

Filipe Ramalho | Jonathan Vogt

Neutrinforschung

anhand des Icecube-Projekt

Besondere Lernleistung
Sprendlingen, März 2019

IGS Gerhard Ertl
Physik-Leistungskurs bei Mathias Wenzel



Kernthesen

Arbeitsprozess

Inhaltsverzeichnis

Kernthesen	2
Arbeitsprozess	3
Inhaltsverzeichnis	4
1 IceCube South Pole Observatory	5
1.1 Was ist das IceCube-Projekt	5
1.2 Warum ist es am Südpol ?	5
1.3 Geschichte	5
1.3.1 Konstruktion	5
1.3.2 Erfolge	5
1.4 Technik	5
1.5 Funktionsweise	5
1.6 Finanzierung	5
2 Neutrinoforschung	6
2.1 Das Neutrino	6
2.2 Geschichte	6
2.2.1 β^- Zerfall	6
2.2.2 Reines-Cowan-Experiment	8
2.3 Aktuelle Forschung	8
2.4 Zukünftige Forschung	8
2.5 Forschung am IceCube	8
3 Inwiefern hat das IceCube-Projekt seine Ziele erreicht	9
3.1 Neutrinos aus kosmischer Strahlung	9
3.2 Neue Erkenntnisse über Neutrinos	9
4 Rolle des IceCube-Projekts in der Wissenschaftsdiplomatie	10
4.1 Kooperationen	10
4.2 Deutsche Beteiligung	10
5 Vergleich zu anderen Forschungsstätten	11
5.1 Super-K	11
5.2 ANTARES	11
Literaturverzeichnis	12
Bl : Neutrinoforschung anhand des Icecube-Projekt	4

1 | IceCube South Pole Observatory

1.1 Was ist das IceCube-Projekt

1.2 Warum ist es am Südpol ?

1.3 Geschichte

1.3.1 Konstruktion

1.3.2 Erfolge

1.4 Technik

1.5 Funktionsweise

1.6 Finanzierung

2 | Neutrinforschung

2.1 Das Neutrino

Das Neutrino ist ein subatomares Teilchen der Leptonenklasse. Das Neutrino hat keine elektrische Ladung und unterliegt somit nur der schwachen Wechselwirkung und der Massenanziehungskraft. Nach dem Standardmodell ist das Neutrino ein punktförmiges Teilchen. Es gibt 3 Generationen von Neutrinos mit jeweils anderer Masse. Da Neutrinos ein Spin von $\frac{1}{2}$ haben, sind sie Fermionen. [Stö00]

Bezeichnung	Masse (MeV)
Elektron-Neutrino	$>7,3 \cdot 10^{-6}$
Muon-Neutrino	$<0,27$
Tau-Neutrino	<31

Es gilt zu beachten, dass die Masse noch nicht genau bestimmt wurde, doch es konnten bisher Obergrenzen bestimmt werden.

Kosmische, solare, atmosphärische oder Geoneutrinos entstammen aus natürlichen Quellen / Reaktionen. Aus künstlichen Quellen / Reaktionen entstammen Reaktor-neutrinos und Beschleuniger-neutrinos.

Neutrinos könnten Anwendung finden in der Reaktorkontrolle bei der Überprüfung der Plutoniumproduktion, indem man die Antineutrinoemissionen misst. [Kra06] Insbesondere in der Astrophysik sind die Neutrinos von hoher Bedeutung. Da sie nur schwach wechselwirken durchdringen sie fast jede Materie und so kann durch Neutrinos Bereiche untersuchen die man mit anderer Strahlung nicht untersuchen kann. Zudem ist die Masse von Neutrinos bedeutend für viele astrophysikalische Theorien. [GKW10] Die Forschungsstätte IceCube hat eine besondere Rolle in der Untersuchung von kosmischen Neutrinos.

2.2 Geschichte

2.2.1 β^- Zerfall

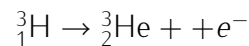
Beim β^- -Zerfall gibt es folgende Reaktion:

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$$

Doch bevor das Neutrino entdeckt wurde, sah der beobachtete β^- -Zerfall so aus:

$$n \rightarrow p + e^-$$

Beim Beispiel des Tritium-Zerfall ist der Verfall wie folgt:



Nach dem Energiehaltungssatz, gilt:

$$E_H = E_{He} + E_e$$

Die Energie eines Teilchen kann man mit der Formel $E = c \cdot \sqrt{m^2 c^2 + p^2}$ bestimmen. Wir gehen davon aus, dass das Neutron kein Impuls hat aufgrund der Laborbedingungen. $p_n = 0$ Aufgrund der Impulserhaltung ergibt sich folgendes:

$$p_H = p_{He} + p_e$$

$$0 = p_{He} + p_e \quad | - p_e$$

$$-p_e = p_{He}$$

Die Energie vor dem Zerfall muss, der nach dem Zerfall gleichen, also

$$E_H = E_p + E_e$$

$$m_H \cdot c^2 = c \cdot \sqrt{m_{He}^2 c^2 + p_{He}^2} + E_e \quad | - E_e \quad |^2$$

$$(m_H c^2 - E_e)^2 = c^2 (m_{He}^2 c^2 + p_{He}^2) \quad | - p_{He}^2$$

$$m_H^2 \cdot c^2 - 2m_H E_e + \frac{E_e^2}{c^2} - p_{He}^2 = m_{He}^2 c^2$$

$$m_H^2 \cdot c^2 - 2m_H E_e + \frac{E_e^2}{c^2} - p_e^2 = m_{He}^2 c^2$$

Man kann $\frac{E_e^2}{c^2} - p_e^2$ ersetzen mit einer ungeformten Formel für die Gesamtenergie

$$E_e = c \cdot \sqrt{m_e^2 c^2 + p_e^2} \quad |^2 \quad | : c^2 \quad | - p_e^2$$

$$\frac{E_e^2}{c^2} - p_e^2 = m_e^2 c^2$$

Nach E_e aufgelöst ist die Formel wie folgt:

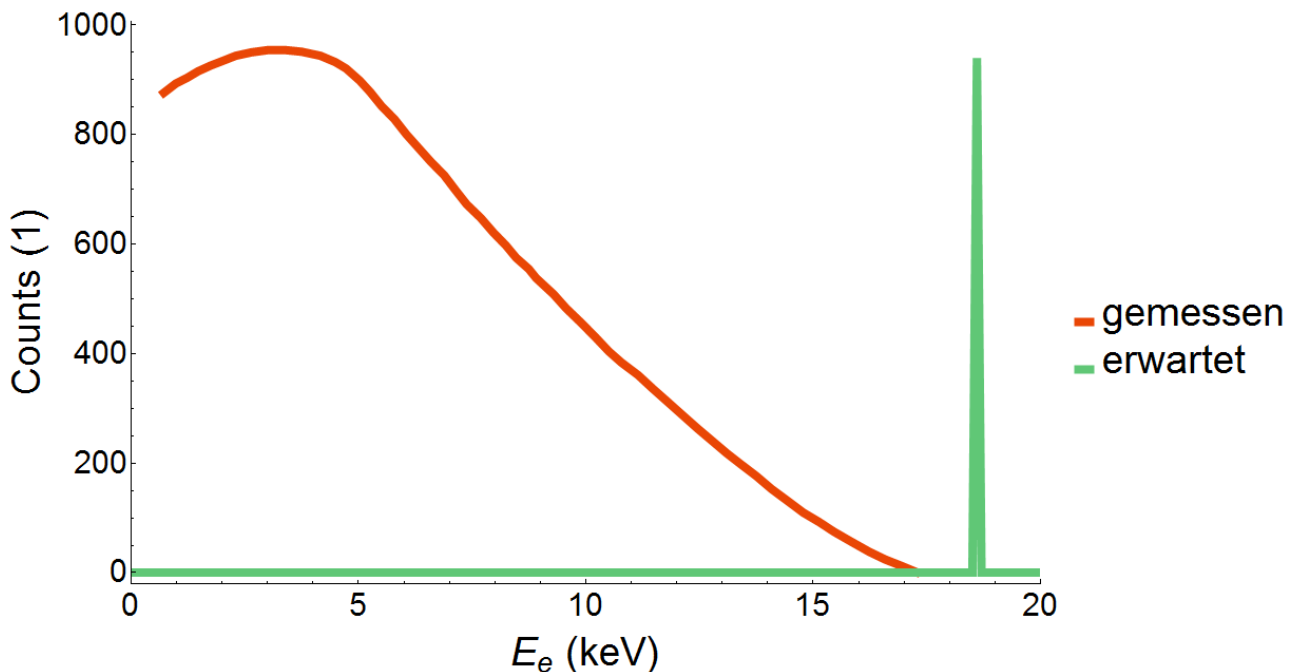
$$m_H^2 c^2 - 2m_H E_e + m_e^2 c^2 = m_{He}^2 c^2 \quad | - m_{He}^2 c^2 \quad | + 2m_H E_e \quad | : 2m_H$$

$$c^2 \frac{m_H^2 + m_e^2 - m_{He}^2}{2m_H} = E_e$$

$$E_e = c^2 \frac{3,0160492^2 u - 3,0160293^2 u + 0,511^2 \frac{\text{MeV}}{c^2}}{2 \cdot 3,0160293 u}$$

$$E_e = 18,5 \text{ keV}$$

Es müsste sich somit beim Energiespektrum des Tritiumzerfall eine konstante Energie von 18,5 keV ergeben. Dies war jedoch nicht der Fall. [Hor15]



Wie man sieht, geht Energie verloren. Anhand dieses Spektrum wusste man die maximal verlorene Energie der berechneten gleich ist. Die erste mit dem Energiehaltungssatz konforme Erklärung für dieses Phänomen kam mit einem Brief von Pauli, welcher an die "radioaktiven Damen und Herren", so bezeichnete er die Teilnehmer der Gauverein-Tagung zu Tübingen, gerichtet war. Im Brief legt er die Vermutung nahe, dass dieser Energiespektrum aufgrund eines weiteren Teilchen entsteht. [Pau30] Für Jahre konnte man keine Messung durchführen, welche dieses Teilchen beweisen würde. Das postulierte Teilchen sollte aber elektrisch neutral sein und nur schwach wechselwirken.

2.2.2 Reines-Cowan-Experiment

2.3 Aktuelle Forschung

2.4 Zukünftige Forschung

2.5 Forschung am IceCube

3 | Inwiefern hat das IceCube-Projekt seine Ziele erreicht

3.1 Neutrinos aus kosmischer Strahlung

3.2 Neue Erkenntnisse über Neutrinos

4 | Rolle des IceCube-Projekts in der Wissenschaftsdiplomatie

4.1 Kooperationen

4.2 Deutsche Beteiligung

5 | Vergleich zu anderen Forschungsstätten

5.1 Super-K

5.2 ANTARES

Literaturverzeichnis

- [GKW10] Graciela B. Gelmini, Alexander Kusenko, and Thomas J. Weiler. Through neutrino eyes. *Scientific American*, 302(5):38–45, may 2010.
- [Hor15] Johannes Horak. Eine kurze Geschichte des Neutrinos. *Timaios*, 2015.
- [Kra06] Ralf Krauter. Elementarteilchen entlarven Langfinger . *Deutschlandfunk*, 2006.
- [Pau30] Wolfgang Pauli. Offener Brief an die Gruppe der Radioaktiven bei der Gauverein-Tagung zu Tübingen., December 1930.
- [Stö00] Horst Stöcker. *Taschenbuch der Physik. Formeln, Tabellen, Übersichten*. Deutsch (Harri), 2000.