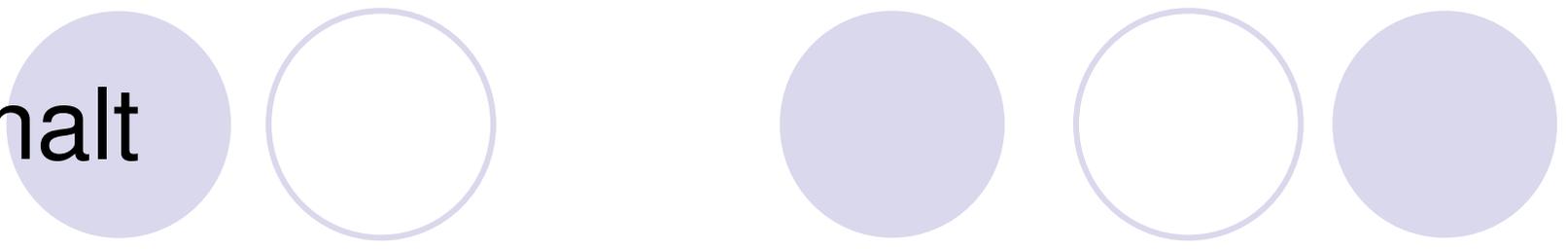


Neutrino teleskope

Astrophysikalisches Seminar WS 09/10
7. Dezember 2009

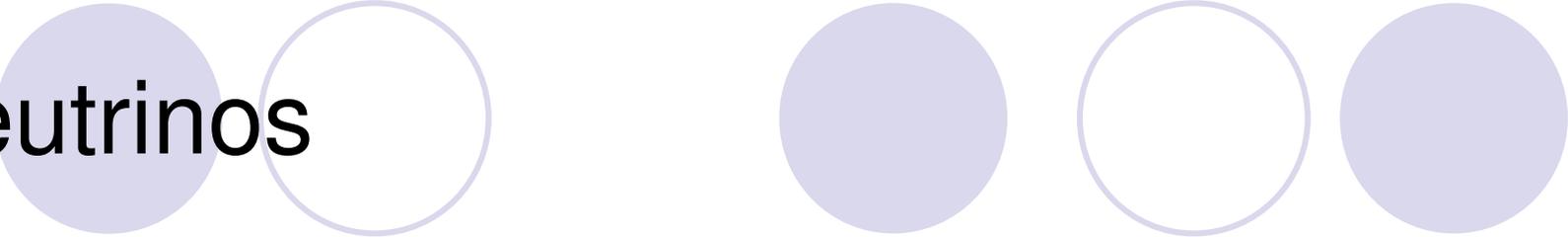
Wiebke Eikmann

Inhalt

A decorative graphic consisting of two groups of circles. The first group on the left has a solid light purple circle on the left and an empty light purple circle outline on the right. The second group on the right has a solid light purple circle on the left, an empty light purple circle outline in the middle, and a solid light purple circle on the right.

- Neutrinos allgemein
- Quellen
- Neutrinodetektoren

Neutrinos

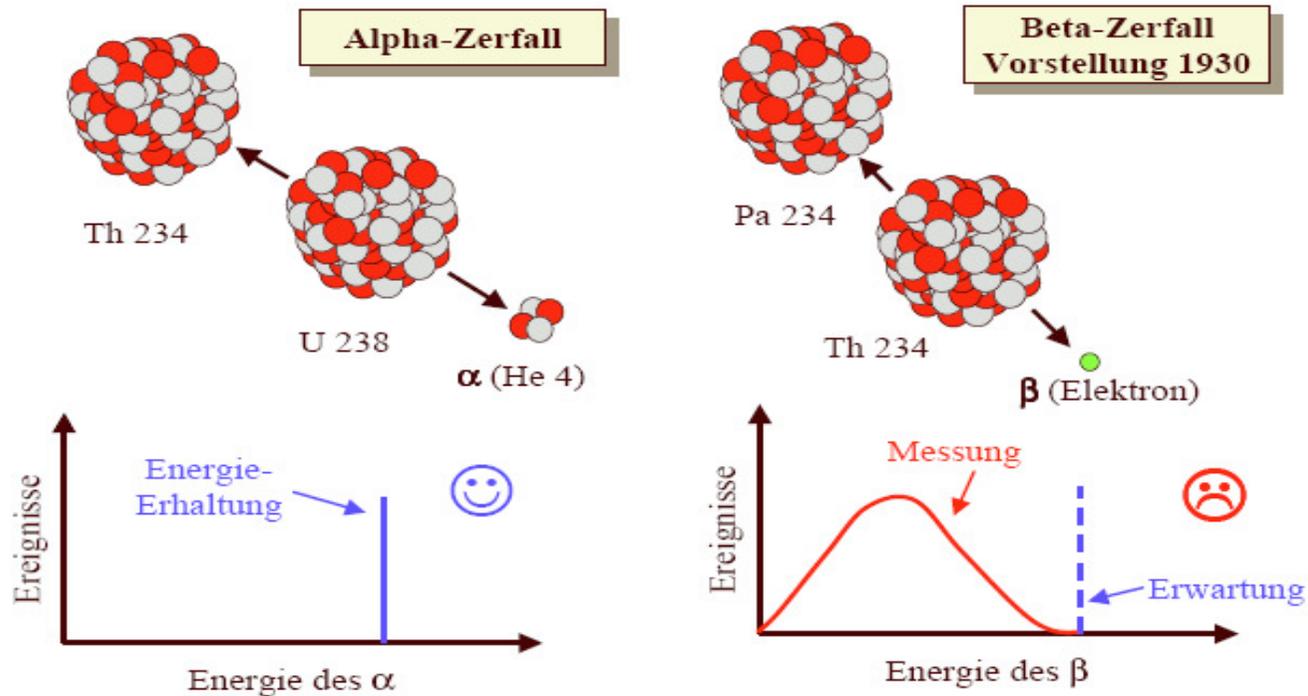


- Vorhersage 1930 von Wolfgang Pauli als Erklärung für die fehlende Energie im Beta-Zerfall

Wolfgang Pauli:

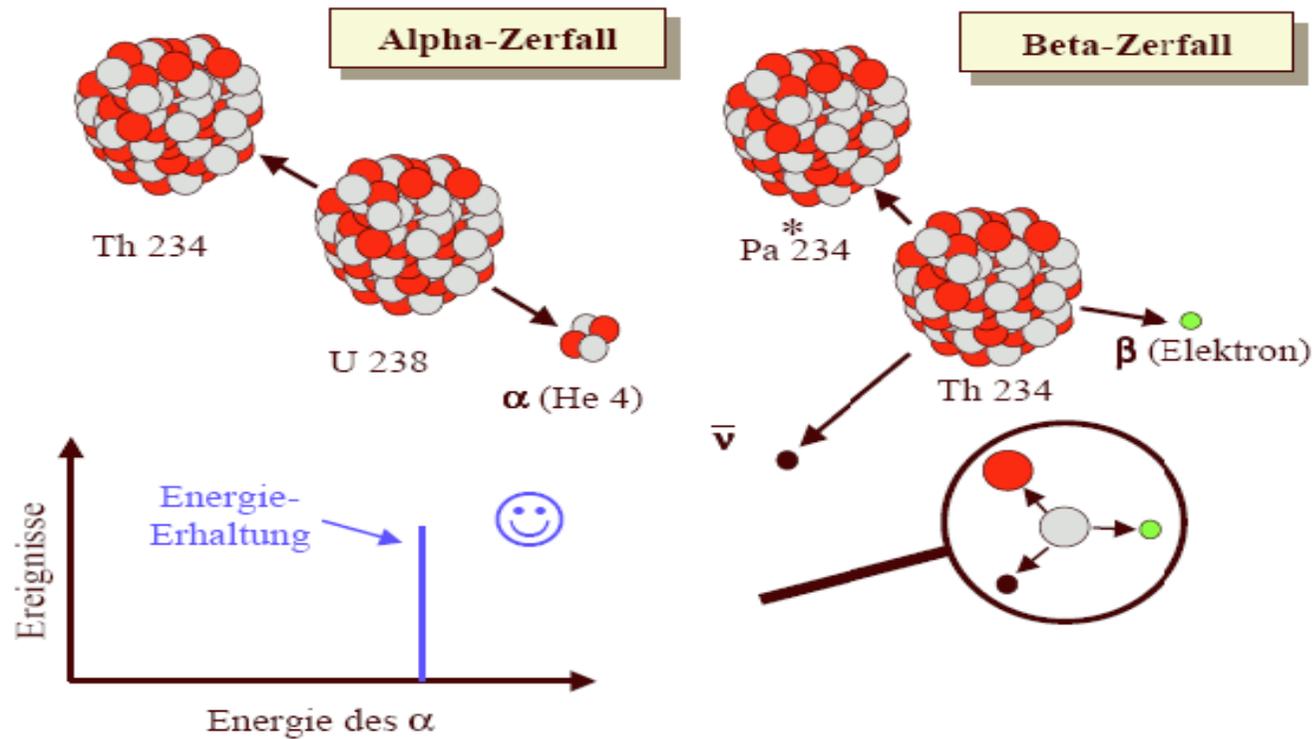
*„Ich habe ein Teilchen vorausgesagt,
dass nicht nachgewiesen werden kann“*

Vermeintliche Energieverletzung beim Beta-Zerfall



- Alpha-Zerfall: Diskrete Energie des Alpha-Teilchens
- Beta-Zerfall: kontinuierliche Energieverteilung

Vermeintliche Energieverletzung beim Beta-Zerfall



- Fehlende Energie wird von neutralem, leichtem Teilchen weggetragen

Neutrinos

- Vorhersage 1930 von Wolfgang Pauli
- 1956 erster Nachweis im Kernreaktor von F. Reines und C. Cowan
- 1964: Nachweis solarer Neutrinos durch R.Davis, Homestake-Goldmine und 1986 M.Koshiba, Kamiokande
- 1987 SN-1987A in der großen Magellanschen Wolke: Erstmals konnten Neutrinos aus dem Inneren eines explodierenden Sterns gemessen werden



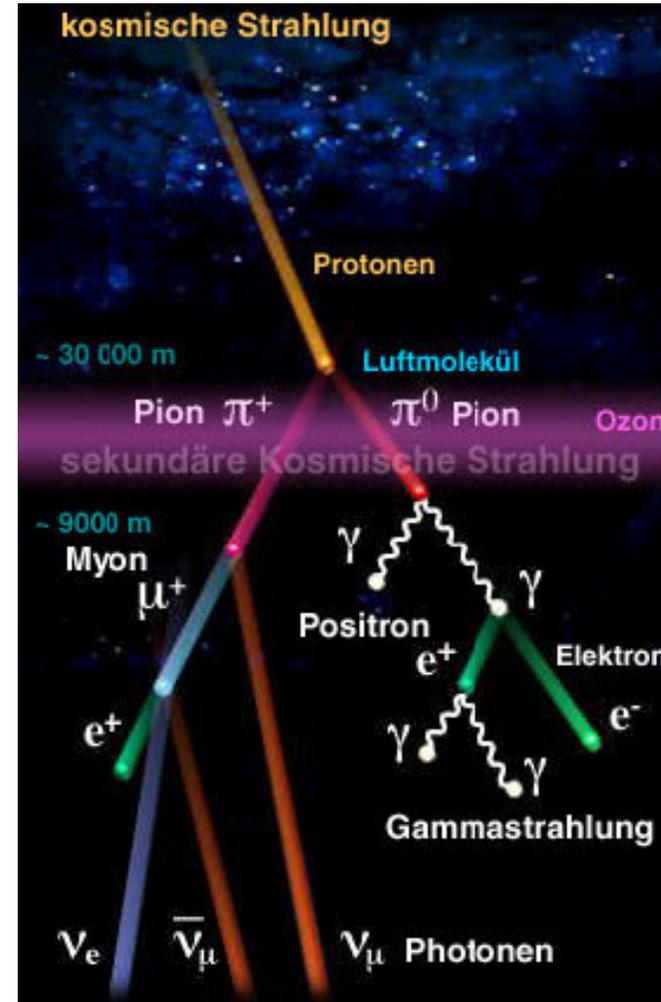
Neutrino -Daten

- Elektrisch neutral
- Nur schwache Kraft und Gravitation, sehr geringe WW
- Beispiel: Ein Neutrino mit 1MeV hat in Eisen die typische freie Weglänge von 28,5 Lichtjahren
- Drei verschiedene „Flavours“
 1. Elektron-Neutrino ν_e , $M < 3\text{eV}$
 2. Myon-Neutrino ν_μ , $M < 170\text{keV}$
 3. Tauon-Neutrino ν_τ , $M < 24\text{MeV}$
- Umwandlung in andere Flavours möglich (Neutrino-Oszillation)

Einteilung der Neutrinos nach Quellen

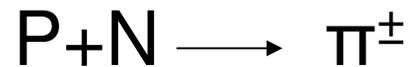
Atmosphärische Neutrinos

- Kosmische Teilchen (Protonen, Elektronen, Kerne..) treffen auf Teilchen aus der Atmosphäre
- Sekundärteilchen und Myon- Neutrinos entstehen
- Sekundärteilchen produzieren durch Zerfall Elektron-Neutrinos
- Energiebereich ~ GeV

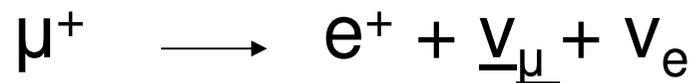


Entstehungsprozess Neutrinos

- Hochenergetisches Proton trifft auf Kern aus der Atmosphäre:



- Die meisten Myonen zerfallen wieder:



- Myon- und Elektroneneutrinos im Verhältnis 1:2

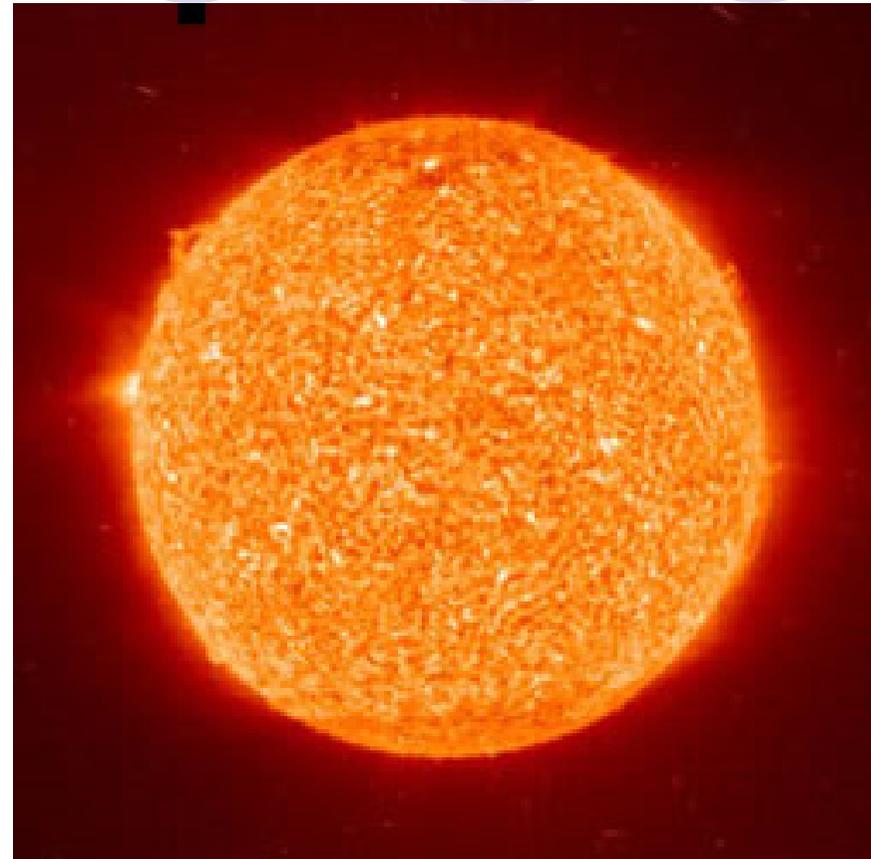
Einteilung der Neutrinos nach Quellen

Solare Neutrinos

- Aus der Fusion von Wasserstoff zu Helium in der Sonne



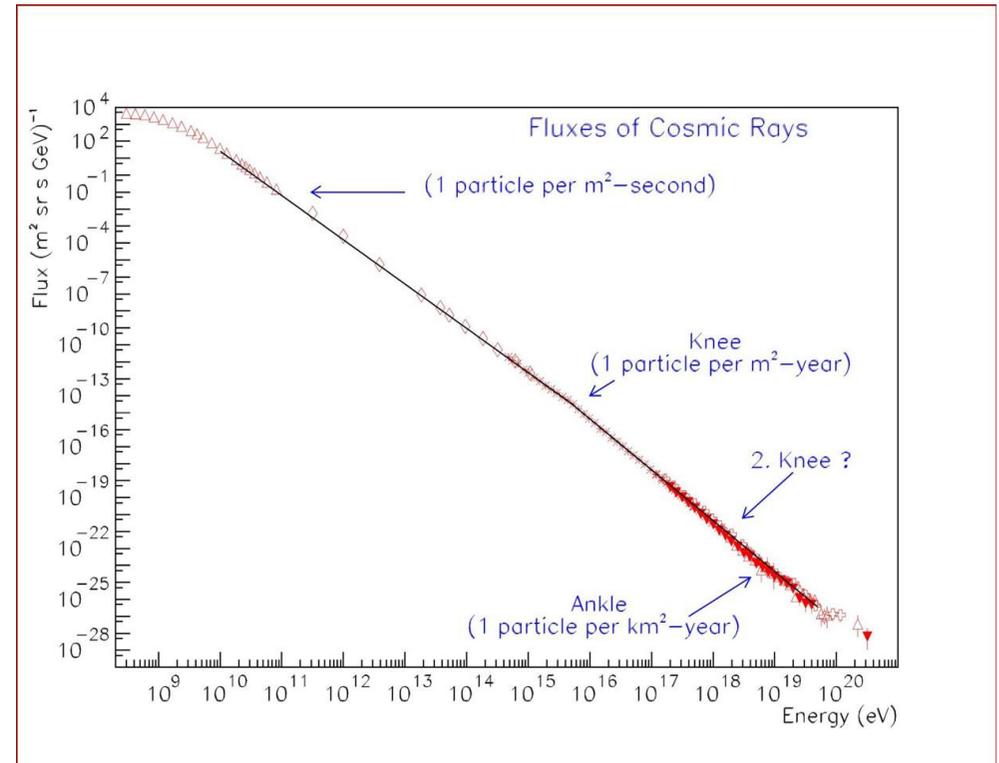
- Fluss auf der Erde:
Ca 66 Milliarden Neutrinos pro sec pro cm²
- Energie im MeV-Bereich
- Weniger Neutrinos als erwartet nachgewiesen: Hinweis auf Neutrino- Oszillation



Einteilung der Neutrinos nach Quellen

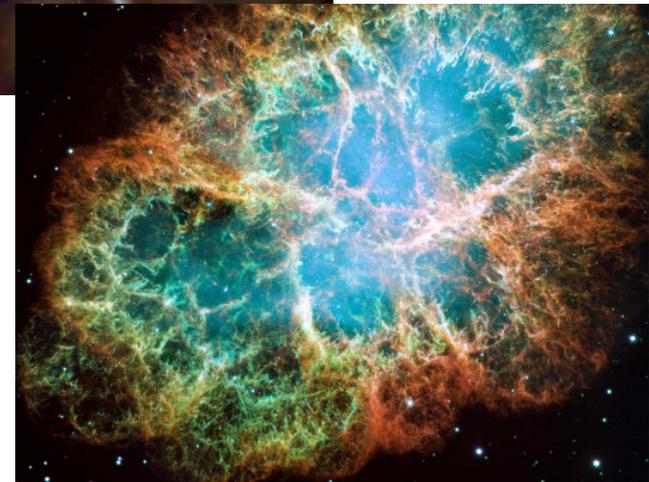
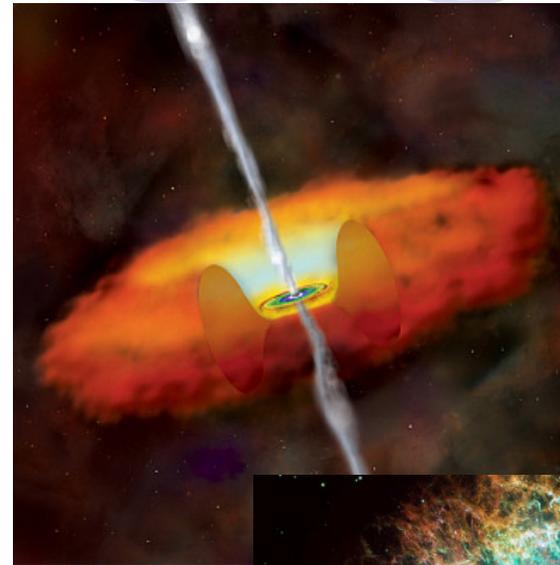
Kosmische Neutrinos

- Großer Energiebereich: μeV - 10^{20} eV
- Neutrinos aus dem Urknall: Energien im μeV Bereich. Schwierig zu detektieren
- Kosmische Teilchen mit Energien bis 10^{20} eV
- Energien 10^7 –mal größer als künstlich erzeugte Neutrinos



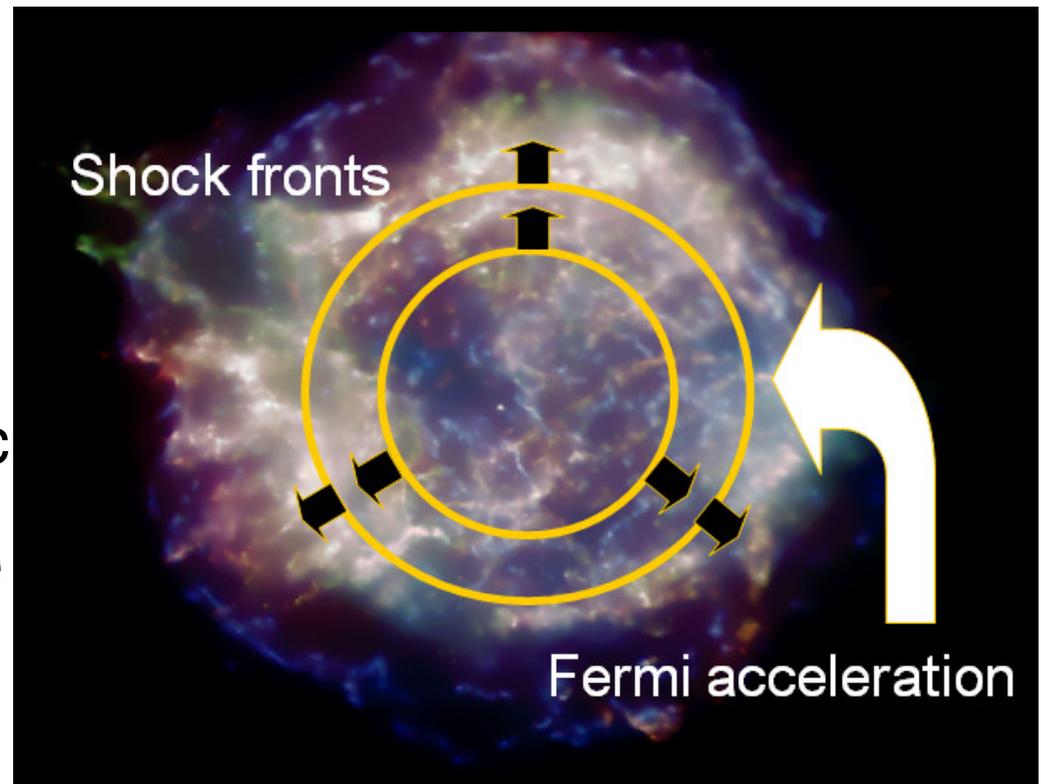
Quellen kosmischer Neutrinos

- Aktive Galaktische Kerne
- Gammablitz
- Supernovae und die Überreste
- Beschleunigungsmechanismen in der Nähe schwarzer Löcher und Neutronensterne
- Pulsare



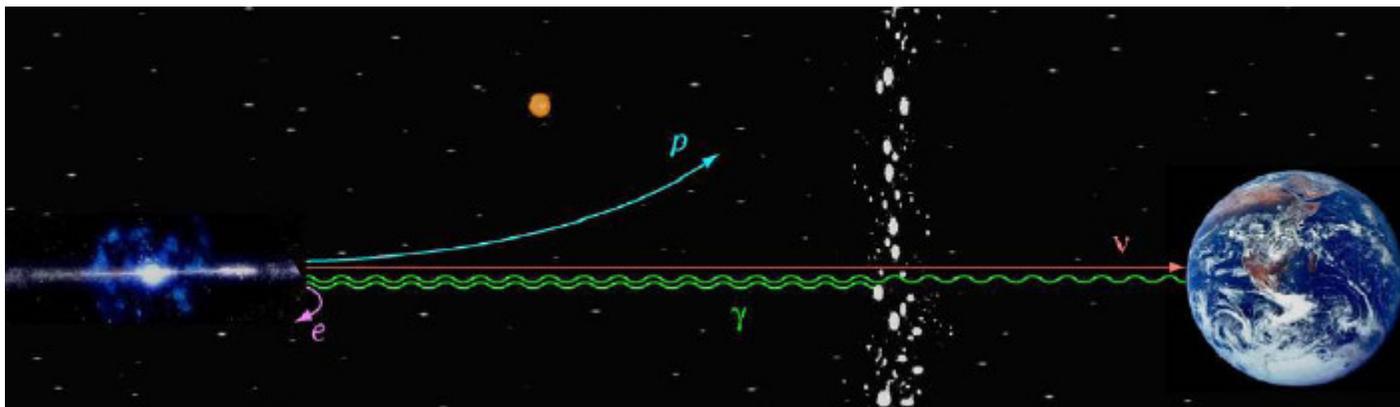
Kosmische Teilchen-Beschleuniger

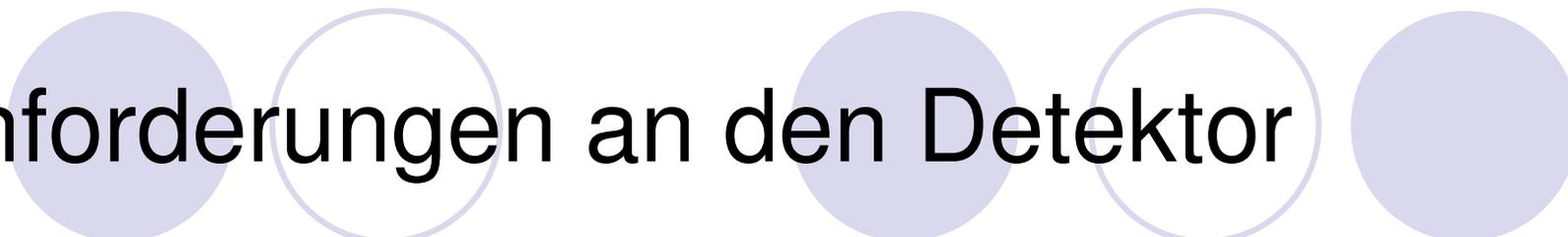
- Dichte Regionen: große Mengen geladener Teilchen gravitativ gebunden (z.B. in der Nähe schwarzer Löcher, Supernovae Überreste)
- Relativistische Schockwellen breiten sich im Plasma aus und beschleunigen geladene Teilchen (z.B. Protonen)
- Entstehung gemäß den Reaktionsgleichungen wie bei den atmosphärischen Neutrinos



Neutrinos- Boten aus dem All

- Keine Ablenkung durch Magnetfelder da Neutrinos elektrisch neutral
- Neutrino ist stabil, überwindet große Distanzen
- Keine Absorption/Brechung
- Möglichkeiten, ungehindert in das Innere von astrophysikalischen Energiequellen zu schauen
- Klares Indiz für Hadronen-Beschleuniger





Anforderungen an den Detektor

- Sehr große Teleskopfläche aufgrund des geringen Flusses hochenergetischer Neutrinos
- Abschirmung gegen ungewollte Strahlung
- Experimente befinden sich unter der Erde:
Erde als Schutz vor den atmosphärischen Myonen

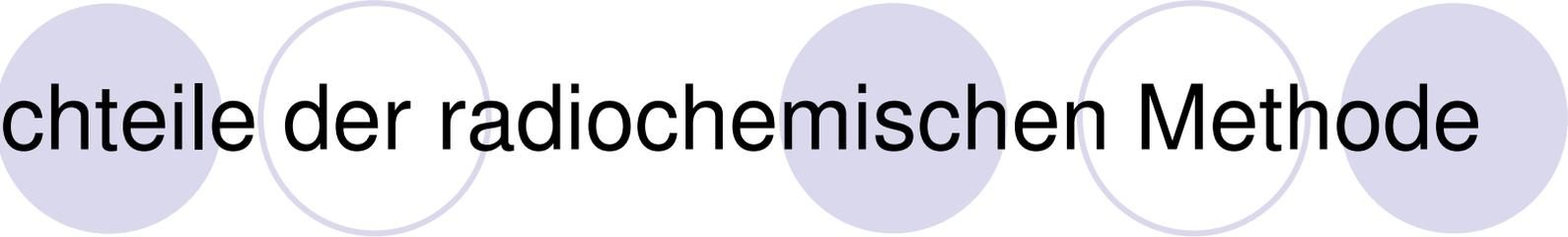
Neutrinoerkennung

- Radiochemisch



(Z+1) wird extrahiert und über den Zerfall auf die im Detektor entstandene Menge geschlossen

- Z.B. GALLEX-Experiment

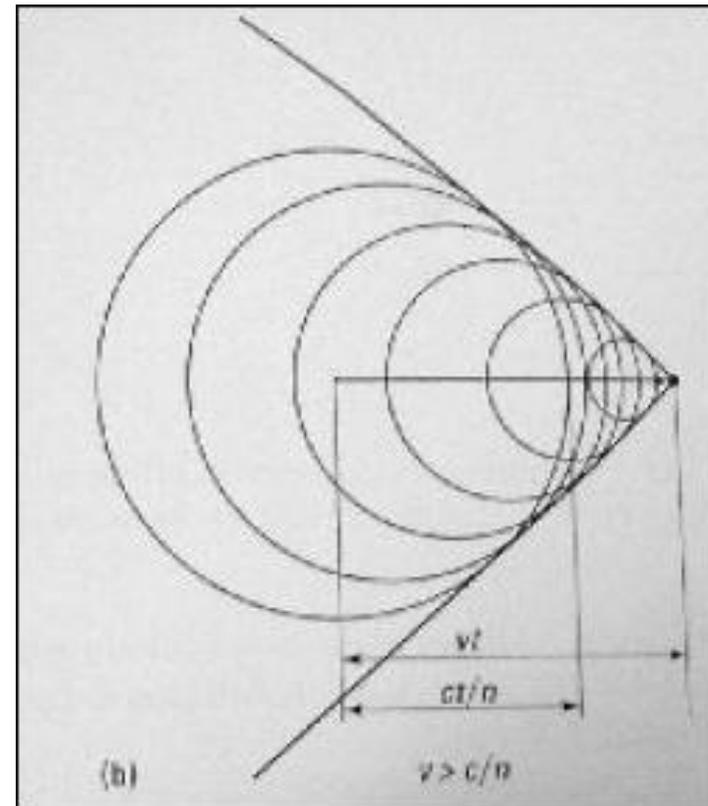


Nachteile der radiochemischen Methode

- Energiebestimmung der eingehenden Neutrinos nur durch Schwellenenergie möglich
- Keine Richtungsbestimmung
- Nur Elektroneneutrinos nachweisbar
- Zeitmittelung

Realzeitexperimente

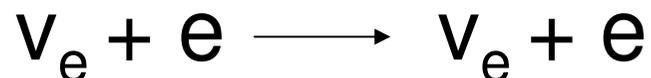
- Nachweis über Cherenkov-Licht:
- *Wenn ein geladenes Teilchen ein transparentes Medium wie Wasser oder Eis durchläuft und eine höhere Geschwindigkeit hat, als die des Lichtes in diesem Medium, dann emittiert die Cerenkov-Strahlung (ähnlich dem Machkegel)*
- Geladenes Teilchen bewegt sich durch ein dielektrisches Medium
 - ➡ Polarisierung der Atome
 - ➡ Aussendung elektromagnetischer Wellen
 - ➡ Überlichtgeschwindigkeit: Cherenkov-Kegel



Cherenkov-Licht

- Vorherrschender Prozess Elektron-Neutrinos:

Neutrinos stoßen mit Elektronen und beschleunigen diese



- $\nu_\mu(\underline{\nu}_\mu) \longrightarrow \mu^-(\mu^+) + \text{Restkern}$

Neutrinodektoren

- Möglichst große Teleskopfläche um geringen Fluss auszugleichen
- Möglichst großes Volumen, um Teilchen länger beobachten zu können
- Transparentes Medium als Detektormaterial (Wasser oder Eis)

Projekte :

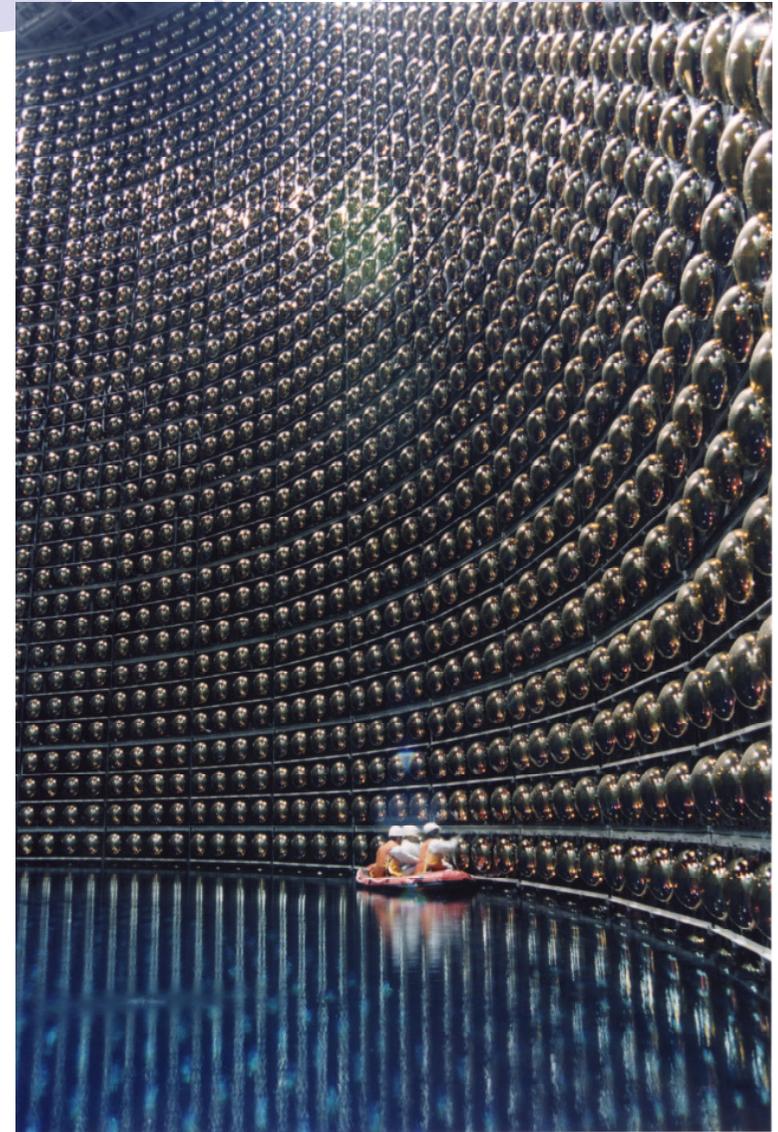
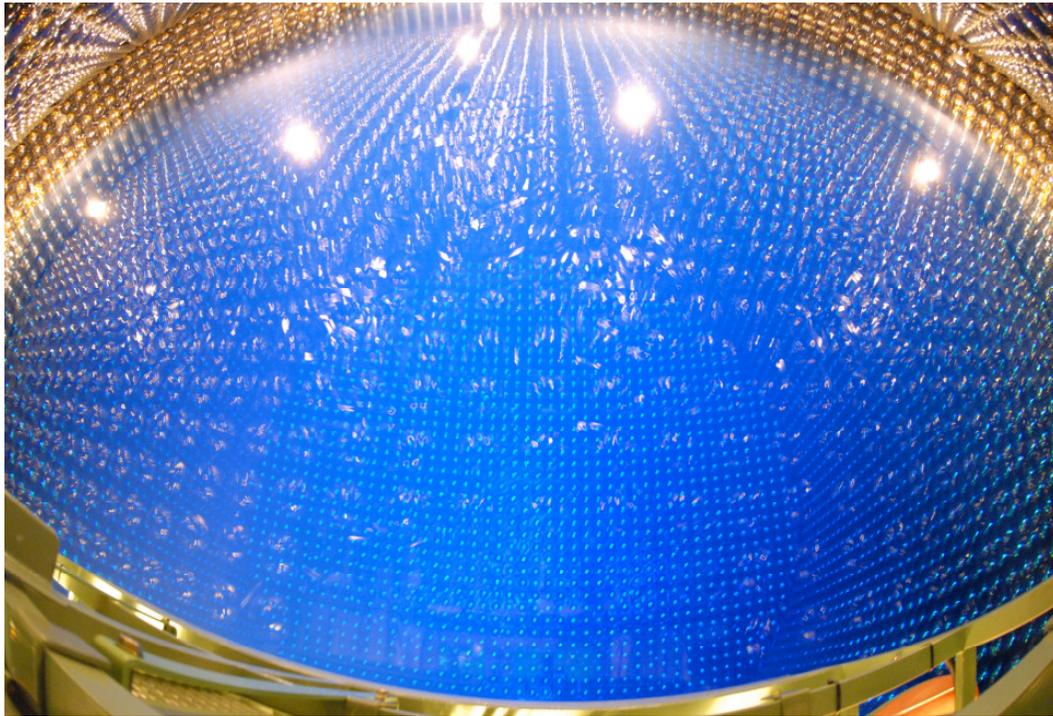
1. In der Tiefsee
 2. Im Eis
- Abschirmung von atmosphärischen Neutrinos

Kamiokande und Superkamiokande

- 1000 Meter unter der Erde in Japan (Mozumi-Miene)
- 41,5 Meter hoch und 39,3 Meter Durchmesser
- 50.000 Tonnen reines Wasser als Detektormittel
- 11.200 PMT
- Schwellenergie: 5 MeV

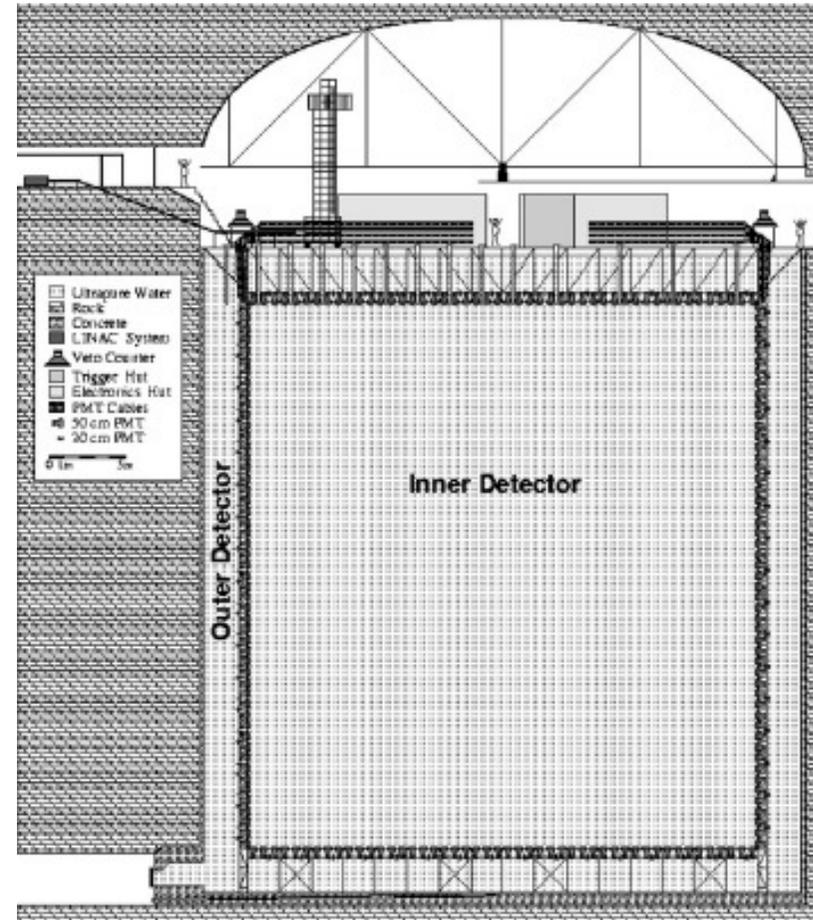


Superkamiokande

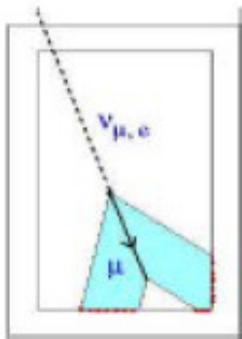


Unterscheidung von atmosphärischen Myonen und Neutrino-Events

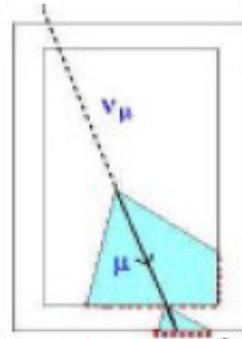
- Atmosphärische Myonen:
 1. Leuchten auch den äußeren Detektor aus
 2. Da Myonen geladene Teilchen sind, wird das Cherenkovlicht sofort detektiert



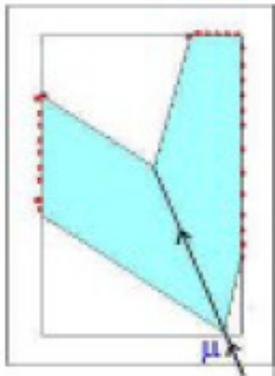
Unterscheidung von atmosphärischen Myonen und Neutrino-Events



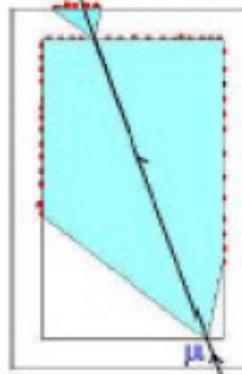
Neutrino von oben
Myon gestoppt
Myon 1 GeV



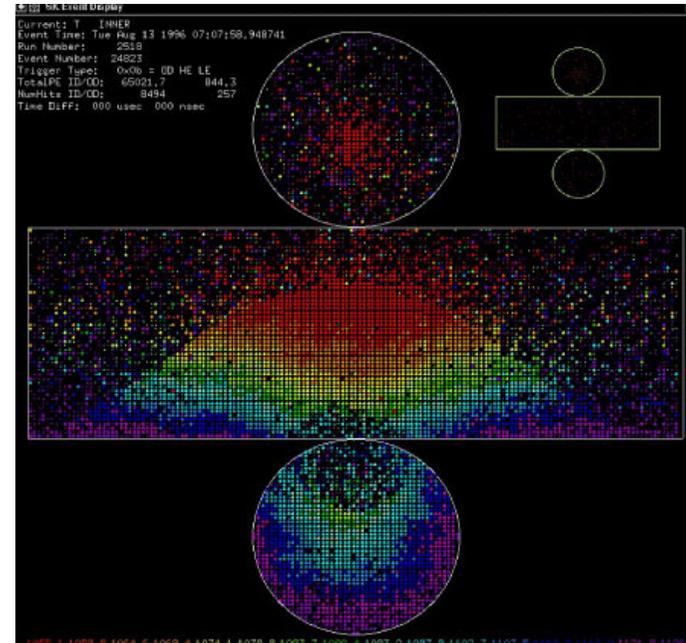
Neutrino von oben,
Myon geht durch
Myon 10 GeV



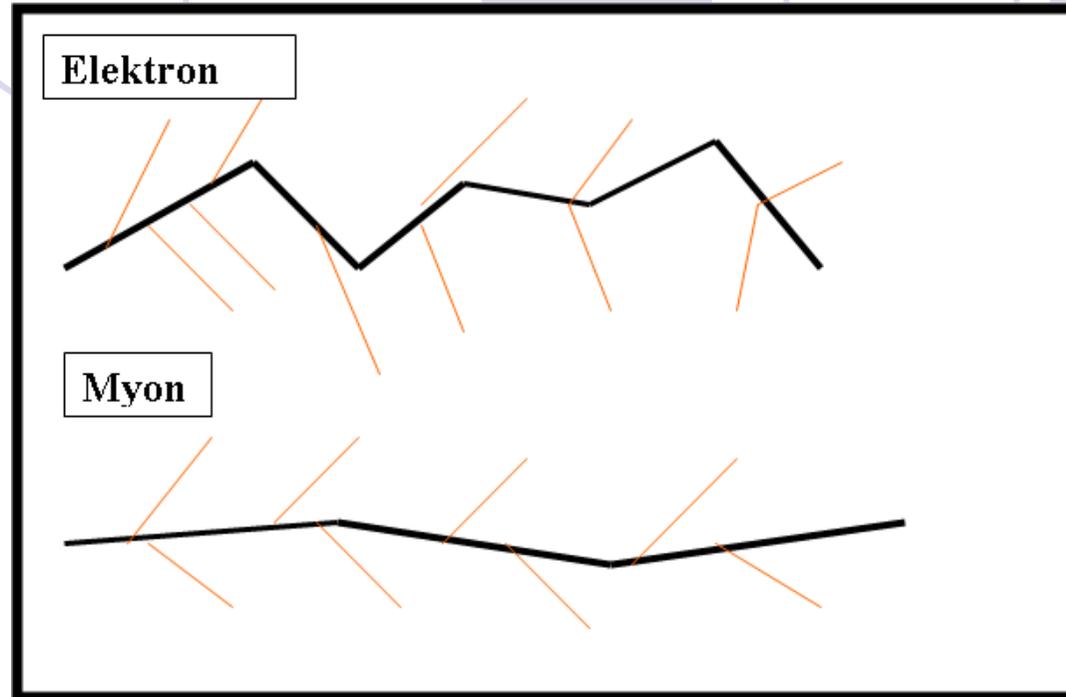
Myon von unten,
gestoppt
10 GeV



Myon von unten,
durchgehend
100 GeV

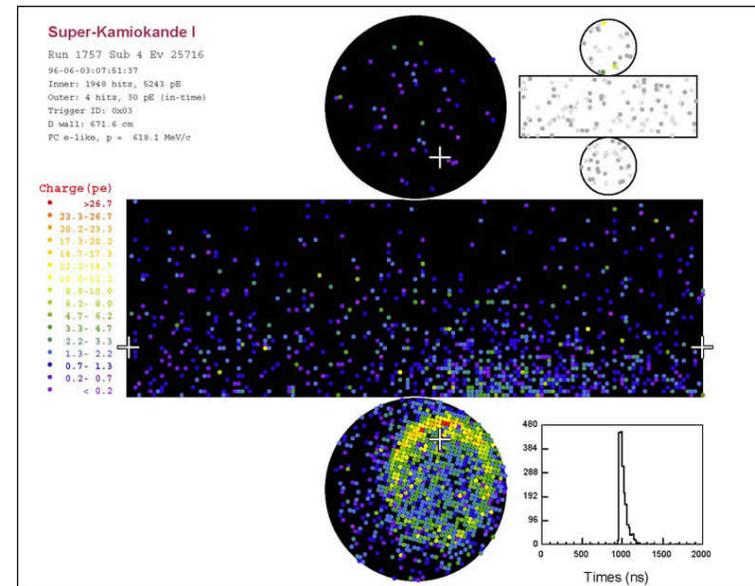
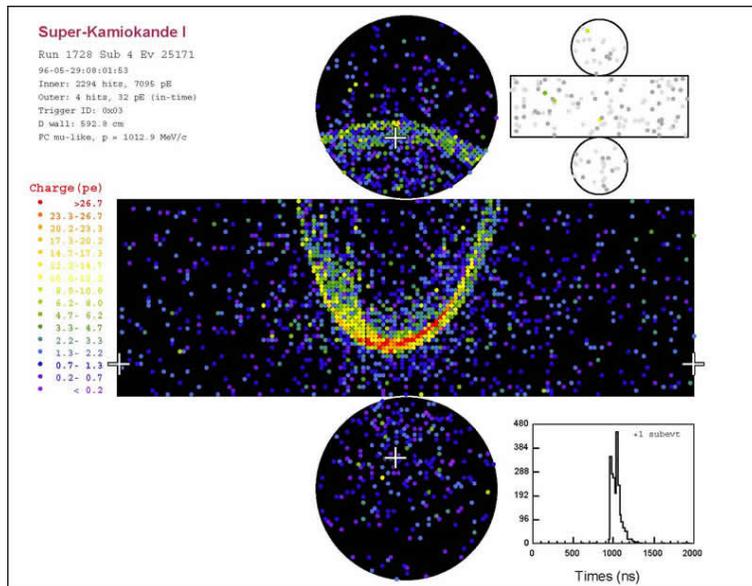


Unterscheidung Elektron- und Myon-Neutrino



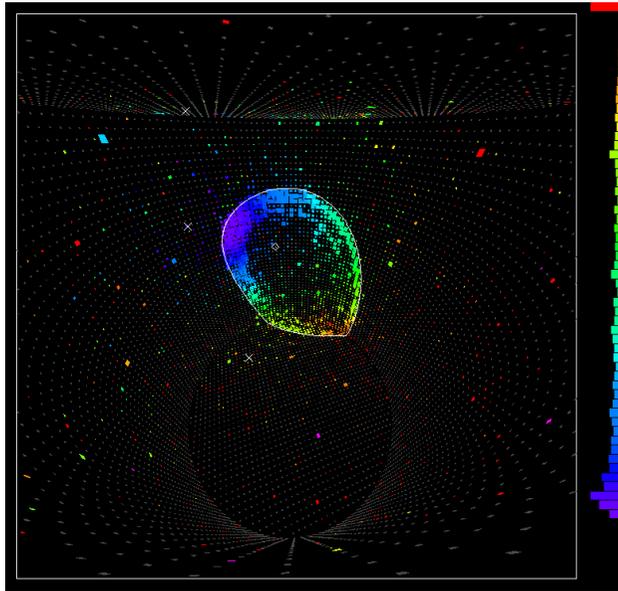
- Elektron wird durch Stöße abgelenkt:
diffuser Lichtkegel
- Myon wird aufgrund seiner größeren Masse weniger abgelenkt: **Scharfer Lichtkegel**

Neutrino Events



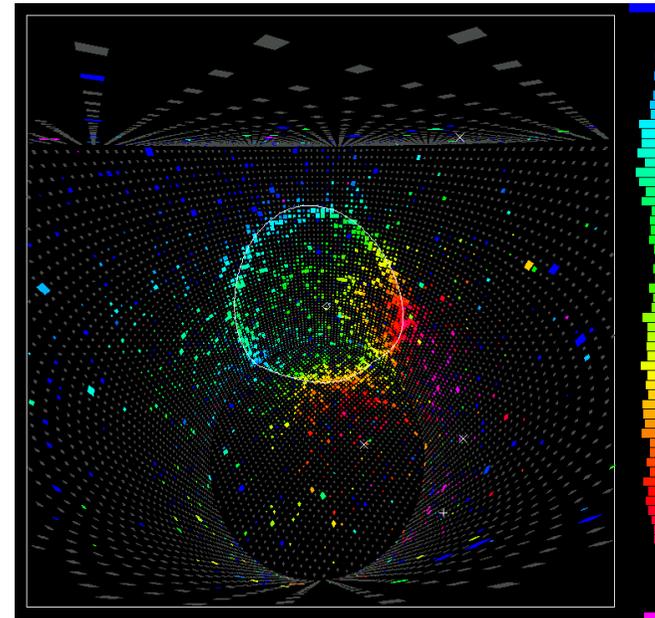
- Neutrino reagiert innerhalb des Detektors und produziert Myonen oder Elektronen → Äußere Bereiche des Detektors sind nicht ausgeleuchtet

Unterscheidung Elektron- und Myon-Neutrino



Myon-Neutrino

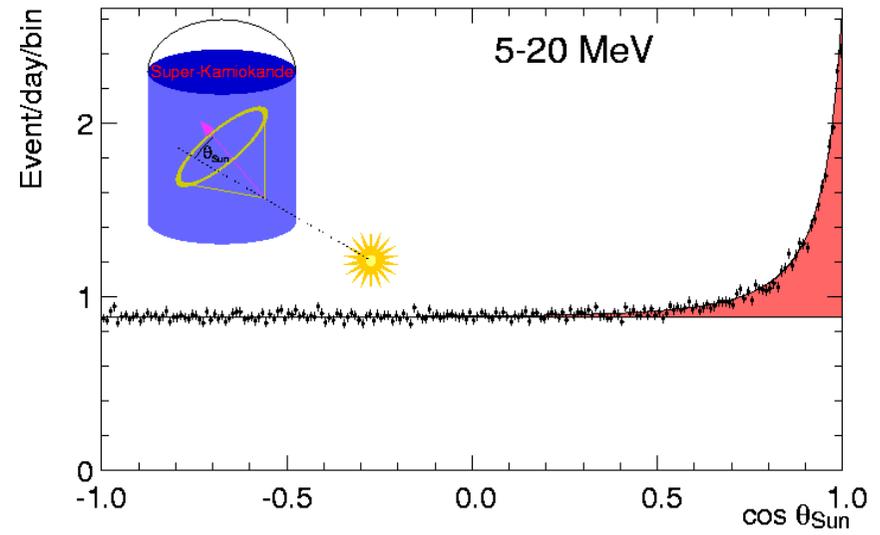
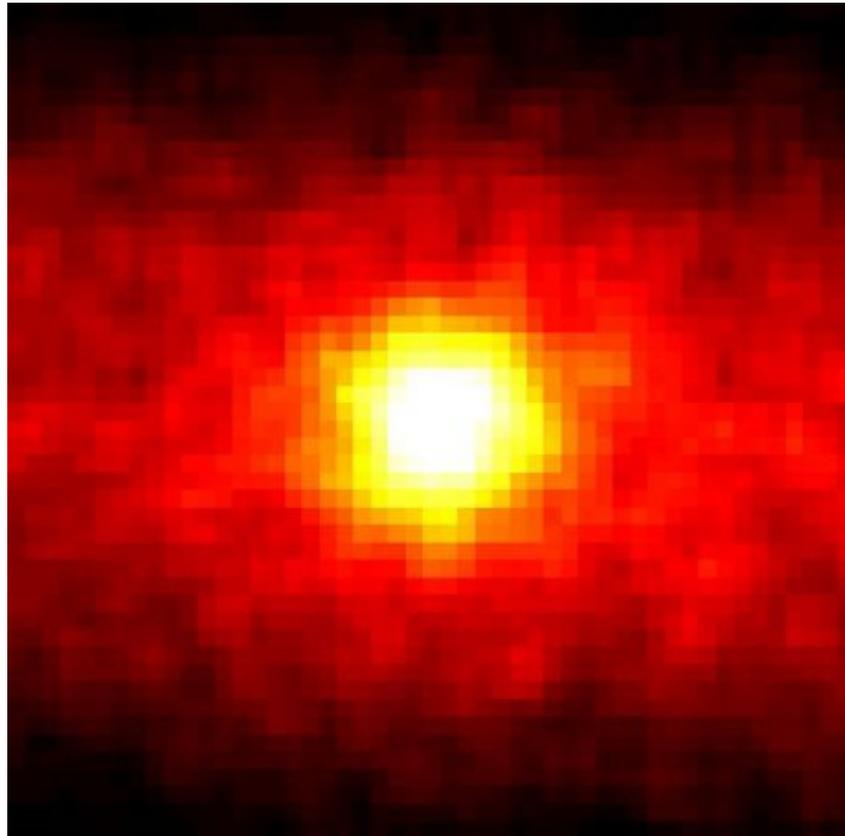
- Scharf begrenzter Ring



Elektron-Neutrino

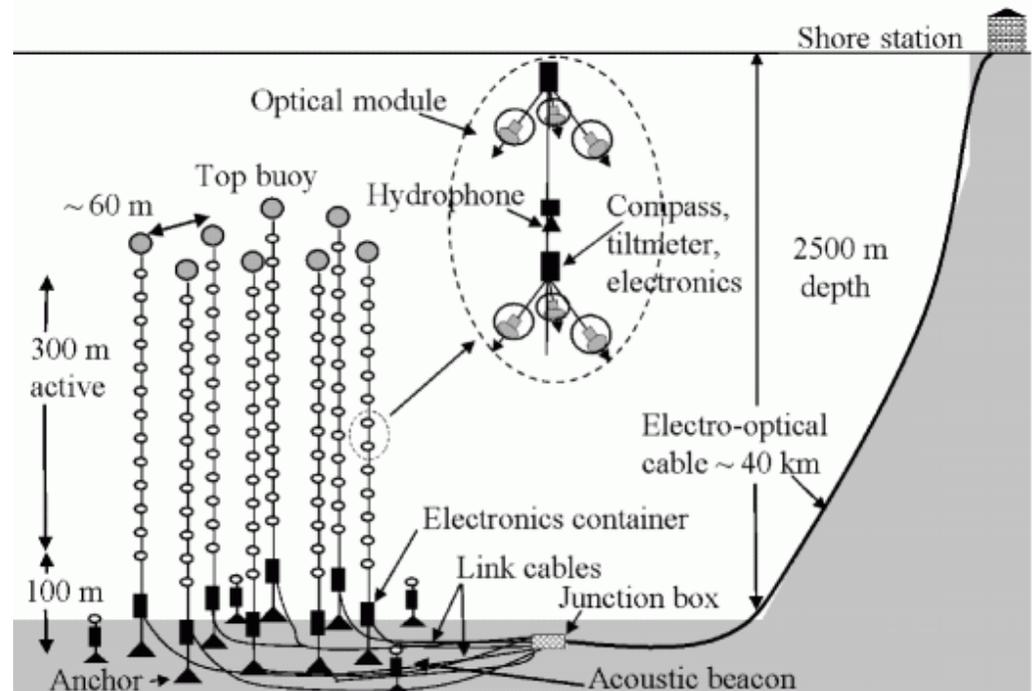
- Elektron verursacht elektromagnetischen Schauer
- Diffuser Ring

Messung der solaren Neutrinos



Antares

- 1000 PMT in 12 vertikalen Strings
- 0,1km² Detektor Fläche
- Ca 350 m hoch
- 2500 m tief im Meer
- Strings sind über die junction Box mit der Kontrollstation verbunden

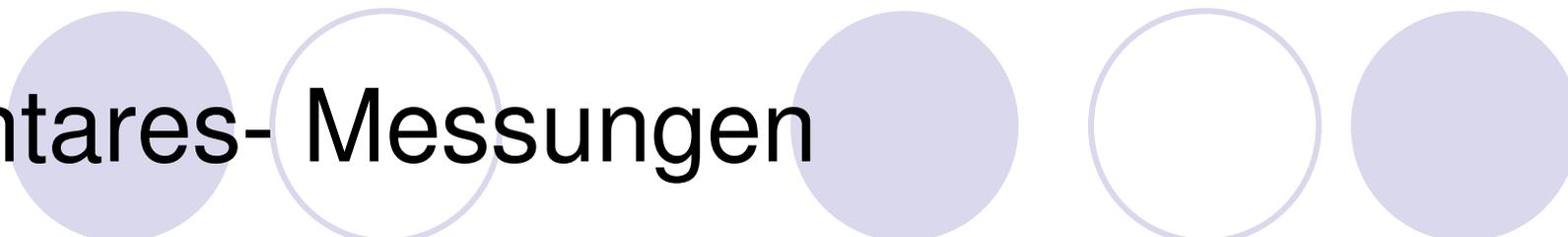


Antares

- Basis-Einheit: Optisches Modul
- In druckfester Glaskugel
- Enthält PMT, verschiedene Sensoren und zugehörige Elektronik
- Drei Basiseinheiten zusammengeslossen zu einem „Stockwerk“
- ausgestattet mit Kompass, Neigungsmesser
- Vertikaler Abstand der Stockwerke: 14,5 m

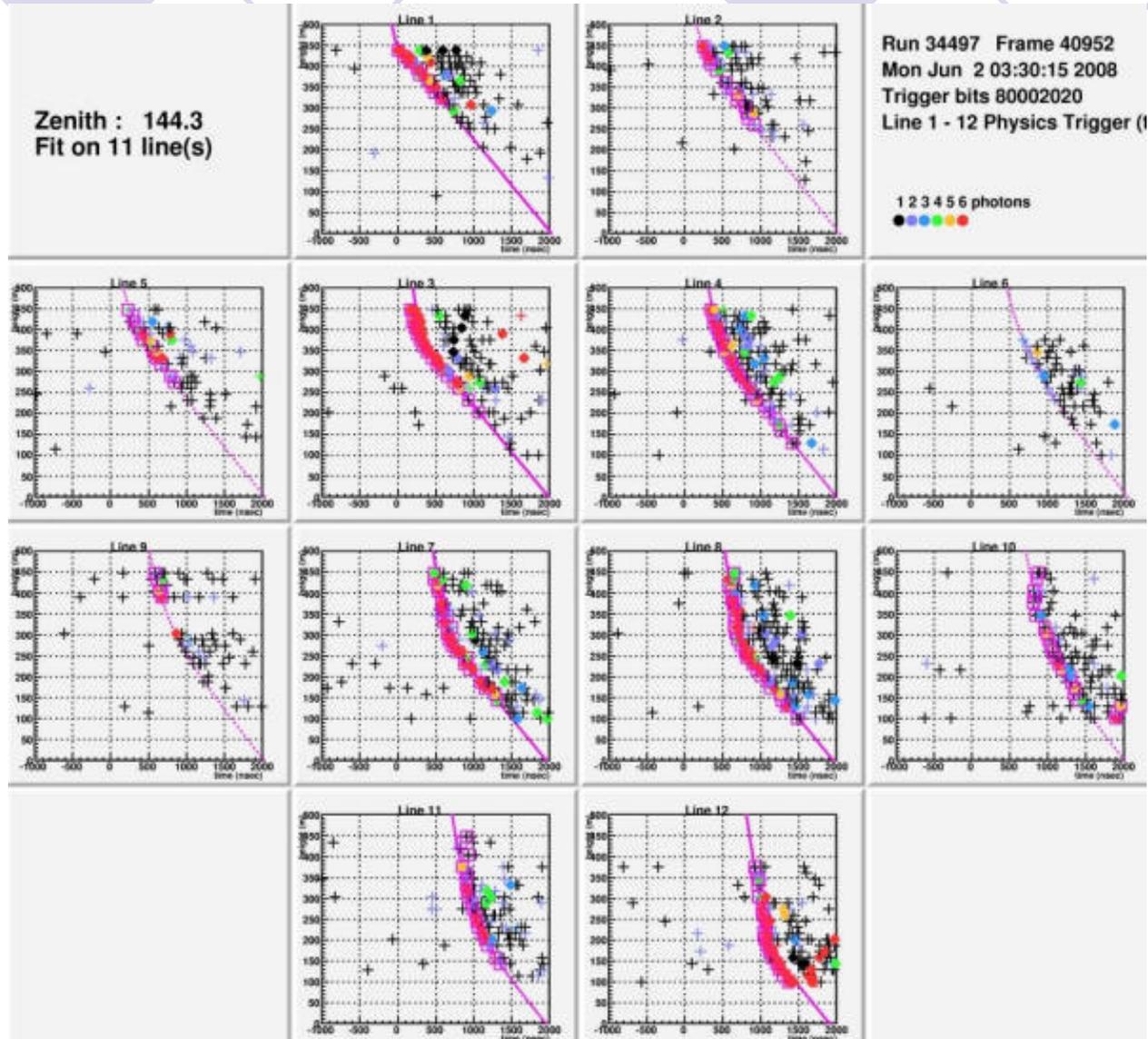


Antares- Messungen



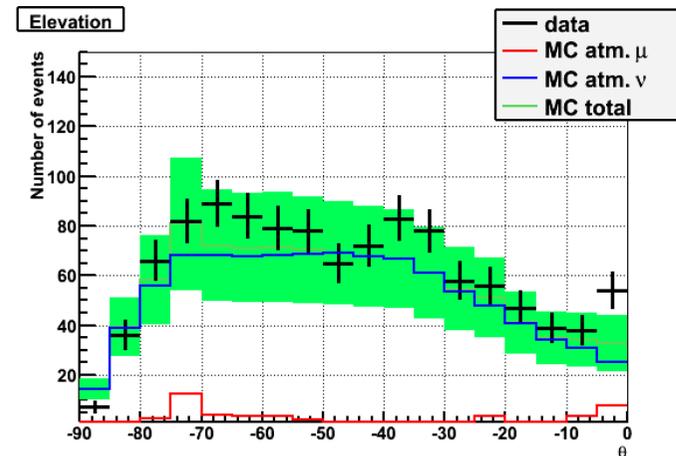
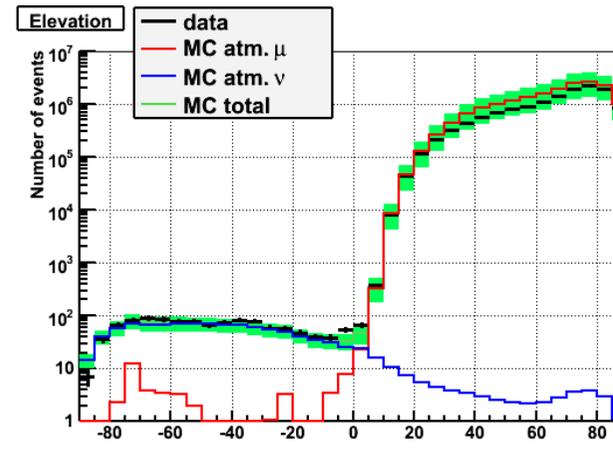
- Mehr als 1000 Neutrinos bisher detektiert
- Gemessener Fluss stimmt gut mit den Erwartungen überein
- Unterscheidung zwischen
 1. Atmosphärischen Myonen (kommen von oben)
 2. Atmosphärischen Neutrinos (rel. Konstanter Untergrund)
 3. Nicht atmosphärischen Neutrinos
- Von unten kommende Neutrinos interessant!

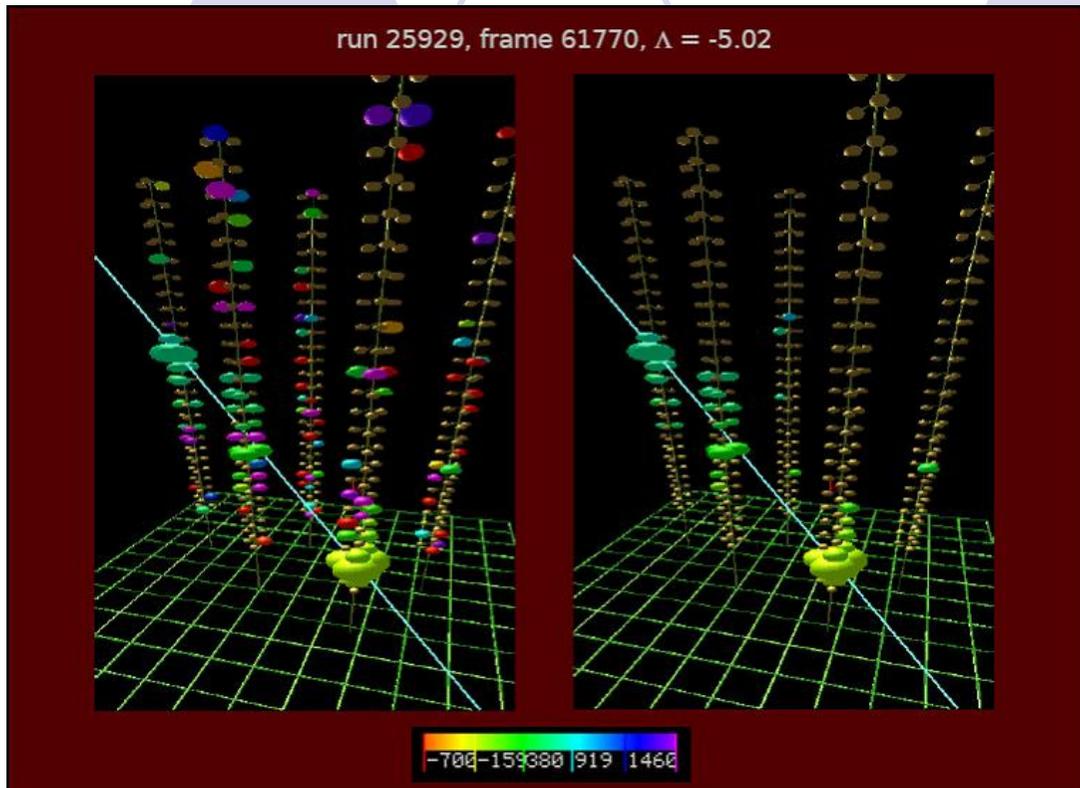
Antares-Messungen: Event



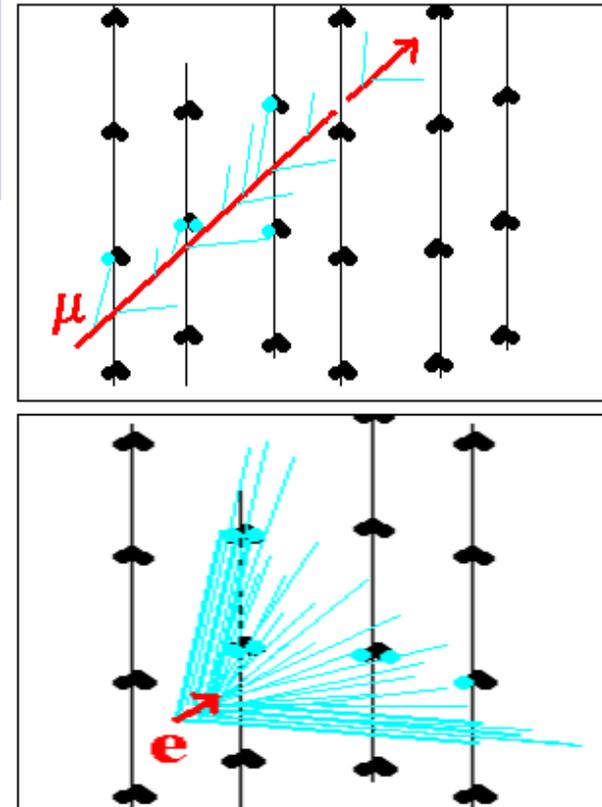
Antares-Messungen

- Gehäuftes Auftreten von Neutrinos: Indiz für extraterrestrische Quelle





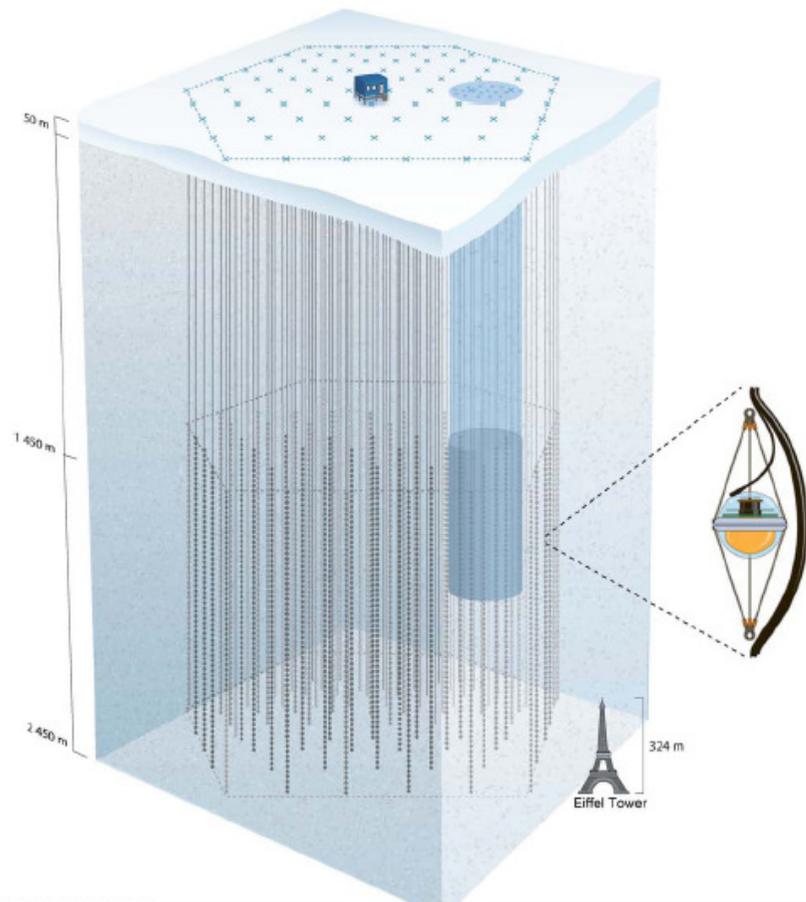
- Event vor und nach Abzug der Biolumineszenz



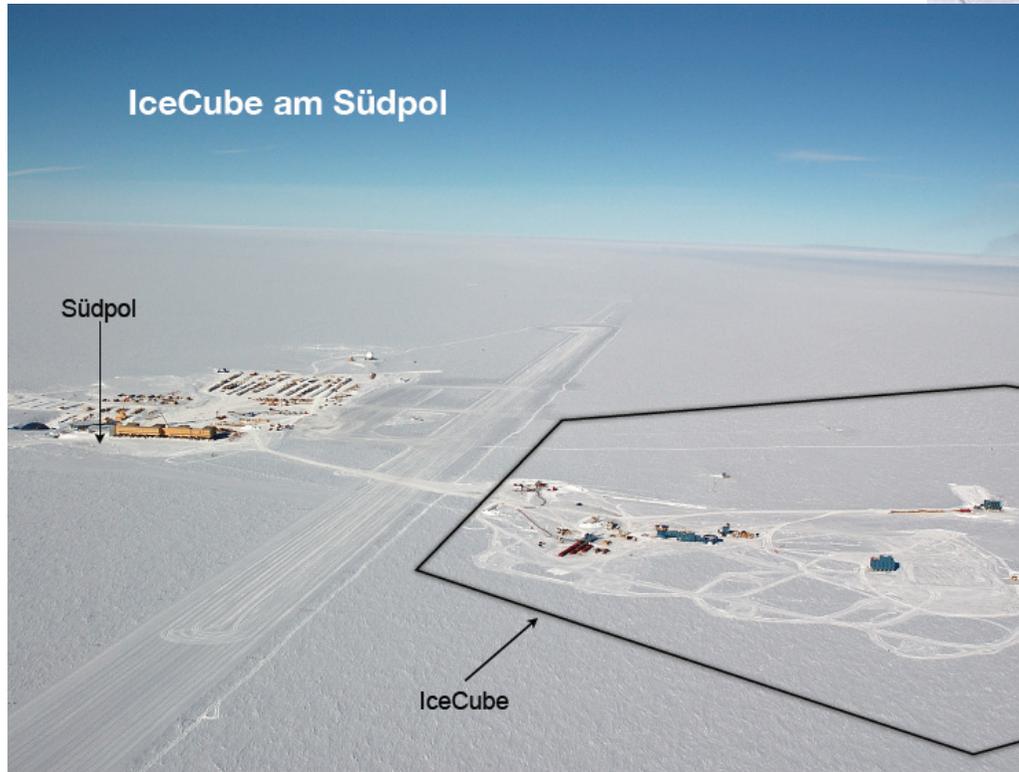
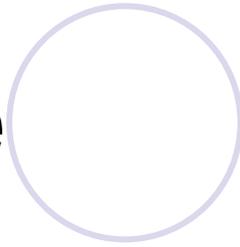
- Unterscheidung zw. Myon- und Elektron Neutrino

Icecube

- Weltweit größter Teilchendetektor (Südpol)
- 1 km² Detektorvolumen
- In 1400m bis 2400 m Tiefe
- 4800 optische Module
- 60 Lichtsensoren im Abstand von 17 m an einer Trosse
- Nachfolger von AMANDA (677 Module)
- Zusammengesetzt aus IceTop (Oberfläche) und Detektorvolumen
- Sensitiv für ~100GeV bis zu 10 EeV

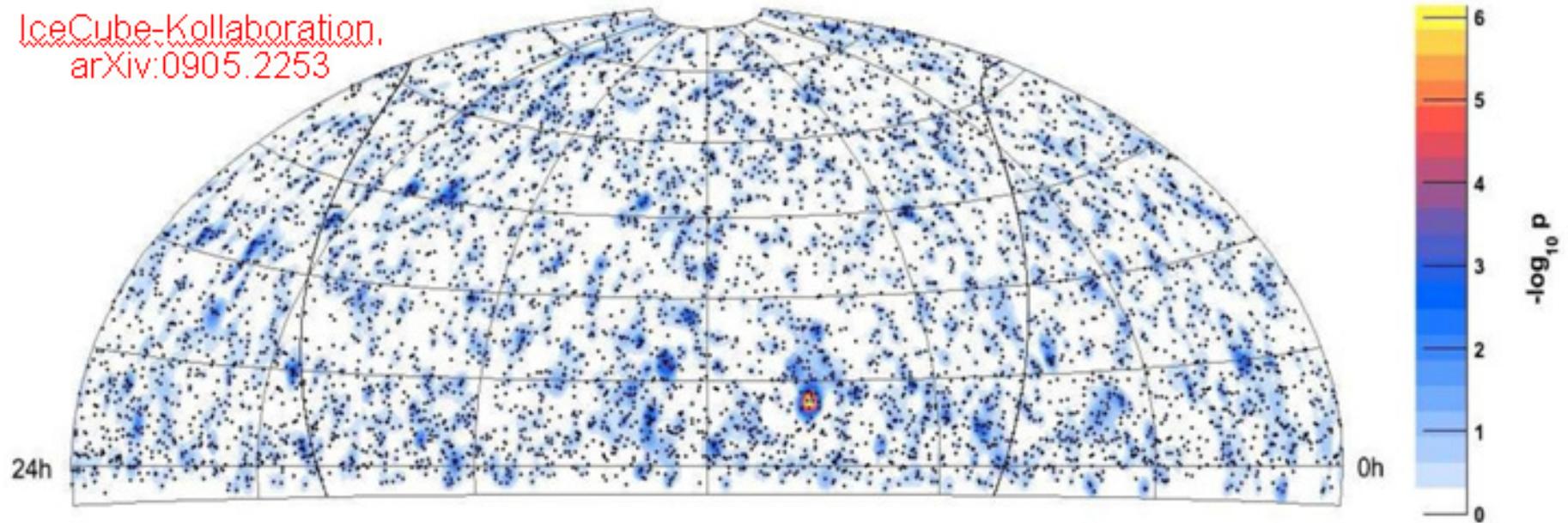


IceCube



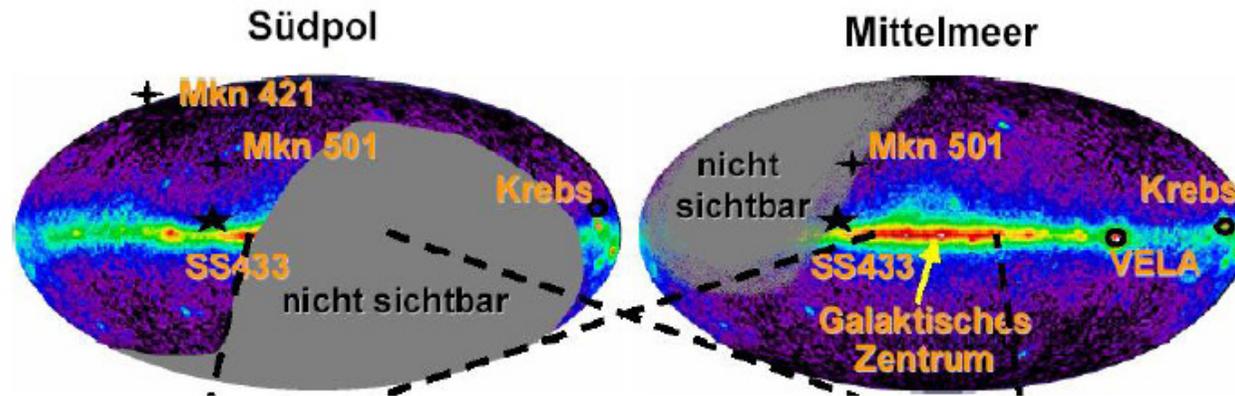
IceCube-Messungen

IceCube-Kollaboration,
arXiv:0905.2253



- Noch keine signifikanten Quellen entdeckt

Himmelsabdeckung durch IceCube und Antares



- In Planung: KM3NeT im Mittelmeer
- Ergänzt sich toll mit IceCube

Vor- und Nachteile von Wasser und Eis

Wasser

Vorteile:

- Reparatur einfacher
- Schwierige Kabelverlegung

Nachteile:

- Biolumineszenz
- K40-Zerfälle
- Instabiles Medium

Eis

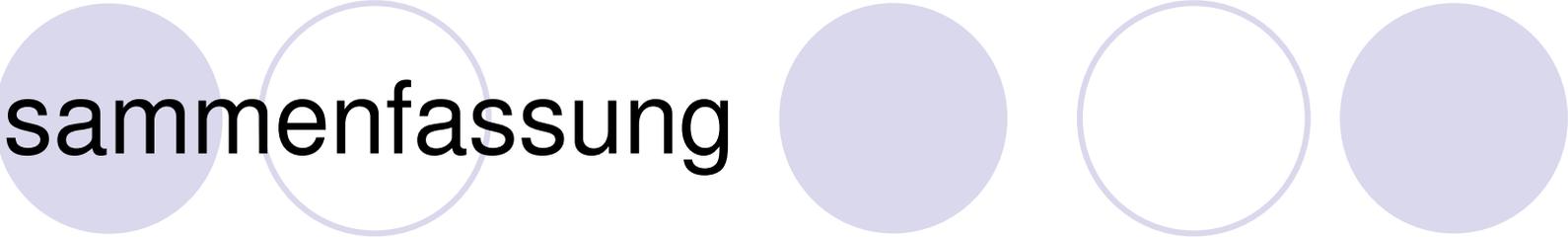
Vorteile:

- Stabiles Material
- Längere Absorptionslänge für Licht
- Leichte Installatur

Nachteile:

- Luftbläschen im Eis streuen Licht
- Reparatur schwierig

Zusammenfassung



- Neutrinos sind extrem schwer detektierbare Teilchen
- Nur über Sekundärteilchen nachweisbar: Cherenkovlicht
- Auch radiochemische oder akustische Methoden denkbar
- Große Detektoren benötigt