

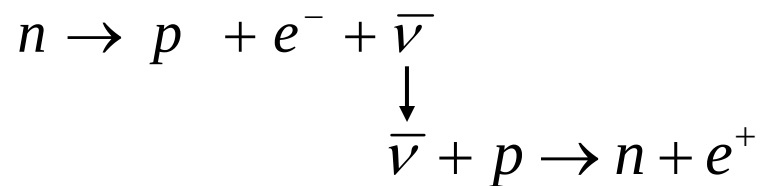
Entdeckung des Myon-Neutrinos

Inhalt

- Forschungsstand und Motivation
- Experimentelle Details
 - Aufbau
 - Detektor (Funkenkammer)
- Datenauswertung und Ergebnisse

Kurze Entdeckungsgeschichte

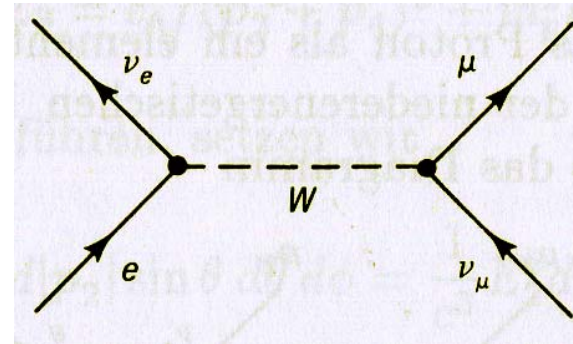
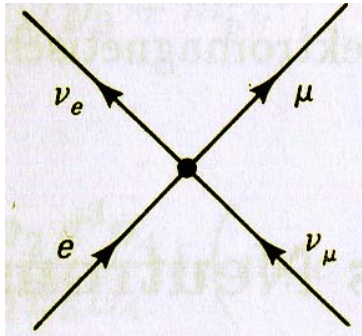
- 1932: vier Teilchen (γ , n , p , e)
- 1937: Entdeckung des μ mit Nebelkammer in Höhenstrahlung
- 1947: Entdeckung des π
- 1959: Beweis der Existenz des ν aus β -Zerfall (von Reines, Savannah River Reactor)



- Leptonzahl-Erhaltung
- keine Leptonfamilien
- **nur eine Art von Neutrinos**



Motivation



Fermi-Theorie der schwachen WW

- Punkt-WW ohne Boson
 - geringe Reichweite der WW
 - hohe Masse des W-Bosons
- ⇒ gute Näherung bei niedrigen Energien, Probleme bei hohen

⇒ Einführung der W/Z-Bosonen

- Untersuchungen des Ratios

$$\frac{\mu \rightarrow e + \gamma}{\mu \rightarrow e + \nu + \bar{\nu}}$$

- theoretisch $\approx 10^{-4}$
 - experimentell $< 10^{-8}$
- Lösung?

Annihilation?

Leptongenerationen

- Unterscheidung von ν_e und ν_μ
- Erhaltung von L_e und L_μ

	e^-	e^+	ν_e	$\bar{\nu}_e$
L_e	1	-1	1	-1

$\Rightarrow \mu^- \rightarrow e^- + \gamma$ verboten

$\Rightarrow$ aus $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu} + \nu$ wird $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$

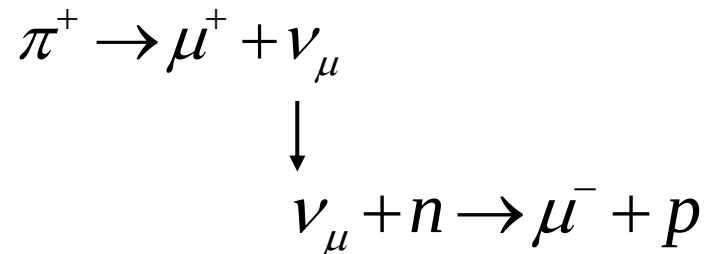
- erklärt zuvor unerwartet niedrigen Ratio

Experiment - Übersicht

OBSERVATION OF HIGH-ENERGY NEUTRINO REACTIONS AND THE EXISTENCE OF TWO KINDS OF NEUTRINOS

Brookhaven National Laboratory, 1962

- Ziel: Nachweis von ν_μ (und damit Unterscheidung von ν_e)
- erwartete Reaktionskette



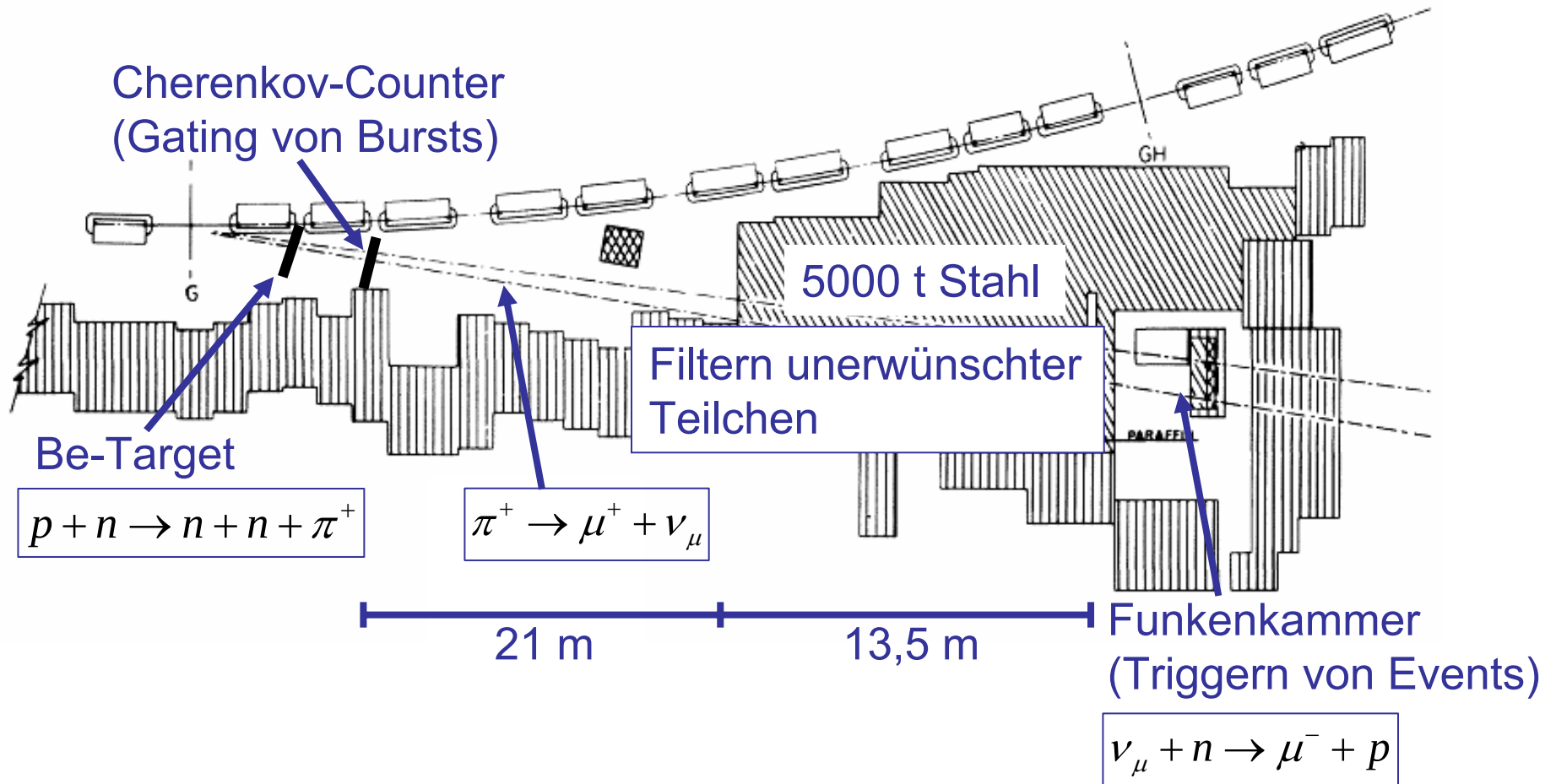
- Nachweis der μ^- im Detektor
- keine e^- erwartet

Alternating Gradient Synchrotron

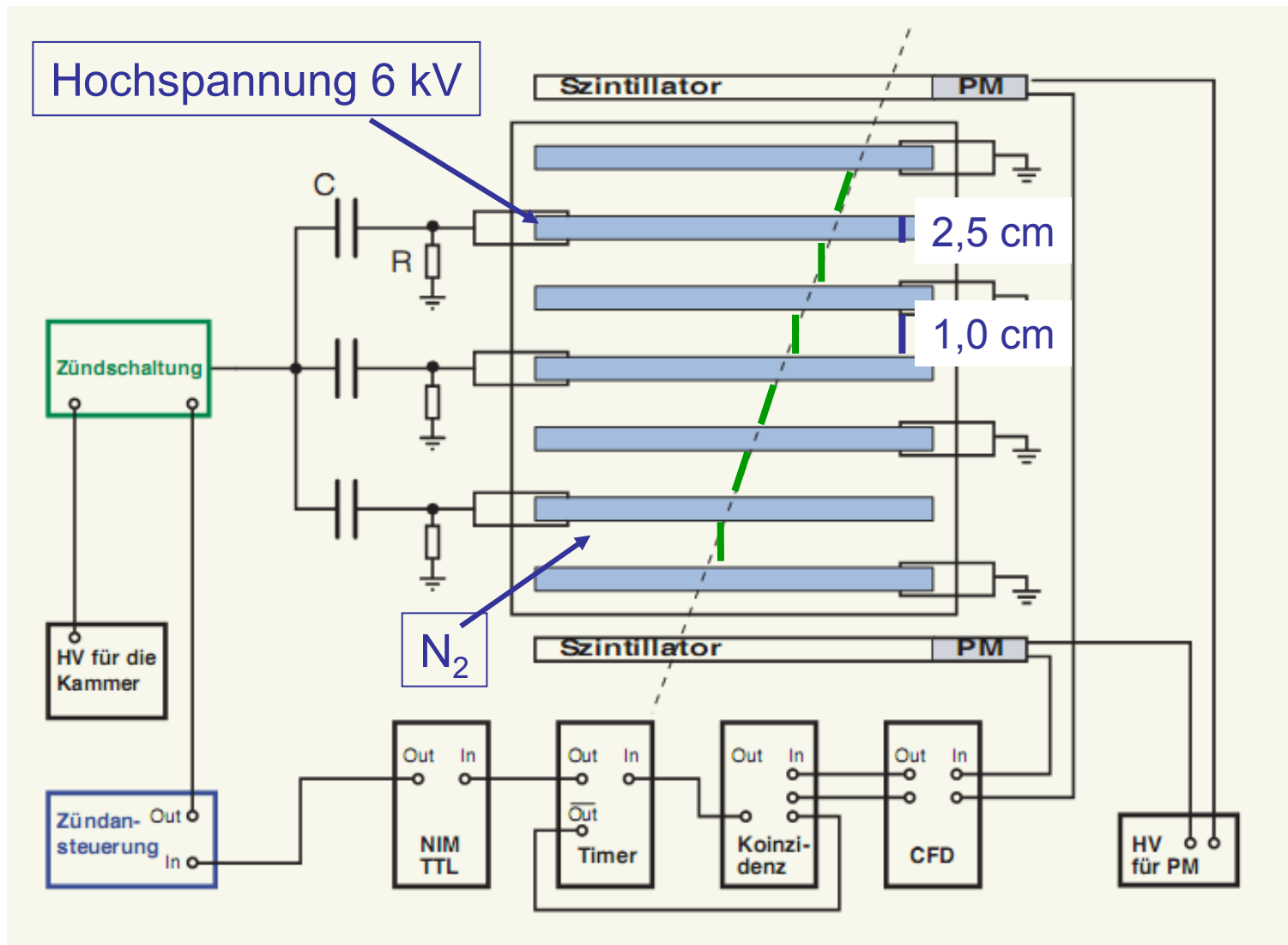


- erstmals *alternating gradient focusing*
- Durchmesser 250 m
- Protonen mit maximal 33 GeV (hier 15 GeV)
- 20 ns Bursts mit 220 ns Separation

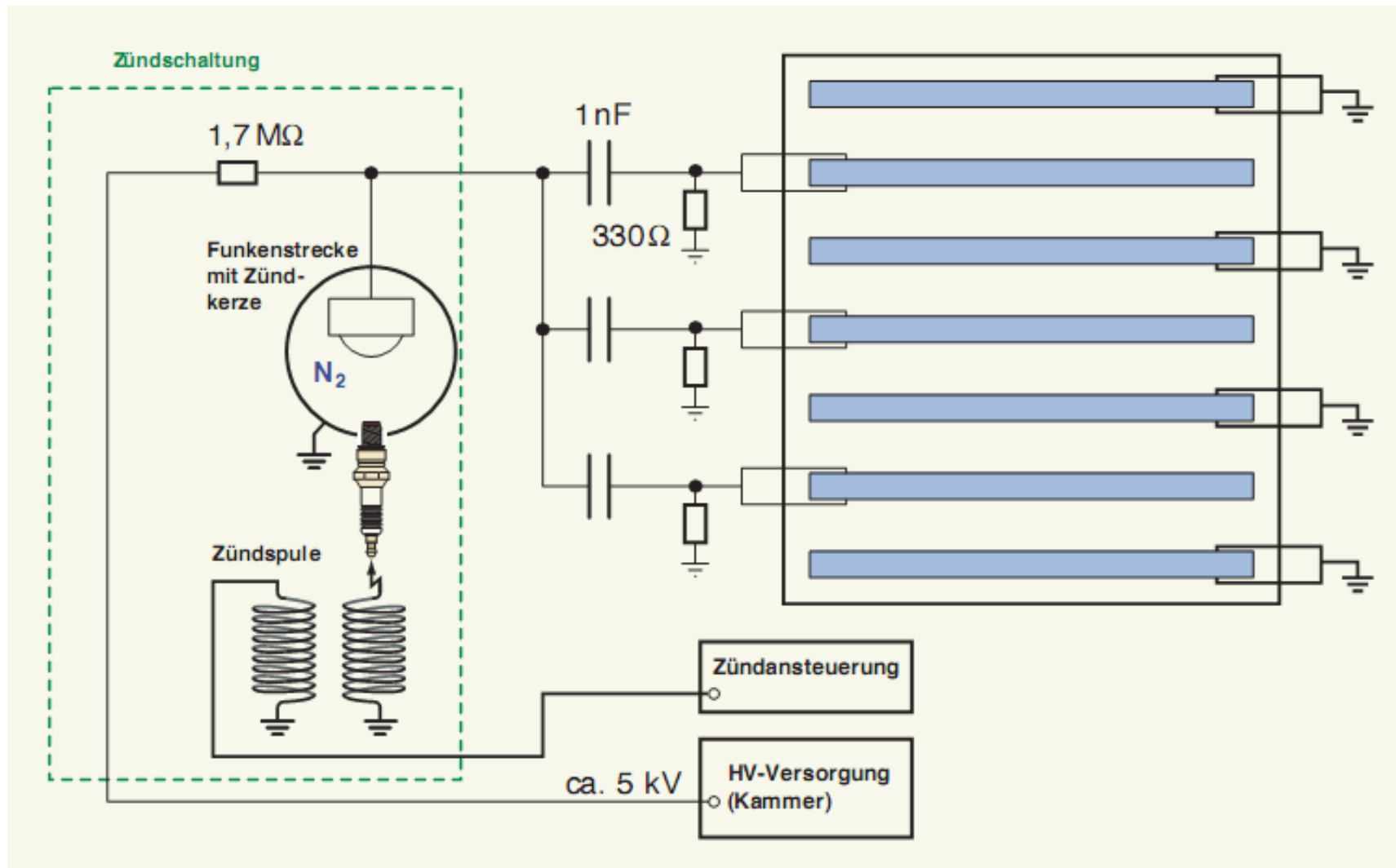
Experimenteller Aufbau



Funkenkammer



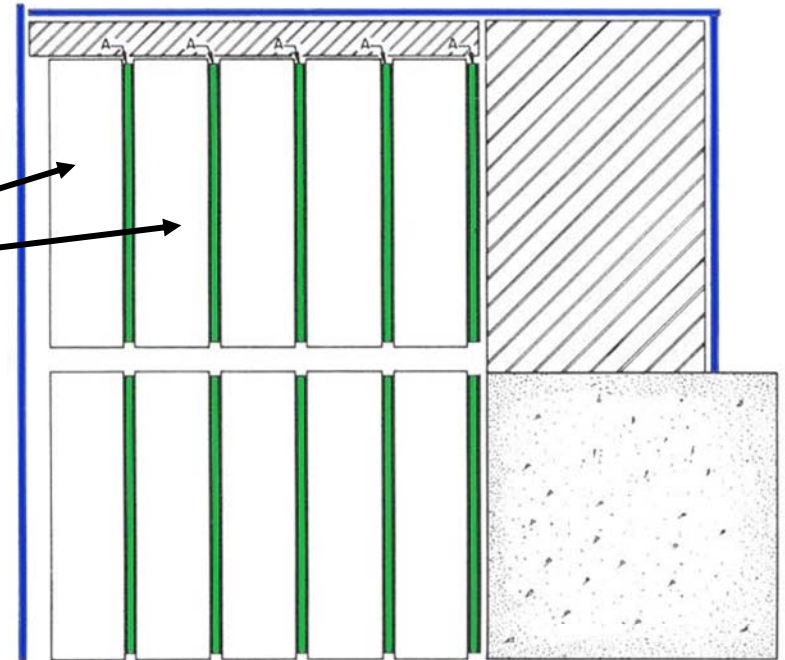
Zündschaltung

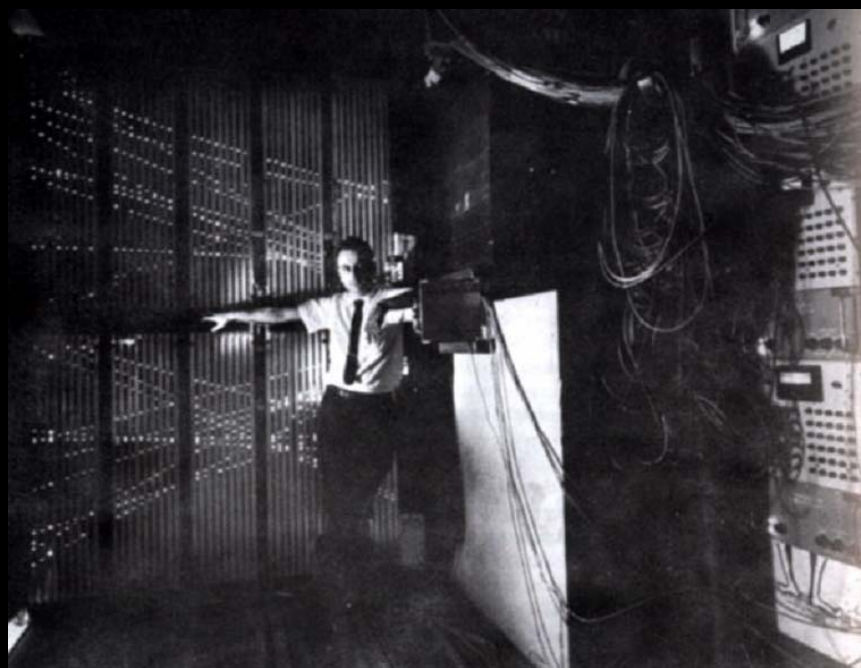


Funkenkammern-Aggregat

- Neutrinos reagieren im Aluminium
- $\nu_\mu + n \rightarrow p + \mu^-$
- 10 Trigger-Events / h
- durch Triggering nur 5,5 Sekunden aktiv

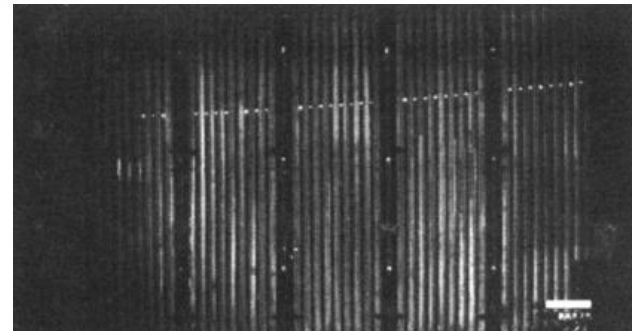
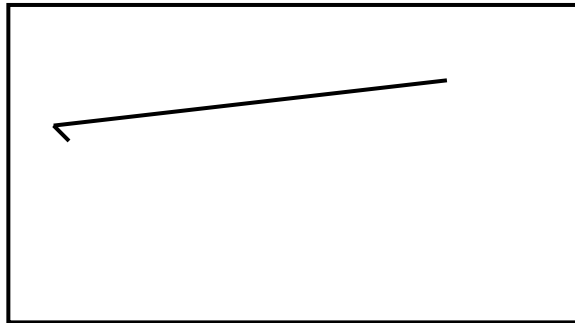
- Koinzidenz-Counter
- Antikoinzidenz-Counter
- 10 Funkenkammern
zu je 1 t aus Al gefüllt mit N₂
- Neutrino-Einfallsrichtung $\Rightarrow$



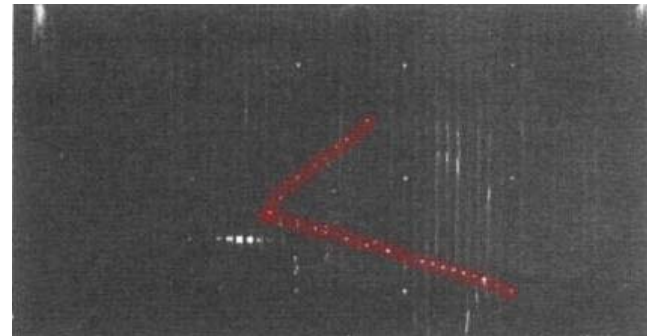
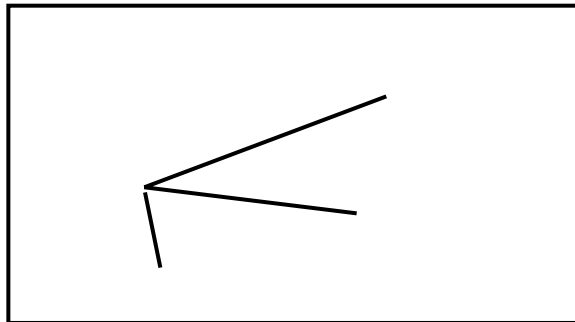


Klassifizierung der Events

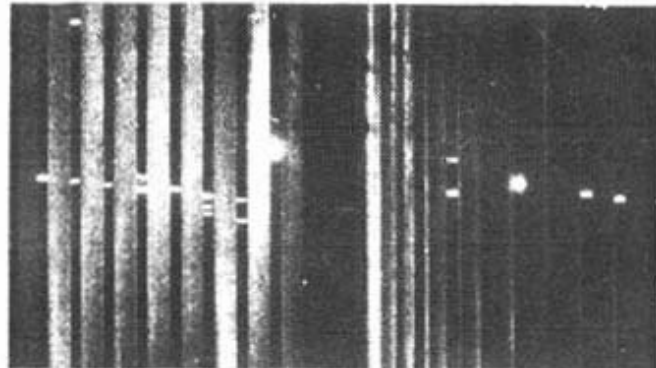
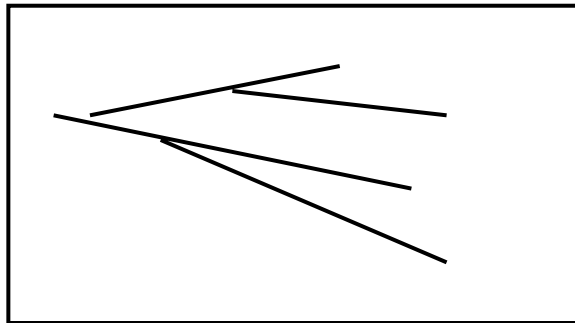
short/long
single track
(*myon*)



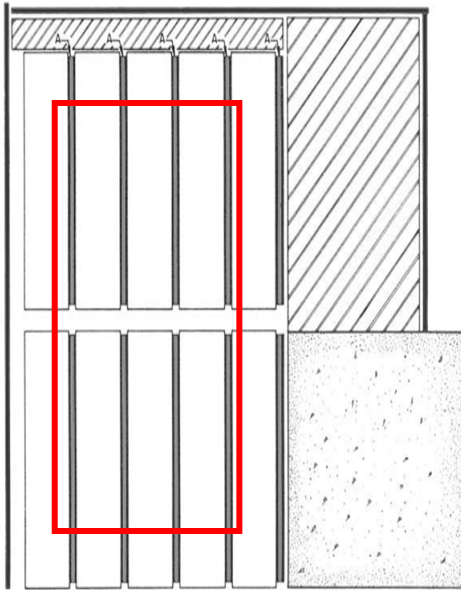
vertex
(*myons*)



shower
(*electron*)



Gültige Events



113 Events bei $3,48 \times 10^{17}$ Protonen,
davon

- 49 short single tracks ($p_\mu < 300 \text{ MeV/c}$)
- 34 long single tracks ($p_\mu > 300 \text{ MeV/c}$)
- 22 vertex events
- 8 showers (electron or proton showers)
davon 6 betrachtet mit $p_\mu \approx 300 \text{ MeV/c}$

⇒ 56 gültige Events

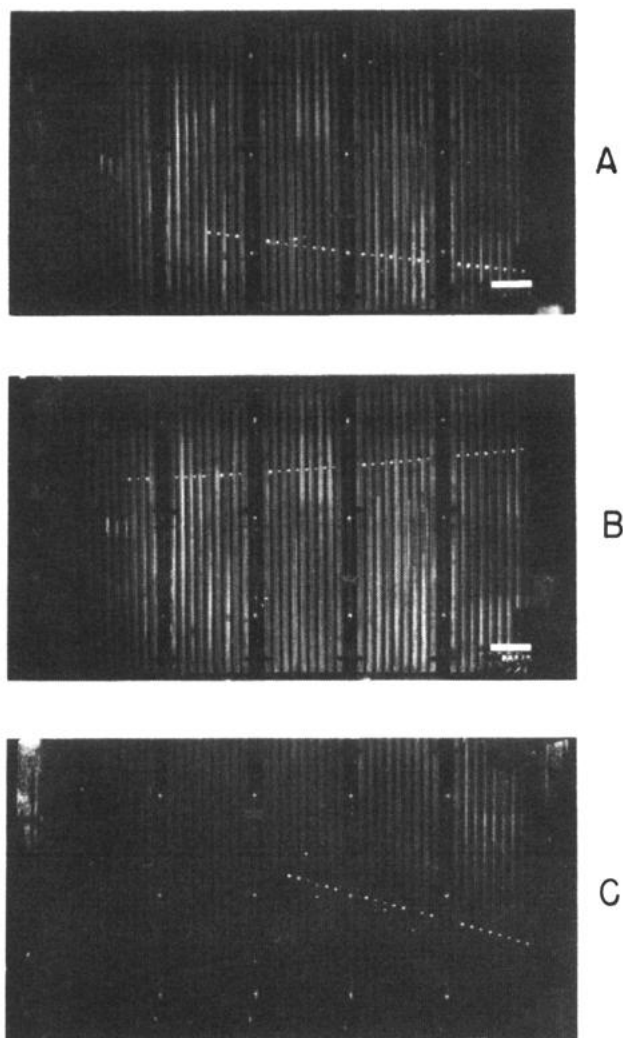


FIG. 5. Single muon events. (A) $p_\mu > 540$ MeV and δ ray indicating direction of motion (neutrino beam incident from left); (B) $p_\mu > 700$ MeV/c; (C) $p_\mu > 440$ with δ ray.

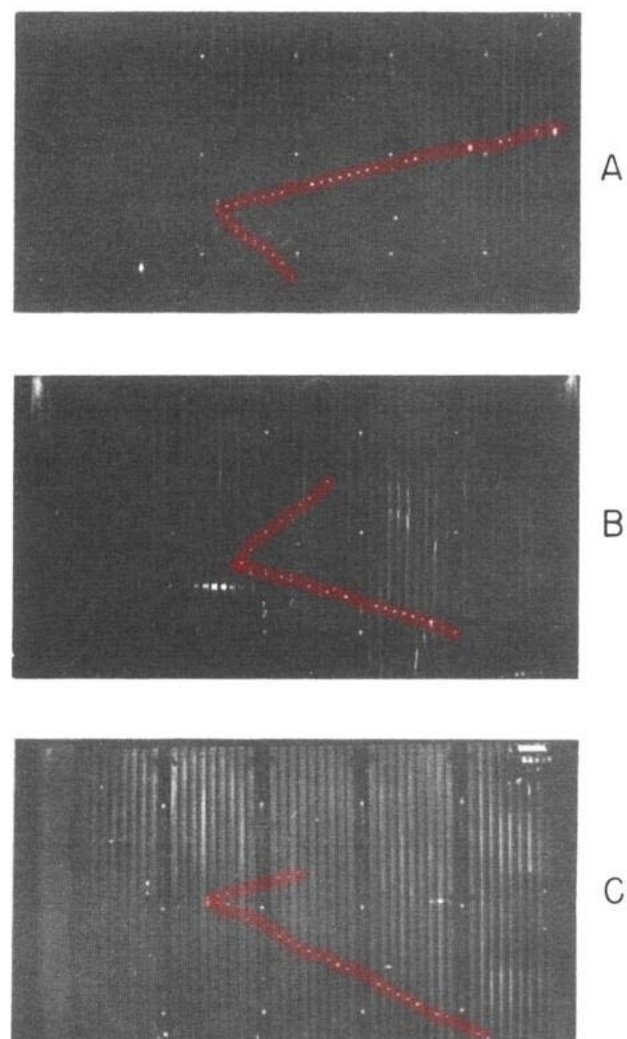


FIG. 6. Vertex events. (A) Single muon of $p_\mu > 500$ MeV and electron-type track; (B) possible example of two muons, both leave chamber; (C) four prong star with one long track of $p_\mu > 600$ MeV/c.

Ausschluss kosmischer Strahlung

- Tests ohne Gating durch Cherenkov-Counter
⇒ Trigger-Events: 80 / s statt 10 / h
- davon **5 $\pm$ 1** gültige Events von insgesamt 56
- Verteilung um 0-Linie

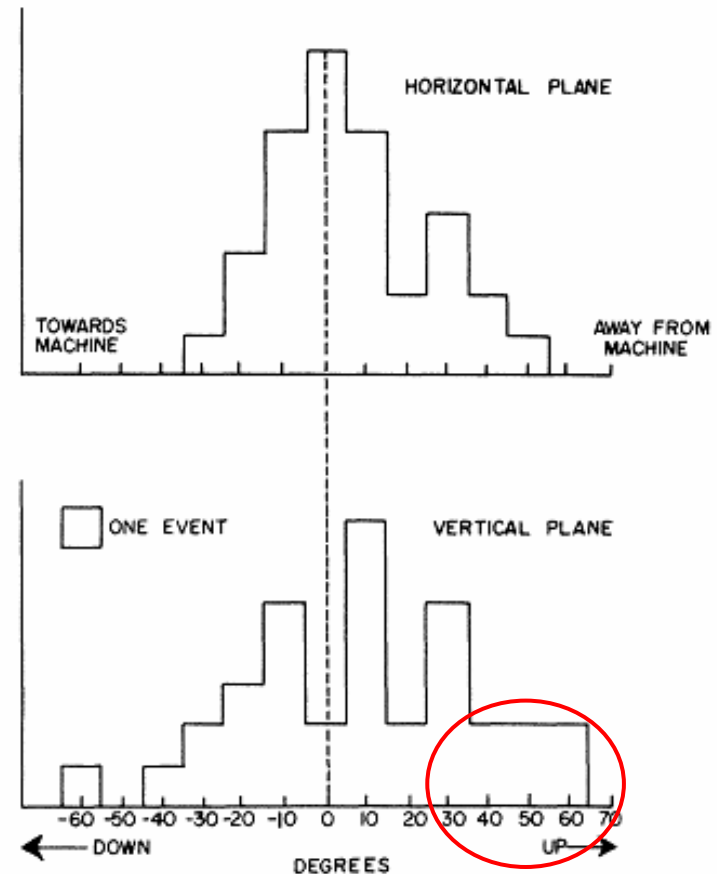
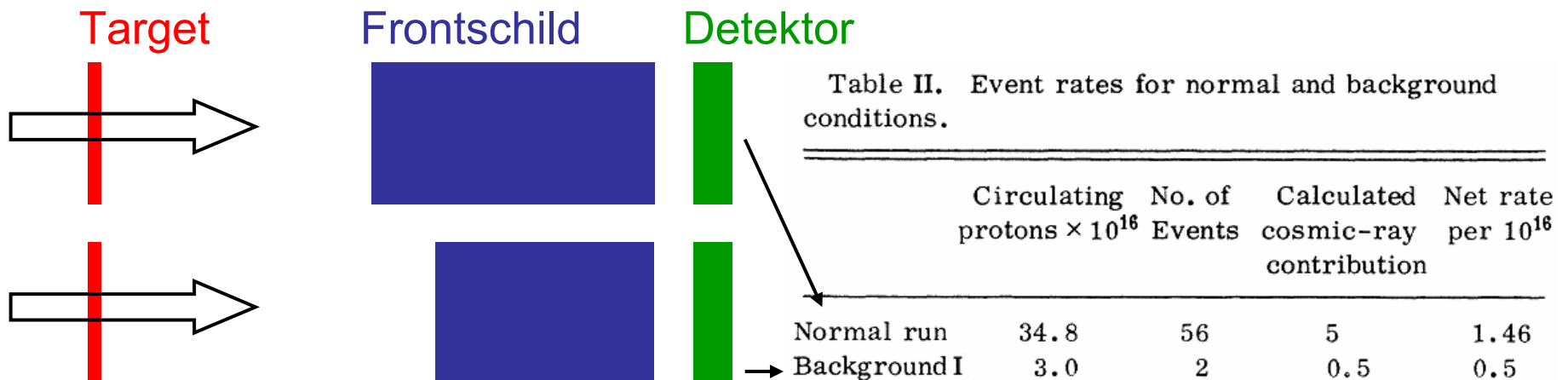


FIG. 7. Projected angular distributions of single track events. Zero degree is defined as the neutrino direction.

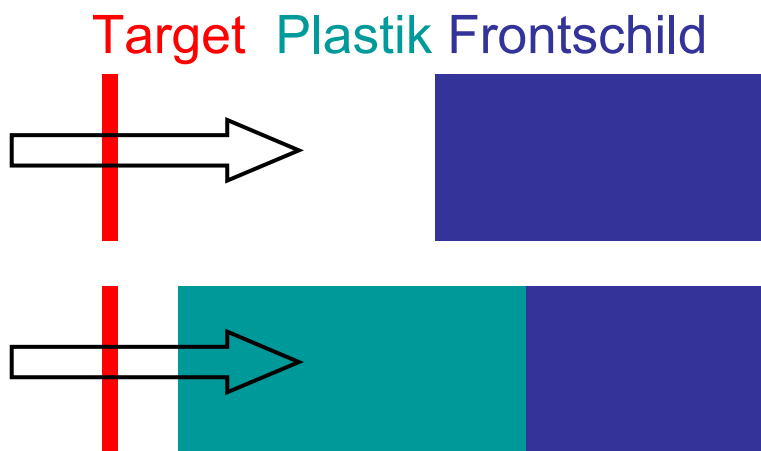
Ausschluss von Neutronen

- Reaktion nicht von Neutronen (aus Be-Target) verursacht
 - Ursprung der Events räumlich gleich verteilt
(aber freie Weglänge für Kernreaktionen in Al ca. 40 cm)
 - Abschirmung durch Frontschild, nur 10^{-4} Reaktionen erwartet
 - ⇒ Test durch Verdünnung des Frontschildes



Evidenz für Neutrinos

- produzierte Teilchen vermutlich Myonen
 - keine WW beim Durchgang von 820 cm Al
 - vgl. mittlere freie Weglänge von π : 100 cm
 - Reaktionsprodukte stammen aus dem Zerfall von π und K
 - Ersetzen von 4 ft Stahl durch Plastik (gleiche freie Weglänge)
- ⇒ Reduktion der Zerfallslänge auf 1/8
- Reduktion der Events entspricht Erwartung



Detektor

Table II. Event rates for normal and background conditions.

	Circulating protons $\times 10^{16}$	No. of Events	Calculated cosmic-ray contribution	Net rate per 10^{16}
Normal run	34.8	56	5	1.46
Background II	8.6	4	1.5	0.3

Schlussfolgerung

- Reaktionen durch Neutrinos
- produzierte Teilchen sind Myonen
- ⇒ es handelt sich um $\nu + n \rightarrow \mu^- + p$
- falls $\nu_e = \nu_\mu \Rightarrow$ gleiche Zahl von e und μ Events
- 34-5 (kosmische Strahlung) μ Events
- maximal 6 beobachtete Shower

$$\Rightarrow \nu_e \neq \nu_\mu$$

⇒ ZWEI ARTEN VON NEUTRINOS

Nobelpreis

Discovery of the Muon-Neutrino, 1988



Leon Lederman, Melvin Schwartz and Jack Steinberger