

Identyfikacja cząstek

Określenie masy i ładunku cząstek

Pomiar prędkości przy znanym pędzie

- $e / \mu / \pi / K / p$
- czas przelotu (TOF)
- straty na jonizację dE/dx
- Promieniowanie Czerenkowa (C)
- Promieniowanie przejścia (TR)

Różnice w charakterze oddziaływań

- $e / \gamma / \mu / h$
- Przenikalność $e / \gamma / \mu / h$
- Rozwój kaskady $e / \gamma / h$

Identyfikacja cząstek

Pomiar czasu przelotu (TOF)

- **Pomiary czasu przelotu**

- Czas przelotu cząstki o masie m i pędzie p na drodze L

$$t = L * (3333/p)(p^2 + m^2)^{1/2} \quad \text{ps}$$

- Różnica czasu przelotu na drodze L

$$t_1 - t_2 = L * (m_1^2 - m_2^2)/p^2 \quad \text{ps}$$

- **Spektrometry czasów przelotu**

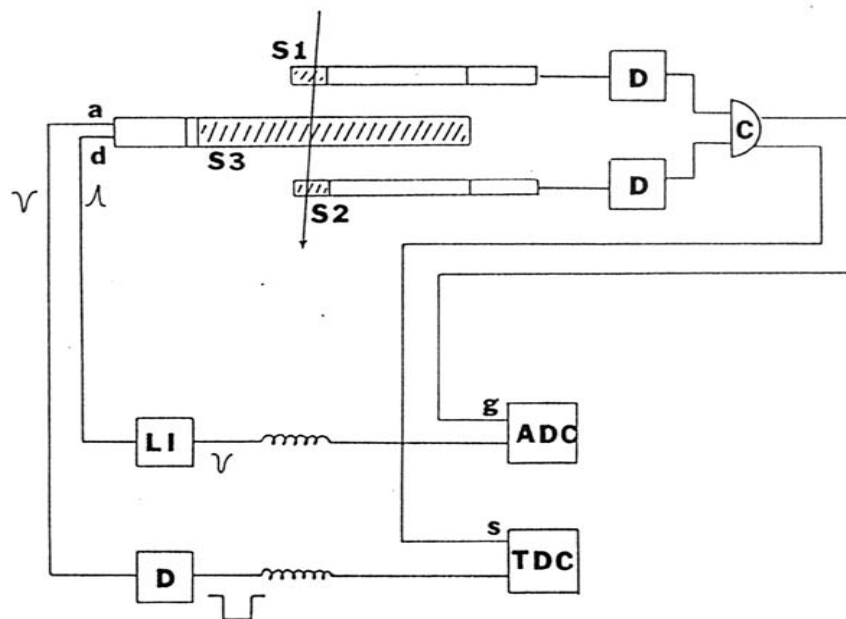
- Zdolność rozdzielcza (50)100 – 300 ps, zależy od:
 - Detektorów (liczniki scyntylacyjne, detektory gazowe)
 - Geometrii (kompensacja czasu propagacji)
 - Elektroniki odczytu (efekty czasu narastania sygnałów)
 - Stabilności całego systemu (kalibracja, zależność od natężenia cząstek)

Identyfikacja cząstek

Pomiar czasu przelotu (TOF)

- Schemat spektrometru czasu przelotu

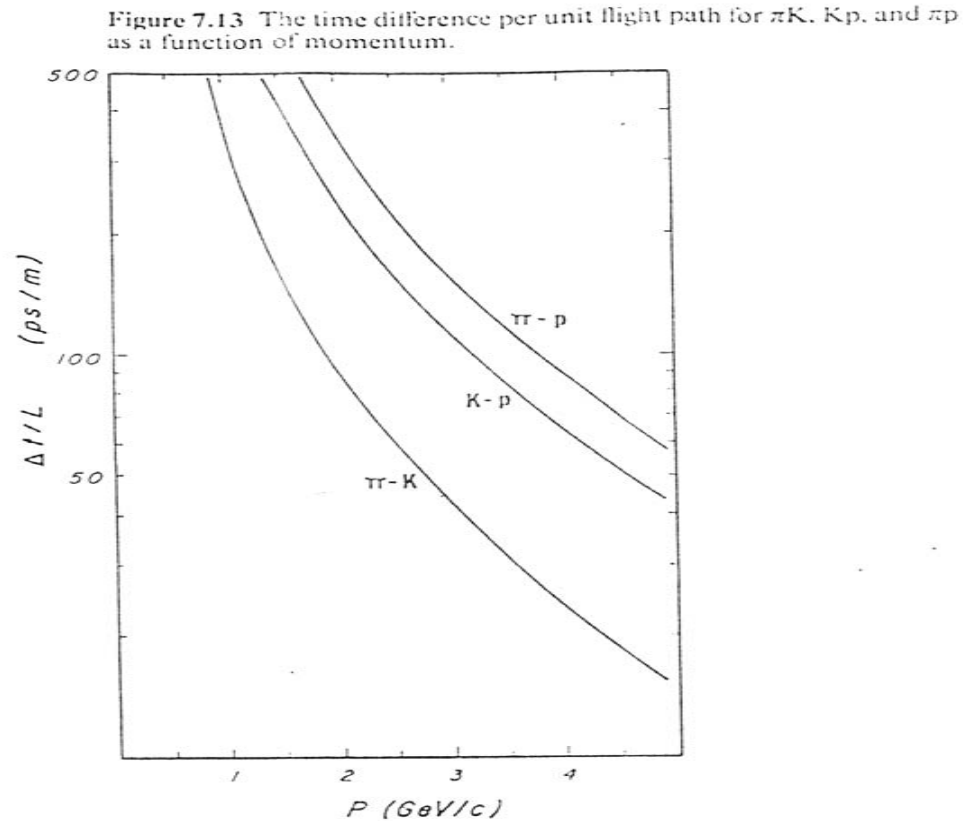
Figure 7.12 A simple arrangement for timing resolution measurements. (S1–S3) scintillation counters, (D) discriminator, (C) coincidence unit, (LI) linear inverter, (a) anode signal, (d) dynode signal, (g) ADC gate, (s) TDC start.



Identyfikacja cząstek

Pomiar czasu przelotu (TOF)

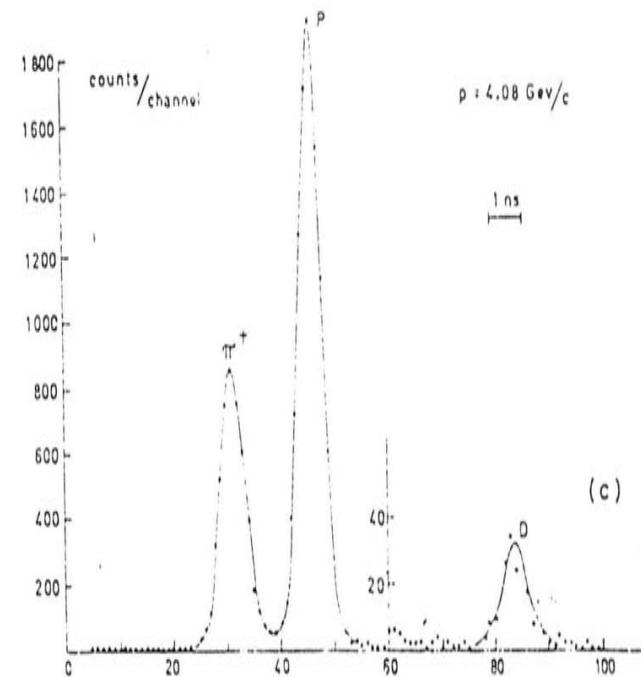
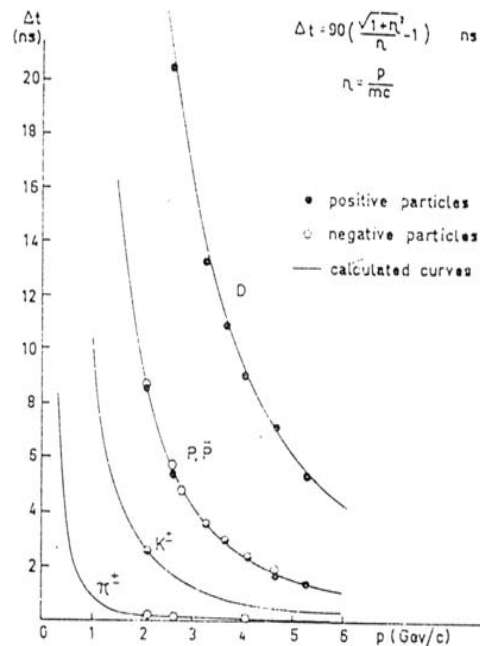
- Różnice w czasie przelotu cząstek na drodze 1 m



Identyfikacja cząstek

Pomiar czasu przelotu (TOF)

- Czasy przelotu i zdolności rozdzielcze uzyskane dla konkretnego spektrometru ($L = 17$ m)

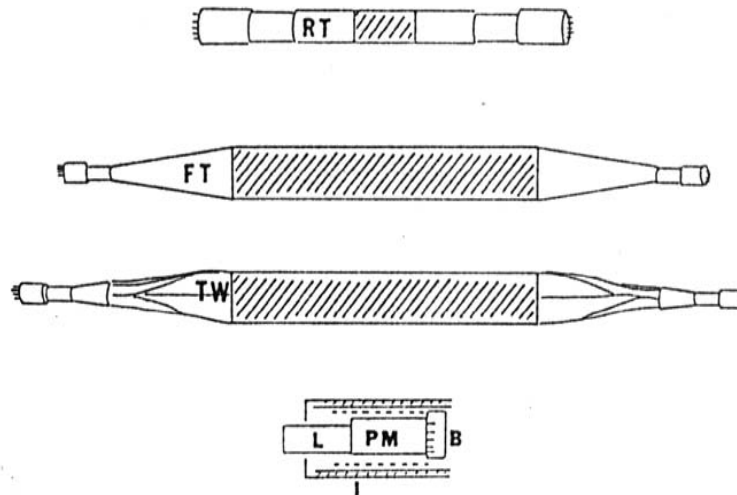


Identyfikacja cząstek

Pomiar czasu przelotu (TOF)

- Konstrukcja liczników scyntylacyjnych

Figure 7.6 Types of light guides: (RT) rectangular, (FT) "fish tail," (TW) two twisted strips. The bottom figure shows a photomultiplier tube assembly (PM) with base (B), standard coupling piece of light guide (L), mu metal shield (dotted lines), and soft iron shield (I). (After G. D'Agostini et al., Nuc. Instr. Meth. 185: 49, 1981.)



Identyfikacja cząstek

Pomiar czasu przelotu (TOF)

- Własności scyntylatorów

Table 7.3. *Properties of common plastic scintillators*

Type	Light ^a output	$\lambda_{\max}$ ^b (nm)	Attenuation ^c length (cm)	Risetime (ns)	Decay ^d time (ns)	Pulse FWHM (ns)
NE 102A	58–70	423	250	0.9	2.2–2.5	2.7–3.2
NE 104	68	406	120	0.6–0.7	1.7–2.0	2.2–2.5
NE 104B	59	406	120	1	3.0	3
NE 110	60	434	400	1.0	2.9–3.3	4.2
NE 111	40–55	375	8	0.13–0.4	1.3–1.7	1.2–1.6
NE 114	42–50	434	350–400	~1.0	4.0	5.3
Pilot B	60–68	408	125	0.7	1.6–1.9	2.4–2.7
Pilot F	64	425	300	0.9	2.1	3.0–3.3
Pilot U	58–67	391	100–140	0.5	1.4–1.5	1.2–1.9
BC 404	68	408	—	0.7	1.8	2.2
BC 408	64	425	—	0.9	2.1	~2.5
BC 420	64	391	—	0.5	1.5	1.3
ND 100	60	434	400	—	3.3	3.3
ND 120	65	423	250	—	2.4	2.7
ND 160	68	408	125	—	1.8	2.7

^a Percentage of anthracene.

^b Wavelength of maximum emission.

^c $1/e$ length.

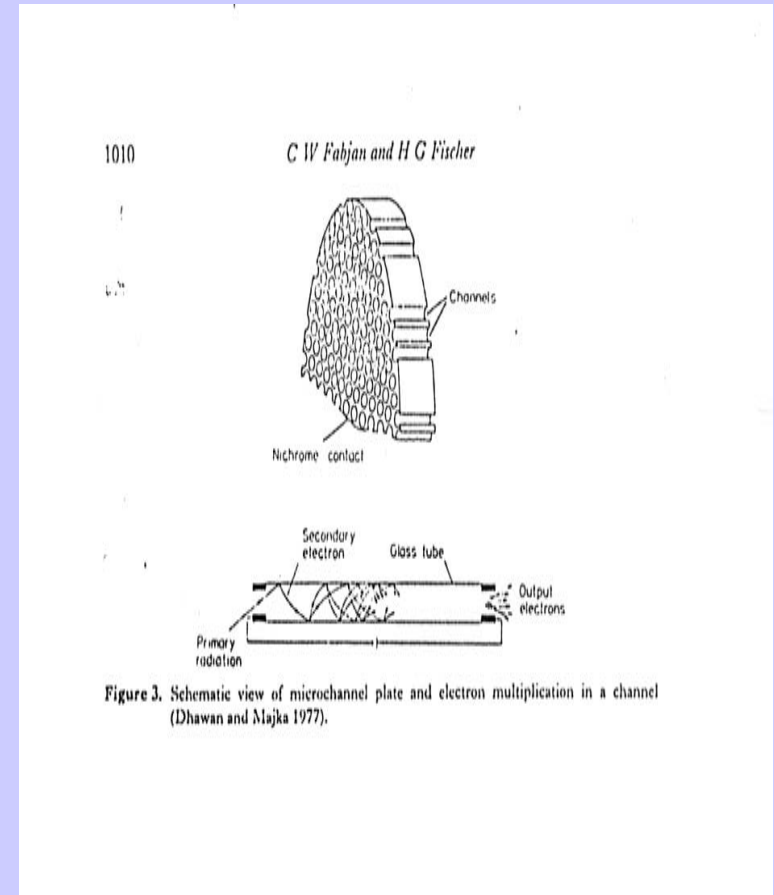
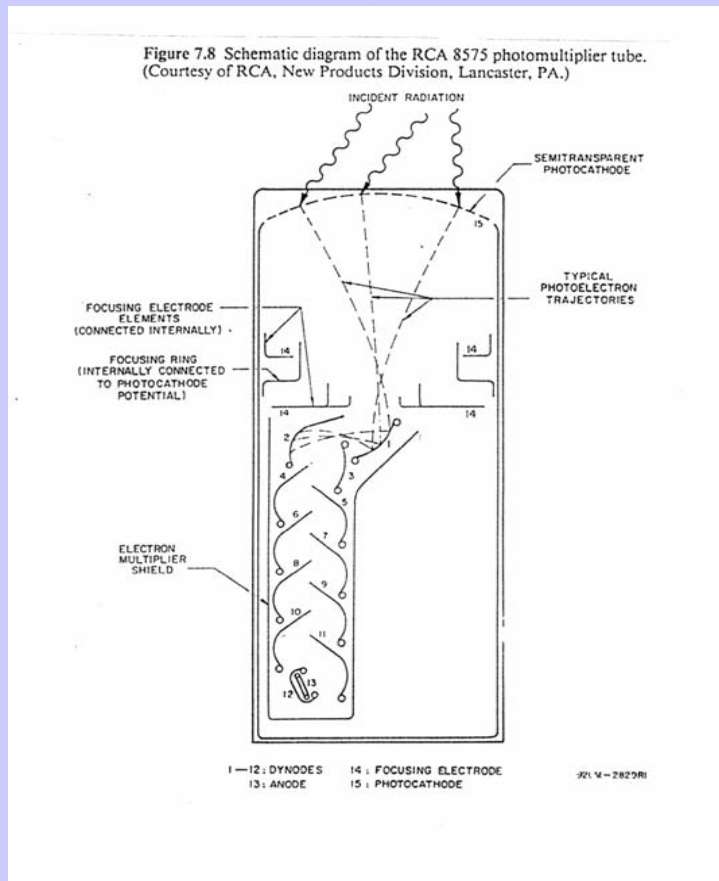
^d Main component.

Source: Catalog, Nuclear Enterprises; Catalog, Bicon Corporation; Catalog, National Diagnostics; M. Moszynski and B. Bengtson, Nuc. Instr. Meth. 158: 1, 1979; G. D'Agostini et al., Nucl. Instr. Meth. 185: 49, 1981.

Identyfikacja cząstek

Pomiar czasu przelotu (TOF)

- Fotopowielacze

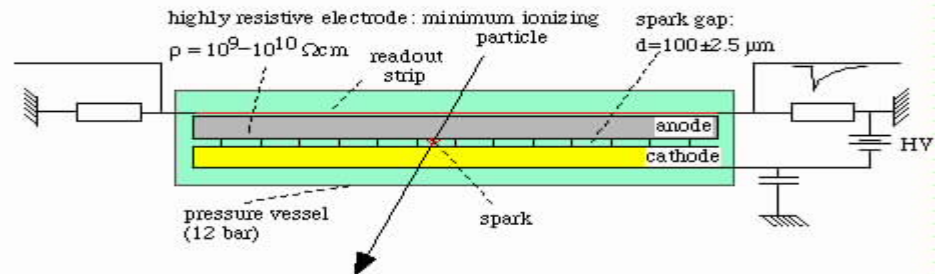


Identyfikacja cząstek

Pomiar czasu przelotu (TOF)

- Detektory gazowe
- liczniki Pestov'a

Pestov Spark Counter - Schematic Layout



type: single gap (100 μm) parallel plate counter

HV: 5-6 kV (streamer/spark mode)

gas: argon at 12 bar with admixtures of
isobutane
divinyl
ethylen

anode: semi-conductive glass $\rho \approx 10^9-10^{10} \Omega\text{cm}$

pulse: risetime < 300 ps

dt: >25 ps

dr: >350 μm

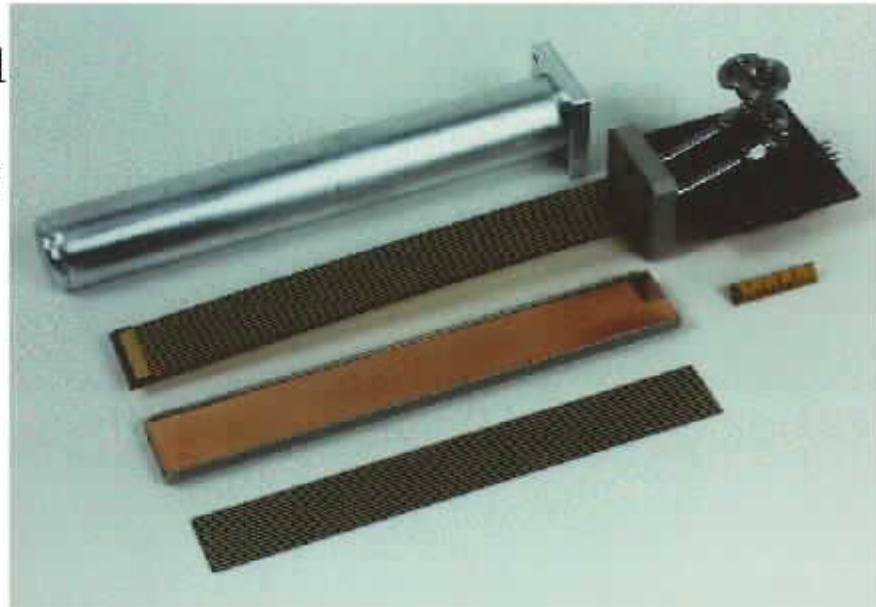
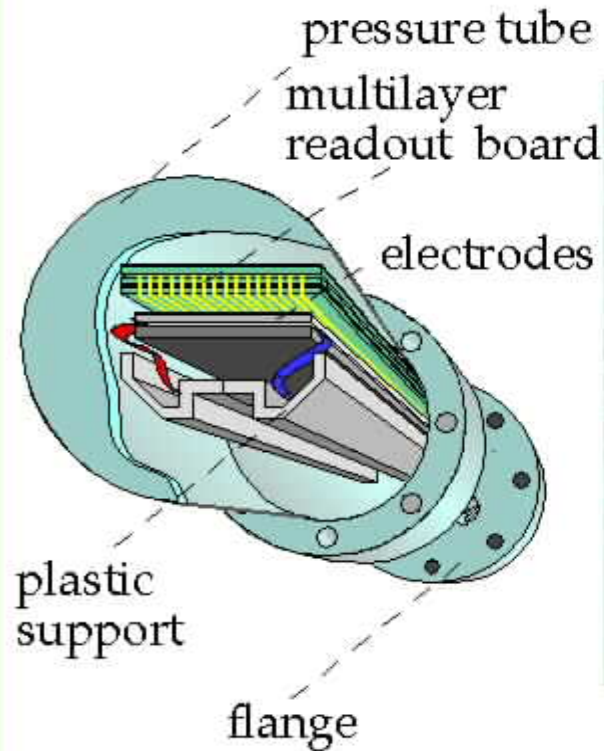
gas mixture and resistive glass anode needed for
good localization of discharge

Identyfikacja cząstek

Pomiar czasu przelotu (TOF)

- Detektory gazowe - liczniki Pestov'a

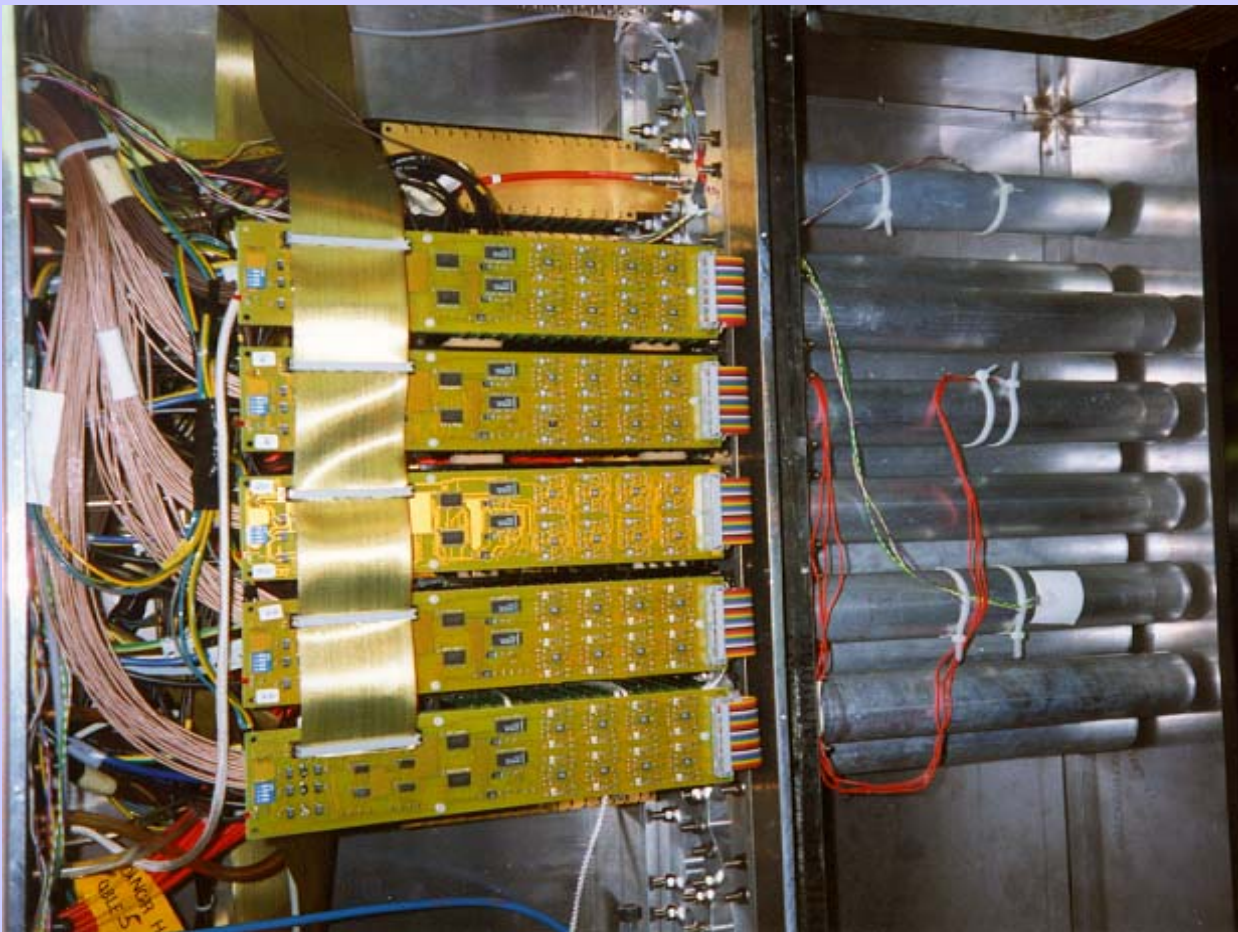
Layout of Counter



Identyfikacja cząstek

Pomiar czasu przelotu (TOF)

- Detektory gazowe - liczniki Pestov'a na wiązce

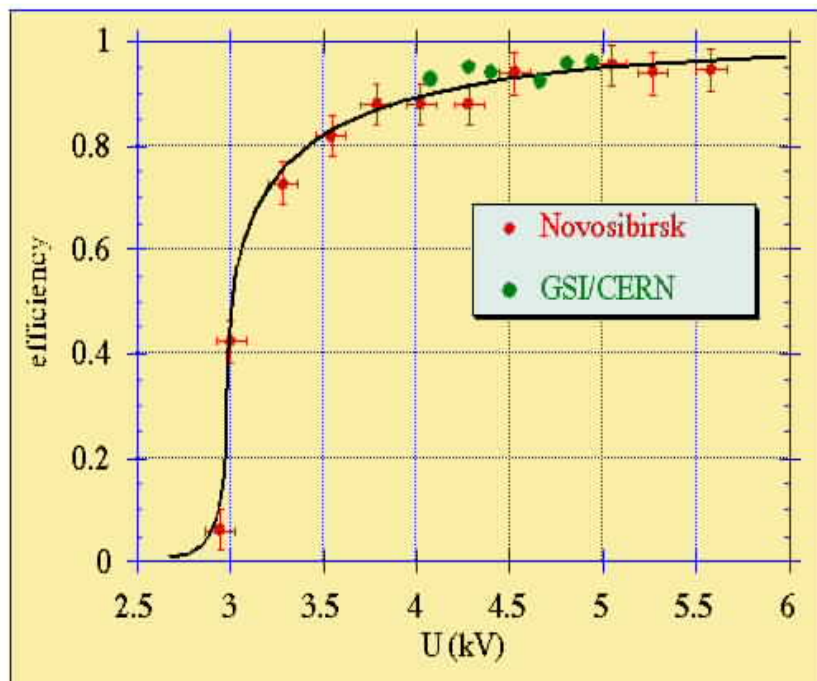


Identyfikacja cząstek

Pomiar czasu przelotu (TOF)

- Detektory gazowe - liczniki Pestov'a na wiązce

Efficiency



4-5 primary electron clusters produced in gap by minimum ionizing particle

=> ϵ (4.4 kV) $\approx$ 94%

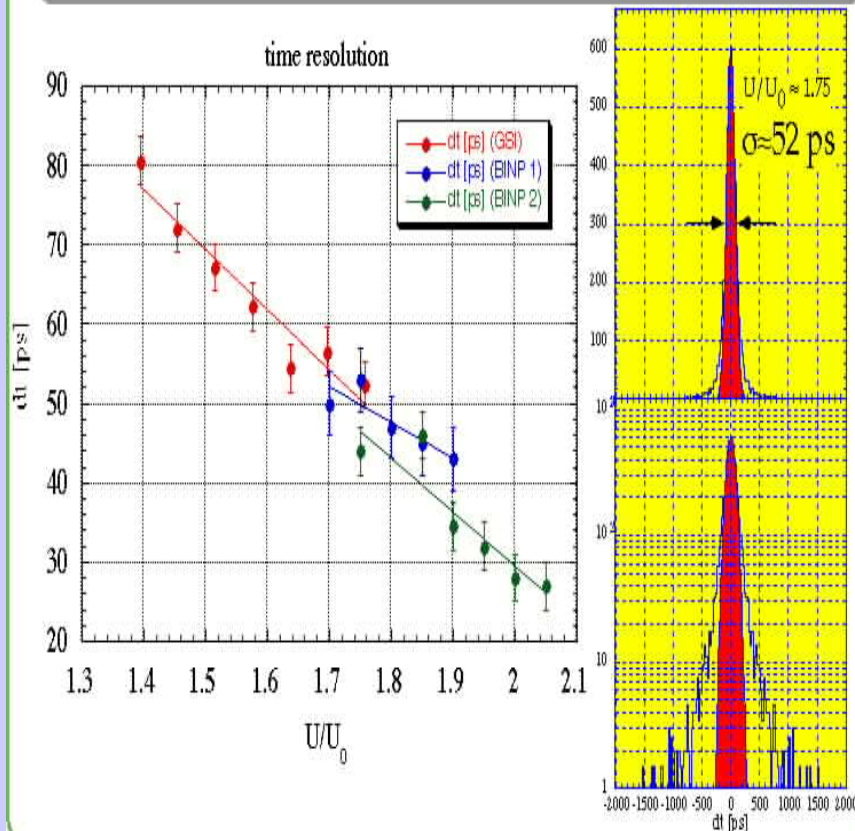
ϵ (4.9 kV) $\approx$ 97%

Identyfikacja cząstek

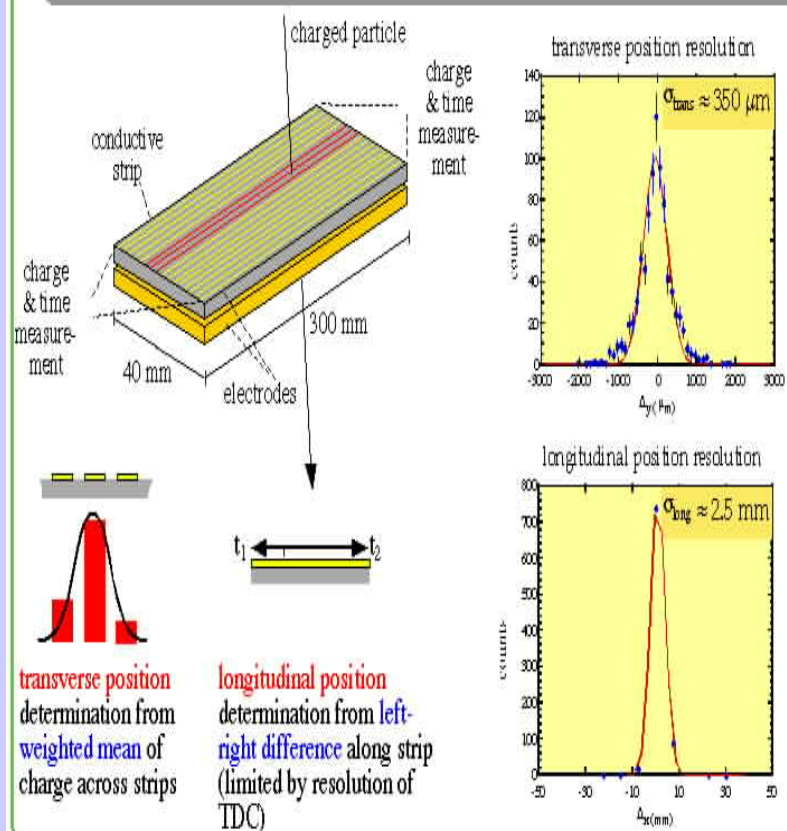
Pomiar czasu przelotu (TOF)

- Detektory gazowe - liczniki Pestov'a na wiązkę

Time resolution



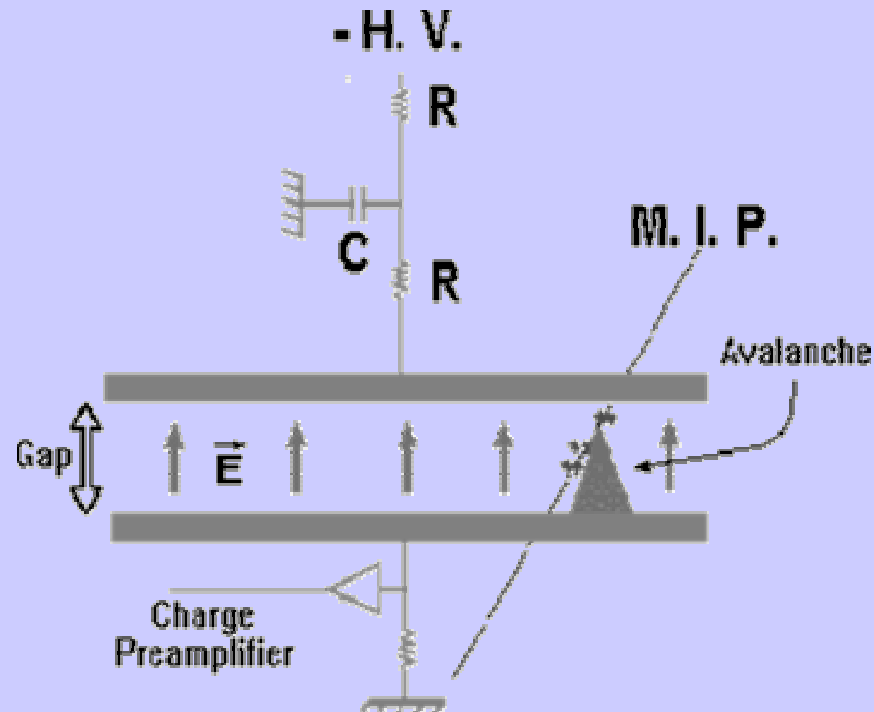
Position Measurement



Identyfikacja cząstek

Pomiar czasu przelotu (TOF)

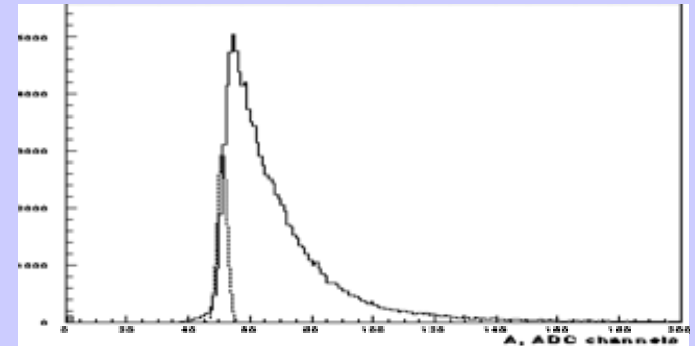
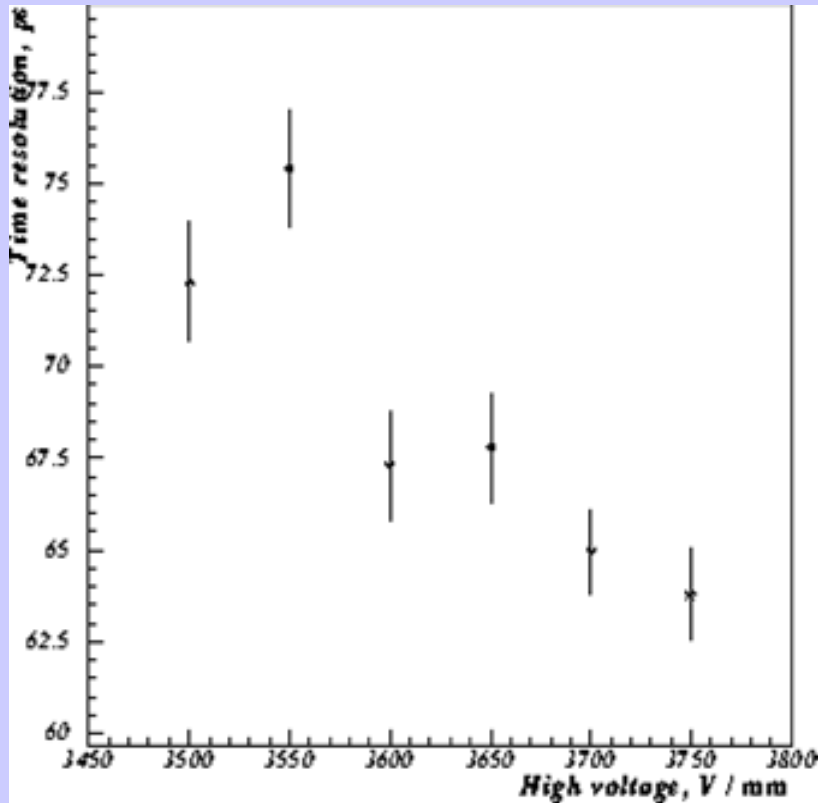
- Detektory gazowe – detektory o równoległych elektrodach (PPC)



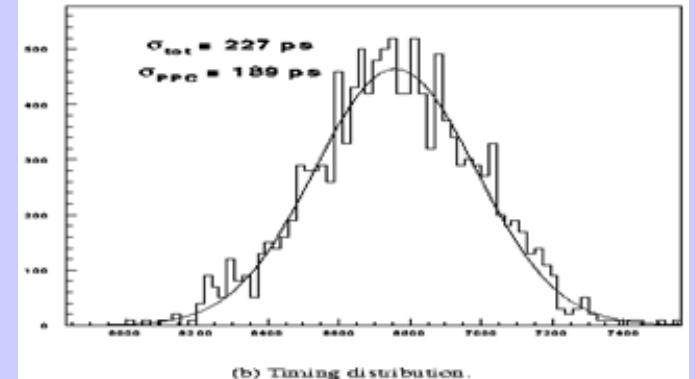
Identyfikacja cząstek

Pomiar czasu przelotu (TOF)

Detektory gazowe – detektory o równoległych elektrodach - oczekiwania i wyniki doświadczalne



(a) Amplitude distribution (pedestal is shown as a dashed line).



(b) Timing distribution.

Identyfikacja cząstek

na podstawie strat jonizacyjnych dE/dx

Pomiar średniej wartości dE/dx

Trzy obszary

- obszar $1/\beta^2$
- dE/dx min dla $\beta\gamma \approx 3$
- wzrost jonizacji jak $\ln \beta\gamma$

Efekty uboczne

- Elektrony δ - rozkład Landaua
- Efekt gęstościowy – mniejsze dE/dx

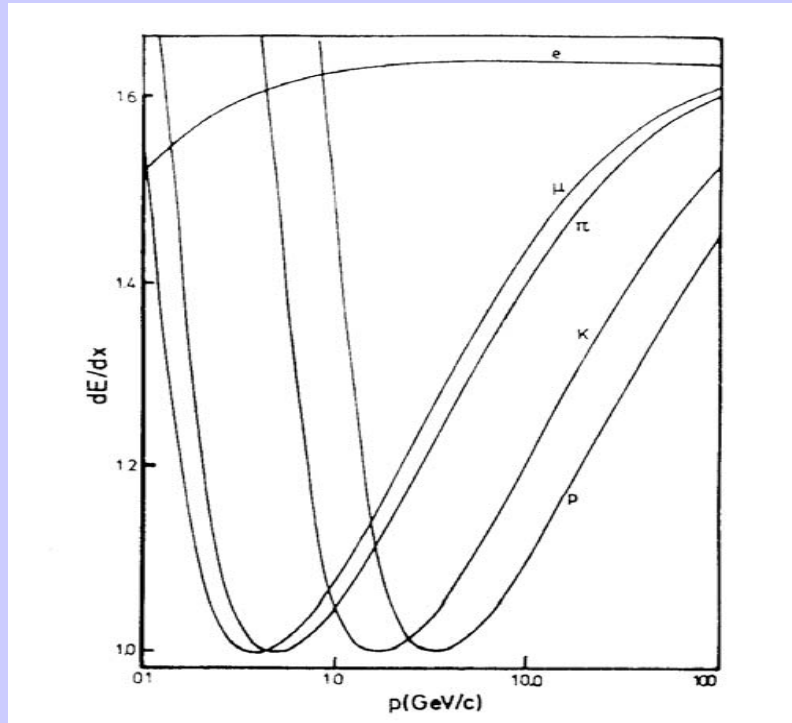
Metody pomiaru

- Pomiar dE/dx – „truncated mean”
- Zliczanie klastrów – oddziaływania pierwotne

Identyfikacja cząstek na podstawie strat jonizacyjnych dE/dx

dE/dx

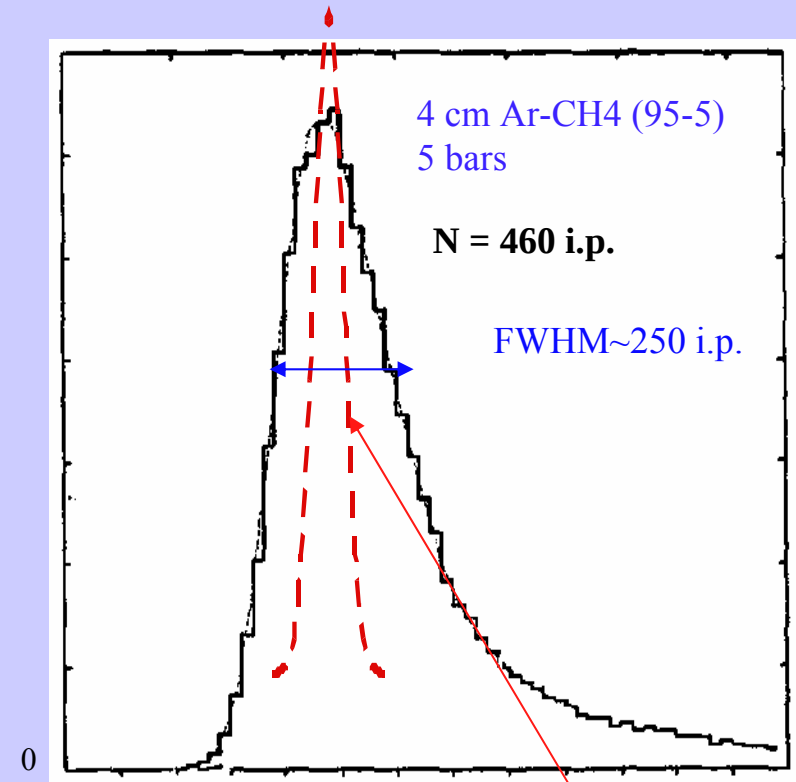
zależność od pędu



najbardziej prawdopodobne dE/dx

$$dE/dx_{\min} \approx 2 \text{ MeV g/cm}^2 \text{ dla } \beta\gamma \approx 3$$

LANDAU DISTRIBUTION OF ENERGY LOSS:



For a Gaussian distribution:

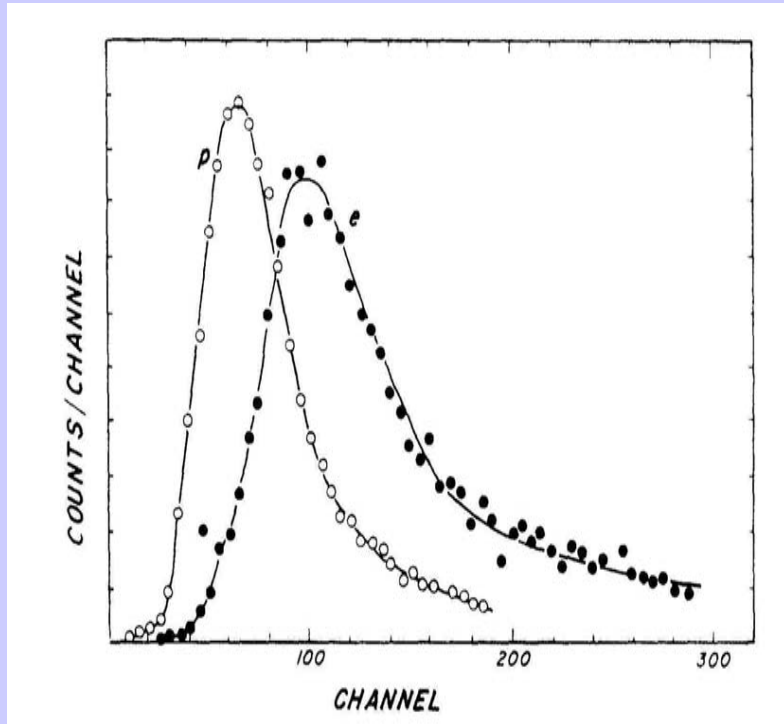
$$\sigma_N \sim 21 \text{ i.p.}$$

$$\text{FWHM} \sim 50 \text{ i.p.}$$

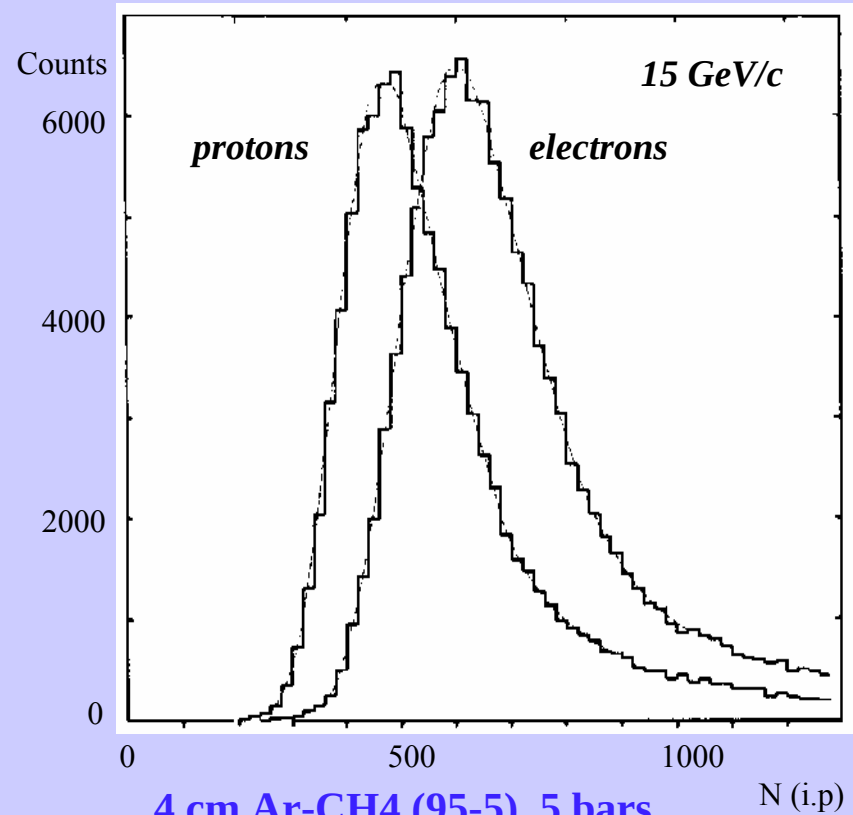
Identyfikacja cząstek na podstawie strat jonizacyjnych dE/dx

Ar +10% CH₄
rozkłady rzeczywiste

PARTICLE IDENTIFICATION
Requires statistical analysis of hundreds of samples



p – 3 GeV/c, e – 2 GeV/c

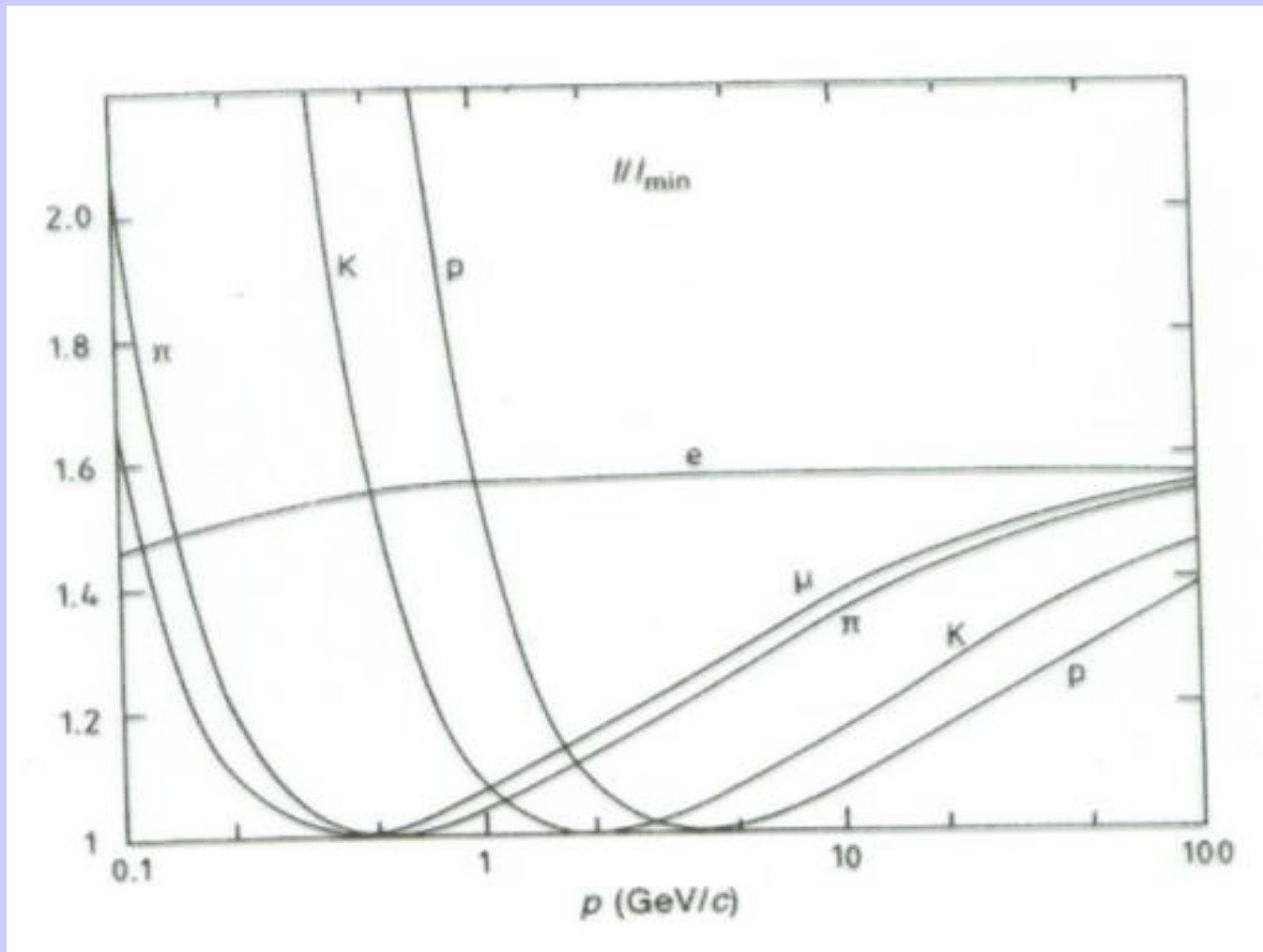


4 cm Ar-CH₄ (95-5), 5 bars

Identyfikacja cząstek

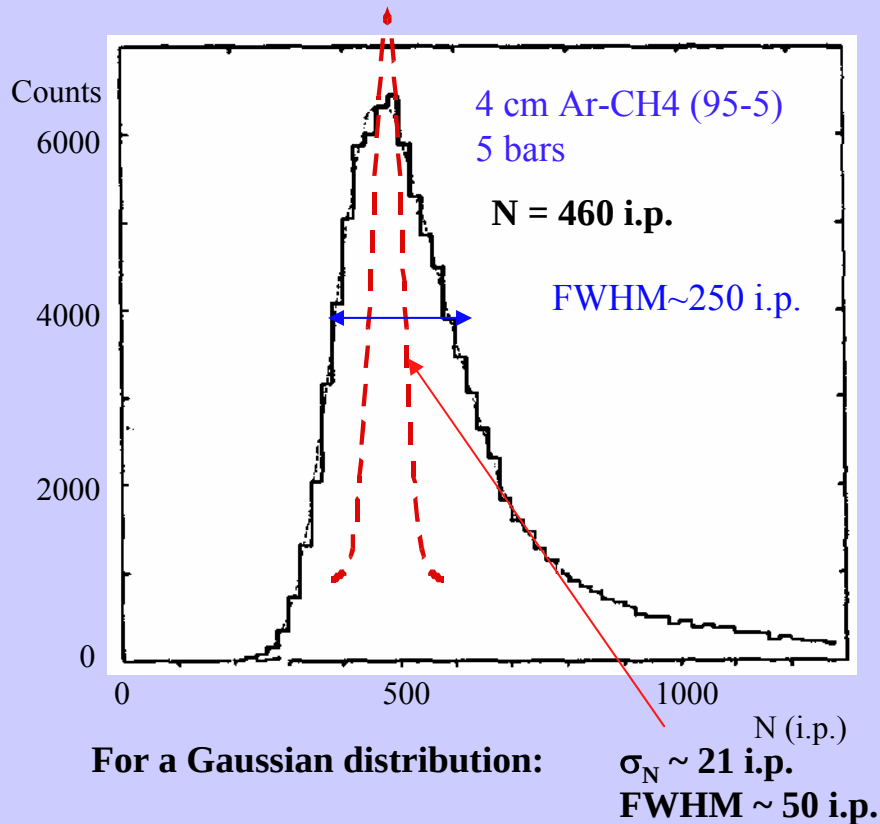
na podstawie strat jonizacyjnych dE/dx

Zależność dE/dx od pędu



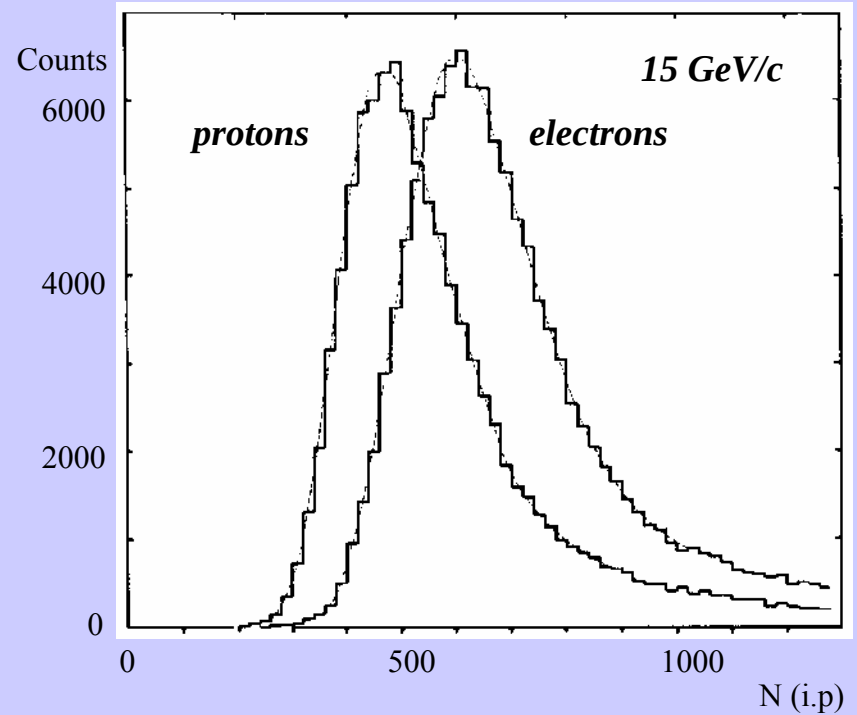
Landau Distribution

LANDAU DISTRIBUTION OF ENERGY LOSS:



PARTICLE IDENTIFICATION

Requires statistical analysis of hundreds of samples

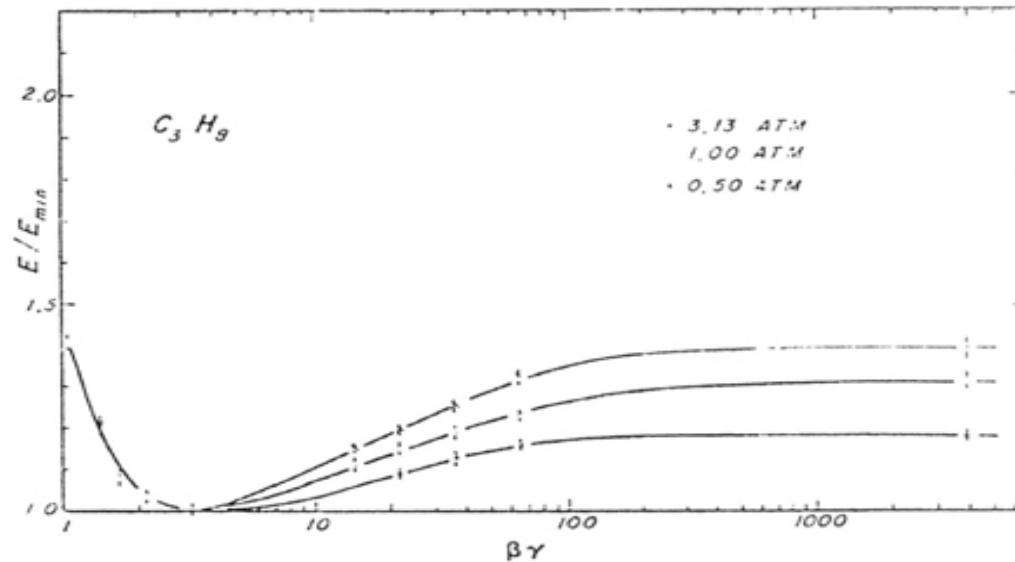


I. Lehraus et al, Phys. Scripta 23(1981)727

Identyfikacja cząstek na podstawie strat jonizacyjnych dE/dx

Efekt gęstościowy dE/dx

Figure 2.6 Measured mean energy losses in propane as a function of pressure and $\beta\gamma$. The energy losses are normalized to those for 3-GeV/c protons. (After A. Walenta, J. Fischer, H. Okuno, and C. Wang, Nuc. Instr. Meth. 161: 45, 1979.)



Identyfikacja cząstek na podstawie strat jonizacyjnych dE/dx

Komora jonizacyjna ISIS

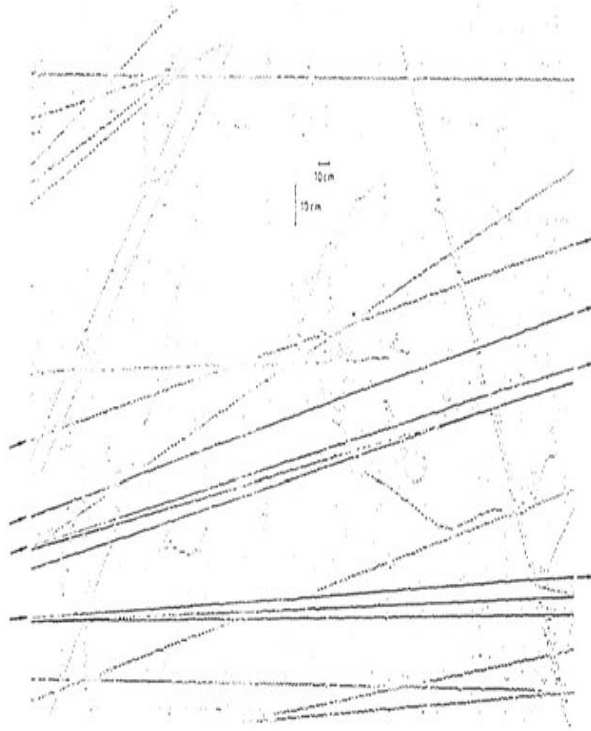


Fig.14. The track-hit data in ISIS2 for a single event which includes a reconstructed D^0 . The four charged tracks from its decay are marked by arrows.

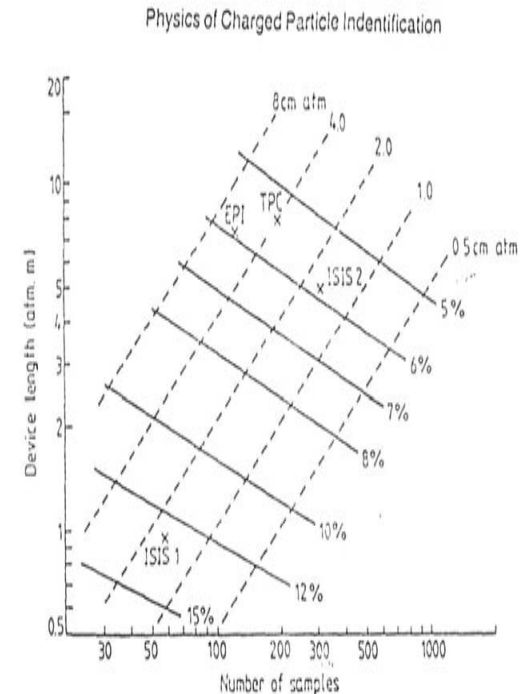
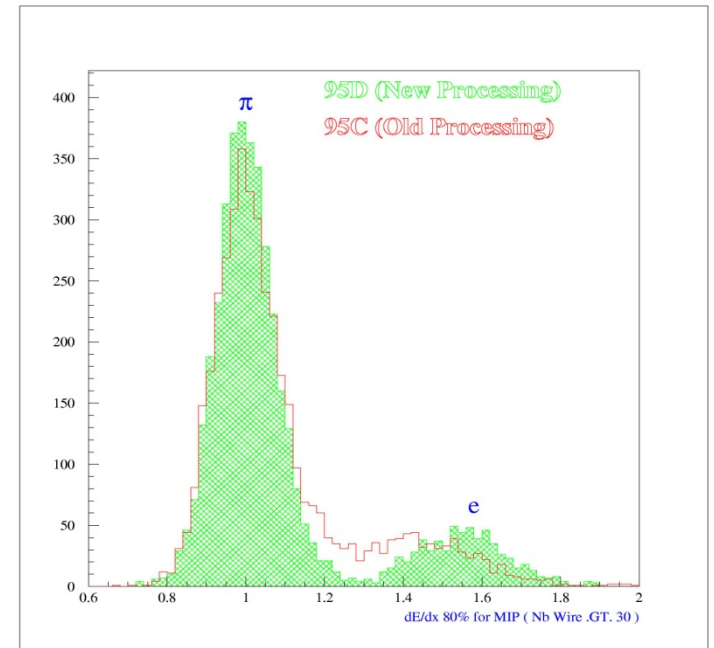
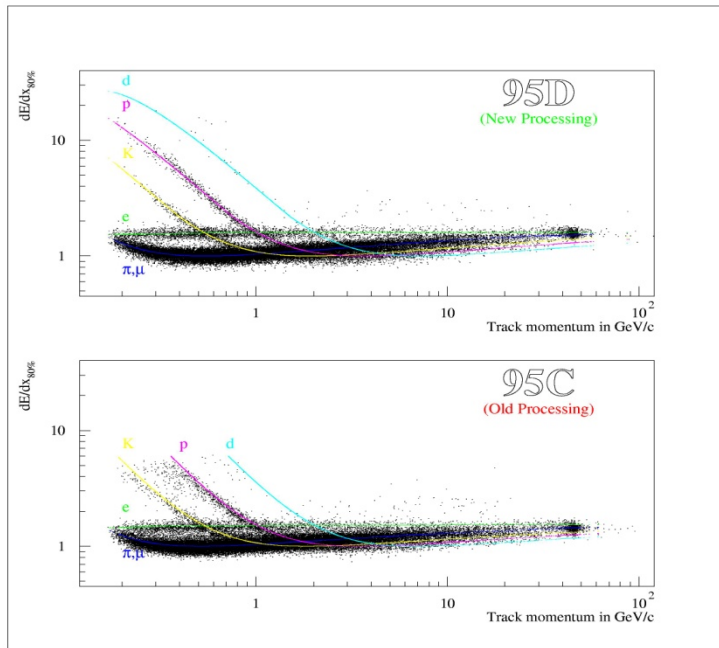


Fig.9. Calculated ionisation resolution (% FWHM) contours for argon with $\theta_Y=100$. The crosses indicate the sizes and samplings of a number of devices. The dashed lines are loci of constant sample thickness.

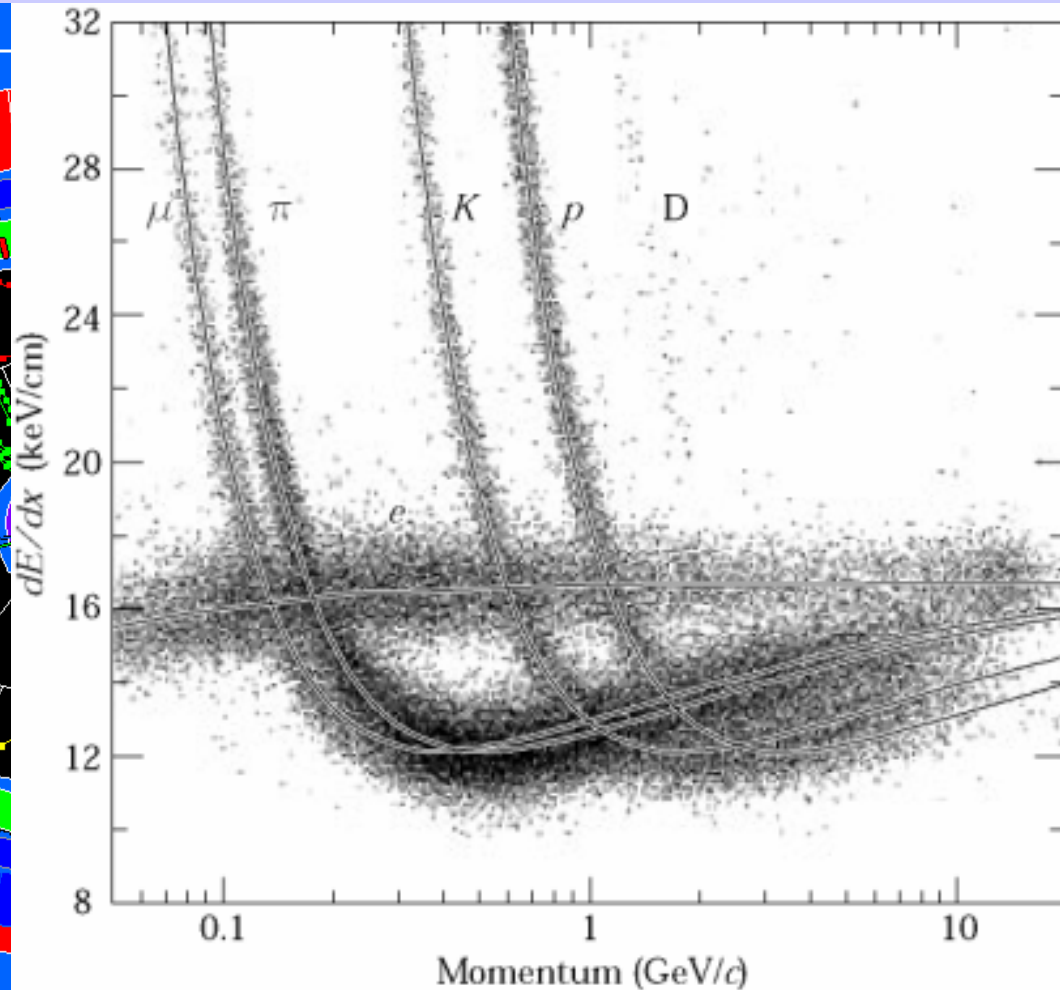
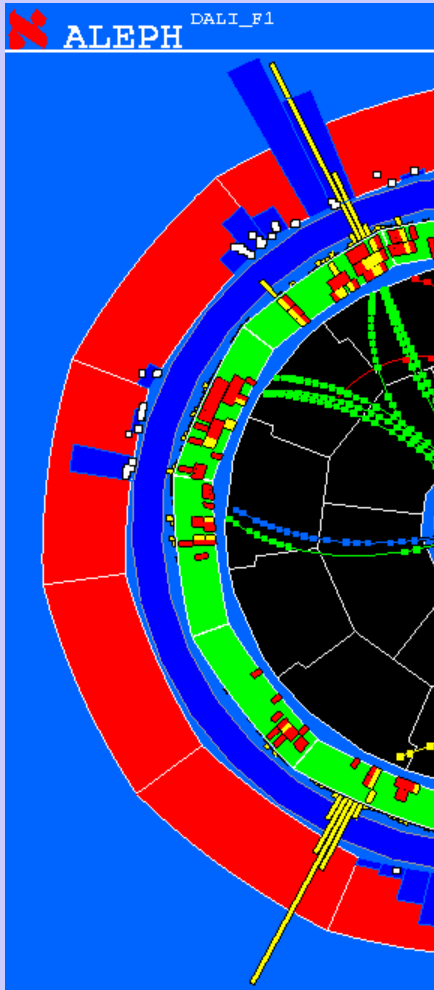
Identyfikacja cząstek na podstawie strat jonizacyjnych dE/dx

Dane z komory TPC eksperymentu DELPHI



Identyfikacja cząstek na podstawie strat jonizacyjnych dE/dx

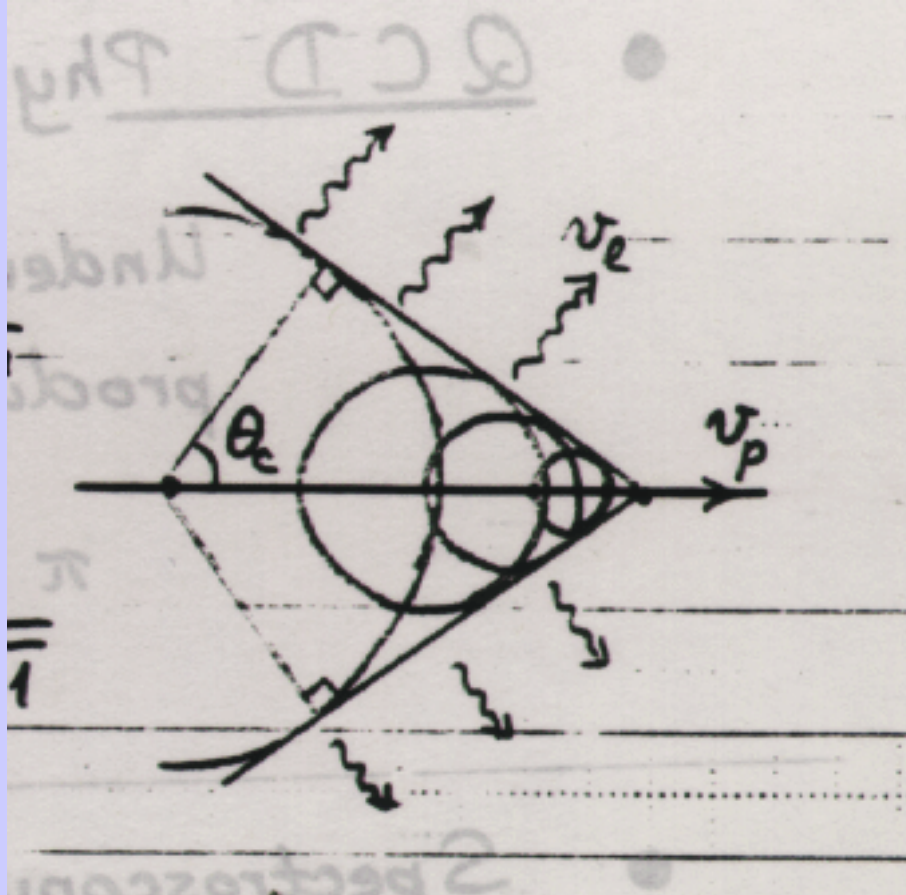
Dane z komory TPC eksperymentu ALEPH



Identyfikacja cząstek

Liczniki Czerenkowa

Efekt Czerenkowa



Identyfikacja cząstek

Liczniki Czerenkowa

Efekt Czerenkowa

Cząstka wysyła promieniowanie jeśli przekracza prędkość światła w danym ośrodku

$$\beta \geq 1/n \quad \text{gdzie } n - \text{współczynnik załamania światła w ośrodku}$$

Kąt wypromieniowania

$$\cos \Theta = 1/\beta \cdot n$$

Wypromieniowana energia na jednostkę długości

$$dE/dx_C = 2 \pi r_e mc^2 \sin^2 \Theta (1/\lambda_1^2 - 1/\lambda_2^2)$$

Liczba fotonów na jednostkę długości

$$dN/dx = 2 \pi \alpha \sin^2 \Theta (1/\lambda_1 - 1/\lambda_2)$$

Identyfikacja cząstek

Liczniki Czerenkowa

Kilka liczb

W zakresie 350 – 500 nm

$$dE/dx = 1180 \sin^2 \Theta \quad \text{eV/cm}$$

$$dN/dx = 390 \sin^2 \Theta \quad \text{fotonów/cm}$$

W wodzie ($n = 1.33$, $\Theta_c = 41.2^\circ$)

$$dE/dx = 1530 \text{ eV/cm}$$

$$dN/dx = 170 \text{ fotonów/cm}$$

Liczniki Czerenkowa

- Progowe
- Różnicowe
- RICH (Ring Imaging Cherenkov)

Identyfikacja cząstek

Liczniki Czerenkowa

Liczniki Czerenkowa – różnice między cząstkami

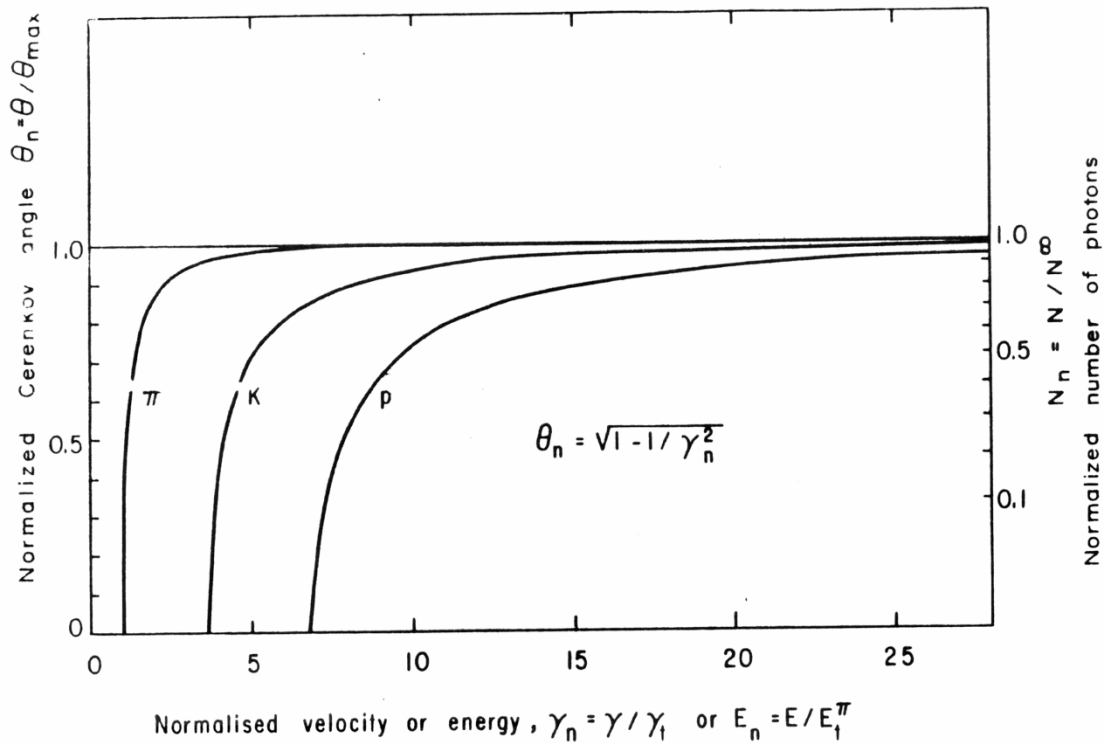


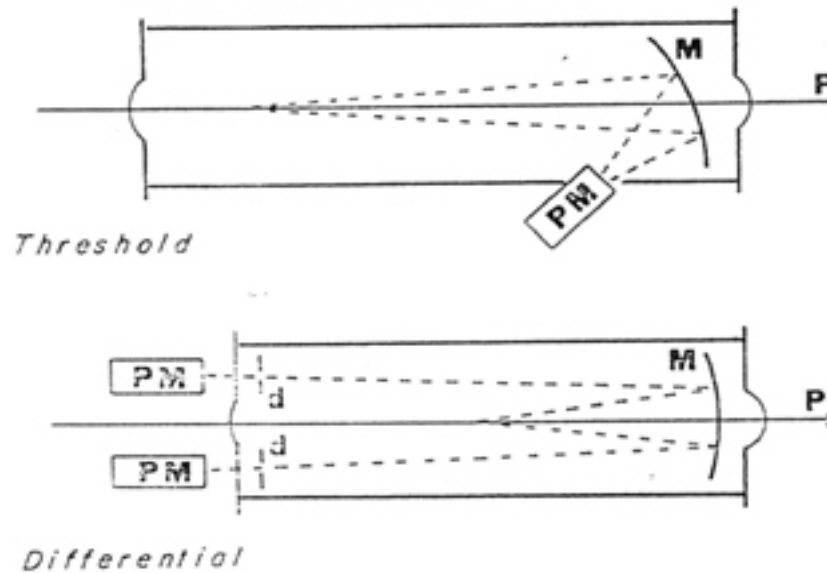
Fig. 14

Identyfikacja cząstek

Liczniki Czerenkowa

Liczniki Czerenkowa – progowy i różnicowy

Figure 8.4 Construction of typical threshold and differential Cerenkov counters. (PM) photomultiplier tube, (M) mirror, (P) particle moving along the counter axis, and (d) slit diaphragm. (J. Litt and R. Meunier, adapted with permission from the Annual Review of Nuclear Science, Vol. 23, © 1973 by Annual Reviews Inc.)



Identyfikacja cząstek

Liczniki Czerenkowa

Progowe liczniki Czerenkowa w eksperymencie NA11

