

---

# Entdeckung der Neutrinos

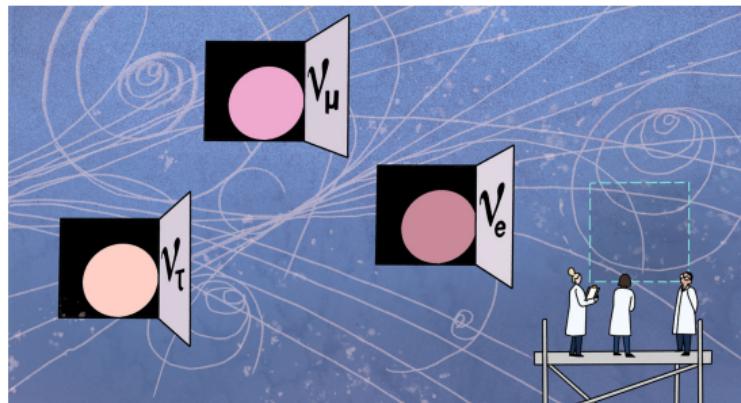
---

Tim Sedlaczek

04.11.2022

## Inhalt

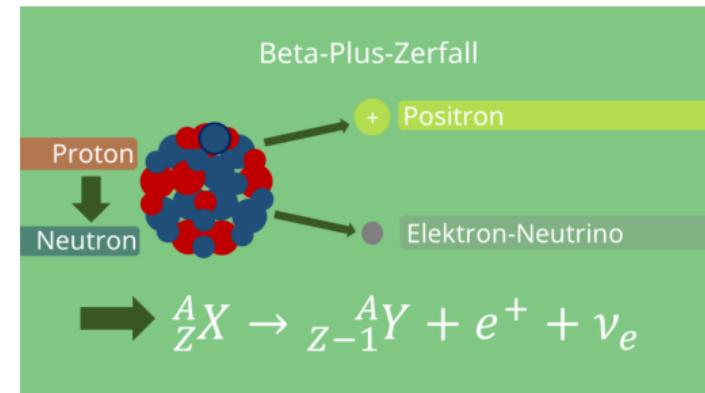
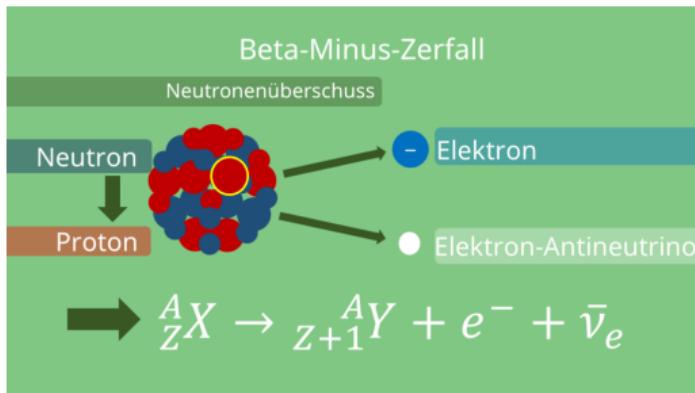
- Der frühe Stand der Teilchenphysik
- Beta-Zerfall und das Problem der verschiedenenenergetischen Elektronen
- Cowan-Reines-Neutrinoexperiment
- Homestake Experiment
- SN 1987A
- Ausblick



## Der frühe Stand der Teilchenphysik

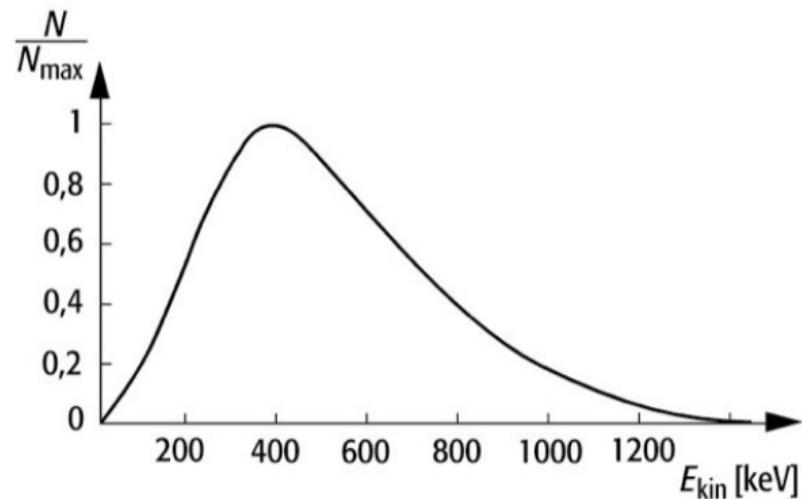
- 1897: J. J. Thomson: Entdeckung des Elektrons
- 1900: Plancks Erklärung der Schwarzkörperstrahlung mit Hilfe des Photons
- 1914: Atommodell von Bohr
- 1931: Andersons Entdeckung des Positrons mit Hilfe von kosmischer Strahlung
- 1932: Chadwicks Entdeckung des Neutrons
- 1937: Entdeckung von Mesonen wie Pionen

## Beta-Zerfall



## Probleme der 1920er

- Vermutung: Beta-Zerfall ist Zweikörperzerfall  
→ Elektronenenergie müsste immer gleich sein
- Stattdessen verschiedene Elektronenenergien  
→ Problem mit der Energieerhaltung
- 1930: Pauli postuliert den Betazerfall als Dreikörperzerfall  
→ Fermi nennt das dritte Teilchen Neutrino (ital. "kleines Neutron")

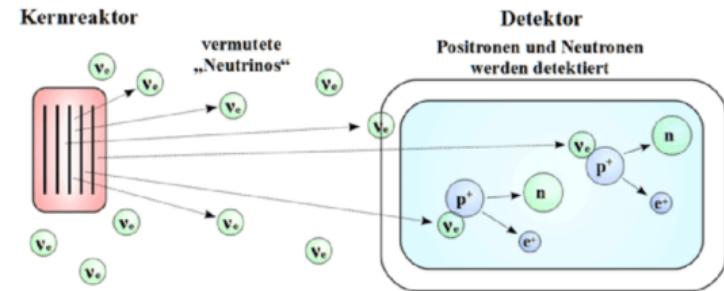


## Postulationen

- Pauli: Elektron und Neutrino teilen sich die Energie  
→ Das Neutrino entkommt jedoch: "verzweifelter Ausweg"
- Cowan-Reines-Experiment
- Ray Davis: Homestake Experiment

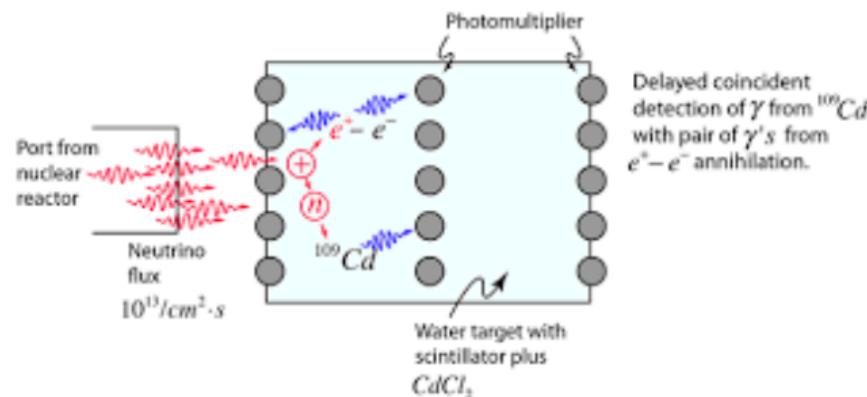
## Cowan-Reines-Experiment

- Projekt "Poltergeist"
- Erste direkte Beobachtung von Neutrinos
- Prozess:  $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$
- Antineutrino-Flussdichte:  $5 \cdot 10^{13} \frac{1}{s \cdot cm^2}$
- Messung von durch Paarvernichtung erzeugten Photonen  
→ Kernreaktor als Antineutrinoquelle



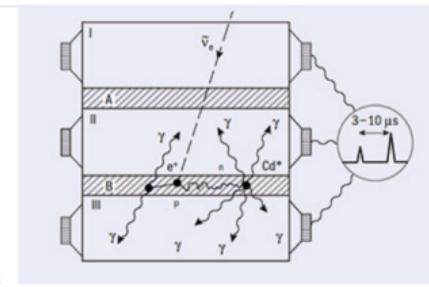
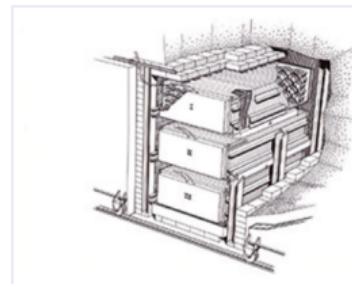
## Cowan-Reines-Experiment

- Nachweisen des Neutrons durch Einfangen in einem Kern
- Antineutrinos wechselwirken mit Protonen in einem Wassertank
- Entstehende Photonen bei Paarvernichtung  $E \approx 511\text{keV}$  regen Szintillatoren an
- Im Wasser gelöstes Cadmiumchlorid:  
 $n + {}^{113}\text{Cd} \rightarrow {}^{114}\text{Cd} + \gamma$

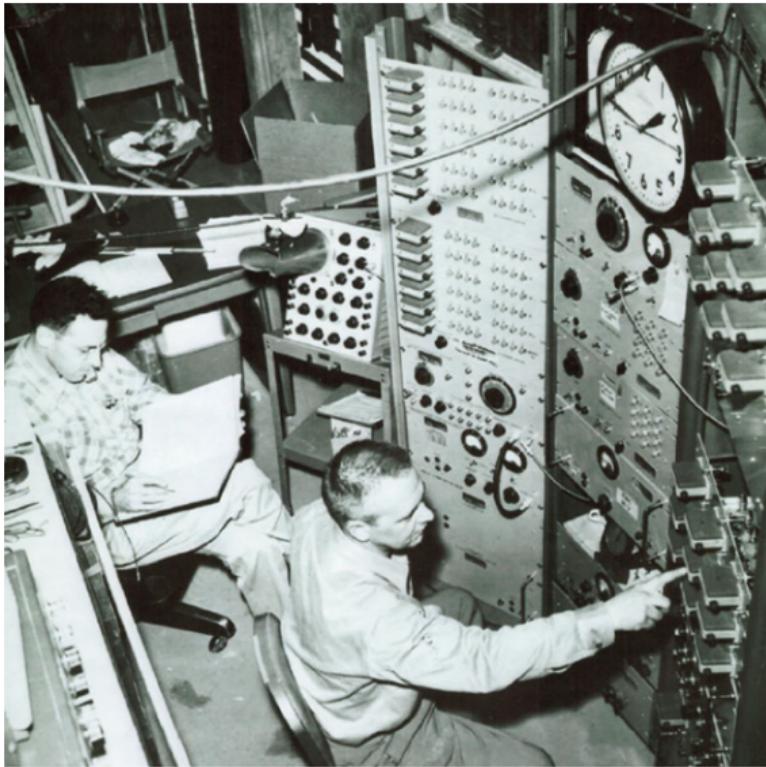


## Cowan-Reines-Experiment

- Zur Abschirmung kosmischer Strahlung → 12m unter der Erde  
→ zusätzlicher Szintillationsdetektor in Antikoinzidenz zu den beiden anderen Detektoren
  
- Verwendung von 2 Tanks mit 200 L Wasser und 40 kg Cadmiumchlorid
  
- 110 Photoelektronvervielfacher
  
- Drei 1400 L Szintillationsdetektoren
  
- Gemessener Wirkungsquerschnitt:  
$$\sigma = 6.3 \cdot 10^{-44} \frac{1}{cm^2}$$

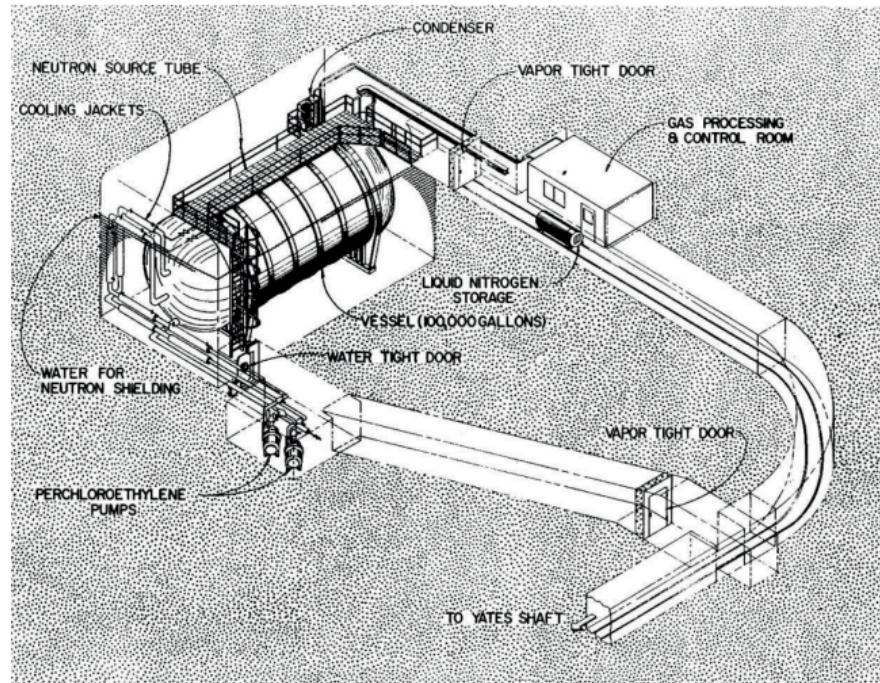


## Cowan-Reines-Experiment



## Homestake Experiment

- Durchgeführt von 1970-1994 in der Homestake-Mine in South Dakota
- Prozess:  $\nu_e + ^{37}Cl \rightarrow ^{37}Ar + e^-$
- Theoretische Vorhersage: In etwa 600 Tonnen Chlor eine Umwandlung pro Tag
- Argon Halbwertszeit: *approx*35 Tage  
→ Zerfall nachweisbar



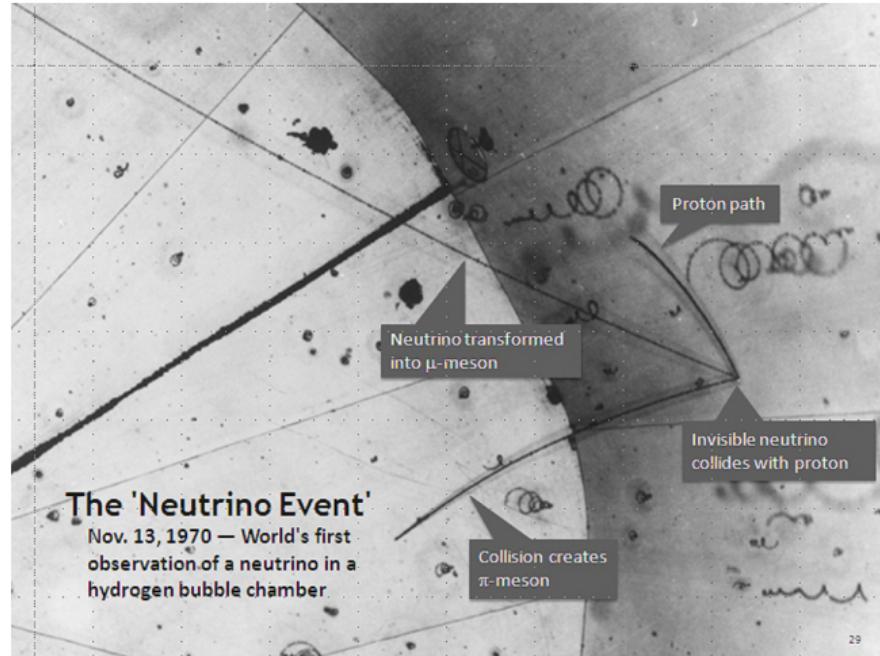
## Homestake Experiment

- 1478m unter der Erde
- Störquellen: Kosmische Myonen, Alphastrahler im Baumaterial, Radon in der Luft  
→ Durch kosmische Myonen: 0.05 Argonatome pro Tag
- Experiment wurde zunächst belächelt, aber über Jahrzehnte stabile Messungen
- 0.5 Neutrinos pro Tag gemessen  
→ Nur etwa ein Drittel der Vorhersage, solares Neutrino Problem!



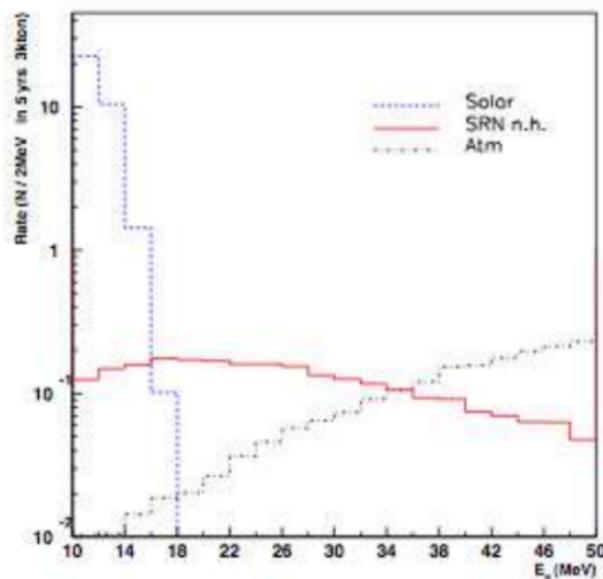
## Erste Aufnahme in einer Blasenkammer

- 1970 erste Aufnahme eines Neutrinos
- Prozess:  $\nu_\mu + p \rightarrow \pi^+ + \mu^- + p$
- unsichtbares Myonneutrino erzeugt Pion und Myon vermittelt durch W-Boson



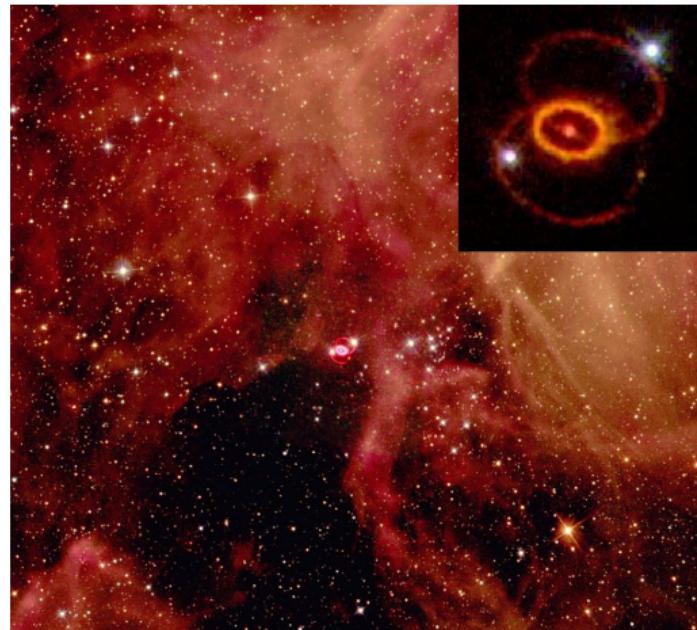
## Energiespektrum von Neutrinos verschiedener Quellen

- Unterschiedliche Energien von Neutrinos ermöglichen unterschiedliche Erkenntnisse
- Solare Neutrinos wie im Homestake-Experiment niederenergetisch (pp-Kette)
- Energie von atmosphärischen Neutrinos abhängig vom Erzeugerteilchen
- Supernovae besonders interessant
  - Eine Quelle
  - Hochenergetische Teilchen möglich
  - Extrem hohe Anzahl von Neutrinos



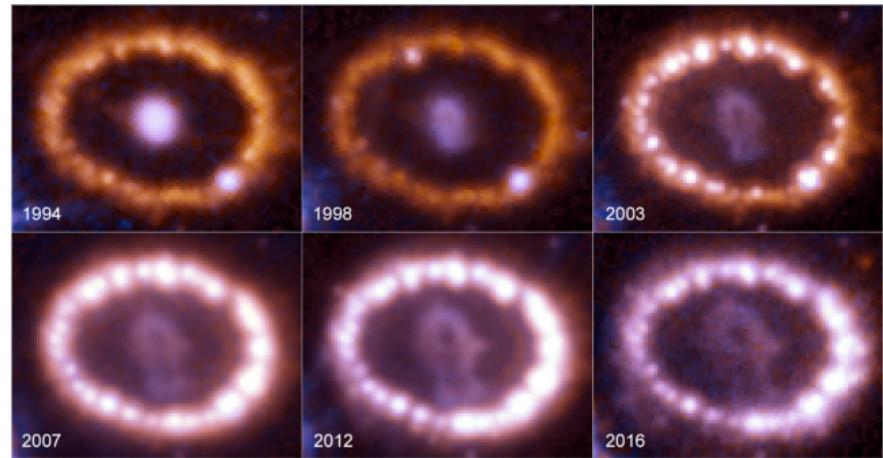
## SN 1987A

- Supernova: Sternenexplosion, emittieren von  $\approx 10^{58}$  (Anti-)Neutrinos in allen Lepton-Flavours
- Ursprünglich Dreifachsternsystem
- 157000 Lichtjahre entfernt
- Drei Stunden vor dem sichtbaren Licht erreichten viele Neutrinos die Erde  
→ Neutrinogeschwindigkeit unterscheidet sich kaum von  $c$



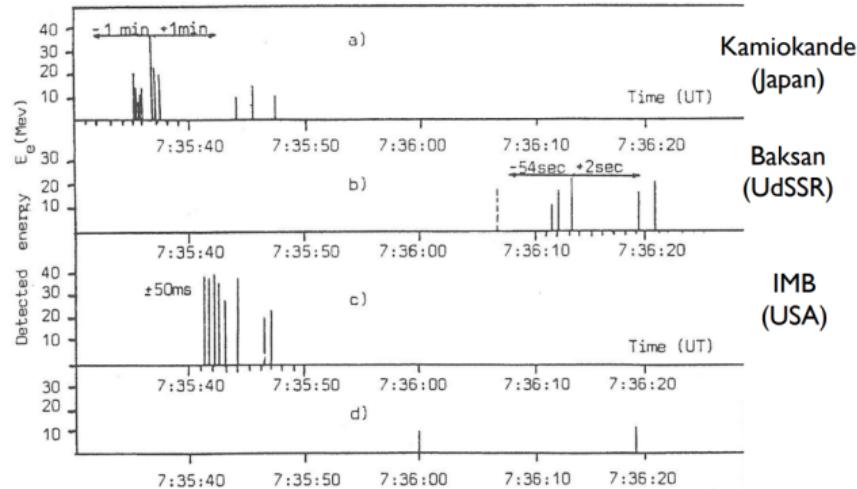
## SN 1987A

- Zeitlicher Ablauf der Schockwelle
- Interaktion mit umliegenden Material
- Erste Neutrinosmessung an einer Supernova



## SN 1987A

- Kamiokande: 11 Neutrinos in 13 Sekunden gemessen
- Irvine Michigan Brookhaven Experiment: Messung von 8 Neutrinos



## Ausblick

- Steriles Neutrino
- Weitere Supernovae
- BSM-Physik

