

---

# Entdeckung der Neutrinos

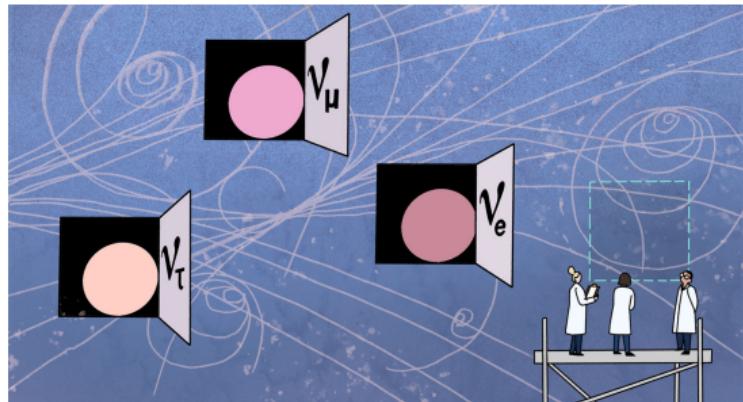
---

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

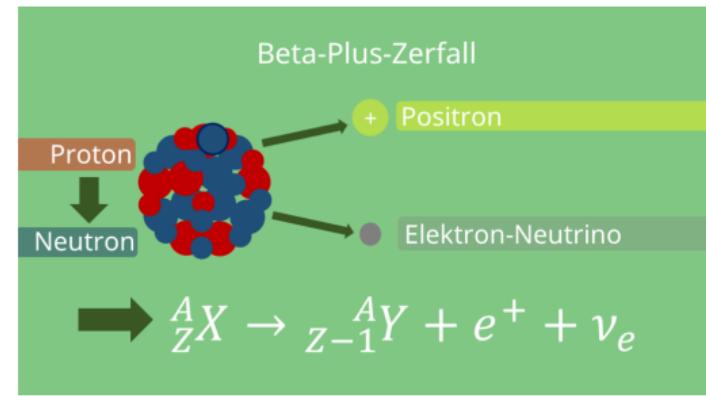
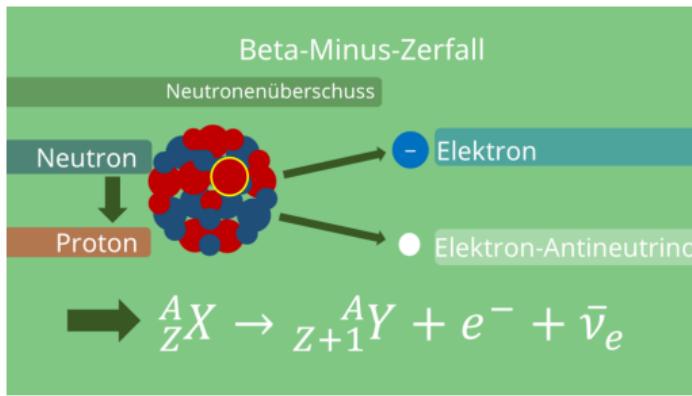


Quelle: Sandbox Studio, Corinne Mucha (2021)

## Der frühe Stand der Teilchenphysik

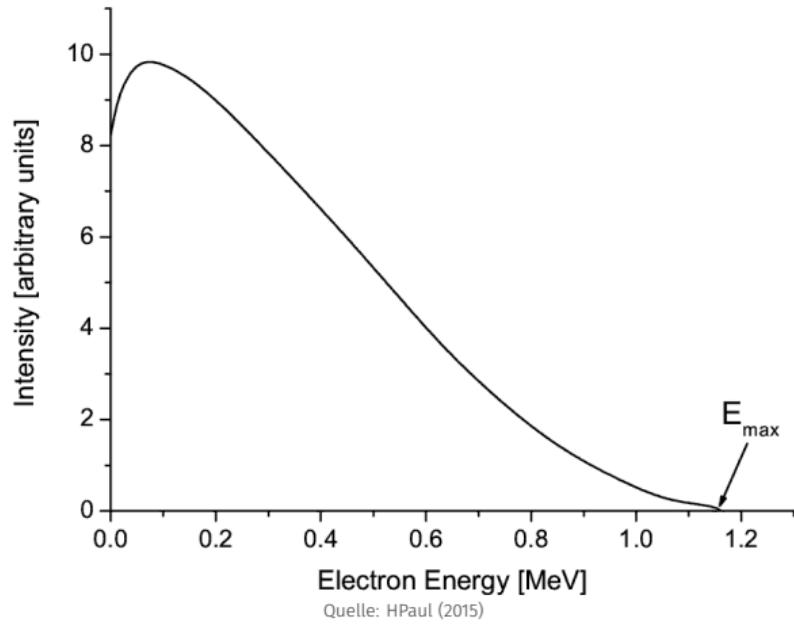
- 1897: J. J. Thomson: Entdeckung des Elektrons
- 1900: Plancks Erklärung der Schwarzkörperstrahlung mit Hilfe des Photons
- 1914: Atommodell von Bohr
- 1931: Andersons Entdeckung des Positrons mit Hilfe von kosmischer Strahlung
- 1932: Chadwicks Entdeckung des Neutrons
- 1937: Entdeckung vom Pion

## 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")

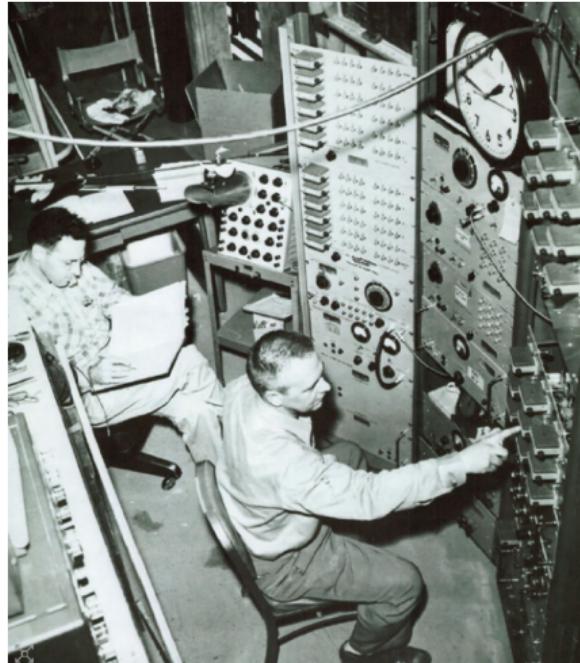


## Folgerungen

- Pauli: Elektron und Neutrino teilen sich die Energie
  - Das Neutrino entkommt jedoch: "verzweifelter Ausweg"
  
- Cowan-Reines-Experiment
  - Erste direkte Beobachtung von Neutrinos
  
- Ray Davis: Homestake Experiment
  - Erste direkte Beobachtung kosmischer Neutrinos

## Cowan-Reines-Experiment

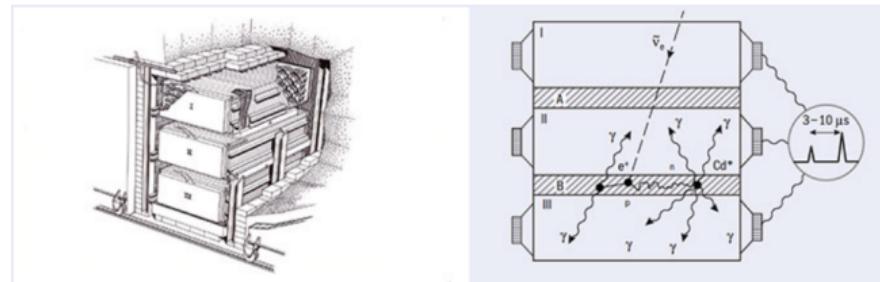
- Erste direkte Beobachtung von Neutrinos!
- Projekt "Poltergeist"



Quelle: Los Alamos National Laboratory (1956)

## Cowan-Reines-Experiment

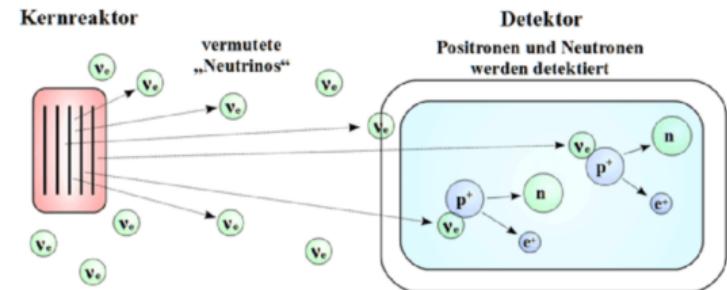
- Zur Abschirmung kosmischer Strahlung
- 12m unter der Erde
- zusätzlicher Szintillationsdetektor in Antikoinzidenz zu den beiden anderen Detektoren
- Verwendung von 2 Tanks mit 200 L Wasser und 40 kg Cadmiumchlorid
- 110 Photoelektronvervielfacher
- Drei 1400 L Szintillationsdetektoren



Quelle: Los Alamos National Laboratory (1956)

## Cowan-Reines-Experiment

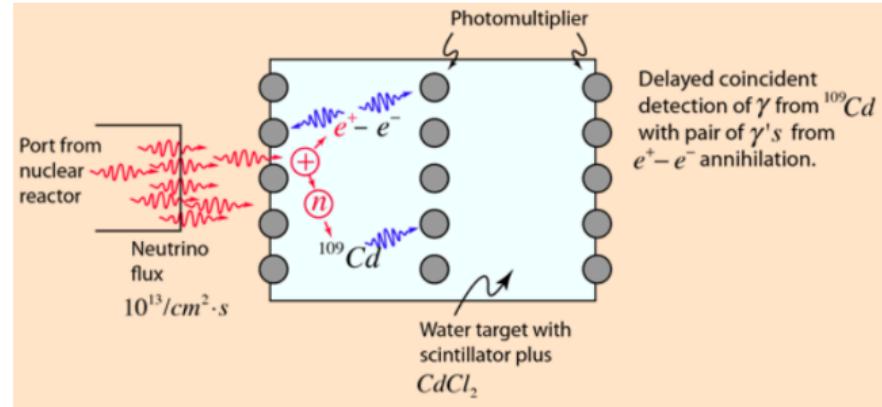
- Prozess:  $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$
- Antineutrinos wechselwirken mit Protonen in einem Wassertank
- Antineutrino-Flussdichte:  $5 \cdot 10^{13} \frac{1}{s \cdot cm^2}$  von einer Kernreaktorquelle



Quelle: Hans-G. Hildebrandt (2015)

## Cowan-Reines-Experiment

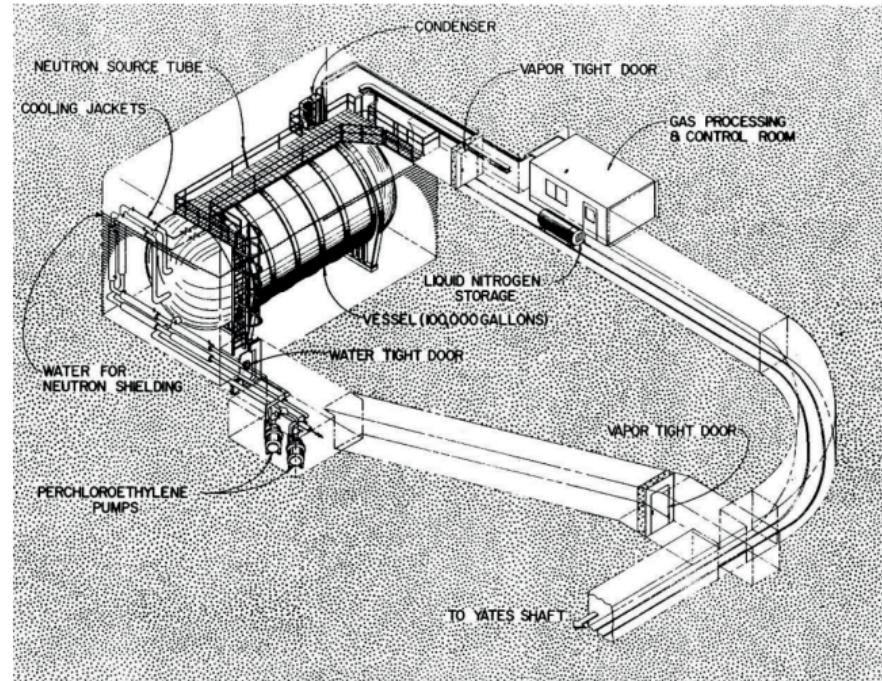
- Messung von durch Paarvernichtung erzeugten Photonen
- Nachweisen des Neutrons durch Einfangen in einem Kern
- Im Wasser gelöstes Cadmiumchlorid:  
 $n + {}^{113}Cd \rightarrow {}^{114}Cd + \gamma$
- Entstehende Photonen bei Paarvernichtung  $E \approx 511\text{keV}$  regen Szintillatoren an
- Gemessener Wirkungsquerschnitt:  
 $\sigma = 6.3 \cdot 10^{-44} \frac{1}{cm^2}$



Quelle: Cowan, Reines (1956)

## Homestake Experiment

- Erste direkte Beobachtung von kosmischen Neutrinos!
  - Durchgeführt von 1970-1994 in der Homestake-Mine in South Dakota
  - 1478m unter der Erde
  - Störquellen: Kosmische Myonen, Alphastrahler im Baumaterial, Radon in der Luft
- Durch kosmische Myonen: 0.05 Argonatome pro Tag



Quelle: Kenneth Lande (2022)

## Homestake Experiment

- Prozess:  $\nu_e + {}^{37}Cl \rightarrow {}^{37}Ar + e^-$
- Theoretische Vorhersage: In etwa 600 Tonnen Chlor eine Umwandlung pro Tag
- Argon Halbwertszeit:  $\approx 35\text{ d} \rightarrow$  Zerfall nachweisbar



Quelle: U.S. Department of Energy (2013)

## Homestake Experiment

- Argonproduktionsrate von 1970 bis 1990

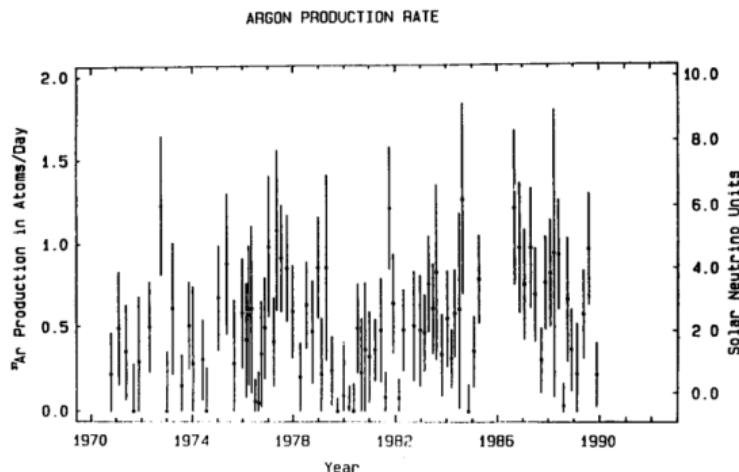
- Ergebnisse von 99 runs

- $0.437 \pm 0.042$  Atome pro Tag  
 $2.32 \pm 0.22$  SNU

- $1 \text{ SNU} = 10^{-36}$  Reaktionen pro Sekunde pro Atom im Detektor

- Vorhersage aus Sonnenmodellen war 7.5 SNU

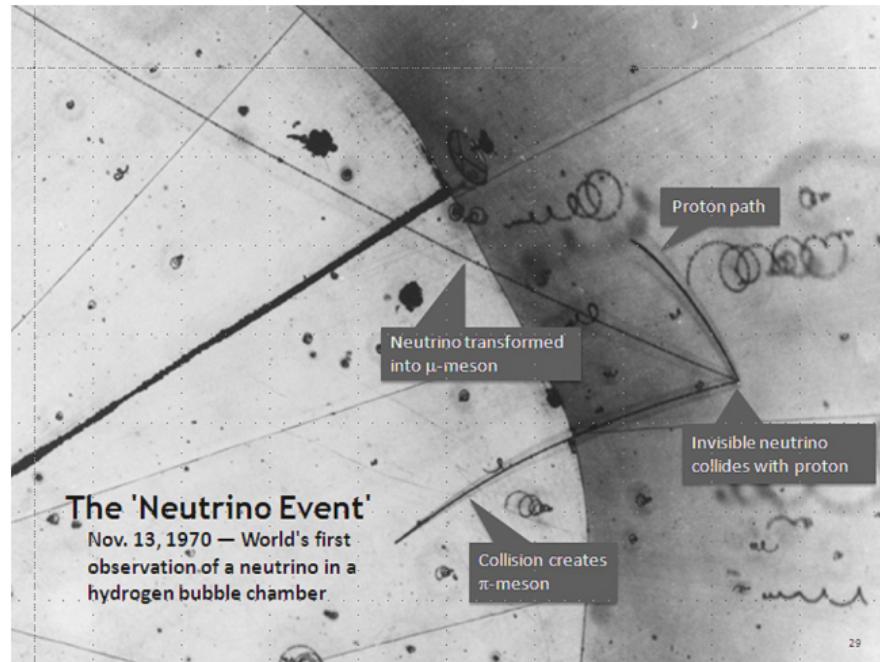
→ Solares Neutrino Problem



Quelle: Davis (1994)

## Erste Aufnahme in einer Blasenkammer

- Bisher keine direkten Bilder eines Zerfallprozesses bis → 1970 erste Aufnahme eines Neutrinos
- Prozess:  $\nu_\mu + p \rightarrow \pi^+ + \mu^- + p$
- unsichtbares Myonneutrino erzeugt Pion und Myon vermittelt durch W-Boson



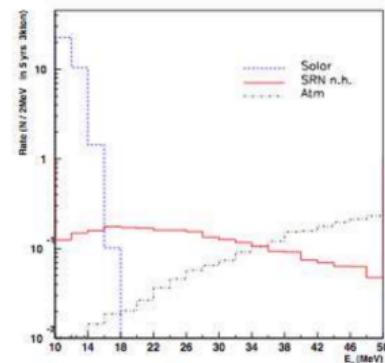
Quelle: Argonne National Laboratory (1970)

## Zwischenstand

- 1970 waren Myon und Myon-Neutrino (1962) bekannt
- $\tau$  und  $\nu_\tau$  unbekannt
- Neue Experimente:
  - SLAC (Stanford Linear Accelerator Center)
  - DONUT (Direct observation of the nu tau)
- Kosmische Quellen?

## Energiespektrum von Neutrinos verschiedener Quellen

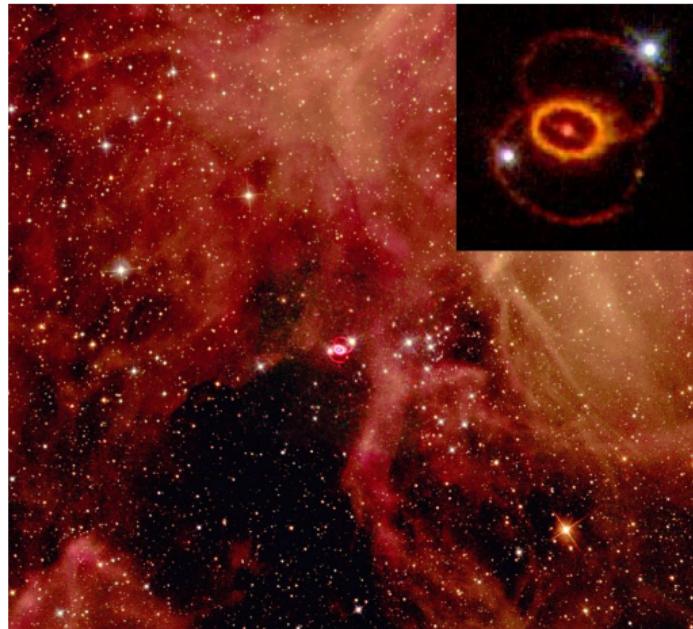
- Solare Neutrinos wie im Homestake-Experiment niederenergetisch (pp-Kette)
- Energie von atmosphärischen Neutrinos abhängig vom Erzeugerteilchen
- Supernovae besonders interessant
  - Eine Quelle
  - Hochenergetische Teilchen möglich
  - Extrem hohe Anzahl von Neutrinos



Quelle: Long-Baseline Neutrino Experiment Collaboration (2011)

## SN 1987A

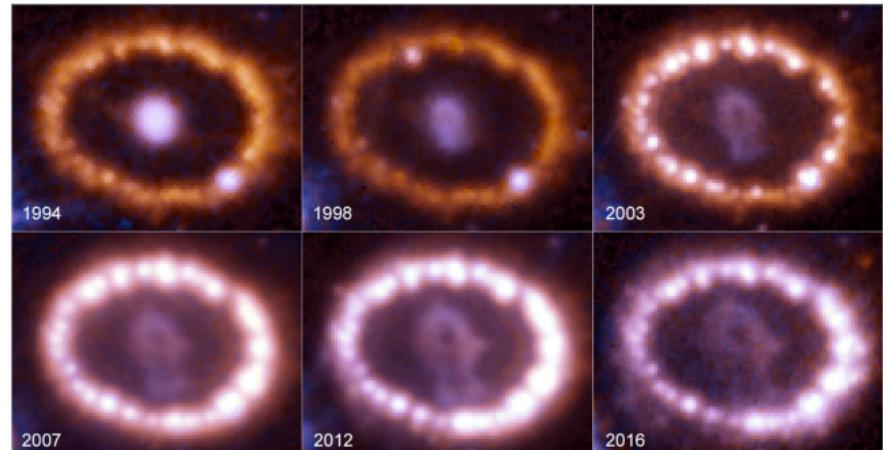
- Supernova: Sternenexplosion, emittieren von  $\approx 10^{58}$  (Anti-)Neutrinos in allen Lepton-Flavours
- Ursprünglich Dreifachsternsystem
- 157000 Lichtjahre entfernt
- Drei Stunden vor dem sichtbaren Licht erreichten viele Neutrinos die Erde
- Neutrinogeschwindigkeit unterscheidet sich kaum von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



Quelle: ESA/Hubble (1994/1999)

## SN 1987A

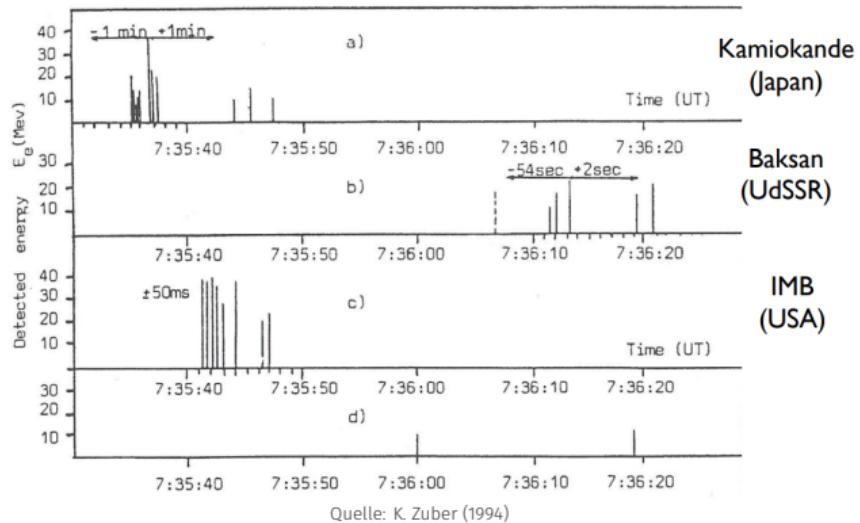
- Zeitlicher Ablauf der Schockwelle
- Interaktion mit umliegenden Material
- Erste Neutrinosmessung an einer Supernova



Quelle: esa (2017)

## SN 1987A

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

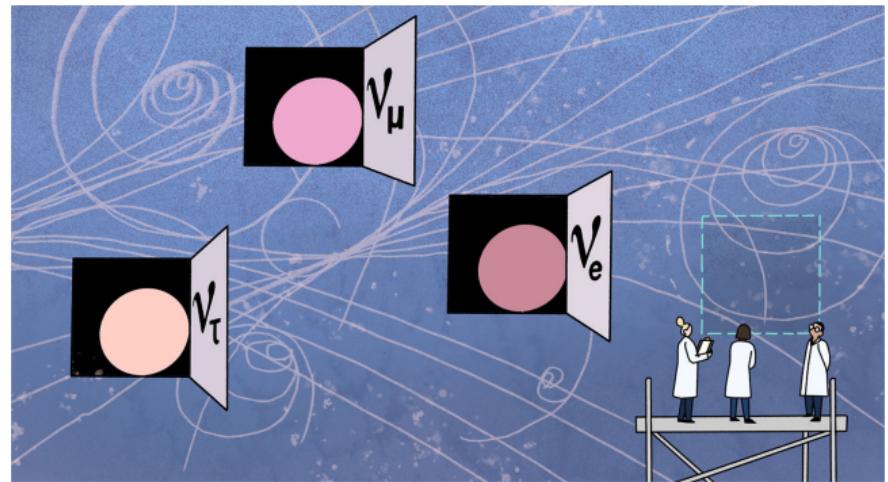


## Ausblick

- Steriles Neutrino
- Weitere Supernovae
- BSM-Physik

## Steriles Neutrino

- Hypothetisches Elementarteilchen
- Wechselwirkung nur durch Gravitation
- Eventuell sehr massereich → Erzeugung der Massen der leichten Neutrinos



Quelle: IceCube - University of Wisconsin (2021)

## Zusammenfassung

- Fast 30 Jahre von Postulation bis zum ersten Nachweis durch Cowan-Reines-Experiment
- Solares Neutrinoproblem beim Homestake-Experiment
- Neutrinos von Supernovae ideal zum ausrichten von Teleskopen
- Neutrinooszillation ist symmetriebrechend → nächste Woche!

Vielen Dank für's zuhören!

