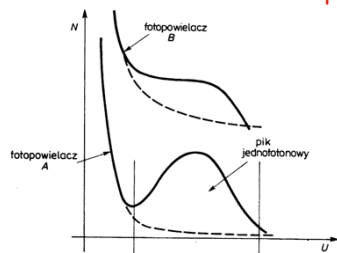
$$Q[\%] = S[\text{mA/W}] \cdot \frac{124}{\lambda[\text{nm}]}$$

Typical spectral sensitivities of non-gateable photocathodes on clear glass and quartz input windows, respectively

Photocathode / Substrate	Code	Composition	Dark Emission Rate (Electrons/cm ² /sec)
Advanced Solar Blind / Quartz	C	CsTe	3
Bialkali / Quartz	B	K ₂ SbCs	15
UV Enhanced S 20 / Quartz	T	(Na ₂ KSb)Cs	500
S 20 / Quartz	Q	(Na ₂ KSb)Cs	1500
S 20 / Clear Glass	M	(Na ₂ KSb)Cs	1500
S 25 / Quartz	F	(Na ₂ KSb)Cs	10000
S 25 / Clear Glass	E	(Na ₂ KSb)Cs	10000
Red Enhanced S 25 / Clear Glass	N	(Na ₂ KSb)Cs	30000

Fotopowielacz cd.

Proces wzmacnienia jest procesem statystycznym w przybliżeniu opisywanym rozkładem Poissona.



B - fotopowielacz o dużych szumach

A - fotopowielacz o niewielkich szumach

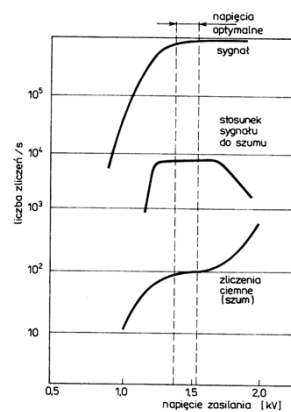
„Szumy” fotopowielacza - prąd ciemny, impulsy (zliczenia) ciemne

Przyczyna: termoeemisja elektronów z powierzchni fotokatody i dynod.

Obniżenie temperatury



radykalne zmniejszenie szumów



8852 - Photomultiplier BURLE - Quantacon PMT 51-mm (2-inch) średnica fotokatody, 12-stopniowy

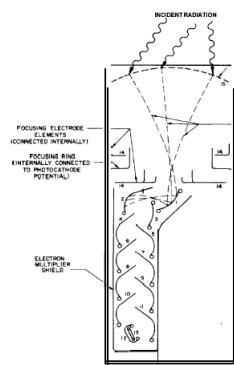


Figure 4 - Schematic Arrangement of 8852 Structure Showing Typical Electron Trajectories

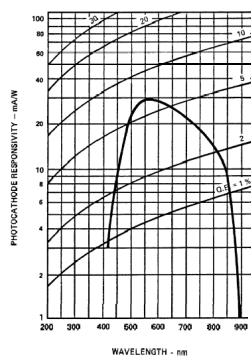


Figure 1 - Typical Photocathode Spectral Response Characteristic

Pole magnetyczne !!!
zakłóca działanie
fotopowielacza

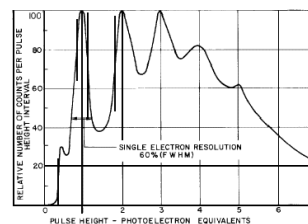


Figure 2 - Typical Photoelectron Pulse Height Spectrum

Okna wejściowe:

Materiał Pyrex, Corning No. 7740,
Współczynnik załamania dla 589.3 nm 1.47

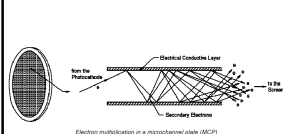
Dynody:

Dynoda no.1 . . . Gallium-Phosphide

Dynody no.2 do 12, Beryllium-Oxide

Struktura liniowa z ogniskowaniem elektrostatycznym

Powielanie elektronów w układach MICROCHANNEL PLATE



Electron multiplication in a microchannel plate (MCP)

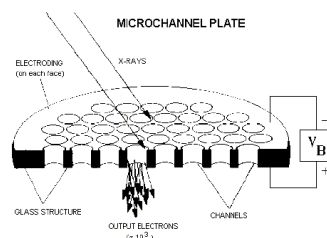
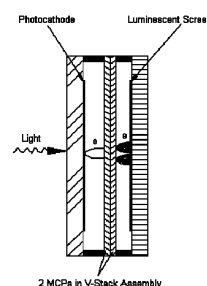
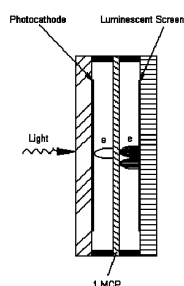
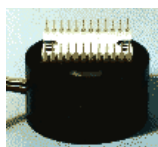


Figure 17: Schematic of Microchannel plate (MCP)

„niewrażliwy” na
zewnętrzne pole
magnetyczne !

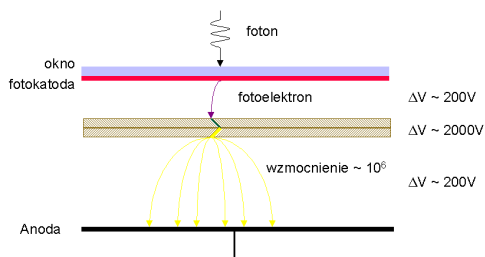
Wzmacniacze obrazu (Image Intensifier)



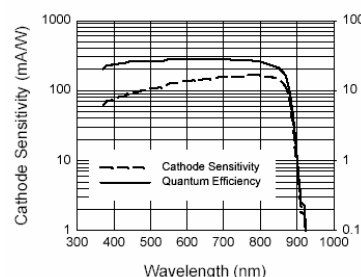
Proximity focus MCP image intensifiers MCP-PROXIFIEP®

85104 Microchannel Plate Photomultiplier BURLE With Semi-Transparent Photocathode

Fotopowielacz typu Microchannel plate (MCP)



Typical Spectral Response



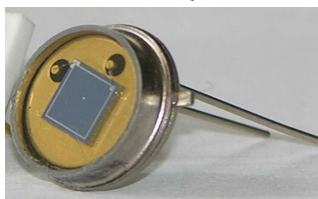
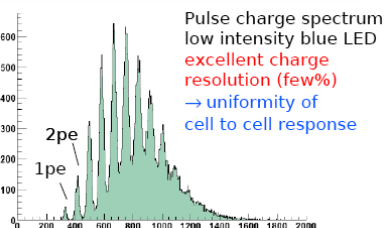
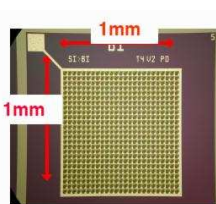
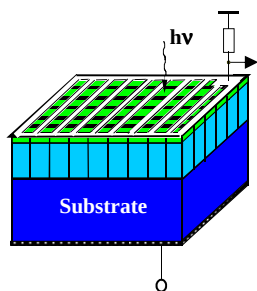
Fotokatoda - Arsenek Galu

- dobra zdolność zliczania fotonów
- czułość fotokatody 120 mA/Watt dla 860 nm
- szeroki spektralny zakres czułości - 350 do 920 nm
- średnica okna wejściowego - 18 mm
- „niewrażliwy” na zewnętrzne pole magnetyczne

Micro-pixel Avalanche PhotoDiodes - fotopowielacz półprzewodnikowy

Golovin i Sadygov w latach 90'

Gęsta macierz fotodiod lawinowych działających w modzie Geigera



- ❑ Doskonała rozdzielczość energetyczna
- ❑ rozdzielczość czasowa: 50-100 ps
- ❑ liczba pixeli do 40000/mm²
- ❑ wzmocnienie ~ $\times 10^4$
- ❑ napięcie zasilania ~65 V

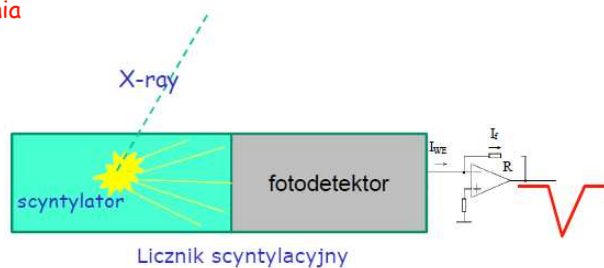
Detekcja fotonów wysokoenergetycznych Promieniowanie X i gamma

detektory scyntylacyjne

Dla większych energii fotonów ($E > \sim 20 \text{ keV}$)

konieczność zastosowanie gęstego ośrodka: np. NaI(Th)

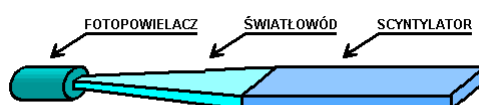
Scyntylacje: rozbłyski ośrodka
wskutek oddziaływania
promieniowania



Licznik scyntylacyjny

Widmo scyntylacji: zakres widzialny (na ogół)

Licznik scyntylacyjny



RYS. 3.2.5 - BUDOWA POJEDYŃCZEGO LICZNIKA SCYNTYLACYJNEGO



RYS. 2.3.4 - LICZNIK SCYNTYLACYJNY

Zestawienie różnych scyntylatorów

	Plastic*	NaI(Tl)	BaF2	BGO	GSO(Ce)	LSO(Ce)
Density [g/cm ³]	1.032	3.97	4.89	<u>7.13</u>	6.71	7.4
Photofraction	0	0.156	0.206	0.397	0.333 (Gd)	<u>0.419 (Lu)</u>
Decay Time [ns]	<u>2.4</u>	230	<u>0.8</u> <u>620</u>	300	60 600	40
Decay Length [nm]	423	410	220 310	480	430 545	420
Refraction	1.581	1.85	<u>1.87</u> 1.55	2.15	1.85	1.82
hν/MeV [*1000]	10	<u>38</u>	1.8 10	8.2	9	30
Light Yield [% NaI]	28	<u>100</u>	5 16	15	20	75
Effective Z	7	50	51	<u>74</u>	59	66
Melting Point [K]	338	924	1627	1323	2223	

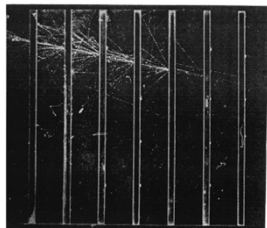
* (NE 102A)

Pomiar energii

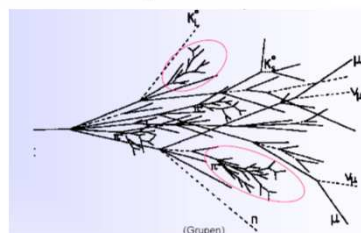
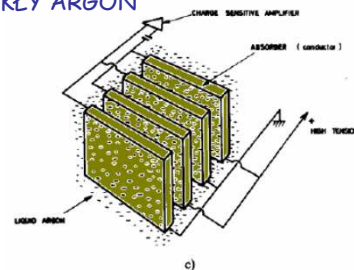
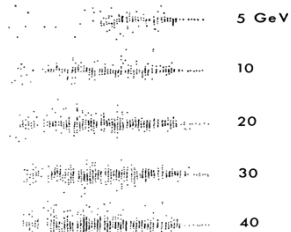
Kalorymetry elektromagnetyczne i hadronowe

Całkowite 'zniszczenie' cząstki i absorpcja jej energii (+pomiar topologii)

Kalorymetr próbujący jonizacyjny
CIEKŁY ARGON



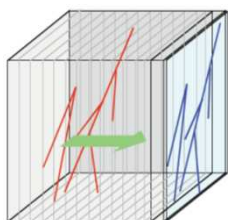
Electron shower in lead. Cloud chamber. W.B. Fretter, UCLA
Electron showers



Optyczne detektory gazowe 1986-1990

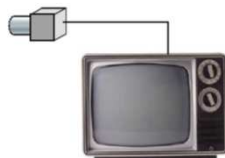
OPTICAL IMAGING CHAMBER 1987-89

Prekursor Micro-pattern Gas Detectors?



DRIFT VOLUME AVALANCHE MULTIPLICATION

G. Charpak, J.P. Fabre, F. Sauli, M. Suzuki & W. Dominik, Nucl. Instr. and Meth. A258(1987)177



G. Charpak et al., NIM A269 (1988) 142

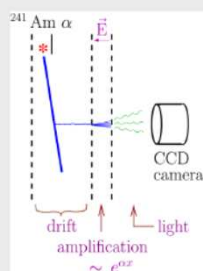
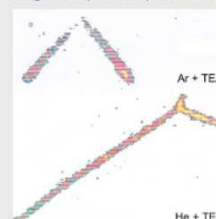
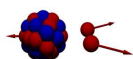


Image examples of α -particle tracks

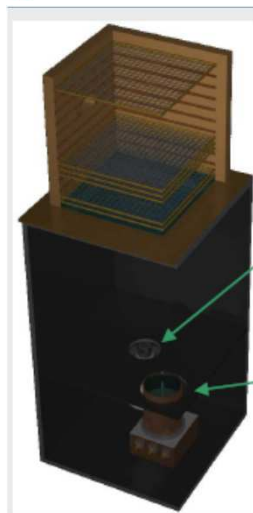


TEA = Triethylamine $\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$

Optical Time Projection Chamber



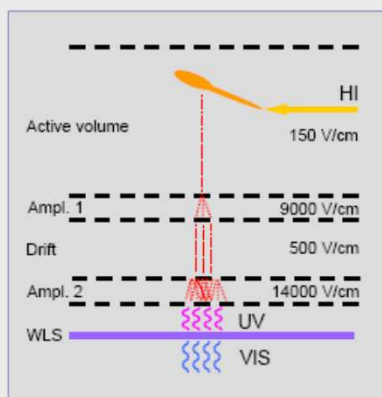
Dwuprotonowy rozpad ^{45}Fe



CCD 2/3"
• 1000x1000 pix
• 12-bits
• image ampl.
(x2000)



PM 5"

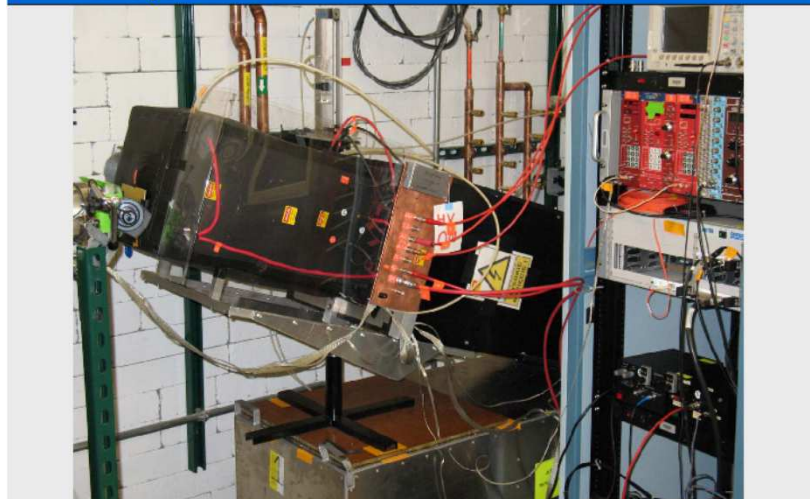


Gas (1 atm) : 49% He + 49% Ar + 1% N_2 + 1% CH_4

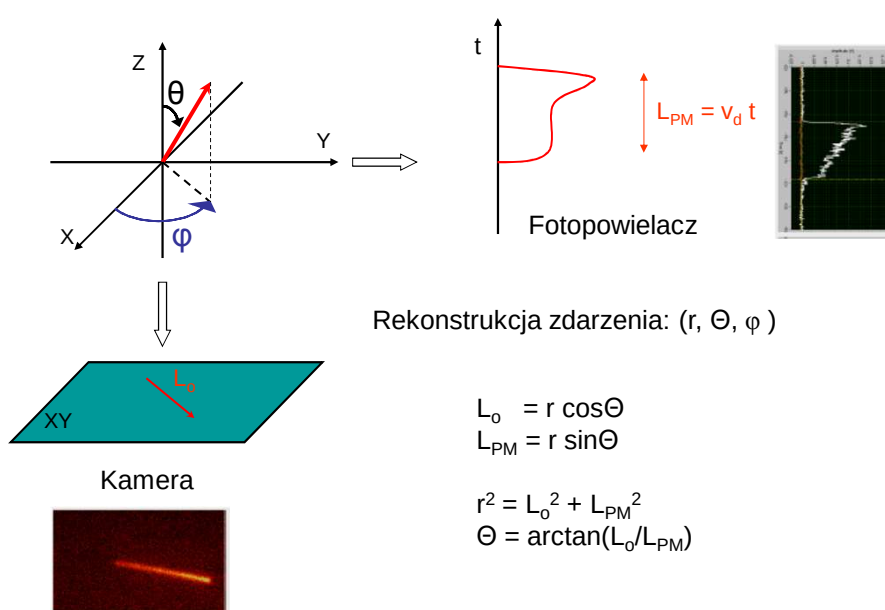
K. Miernik et al, Nucl. Instr. Meth. A581(2007)194

Ready to go!

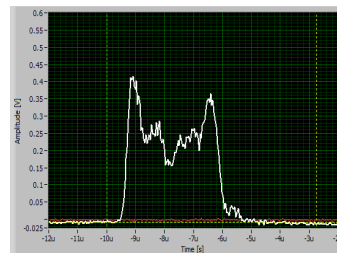
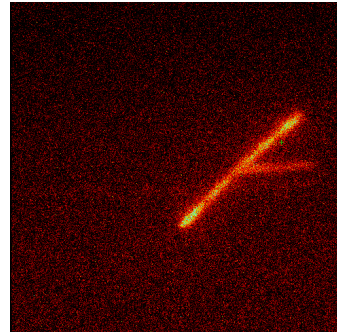
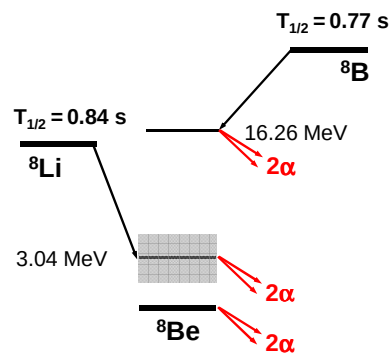
February 2007



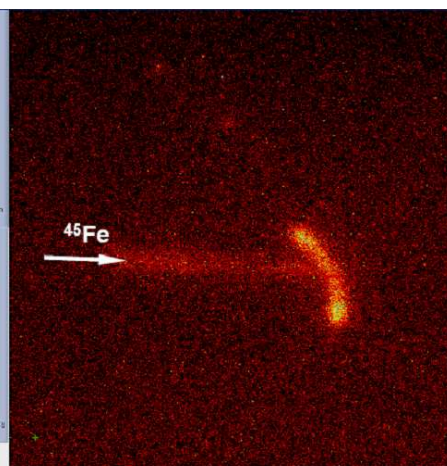
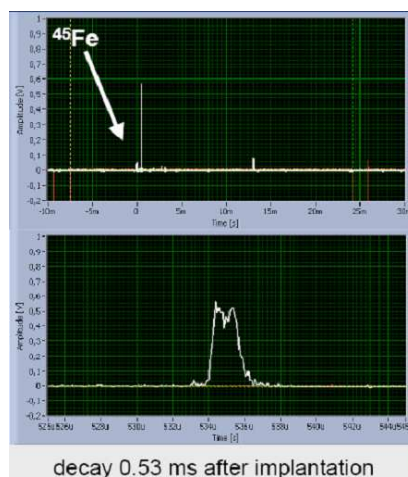
Rekonstrukcja zdarzeń



Rozpad 2α jądra ^8Be

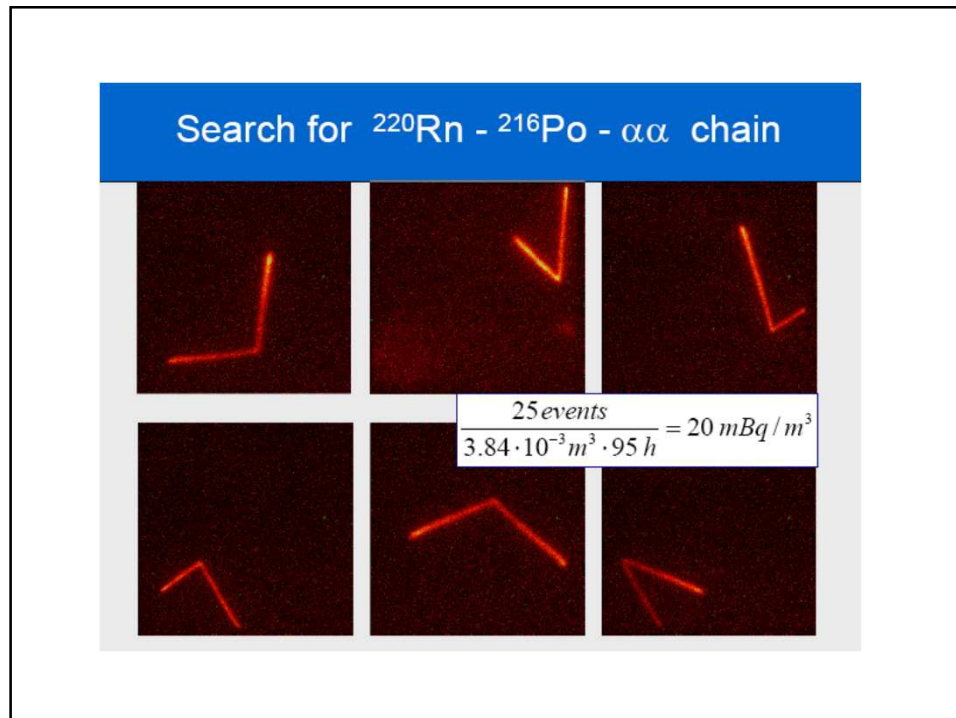


Rozpad ^{45}Fe w He +Ar (2:1)



decay 0.53 ms after implantation

K. Miernik et al, Phys. Rev. Letters 99(2007),1-4



Zakłócenia i szумы

Zakłócenia i szумы - niepożądane sygnały w układach elektronicznych

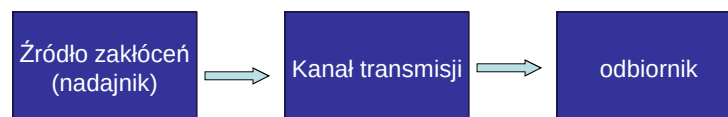
- Występują **w każdym elektronicznym układzie pomiarowym**
- Przyczyny powstawania **nie zawsze kontrolowane** przez eksperymentatora

Klasyfikacja (na użytek wykładu):

- **zakłócenia zewnętrzne**, wywołane pracą innych urządzeń elektrycznych, zjawiskami przyrodniczymi
- **szумы** powodowane przez fluktuacje transportu ładunku elektrycznego wewnątrz układu pomiarowego związane ze zjawiskiem przepływu prądu

Zakłócenia zewnętrzne.

Typowy tor przenikania zakłóceń :



Eliminacja zakłóceń pomiarowych powinna zachodzić we wszystkich elementach toru transmisyjnego:

zadanie niewdzięczne, nudne, żmudne czasochłonne i wymaga dużej intuicji, ale od skuteczności zależy jakość wyników pomiaru

Spis treści

O błyskach gamma

Projekt "π of the Sky"

Nowa... astrofizyka?

Status "pełnego systemu"

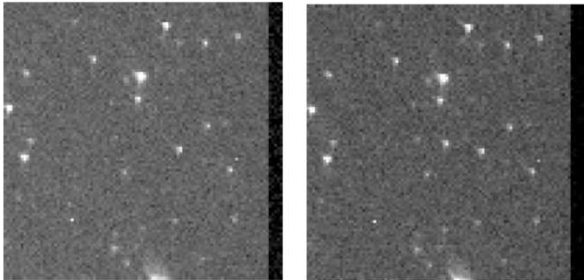
Koncepcja projektu

Prototyp

Pierwsze wyniki

V* CN Leo

Wykryta przez algorytm szukania błysków - takiego zachowania spodziewamy się po GRB.




◀

◻

▶

⏮

⏪

⏩

⏭

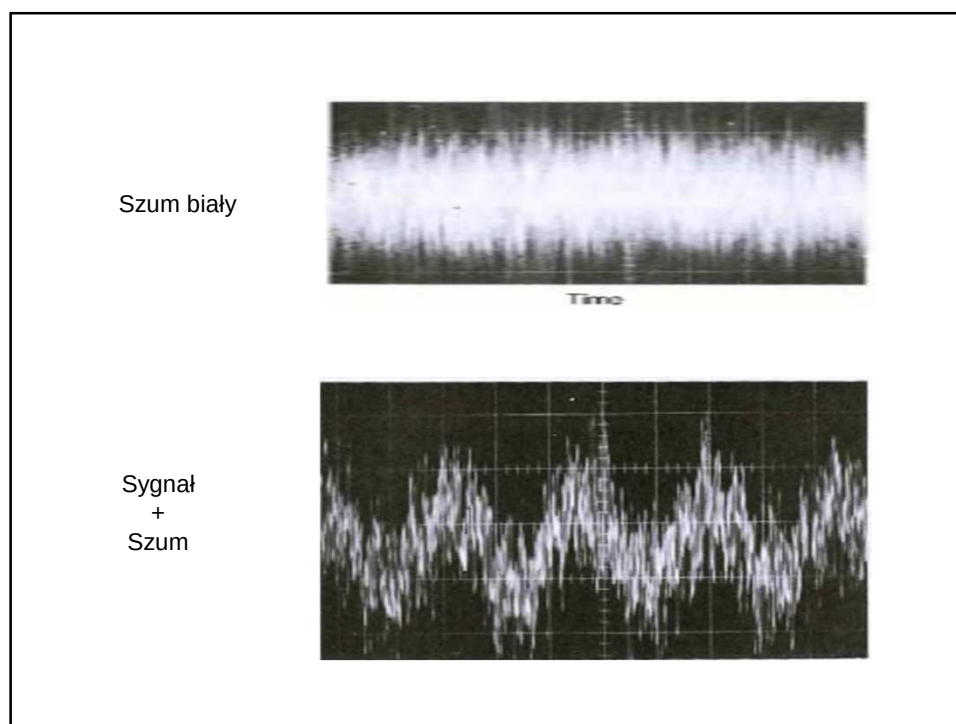
⏯

🔍

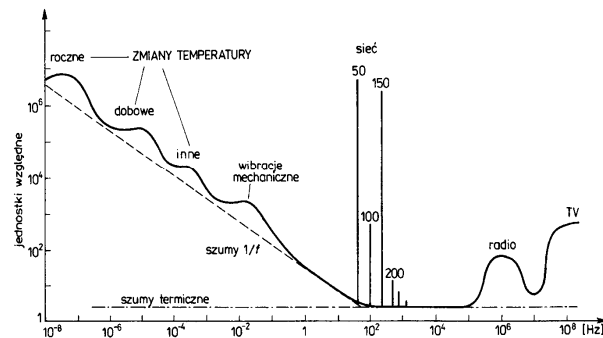
🔄

📄

5



Widmo szumów oraz zakłóceń zewnętrznych



Szumy i zakłócenia ograniczają czułość aparatury pomiarowej i precyzję pomiaru
Należy z nimi walczyć!

np.: technika modulacyjna (częstość modulacji zależy od eksperymentatora).

najmniej zakłócone pasmo $10^3 - 10^5$ Hz

Należy unikać wielokrotności częstości sieciowej!