



Kosmische Signale im Südpoleis:

Das Neutrino-Observatorium IceCube

- was man von den Neutrinos über unser Universum lernen kann

Hermann Kolanoski
Humboldt-Universität zu Berlin

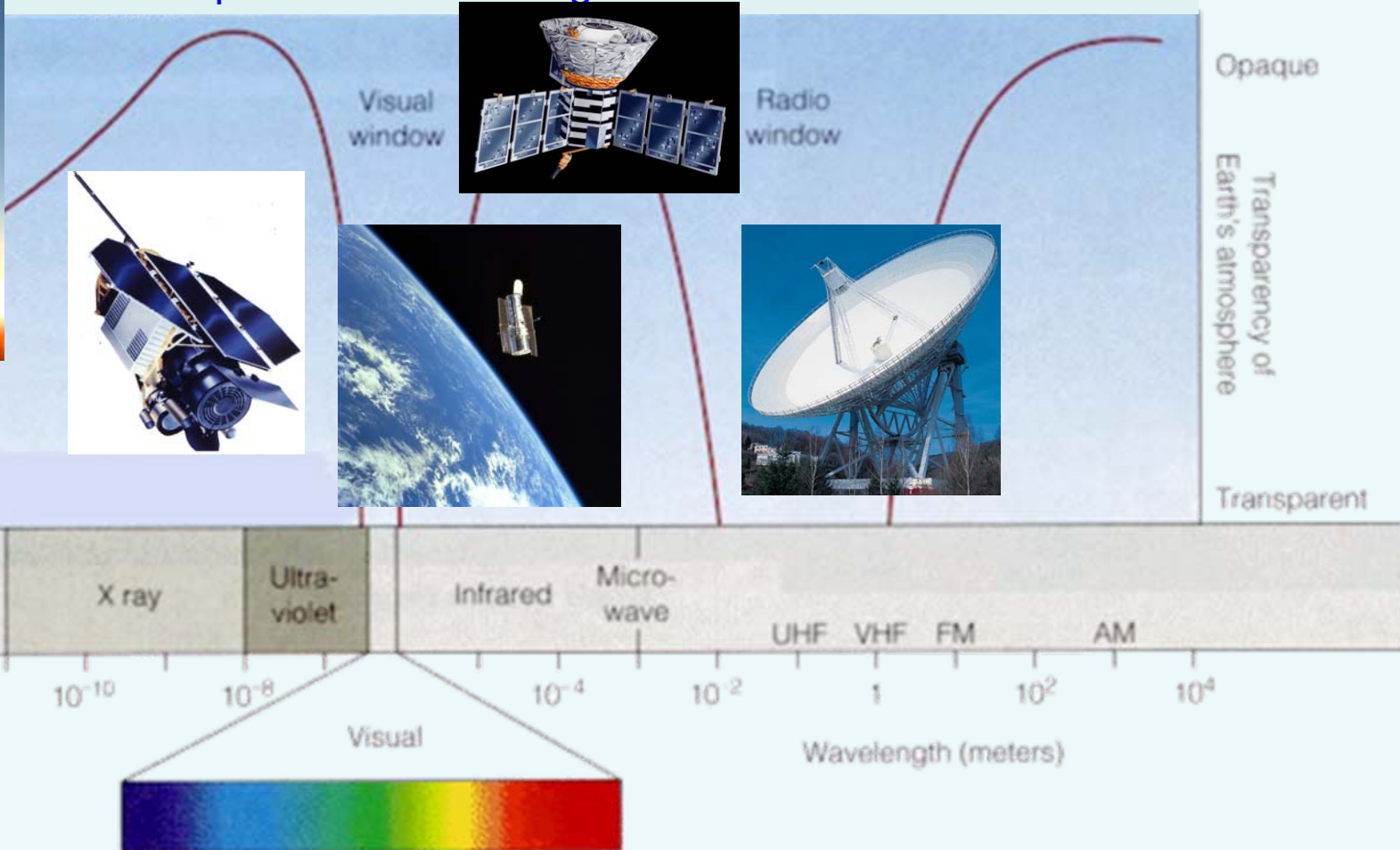
Wovon ich erzählen will:

- Die Boten aus dem All:
 - Licht, Mikro- und Radiowellen, Gamma-Strahlung, ,
 - Kosmische Strahlung und Neutrinos
- Neutrinos im Leben und Tod von Sternen
- Neutrinos als Boten kosmischer Beschleuniger
- Neutrino-Observatorium IceCube
- IceCube-Physik: Suche nach
 - Punktquellen: GRB, AGN, SNR,
 - diffuser Fluss aus der galaktischen Ebene
 - Dunkle Materie
 -

Goldene Zeiten...

...für Astronomie, Astro(teilchen)physik, Kosmologie, ...

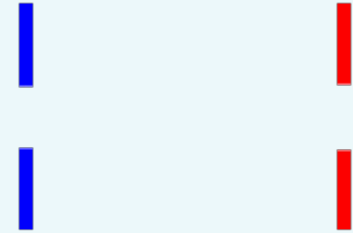
Das Spektrum elektromagnetischer Wellen



Energien

Energiegrößen:

eV	10^0	Licht
keV	10^3	Röntgen
MeV	10^6	Kernenergie
GeV	10^9	Gamma-Strahlung
TeV	10^{12}	LHC-Collider
PeV	10^{15}	Kosm.Strahlung (SNR)
EeV	10^{18}	Extragal. kosmische Str.
....		



Wellenlänge: 1 eV \rightarrow ~200 nm

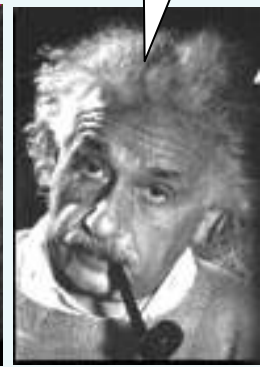
Temperatur: 1 eV \rightarrow ~10000 Kelvin

Masse: $E=mc^2 \rightarrow$ H-Masse etwa 1 GeV/c²

$\Delta x = h / \Delta p$

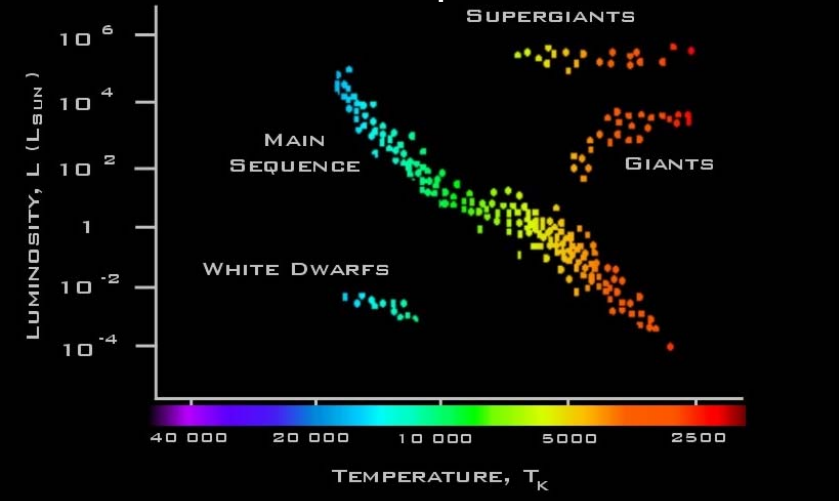
$E=kT$

$E=mc^2$

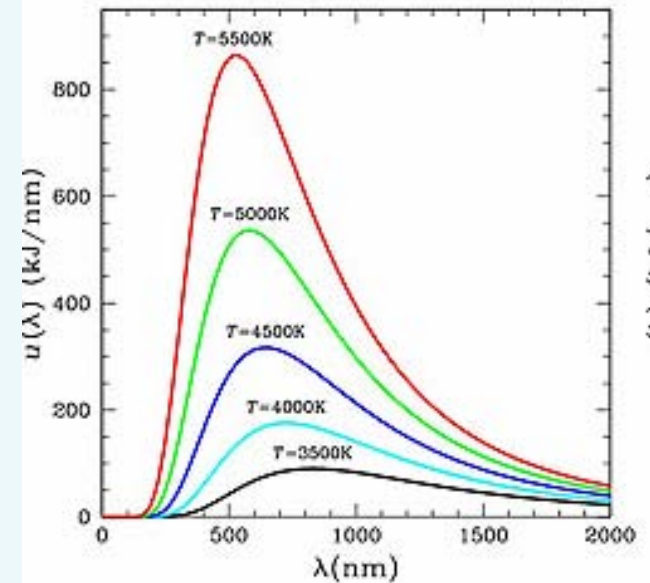


Temperaturen im Kosmos

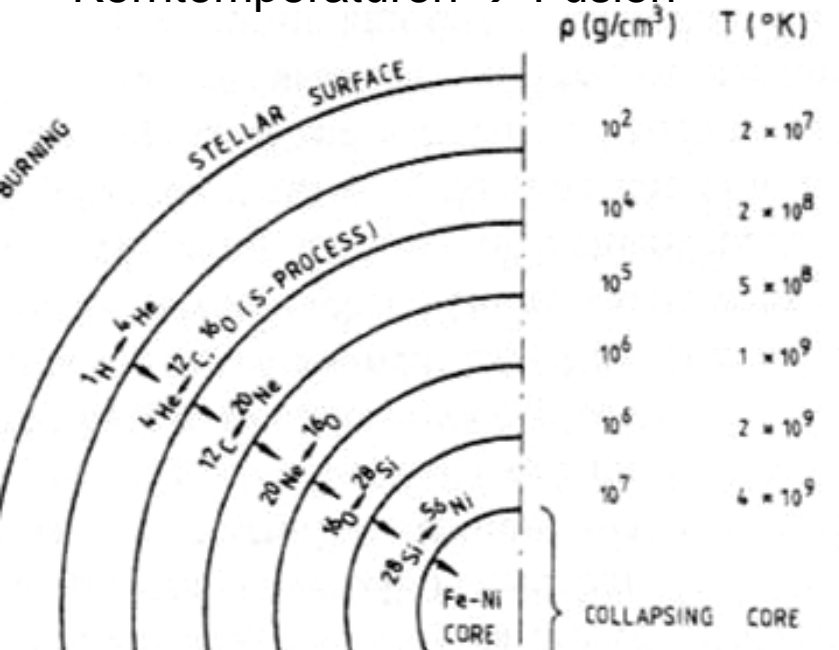
Oberflächentemperaturen



Temp. Gleichgewicht
 \Rightarrow Schwarzkörper-Strahlung



Kerntemperaturen \rightarrow Fusion

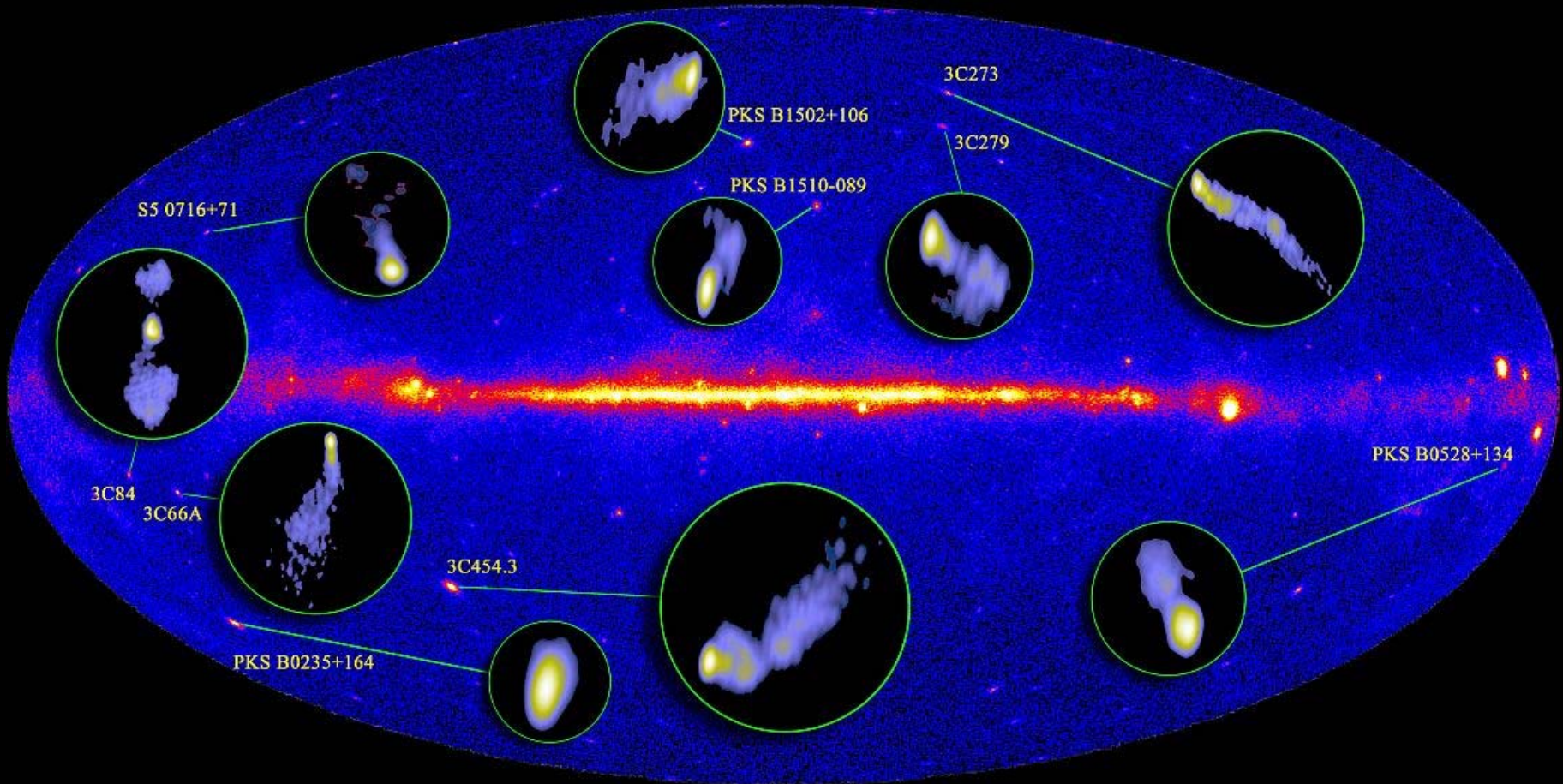
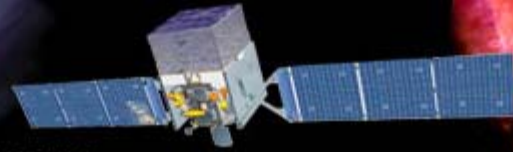


~ 100 keV die höchsten thermischen Energien
 \sim harte Röntgenstrahlung

Das „nicht-thermische Universum“

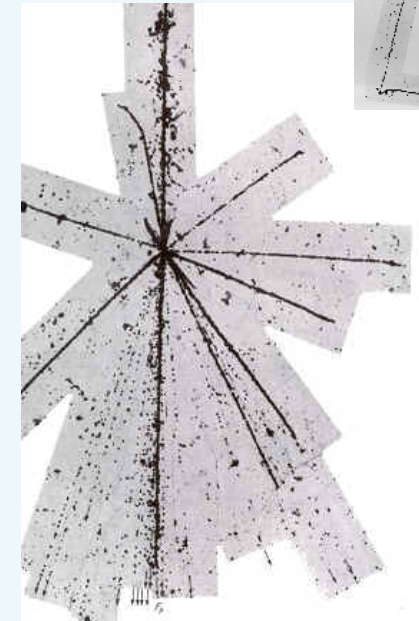
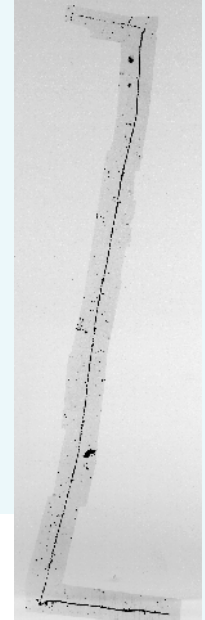
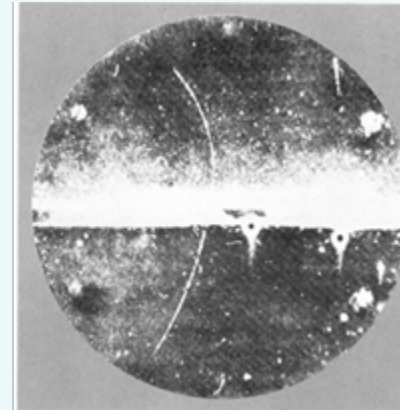
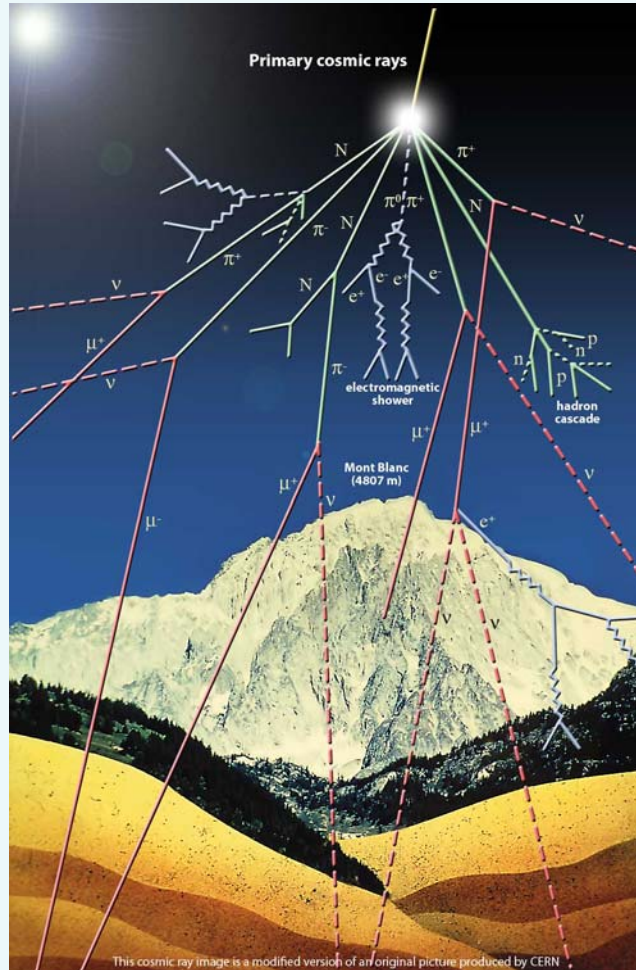
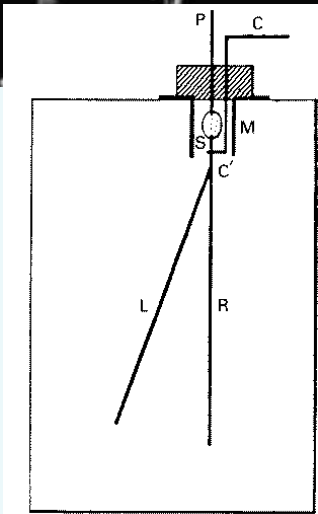
Fermi

Gamma-ray Space Telescope



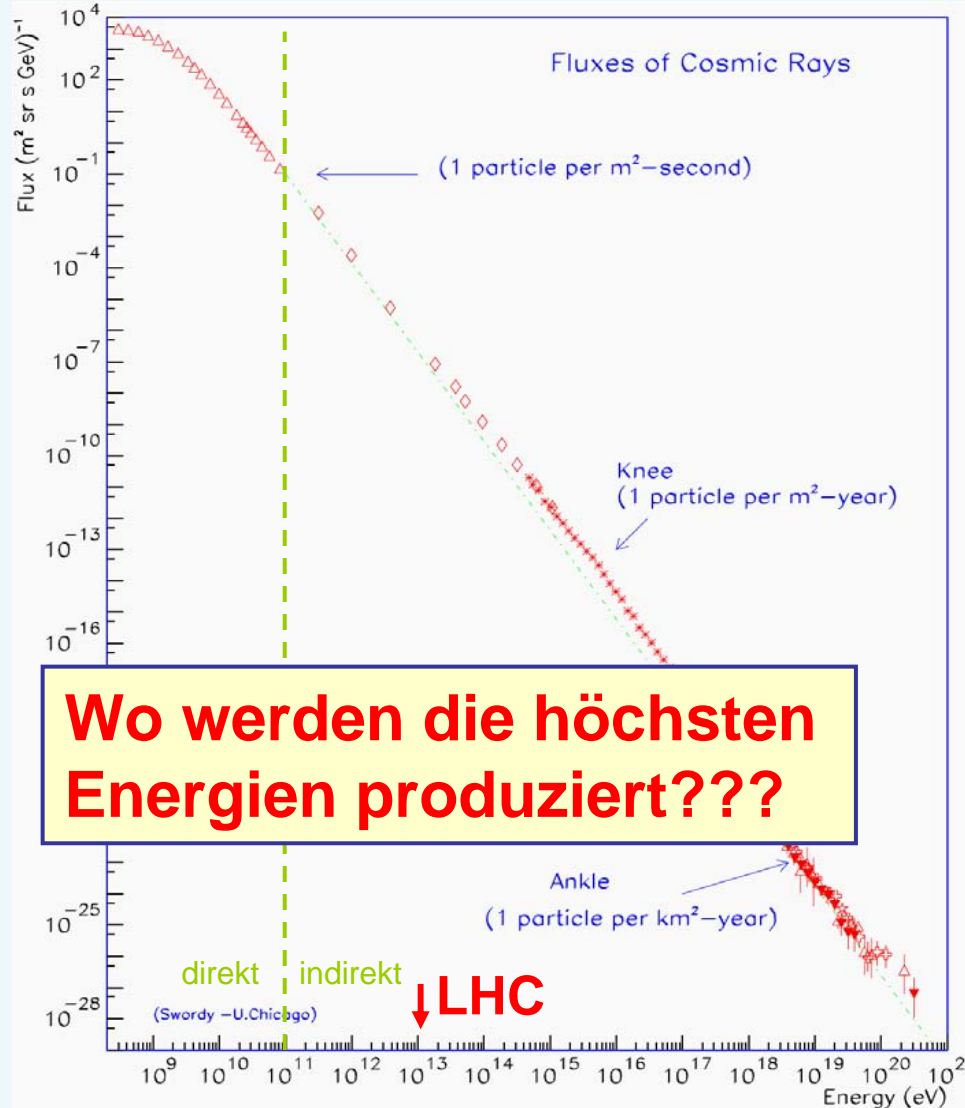
Kosmische Strahlung

Viktor Hess 1912

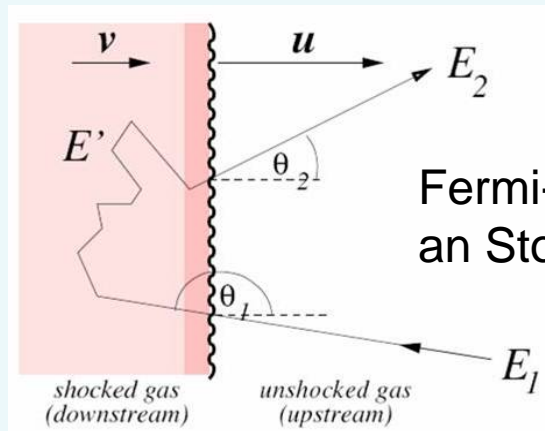
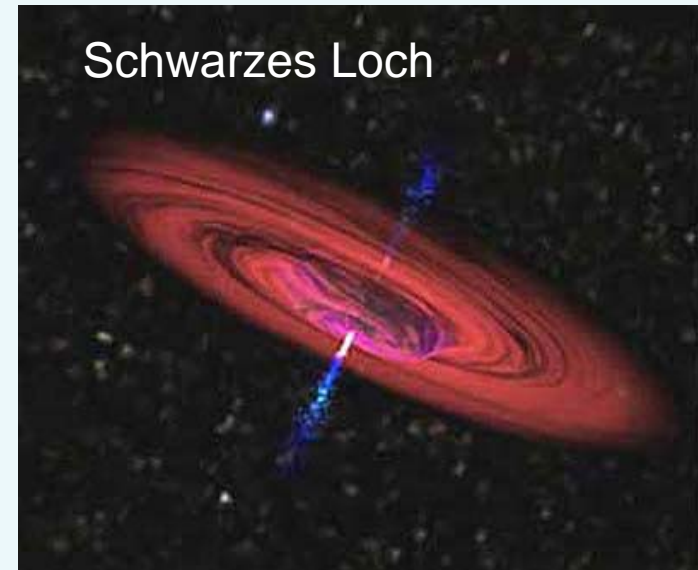
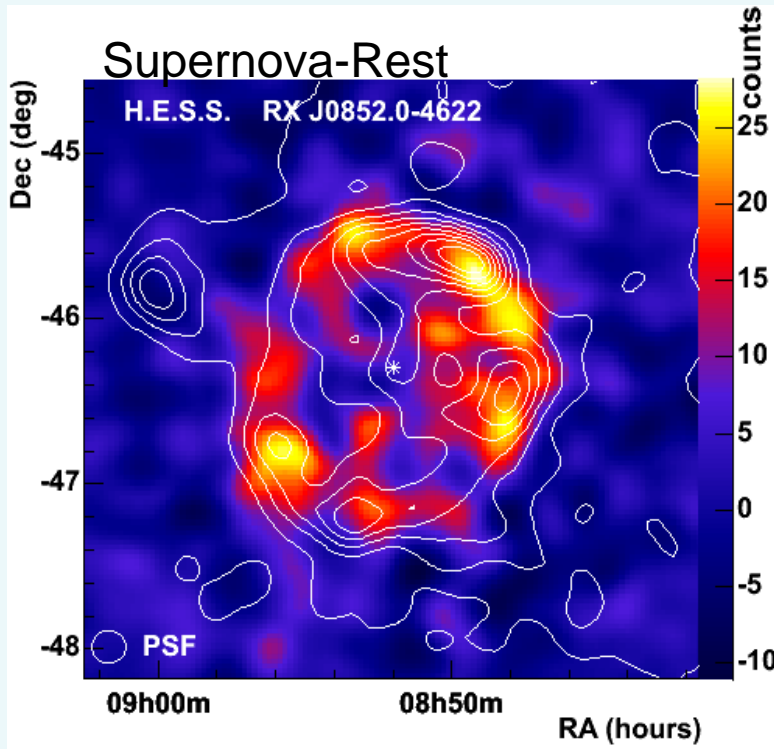


Geladene Kosmische Strahlung

Teilchen pro (Fläche Zeit Energie)



Kosmische Beschleuniger

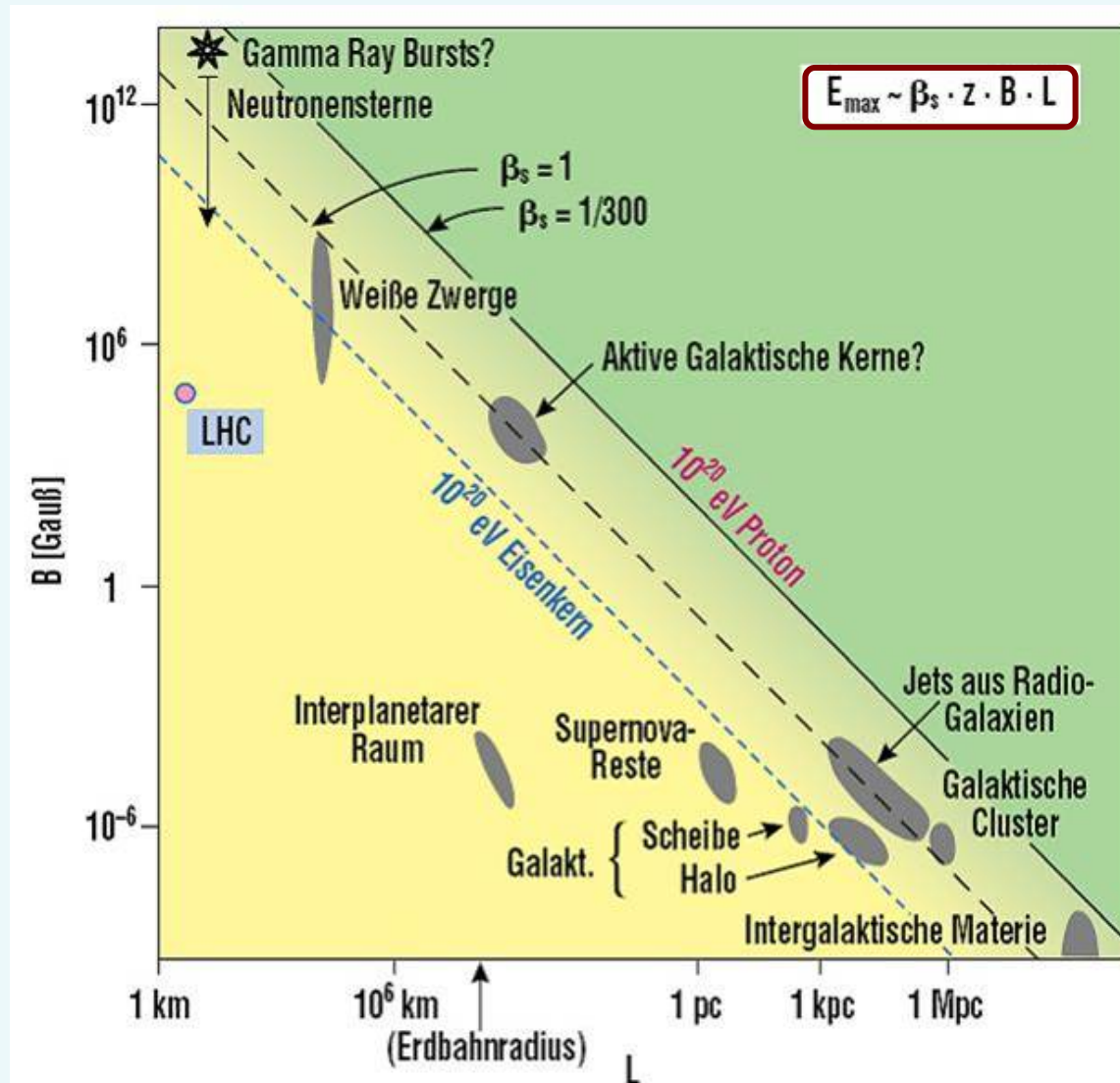
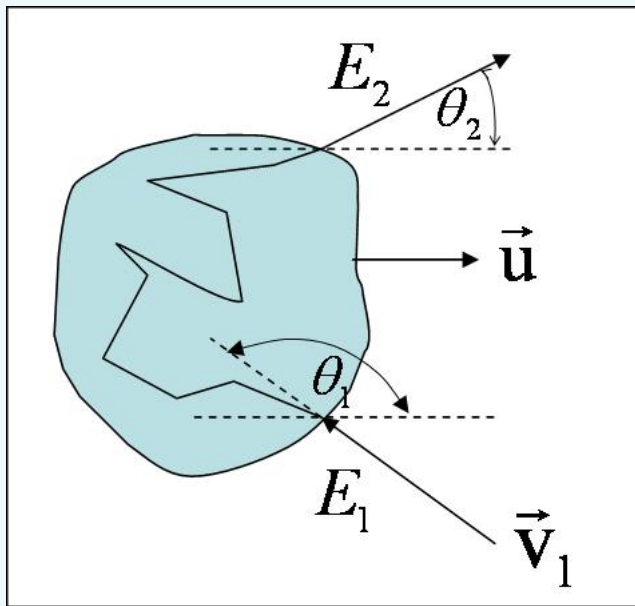


Fermi-Beschleunigung
an Stoßfronten

Hillas-Diagramm

Fragen:

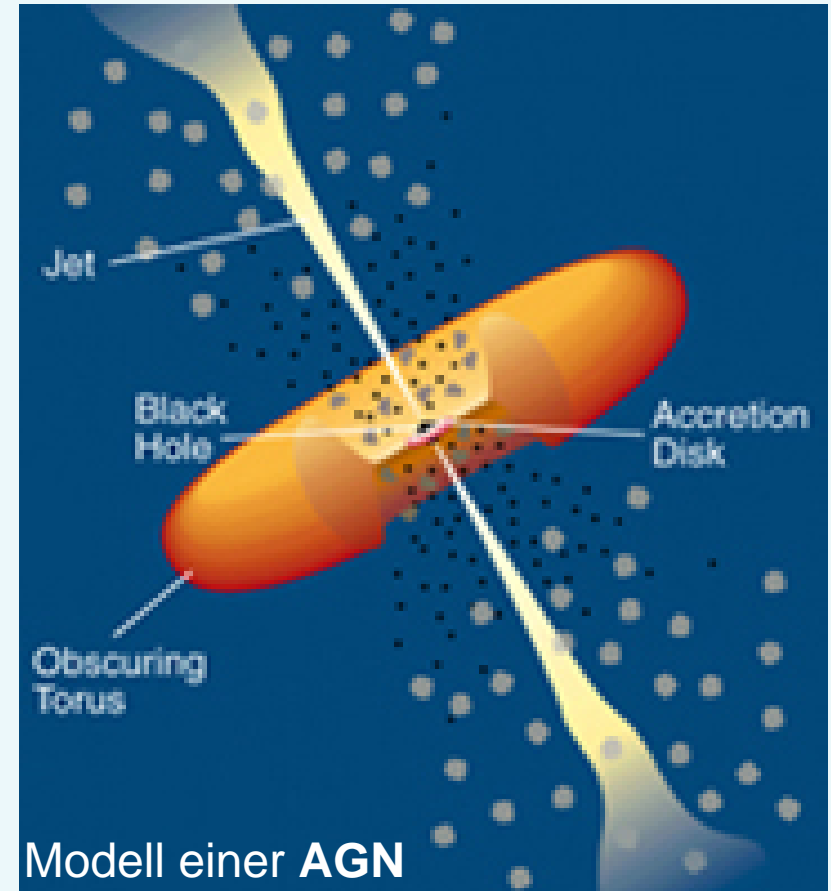
- Wo werden die hohen Energien erzeugt?
- Wo werden die notwendigen Bedingungen erfüllt:
B·L gross



Aktive Galaktische Kerne



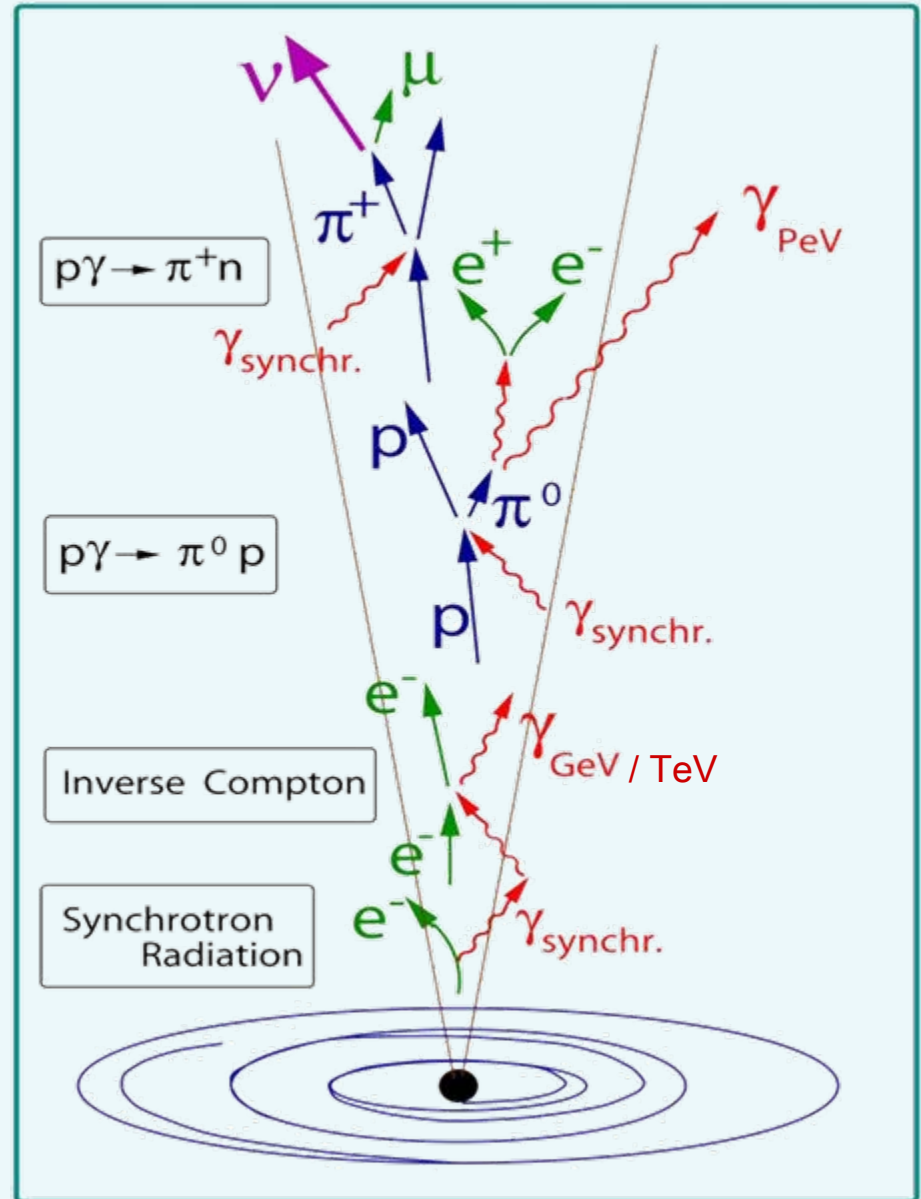
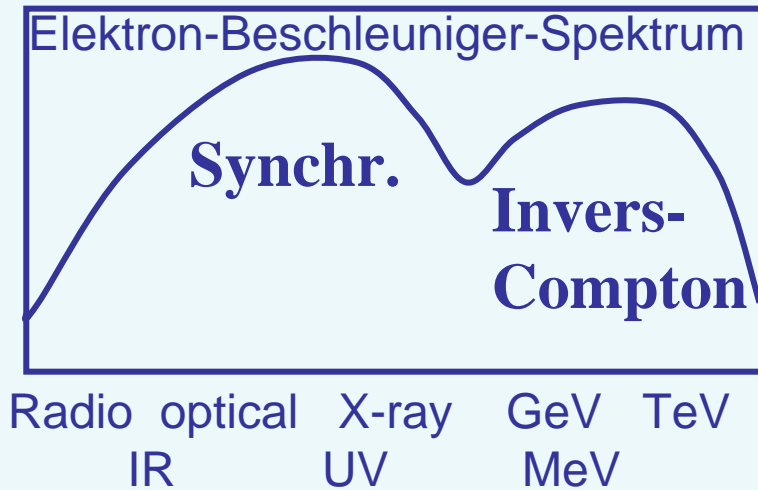
Hubble Heritage Bild von M87



Modell einer AGN

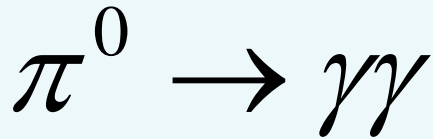
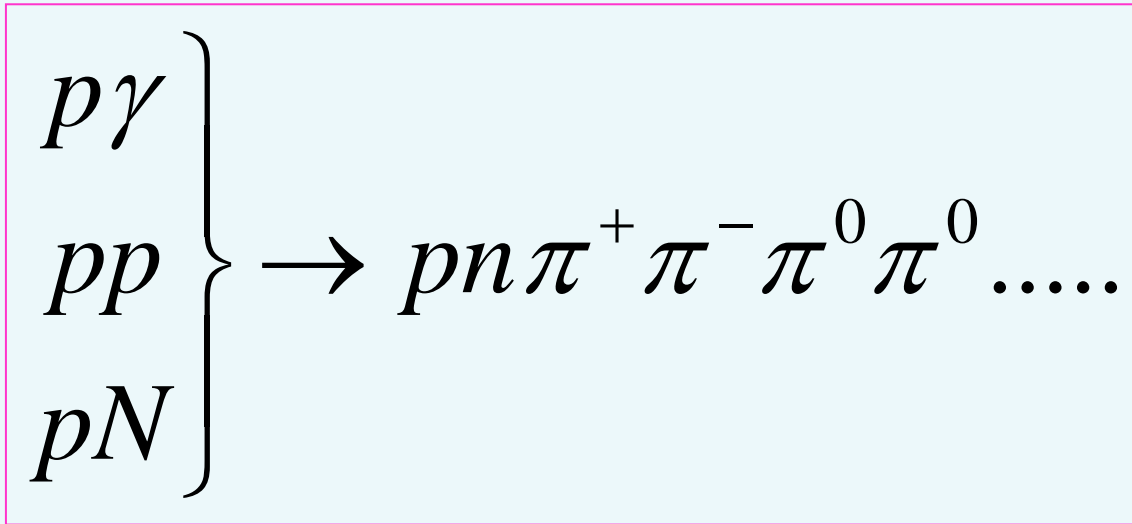
Ursprung der HE kosmischen Strahlung?

Proton/Kern- oder Elektron Beschleuniger?

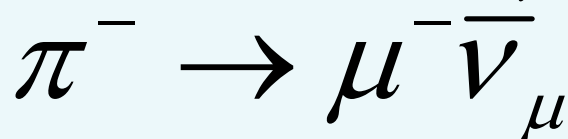
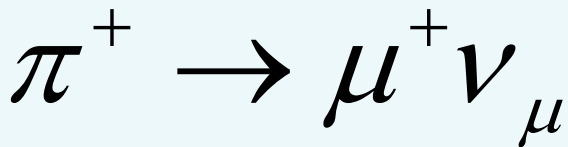


C.Spiering

„Hadronische“ Reaktionen



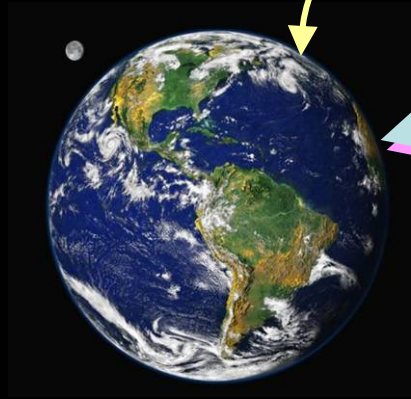
sichtbar in TeV-Gamma-Teleskopen
da aber auch $e\gamma \rightarrow e\gamma$ („leptonisch“)



Neutrinos eindeutig für „hadronisch“

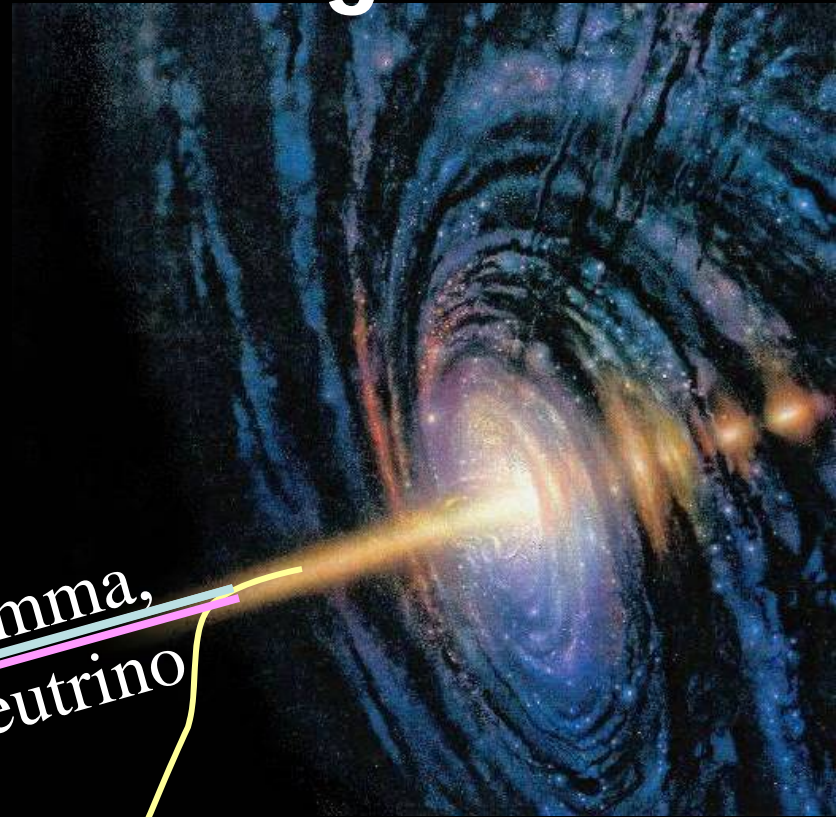
Verschlungene und gerade Wege

Geladene Teilchen



Neutrino

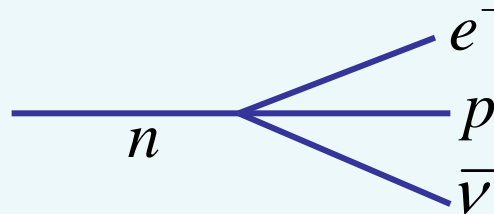
Gamma,
Neutrino



Was sind eigentlich Neutrinos?



Neutron \rightarrow Proton + Elektron + Neutrino

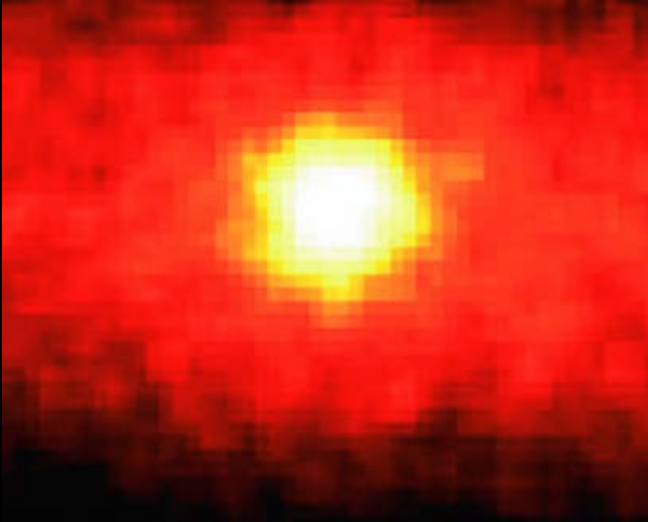


Wolfgang Pauli postulierte 1930 das Neutrino, um nicht Energie-Impuls-Erhaltung in Neutronzerfall aufgeben zu müssen.

Neutrinos von der Sonne

Wasserstoffbrennen in der Sonne

Sonne im Neutrino-Licht



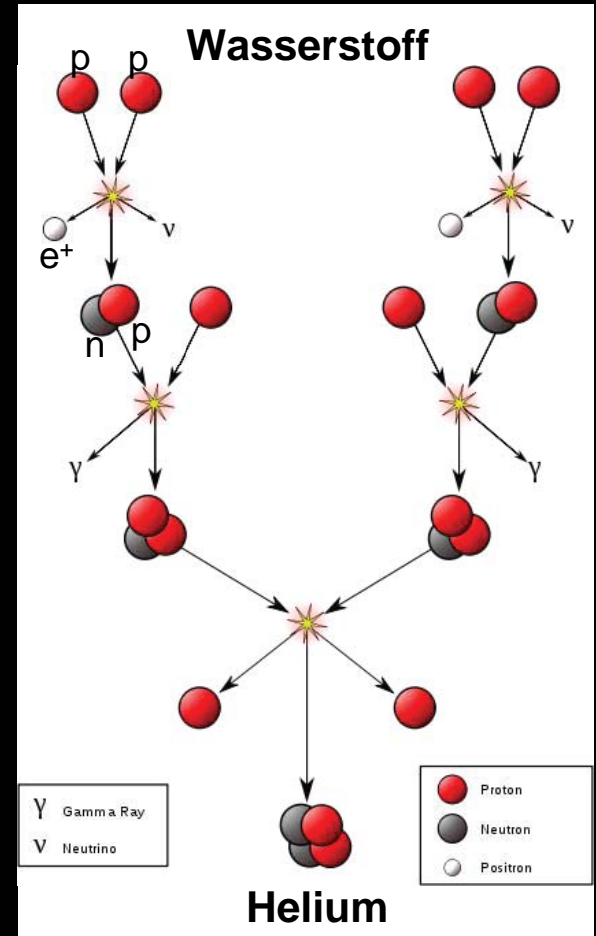
p = Proton = H-Kern
n = Neutron
 ν = Neutrino
 e^+ = Positron = Anti- e^-

pn = Deuterium
2p2n = He-Kern



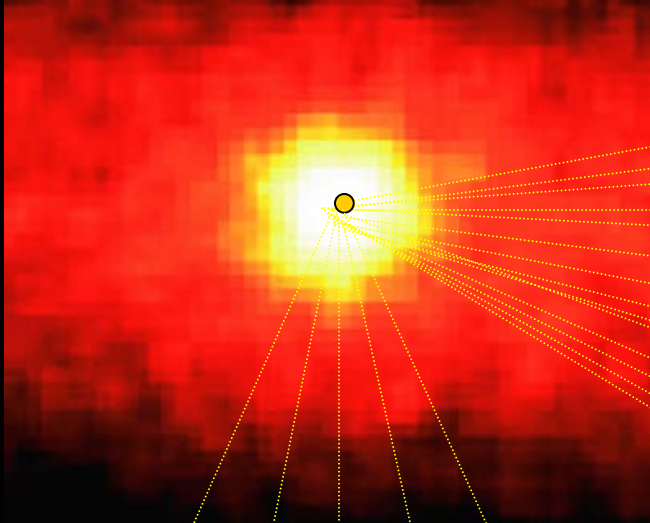
in 8 Min.
bei uns

in ~ 40000 Jahren
bei uns



Die unsichtbaren Neutrinos

Sonne im Neutrino-Licht



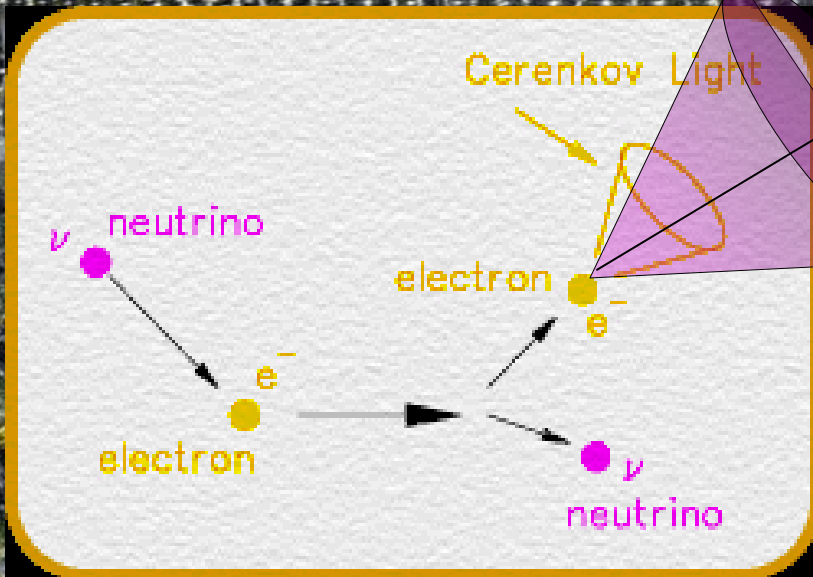
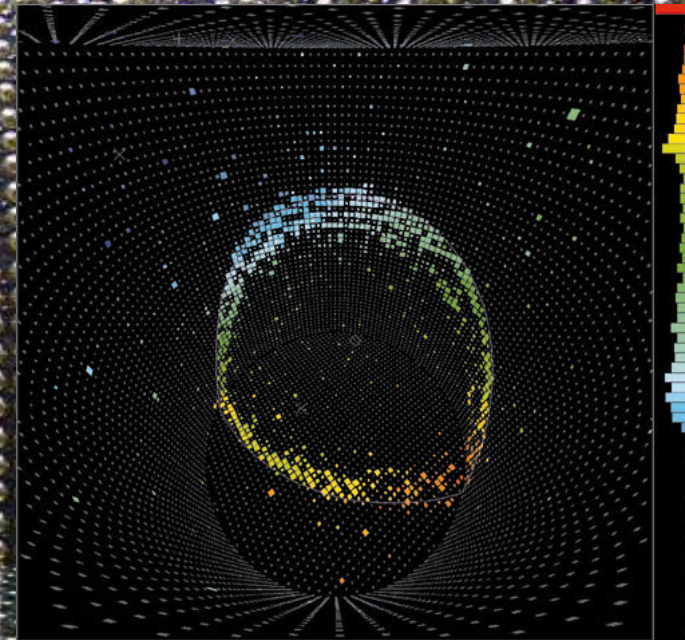
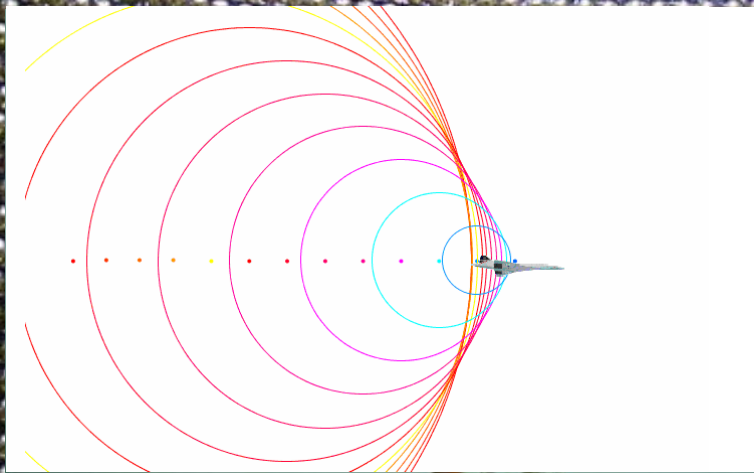
Aber:
5 Berliner pro Sekunde
trifft es!!

65 Milliarden ν pro $\text{cm}^2 \cdot \text{s}$

von
Trillionen ν pro Sek.
durch unseren Körper
bleibt nur
1 ν pro Woche
stecken!!



Nachweis von Neutrinos



Super-Kamiokande

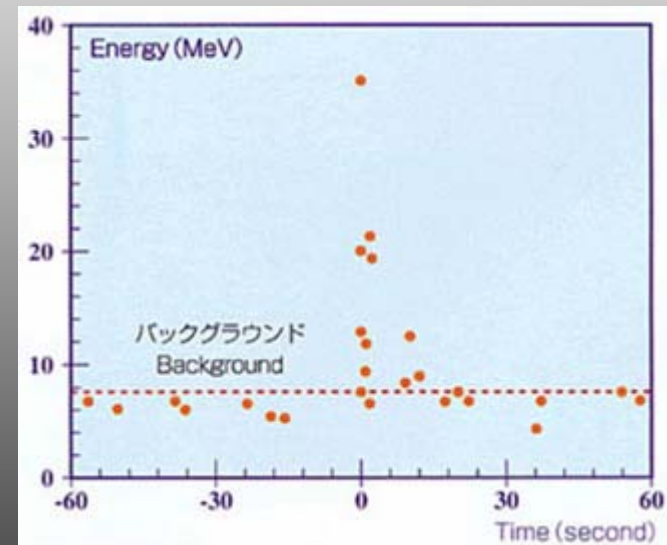
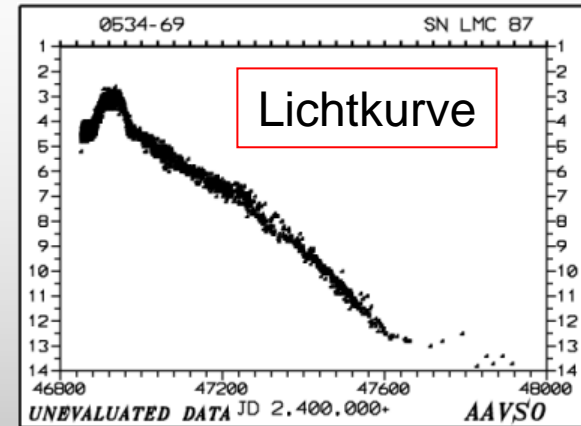
$\varnothing=39.3\text{m}$

$h=41.4\text{m}$

50 kt Wasser

... zum ersten Mal kosmische Neutrinos von außerhalb des Sonnensystems:

Neutrinos von SN1987A



- Neutrinos 3 Stunden vor Lichtblitz
- Neutrino-Blitz wenige Sekunden lang
- 99% der Energie in Neutrinos

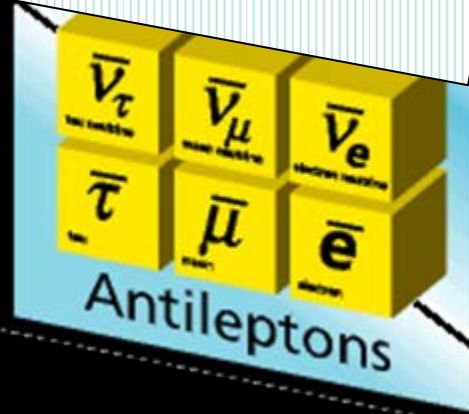
Für jeden Geschmack etwas

Bausteine der Materie

Heute nicht unser Thema heute nicht unser Thema

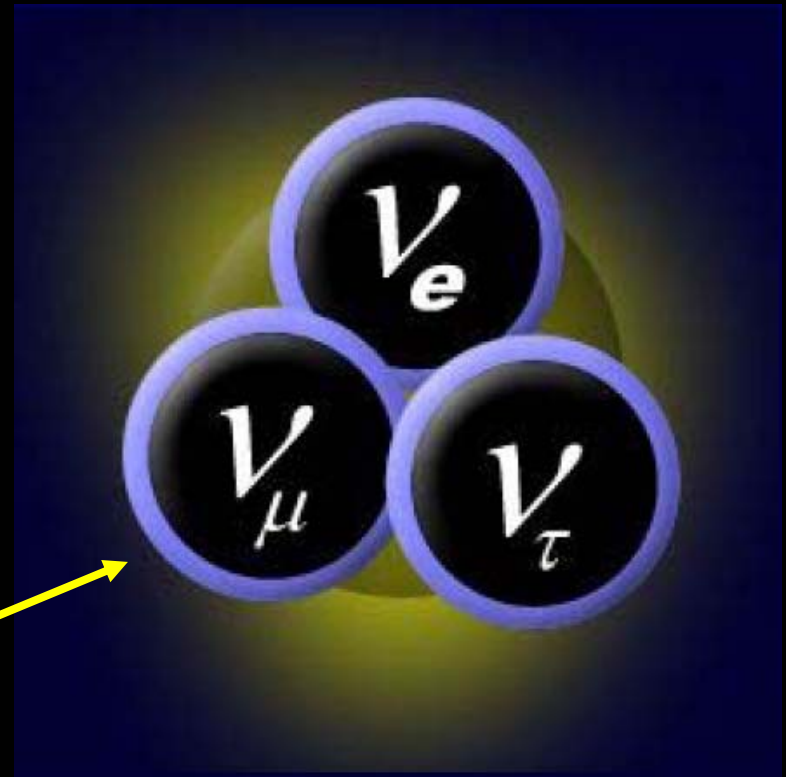


Leptonen

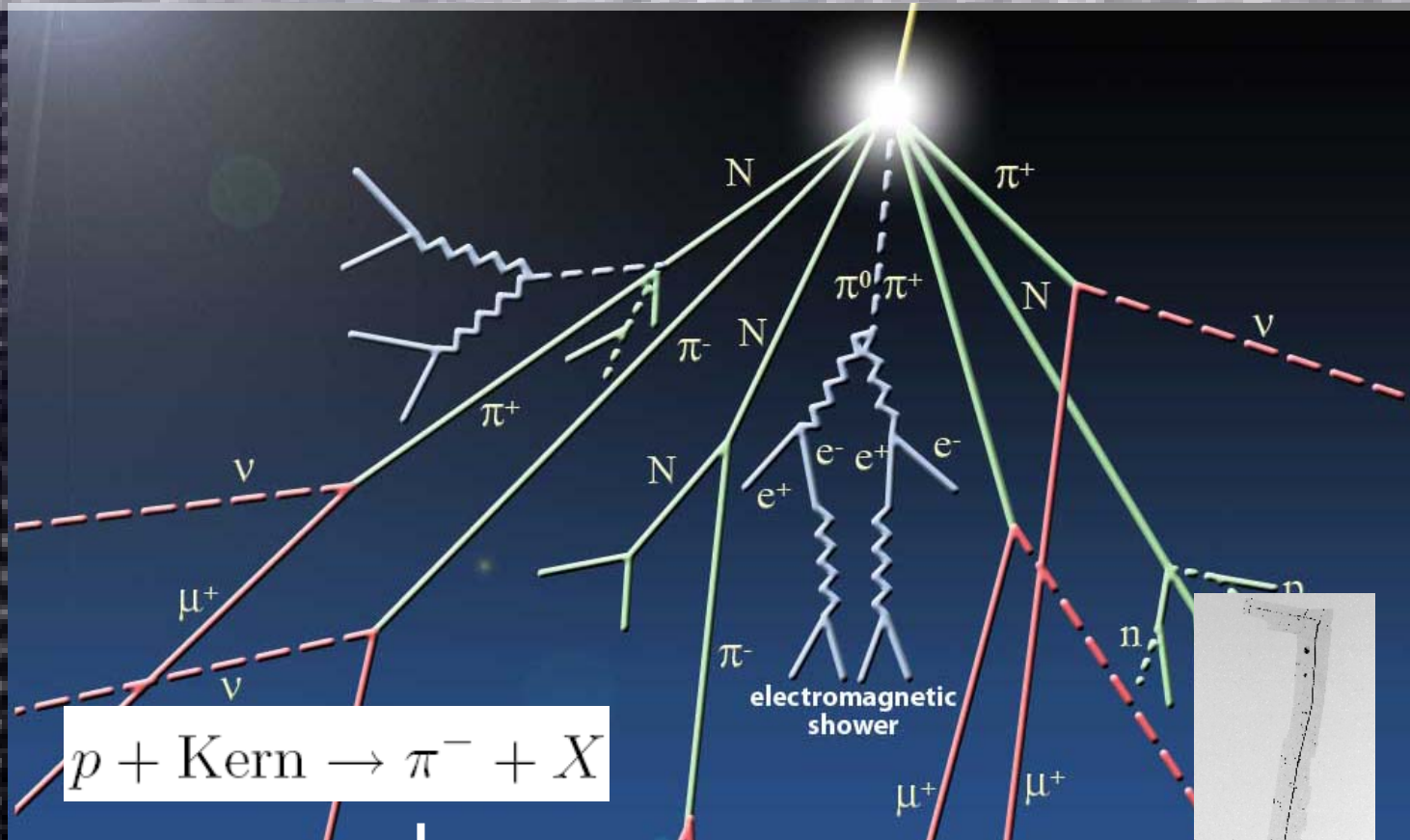


Antileptonen

Alle 3 'Flavors' treten z.B. in Supernova-Explosionen auf



Atmosphärische Neutrinos



Zwischenbilanz: Was haben wir gelernt?

- Unerklärte hohe, **nicht-thermische Energien** in kosmischer Strahlung
- Wo sind die Beschleuniger?
- Kandidaten: extragalaktische Objekte wie AGN, GRB, ...?
- Nur hochenergetische Neutrinos eindeutig für Beschleunigungsmechanismus
- Neutrinos sind etwas sehr Alltägliches and Häufiges im Kosmos
- Aber sie sind schwer nachzuweisen
- Andererseits ermöglichen sie tieferen Einblick in dichte Materie

Nachweis hochenergetischer Neutrinos von kosmischen Beschleunigern?

Ganz schön schwierig

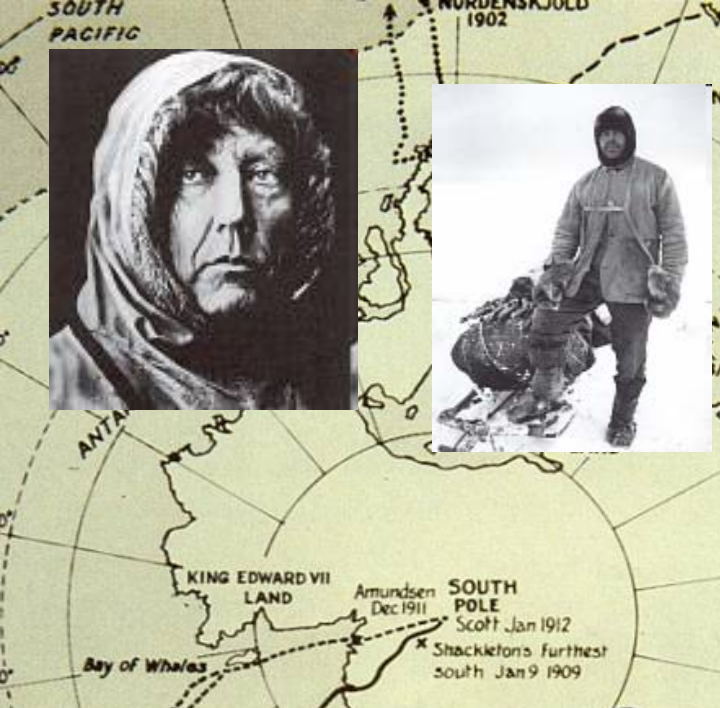
Brauchen etwas

- **Großes** und
- **Transparentes**

⇒ **Wasser** oder **Eis**

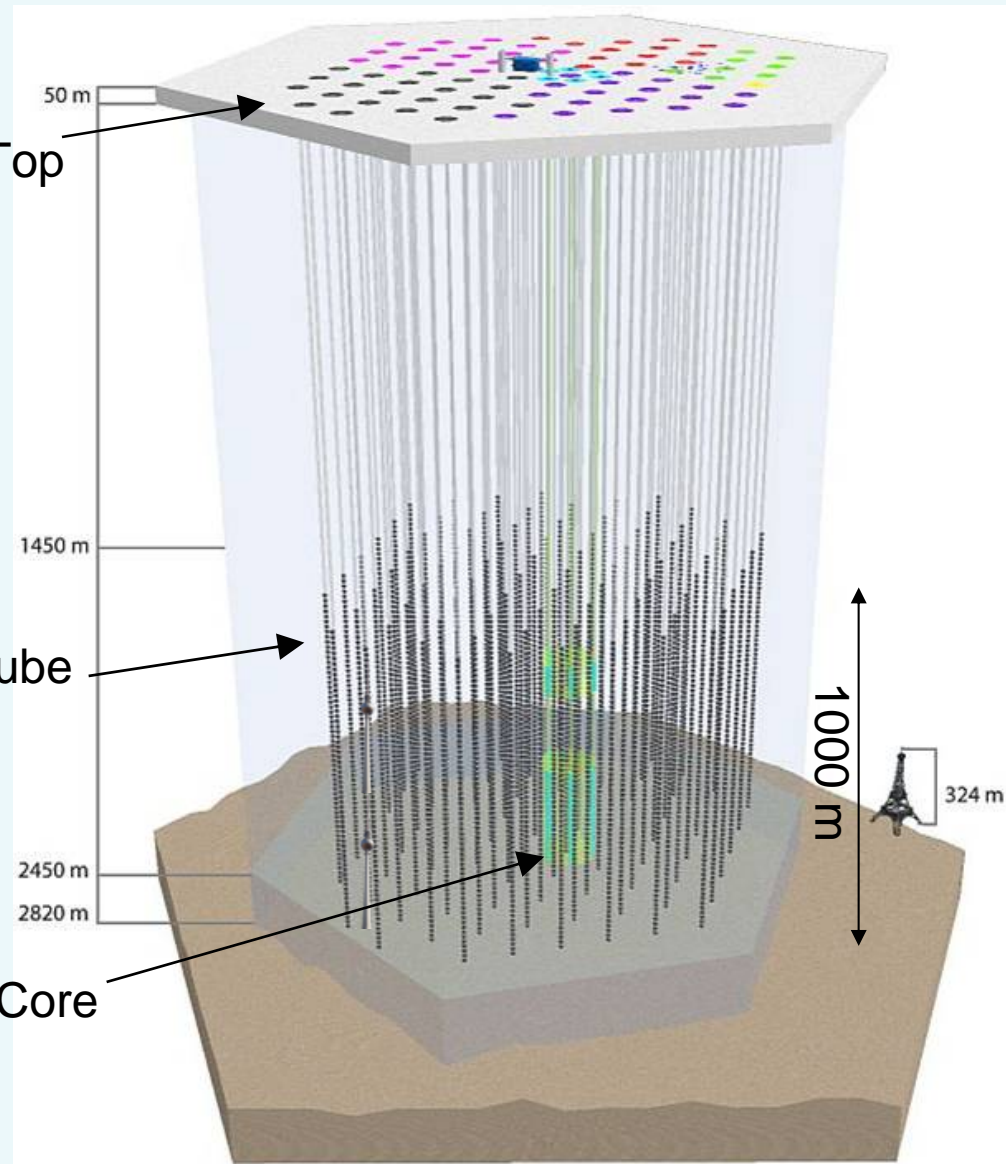


Amundsen – Scott Station





IceCube



- 86 Strings bis 2450 m tief
- 5160 Optische Module
- Instrumentiert: 1 km³
- Installation: 2005-2011



The IceCube Collaboration

USA:

Bartol Research Institute, Delaware
Pennsylvania State University
UC Berkeley
UC Irvine
Clark-Atlanta University
University of Maryland
University of Wisconsin-Madison
University of Wisconsin-River Falls
Lawrence Berkeley National Lab.
University of Kansas
Southern University and A&M
College, Baton Rouge
University of Alaska, Anchorage
Ohio State University
University of Alabama
Georgia Institute of Technology

Sweden:

Uppsala Universitet
Stockholm Universitet

UK:

Oxford University

Switzerland:

EPFL

Belgium:

Université Libre de Bruxelles
Vrije Universiteit Brussel
Universiteit Gent
Université de Mons-Hainaut

Germany:

Universität Mainz
DESY-Zeuthen
Universität Dortmund
Universität Wuppertal
Humboldt Universität
MPI Heidelberg
RWTH Aachen
Universität Bonn
Universität Bochum

Japan:

Chiba University

New Zealand:

University of
Canterbury

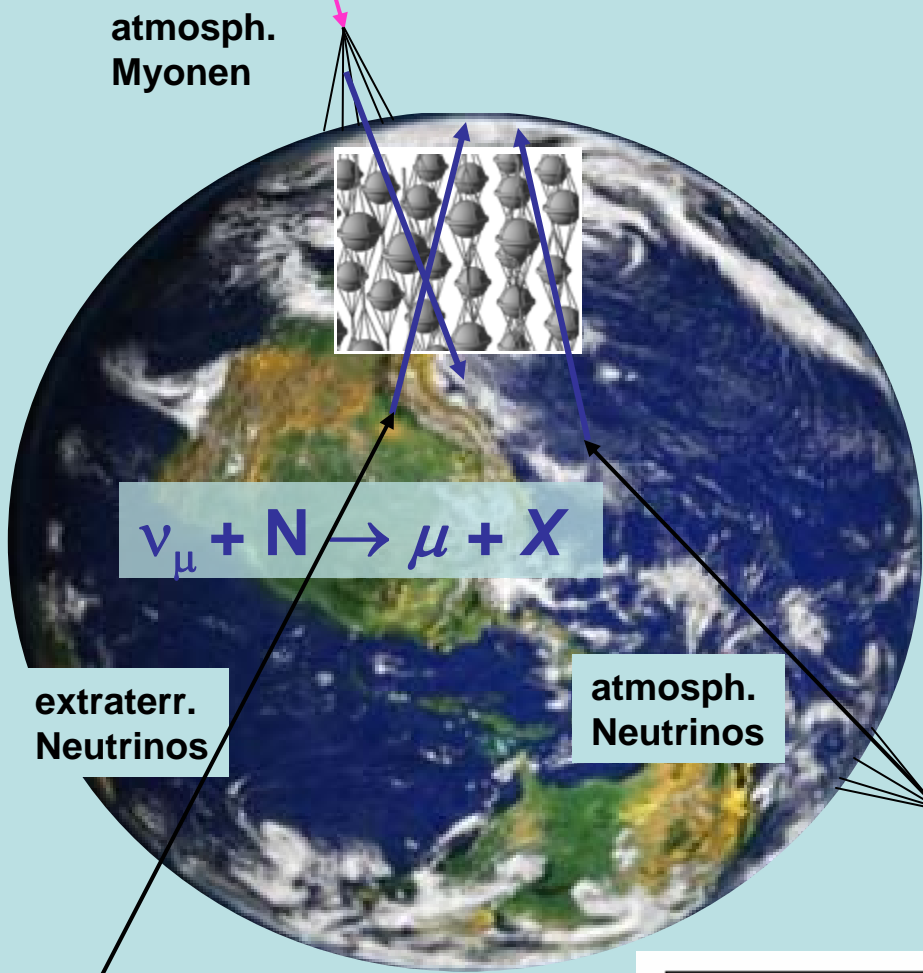
~34 institutions, ~250 members

<http://icecube.wisc.edu>

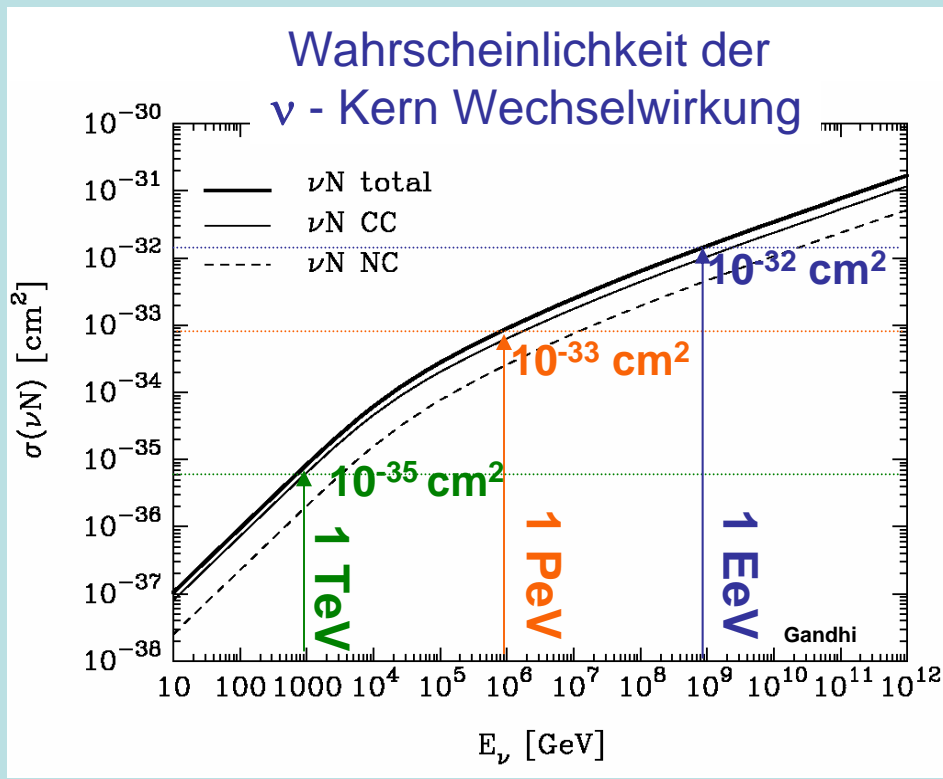
IceCube Collaboration Herbst 2009 in Berlin



Nachweis von Hochenergie-Neutrinos

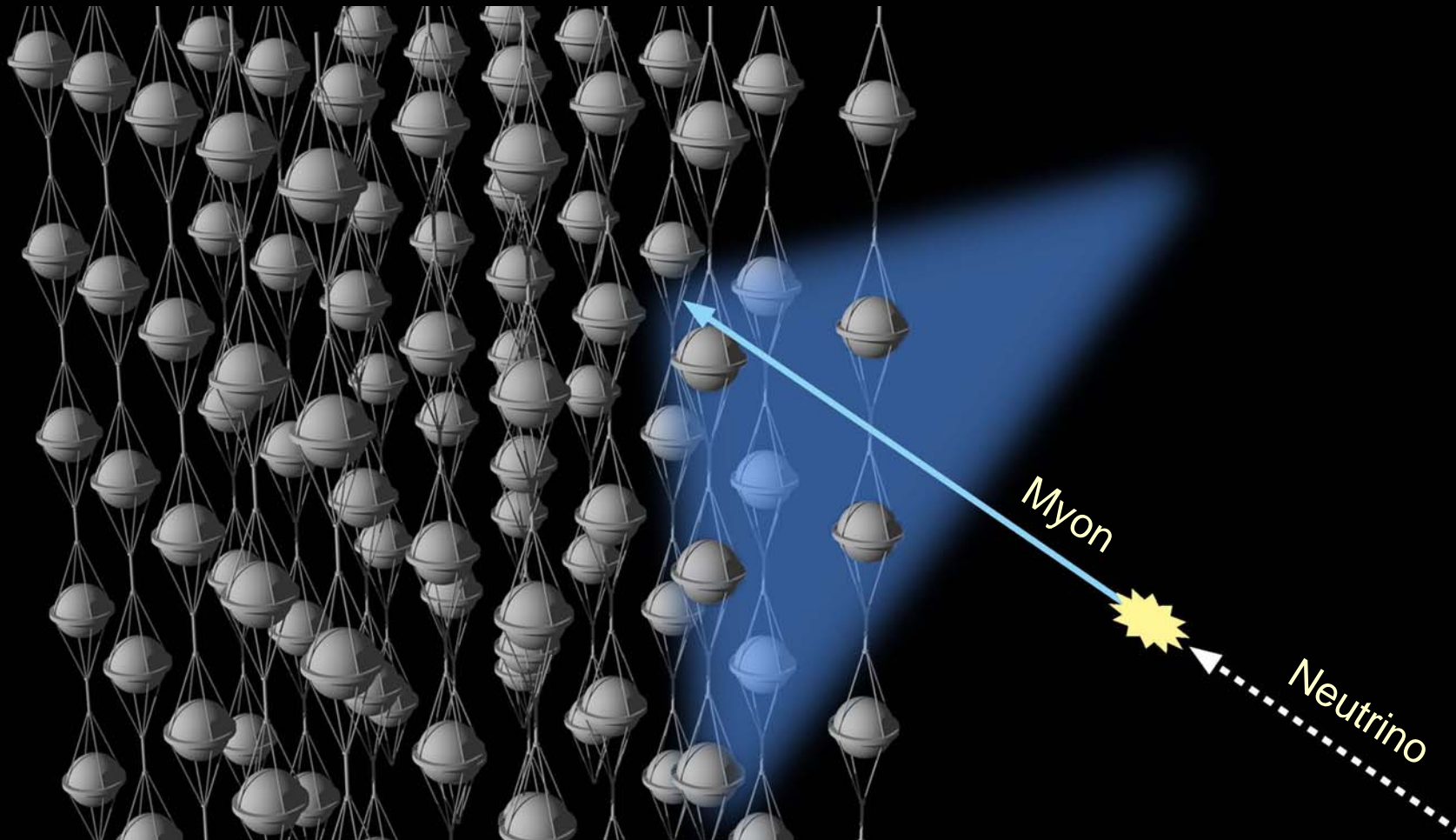


Erde als Filter

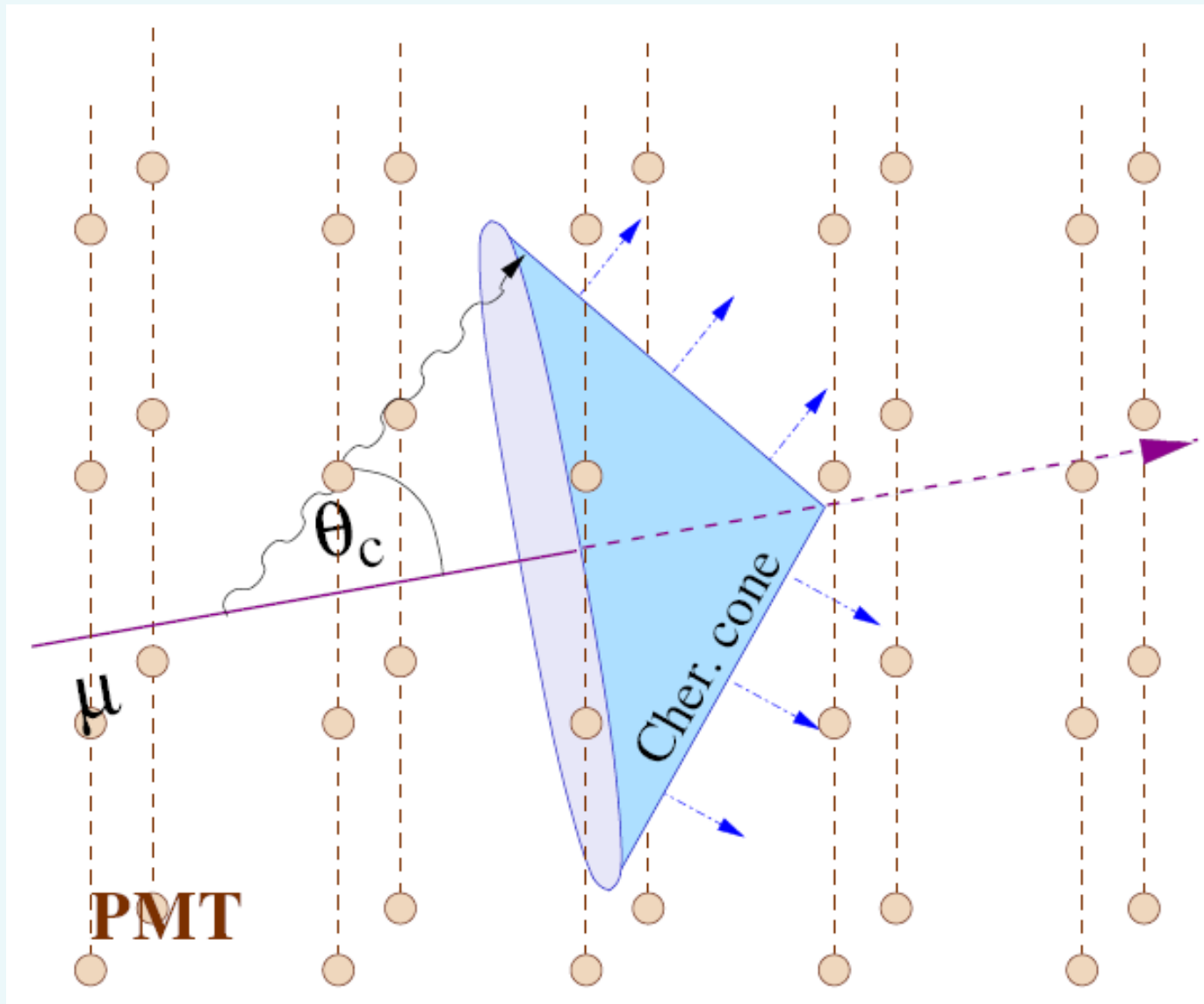


E_{ν} [GeV]	10^3	10^6	10^9
$\rho\Lambda$ [km w.e.]	$2.0 \cdot 10^6$	$1.9 \cdot 10^4$	$1.1 \cdot 10^3$

Nachweis eines Neutrinos



Myonspur im Eis/Wasser



DOM – Digital Optical Module

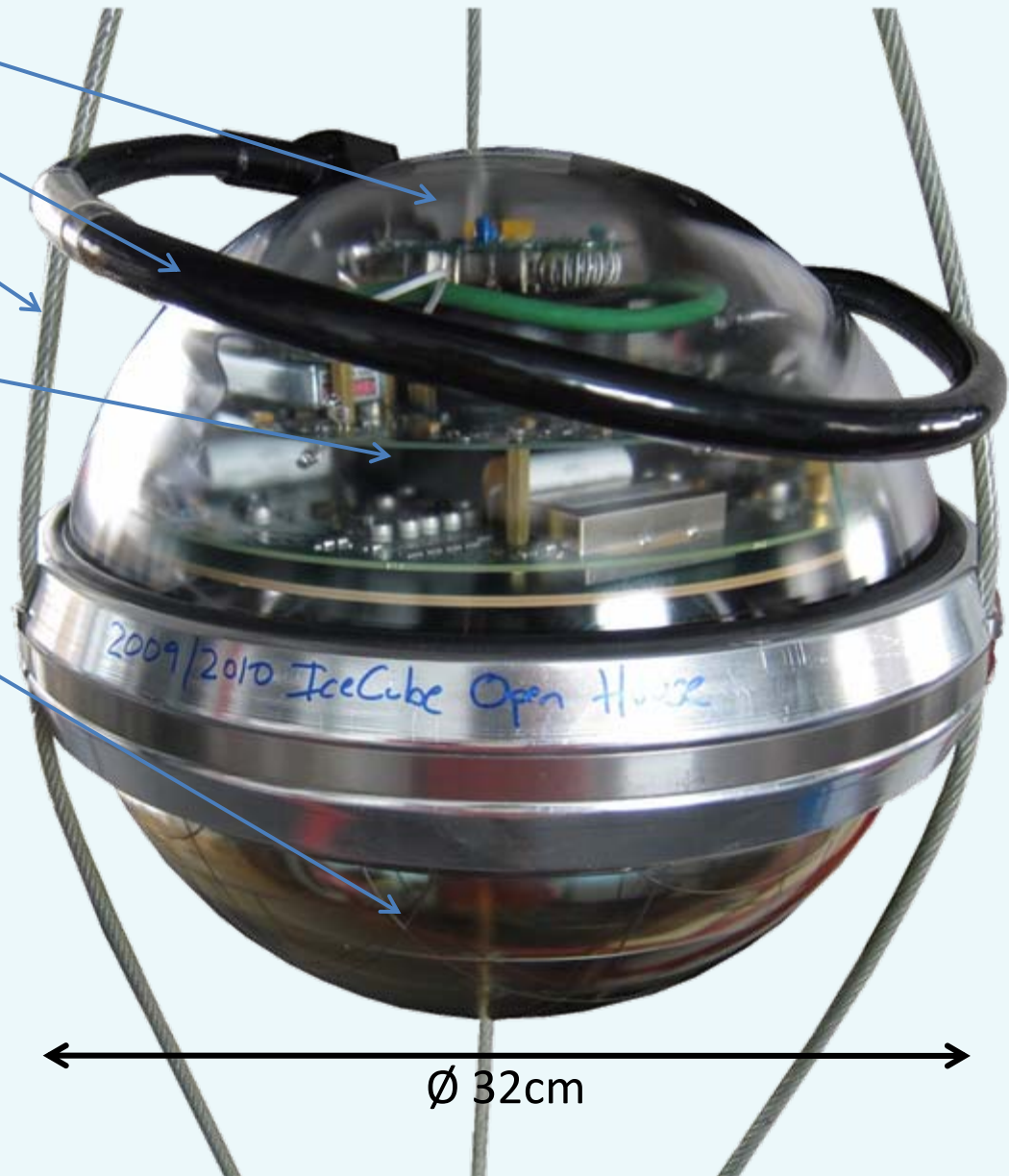
Druckfeste Glaskugel

Anschlusskabel

Befestigung

Elektronik:
Hochspannung,
Digitalisierung,
Datenübertragung

Photomultiplier = Lichtsensor



DOM-Produktion in Zeuthen



... und am Pol

DOM-Präparation im Purple Palace



... und dann 2450 m tief
versenkt



Eine Sommermannschaft





The IceCube Hot Water Drill

Drill camp (5 MW hot water heater)

Hose Reel

Drill tower

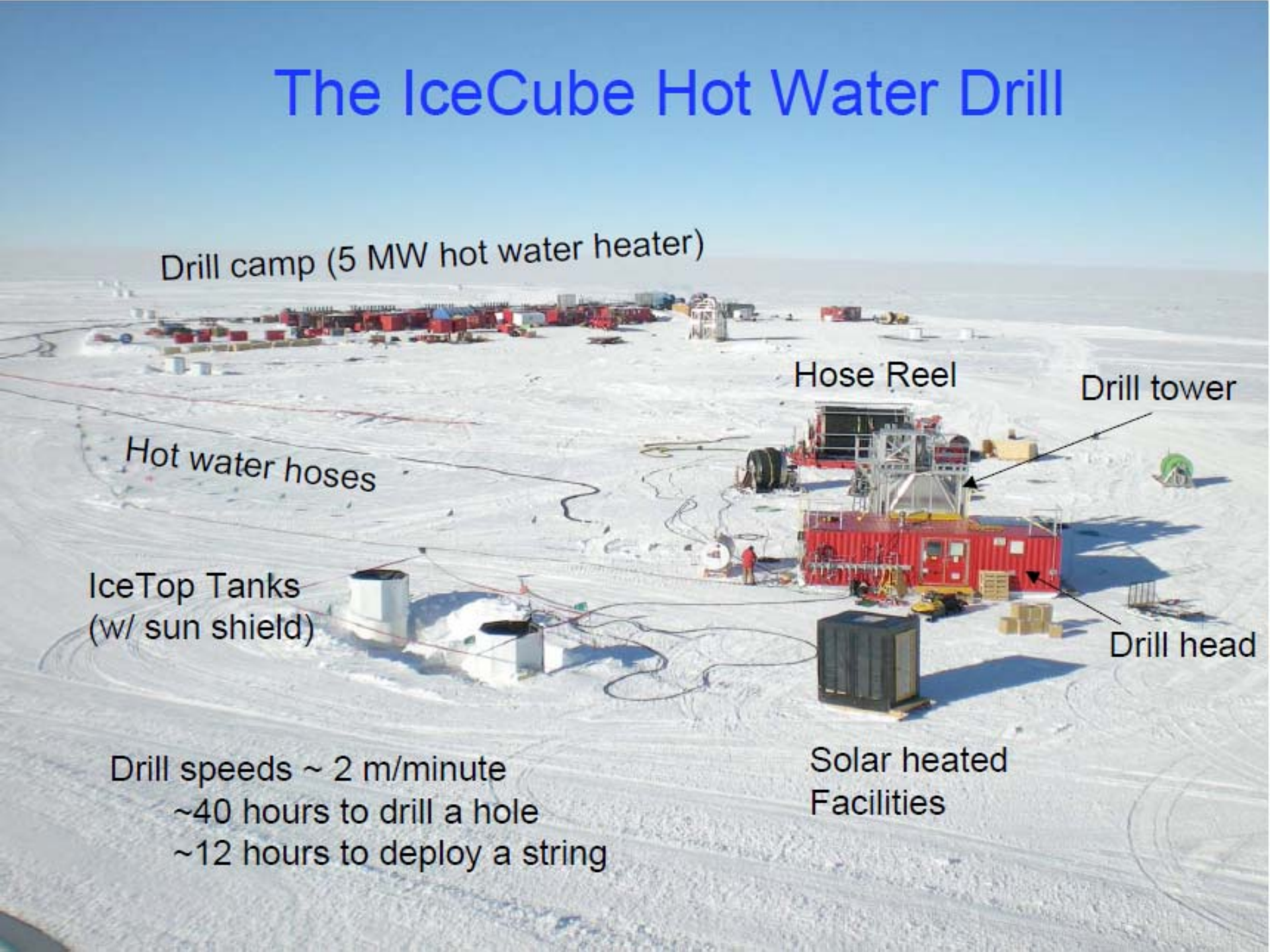
Hot water hoses

IceTop Tanks
(w/ sun shield)

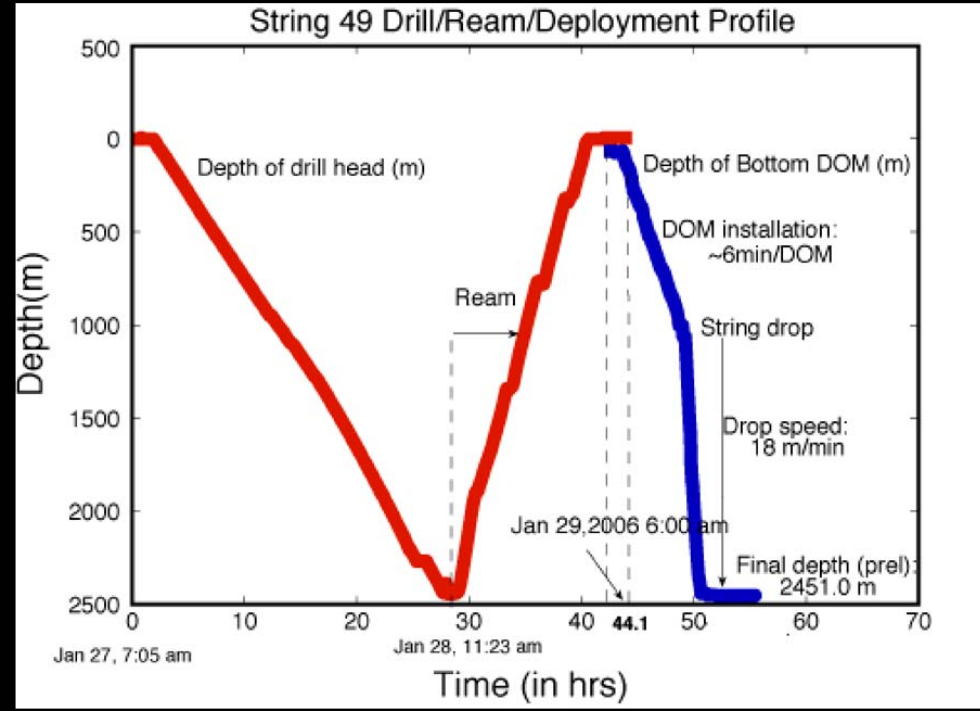
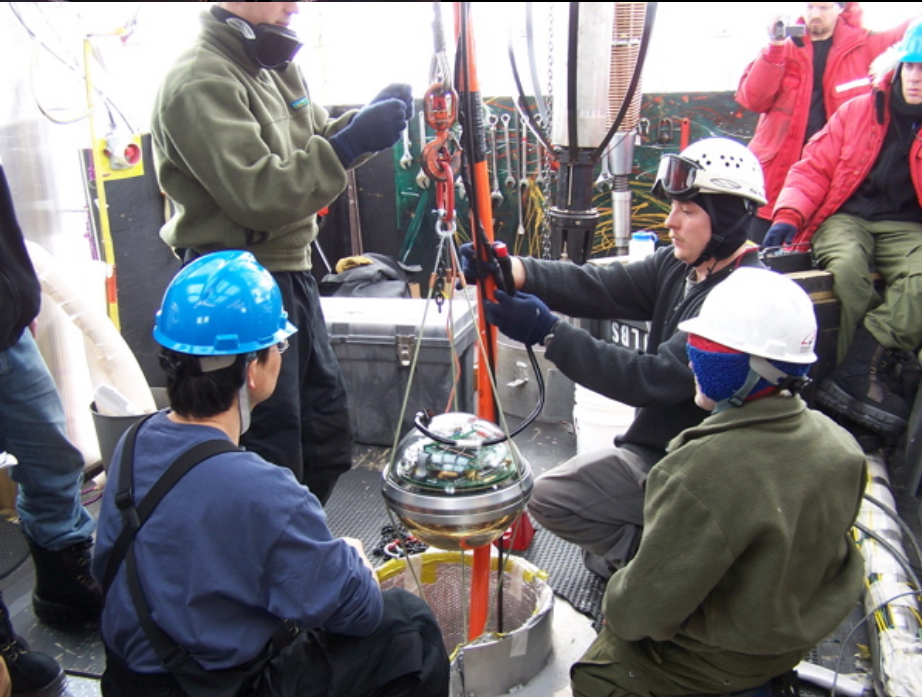
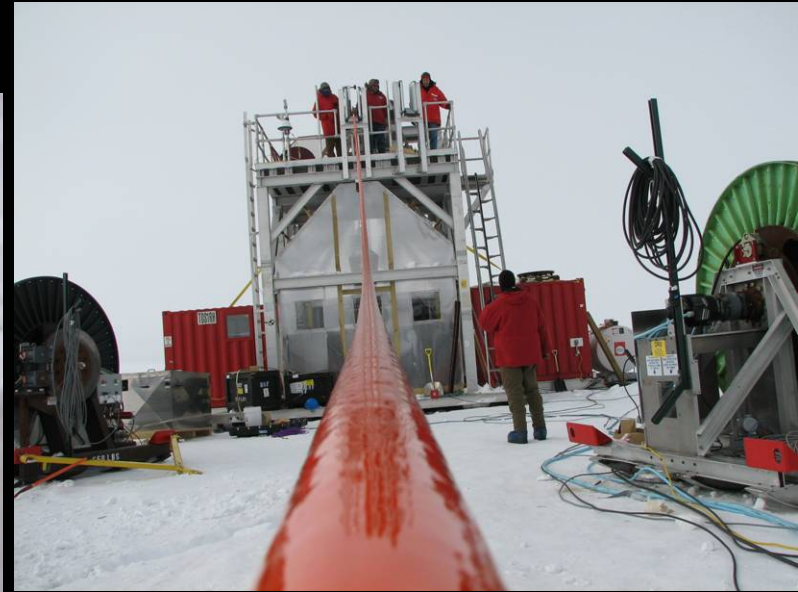
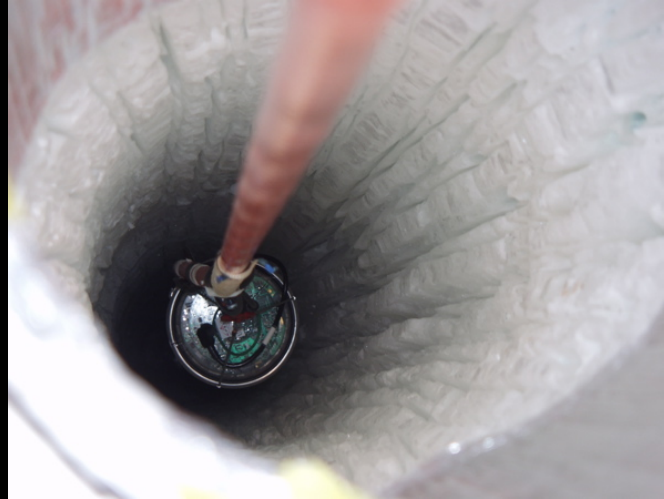
Drill head

Drill speeds ~ 2 m/minute
~40 hours to drill a hole
~12 hours to deploy a string

Solar heated
Facilities



Deployment





Installation der Strings



Lehrer am Südpol: PolarTREC

Teachers and Researchers Exploring and Collaborating

Finanziert durch National Science Foundation

<http://www.polartrec.com/expeditions/icecube-in-ice-antarctic-telescope>



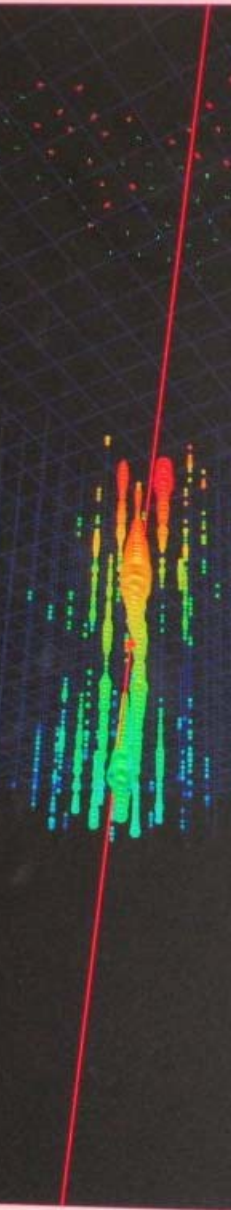
[Katey Shirey](#)



Casey O'Hara

<http://www.polartrec.com/expeditions/icecube-in-ice-antarctic-telescope-2010/journals>

Thu Dec 10 07:52:22 2009

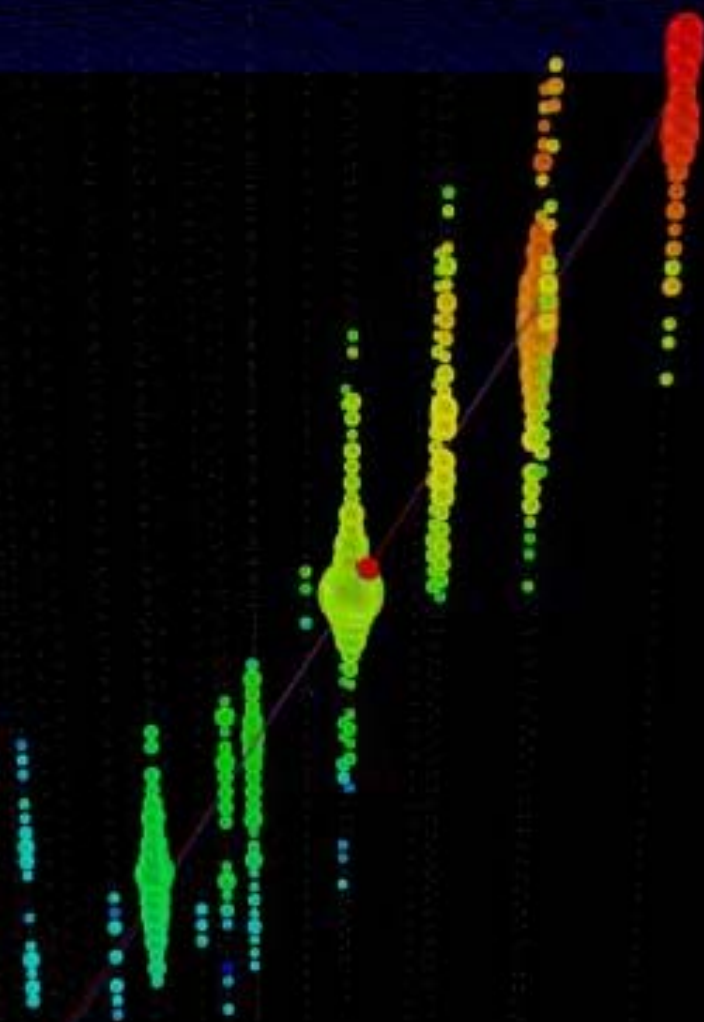


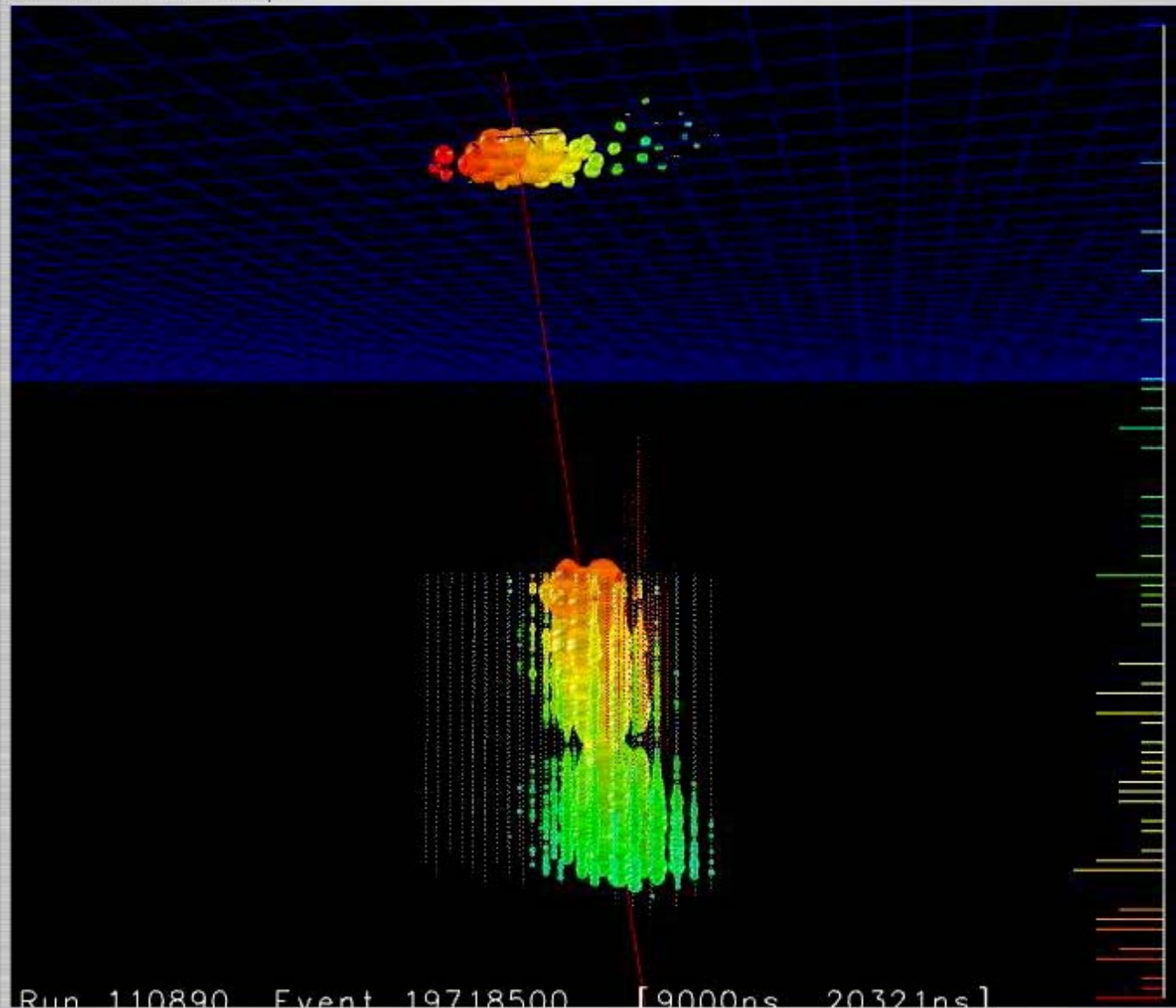
Shows a view of frame objects and their available renderers. The renderers are listed by the name of the instance (not the name of the renderer's type), though by default these are the same.

ic-ctrlws-05

HP LP3065

Run 110261 Event 32883
Tue Jan 29 09:39:35 2008

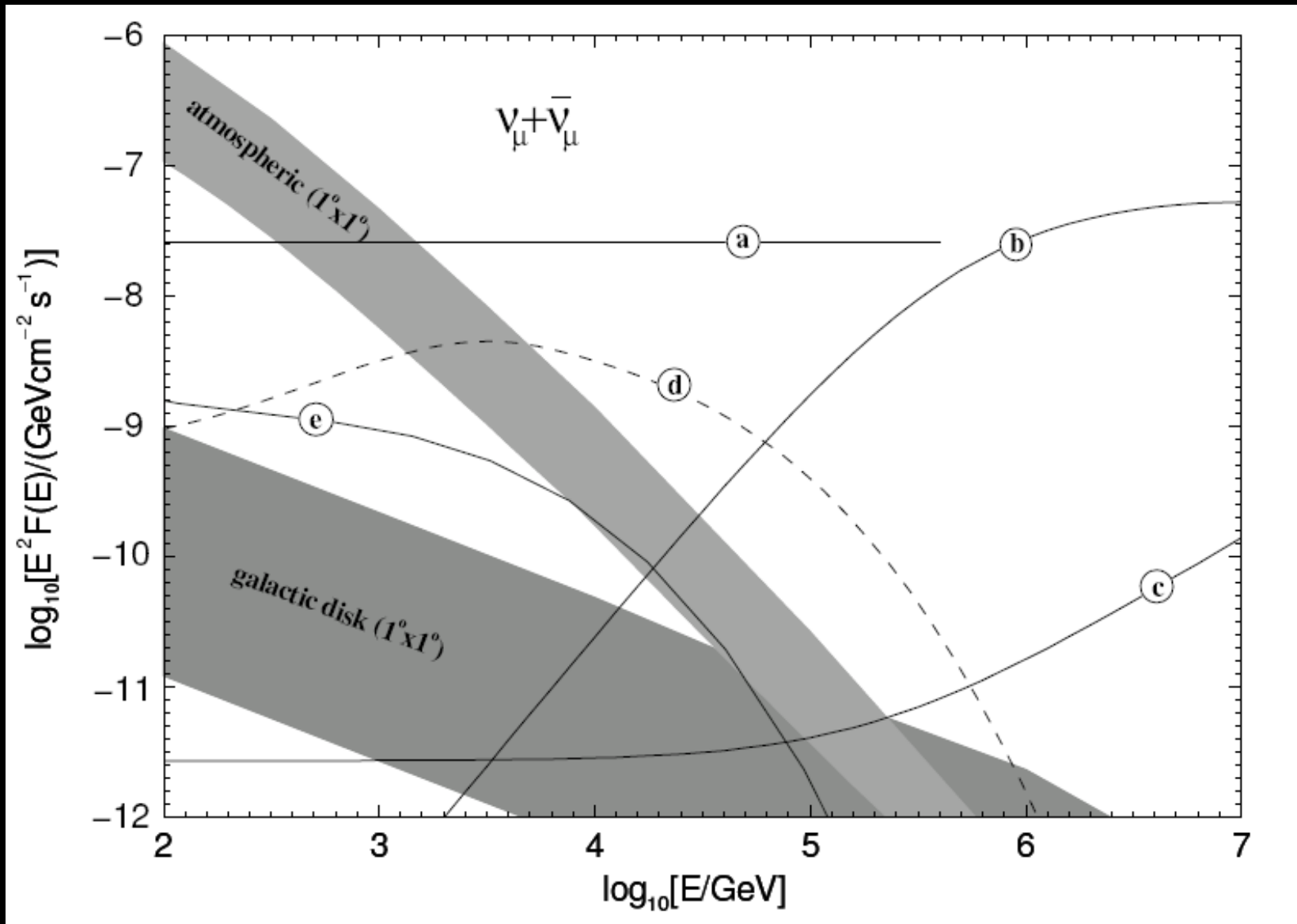




00:00:06

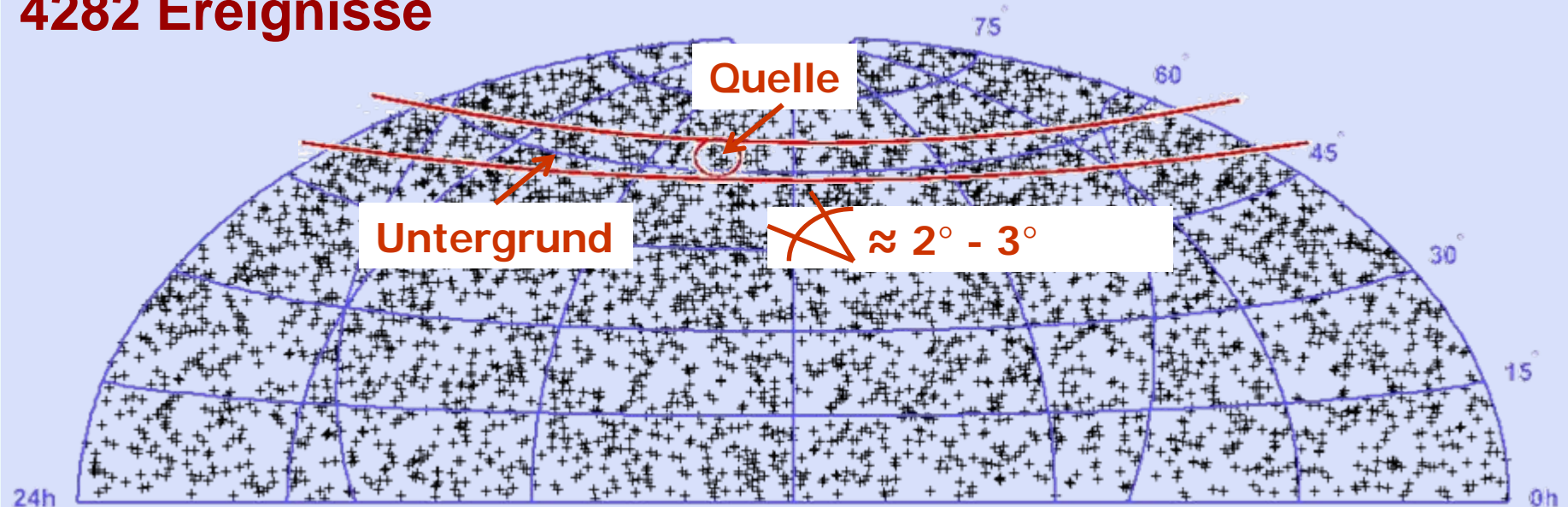


Vorhersagen für ν -Spektren



Suche nach Punktquellen: die Methode

4282 Ereignisse



- Untergrund: Atmosphärische ν
- Suche nach Überschuss an Ereignissen in einem **2° - 3° Fenster**
 - irgendwo am Nordhimmel
 - nach Kandidatenliste

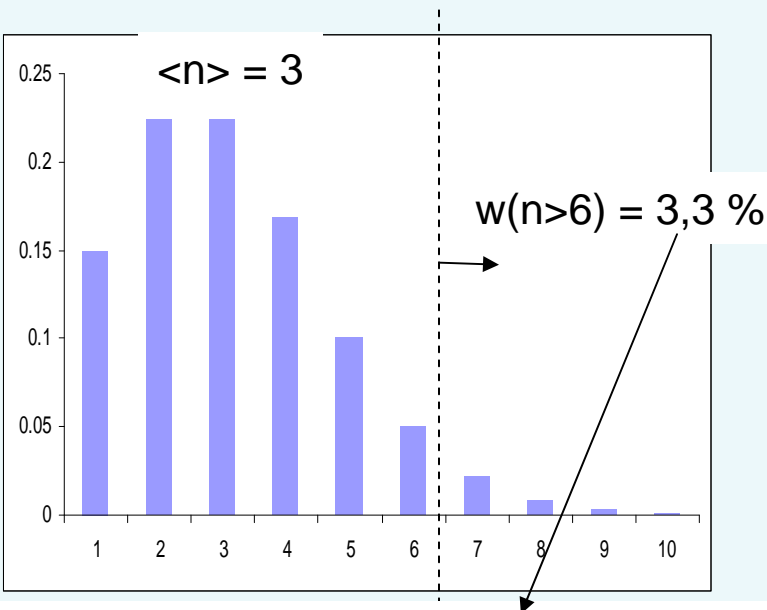
Das Statistikproblem:

Wenn man nur lange genug versucht, bekommt man mal einen Überschuss



"Traue keiner Statistik,
die Du nicht selber
gefälscht hast"

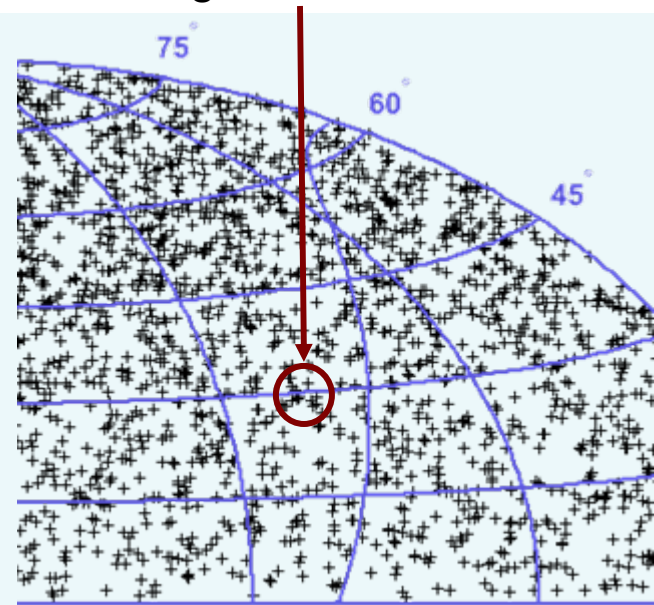
Winston Churchill



Schon bei etwa 30 Suchfenstern
ist die Wahrscheinlichkeit sehr hoch
7 oder mehr Ereignisse zu sehen.

zum Beispiel:

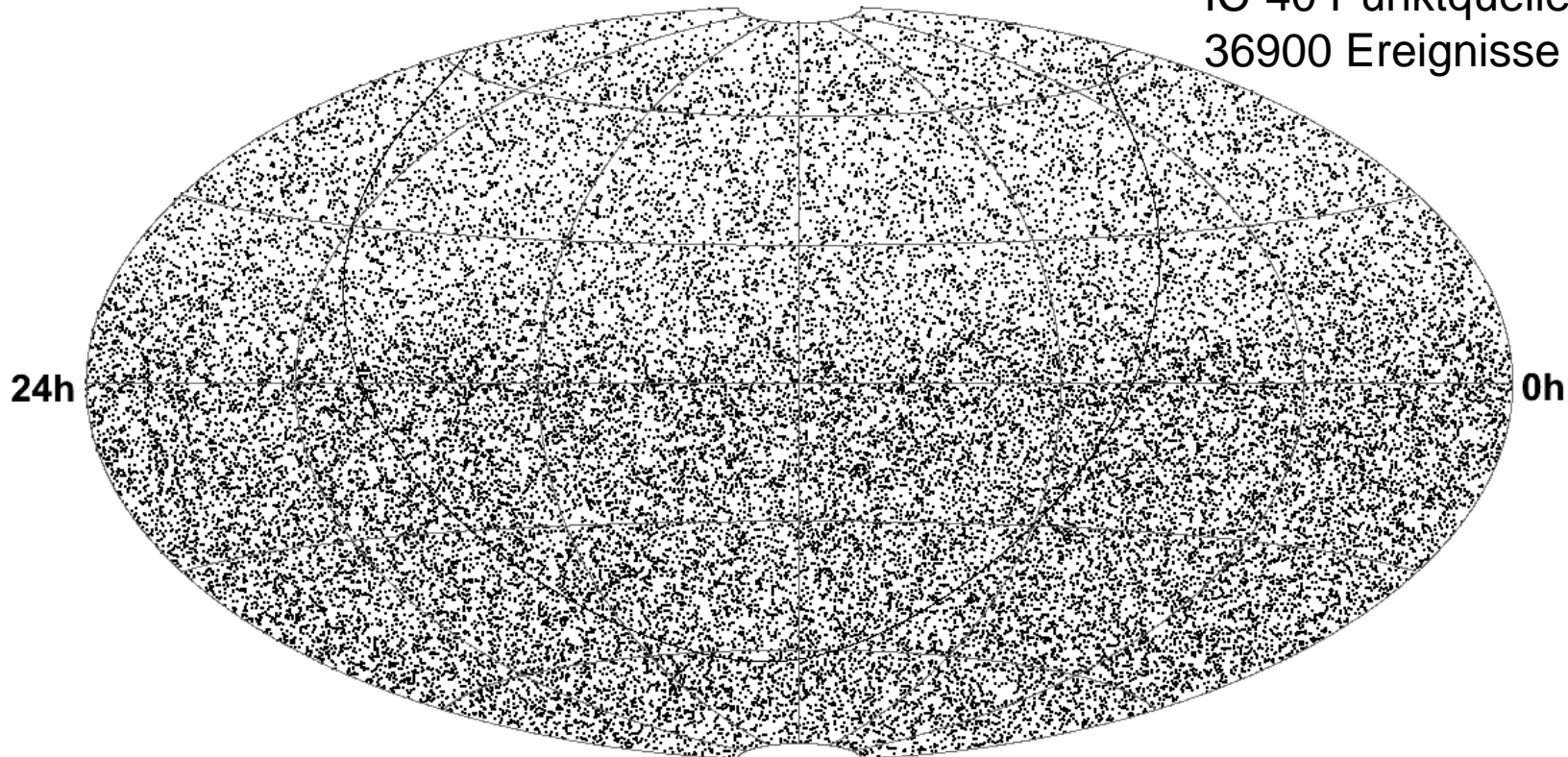
Ich erwarte 3 Ereignisse Untergrund
in einem Suchfenster, sehe aber 7.
Ist das signifikant für eine Quelle?



Signifikanz wird durch ~10000-fache
Simulation der Messungen bestimmt.

Himmelskarte für IceCube-40

IC-40 Punktquellensuche
36900 Ereignisse in 1 Jahr



Signifikanz-Konturen

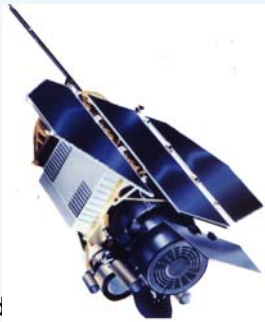
[escape](#)

Verbesserung der statistischen Signifikanz

- vor-definierte Quellpositionen
- vor-definierte Zeitfenster
- „Stapeln“ vor-definierter Quellen

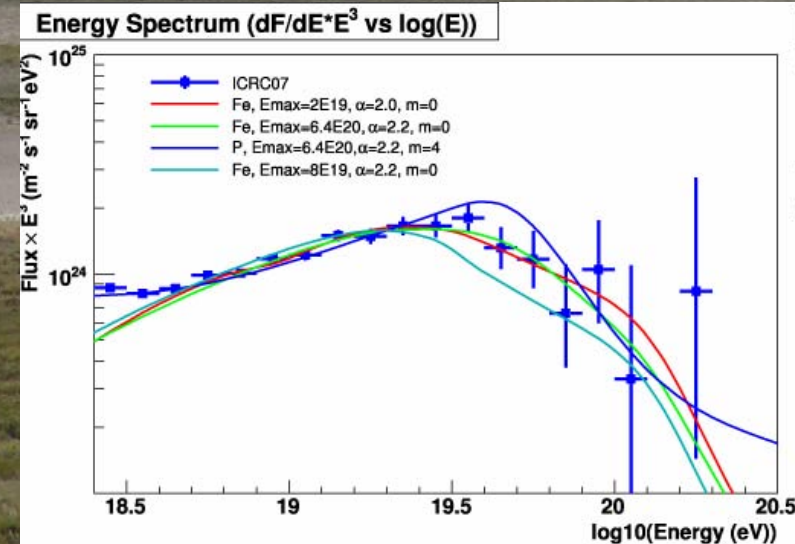
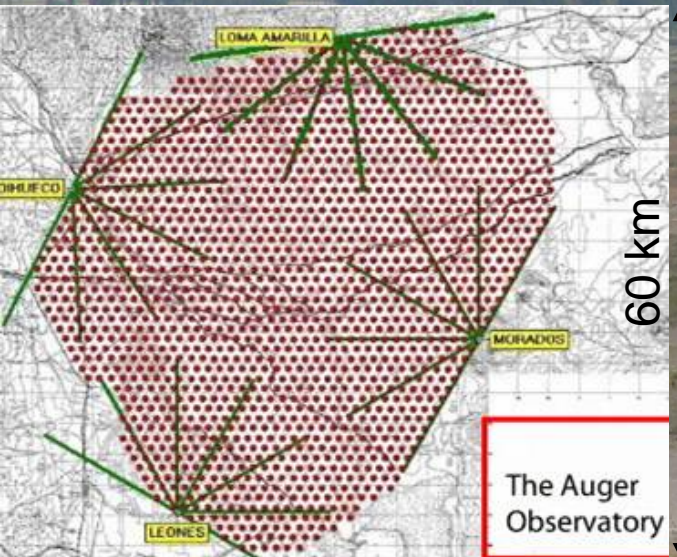


„Vor-Definition“ mit „**multi-messenger**“ Information
optischen, Gamma-, Röntgen-, Radio-Teleskopen



Pierre-Auger-Observatory

- 3000 km²
- 1600 Cherenkov tanks

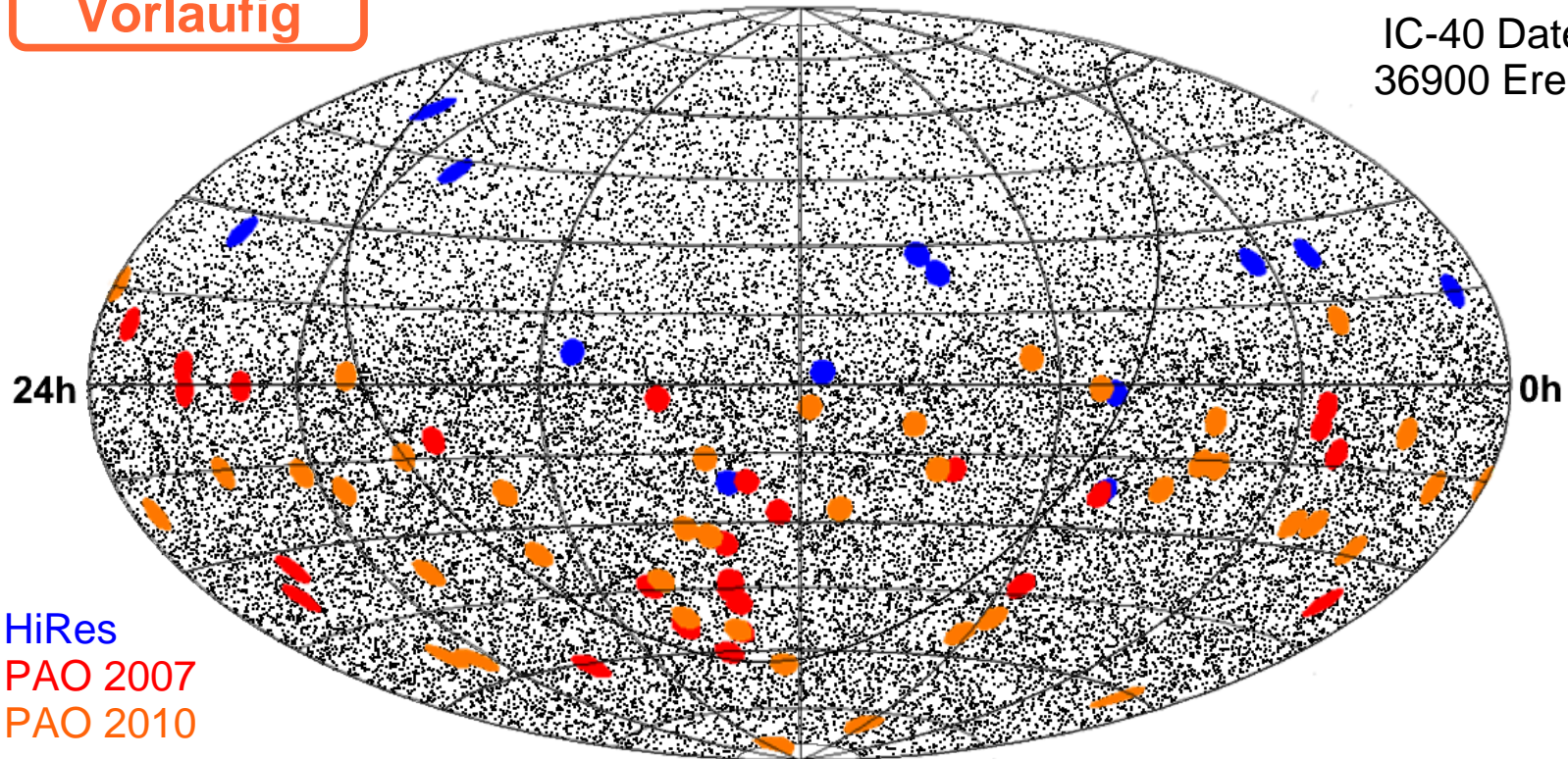


Korrelationen mit UHE-Strahlung

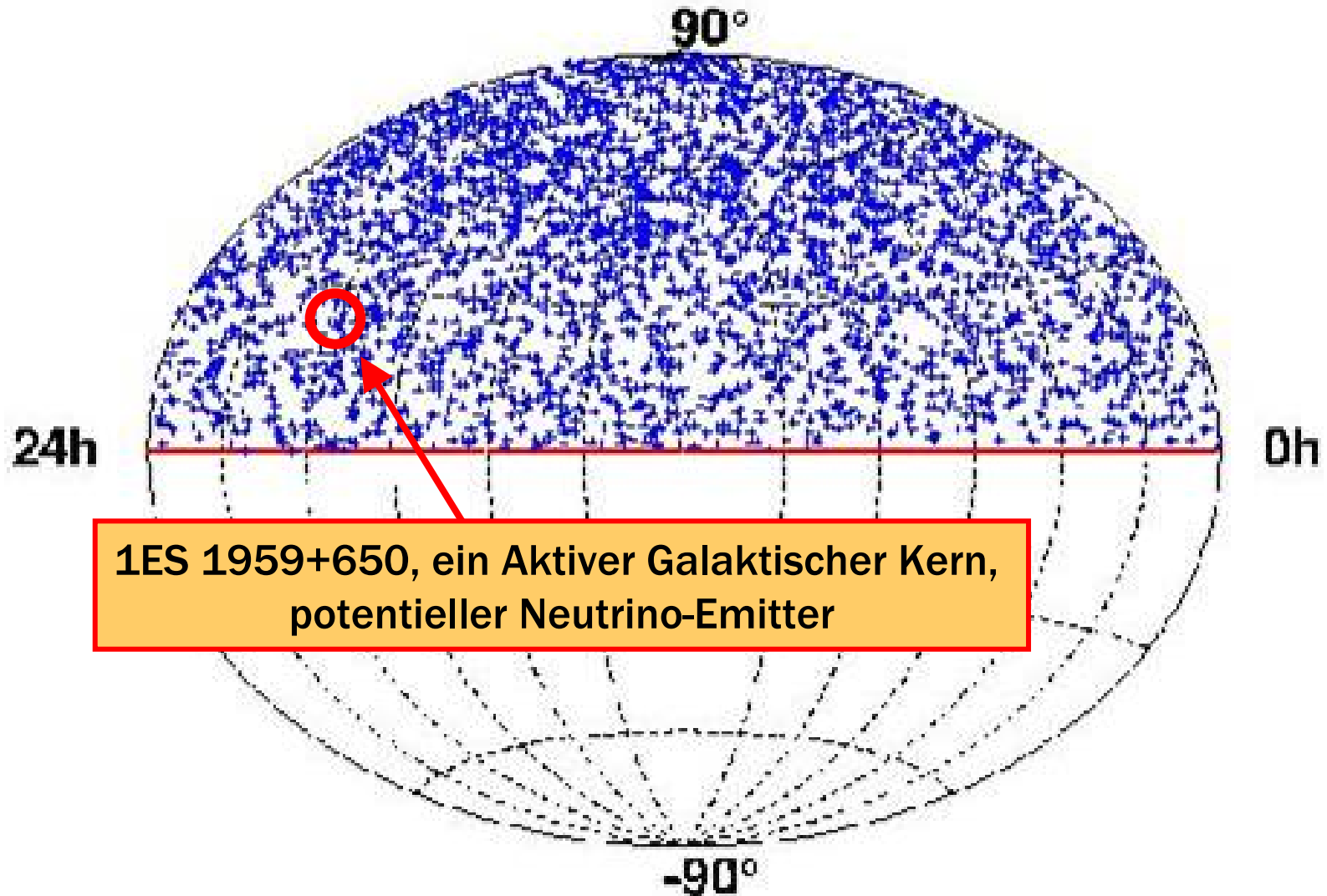
Ultra-Hochenergie: Kosm. Strahlung, die so hochenergetisch ist, dass sie wahrscheinlich nicht von intergalaktischen Magnetfeldern beeinflusst wird.

Vorläufig

IC-40 Datensatz,
36900 Ereignisse

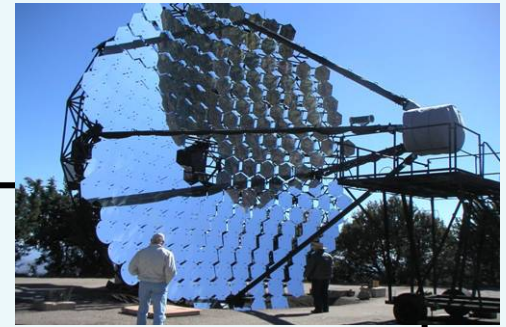
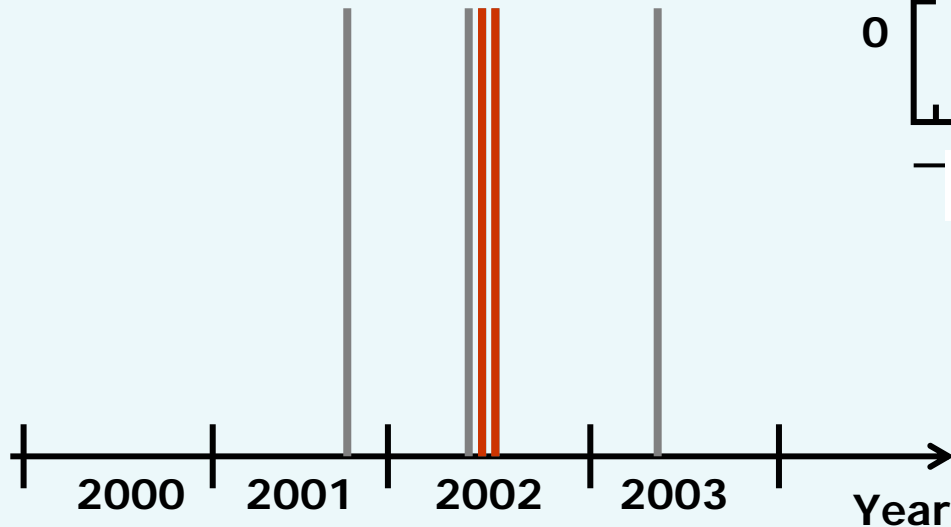


Zeit-Korrelationen mit anderen Beobachtungen?

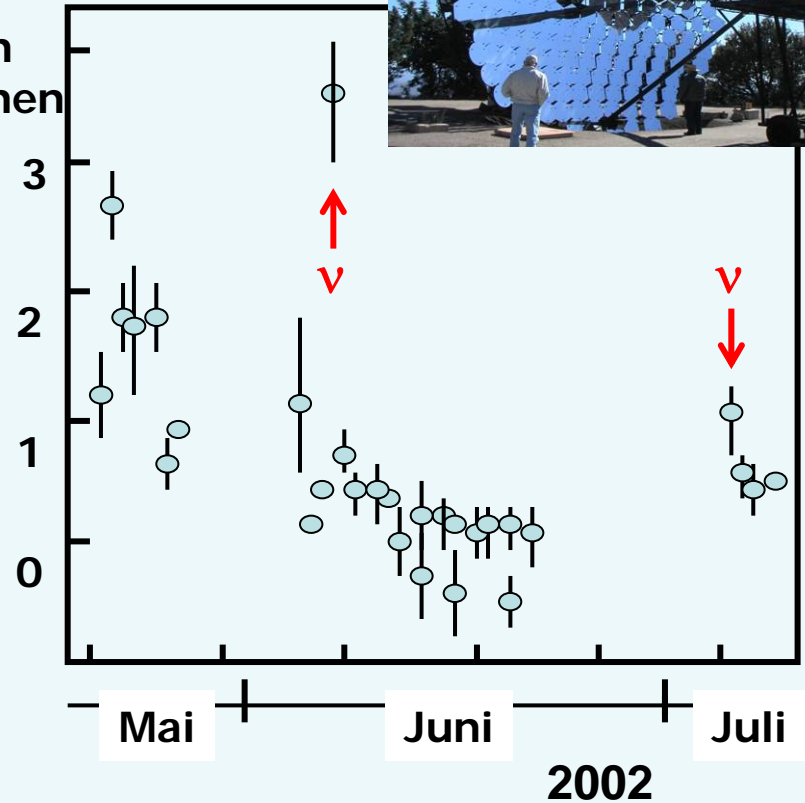


Haben wir bereits das erste Signal gesehen ?

Ankunftszeiten von Neutrinos aus der Richtung von ES1959+650 beobachtet von AMANDA (Vorläufer von IceCube)



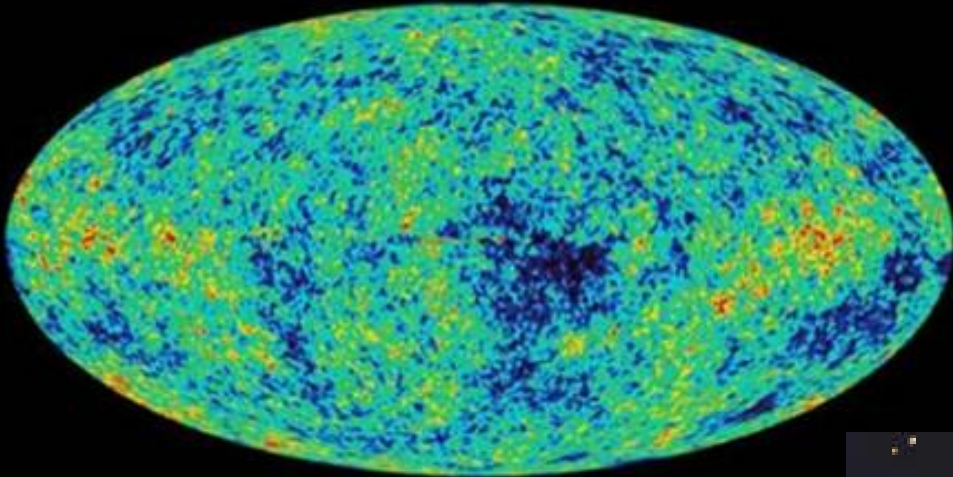
Fluss von TeV-Photonen



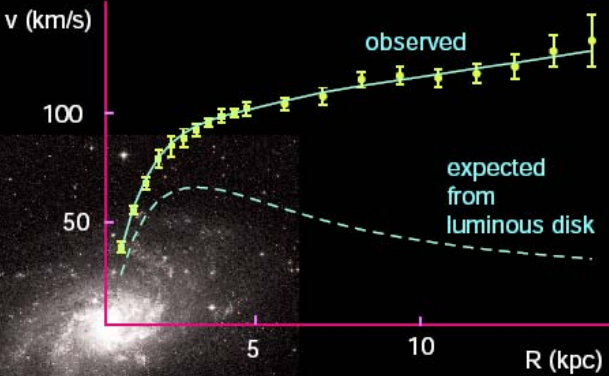
Gamma-Strahlung beobachtet durch ein TeV-Gamma-Teleskop

Was IceCube noch machen kann

Dunkle Materie: die Evidenzen



Mikrowellenhintergrund
(Nobelpreis 2006)



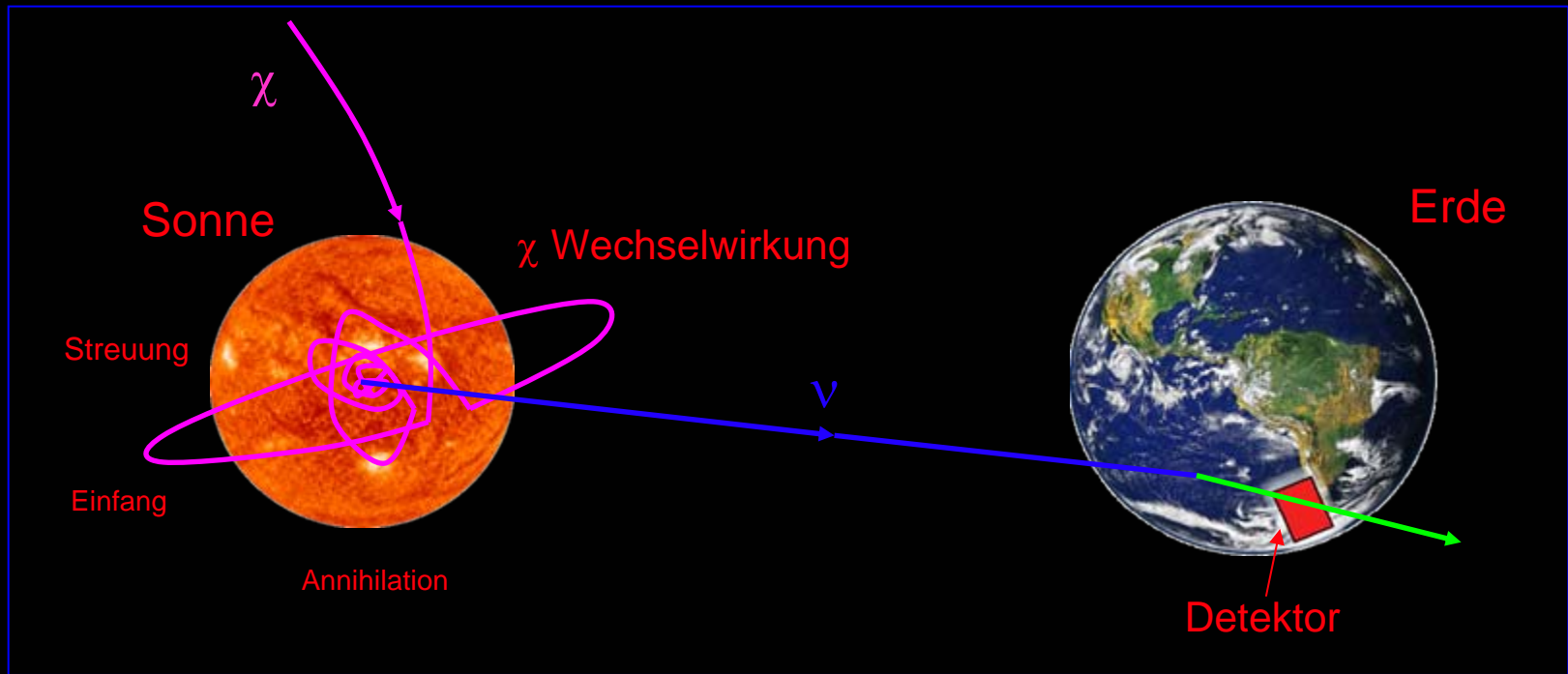
M33 rotation curve
(fig. 1)

Rotationskurven von Galaxien



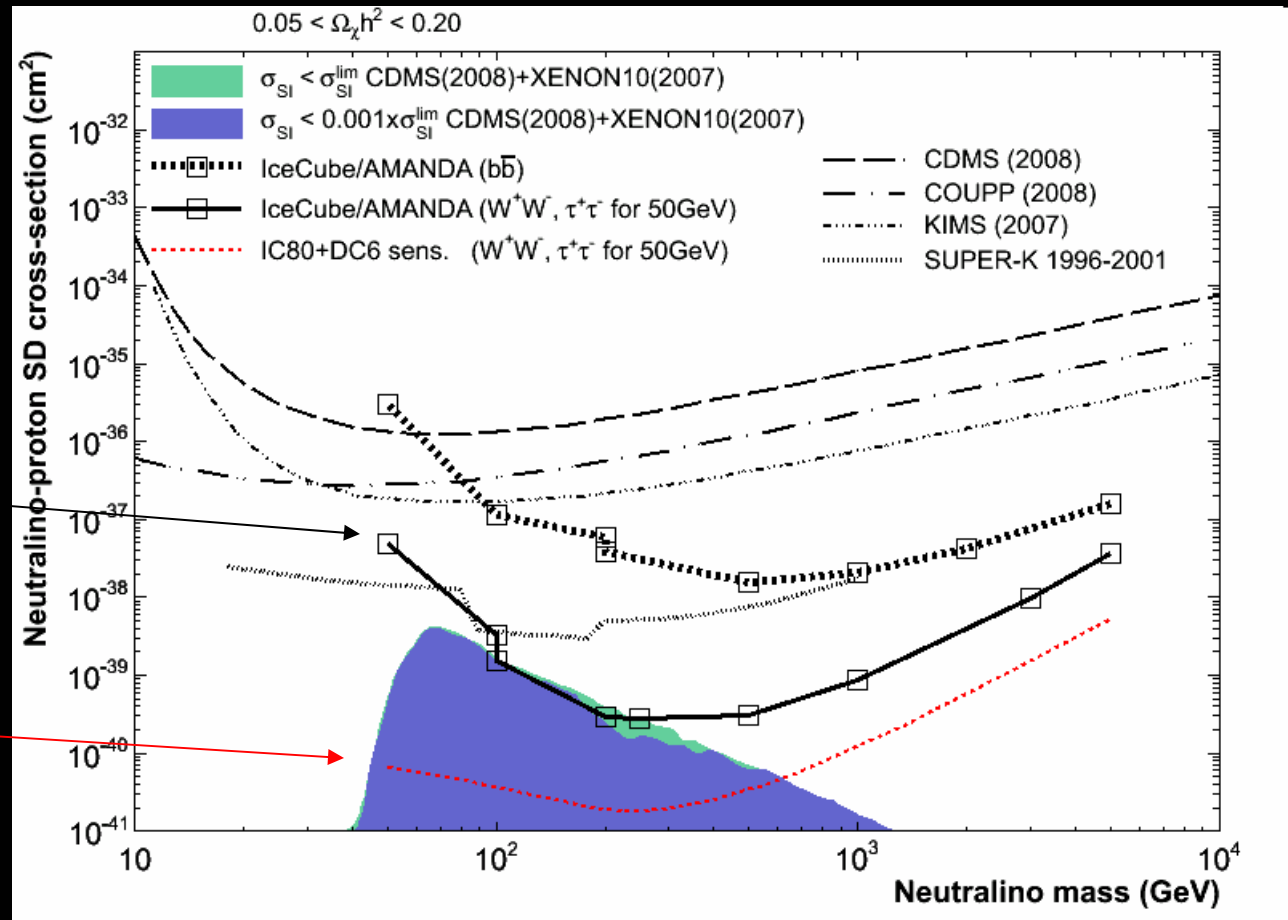
Dynamik von Galaxienhaufen

Dunkle Materie: Signal in IceCube?



$$\chi\chi \rightarrow \left(\begin{array}{c} q\bar{q} \\ l\bar{l} \\ W^{\pm}, Z^0, H \end{array} \right) \rightarrow \dots \rightarrow \nu_{\mu}$$

Indirekte Suche nach Dunkler Materie: WIMP Annihilation in der Sonne



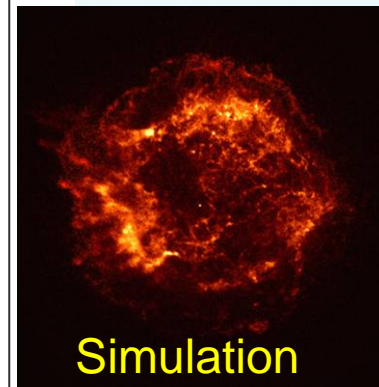
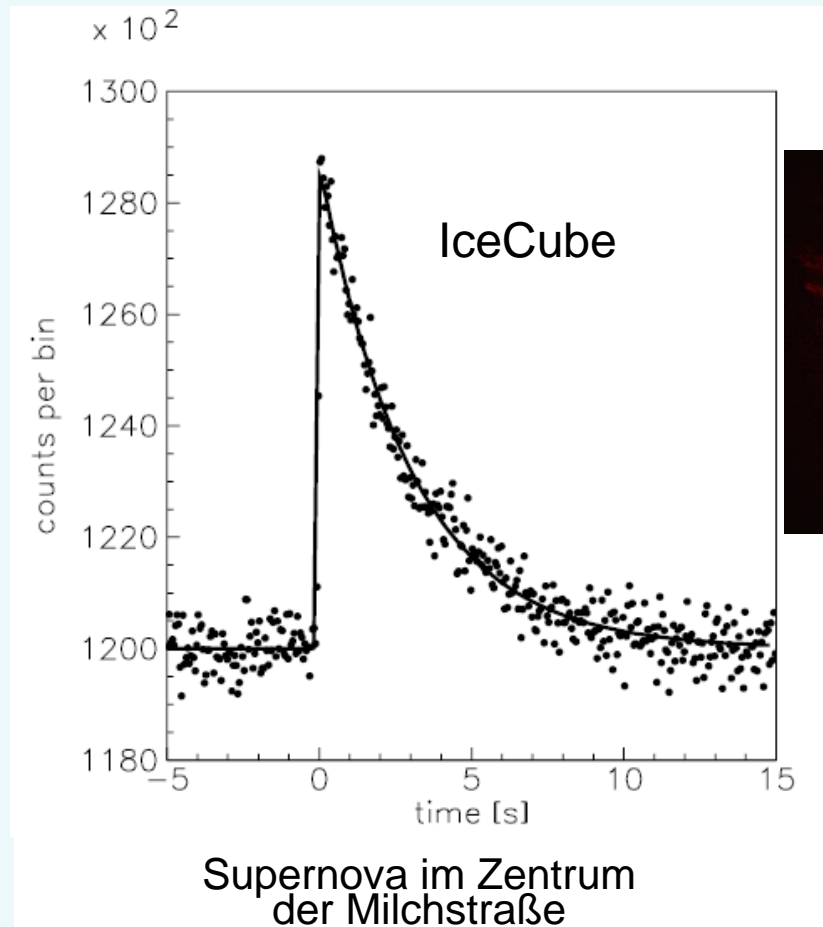
Sensitivität mit
vollem IceCube
einschliesslich
Deep Core

Niederenergie-Neutrinos in IceCube

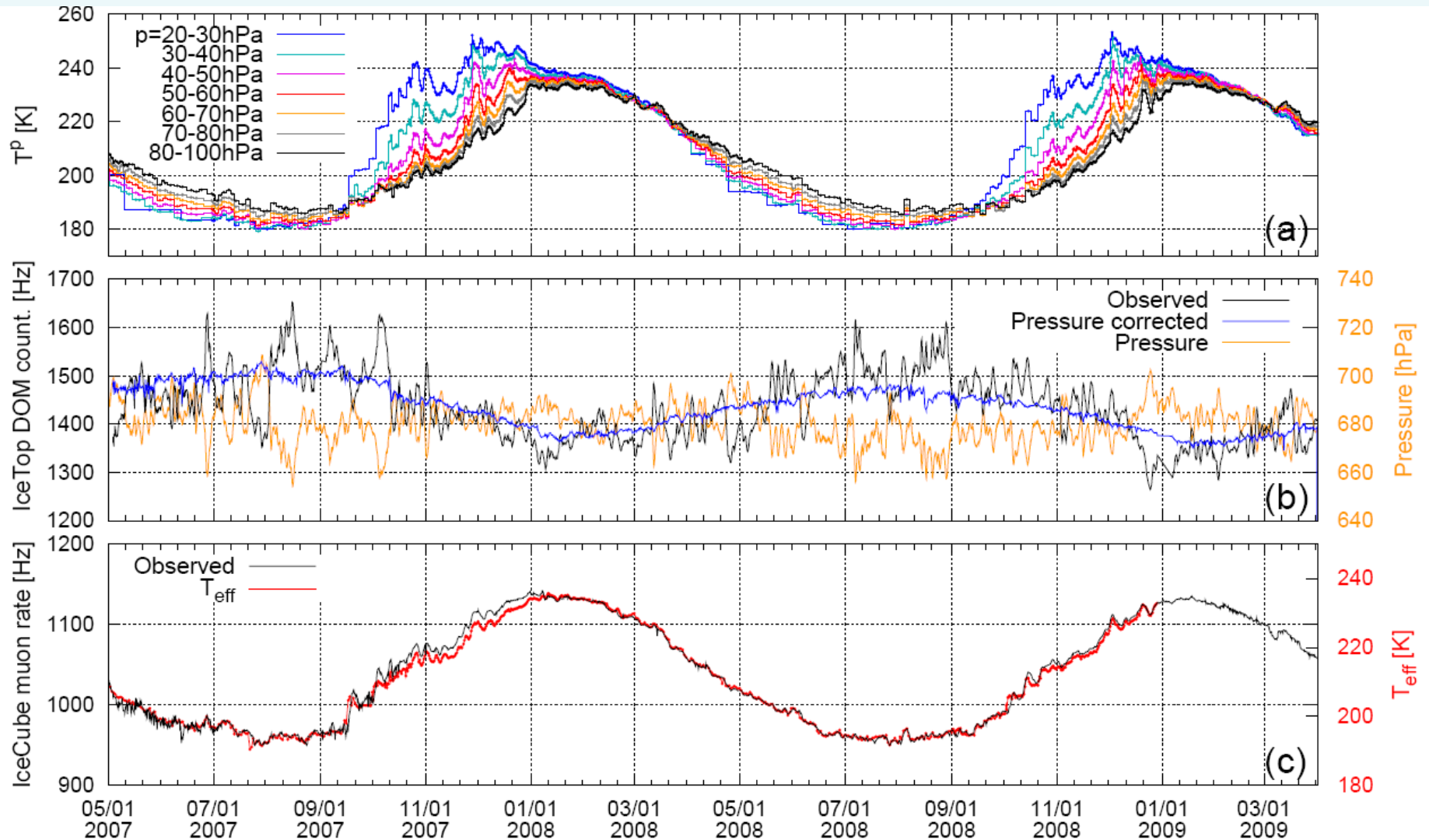
MeV-Neutrinos **Supernova in der Milchstraße**
→ in 5 -10 sec. einige Hertz

alle 50 Jahre?

SNEWS – SuperNova Early Warning System

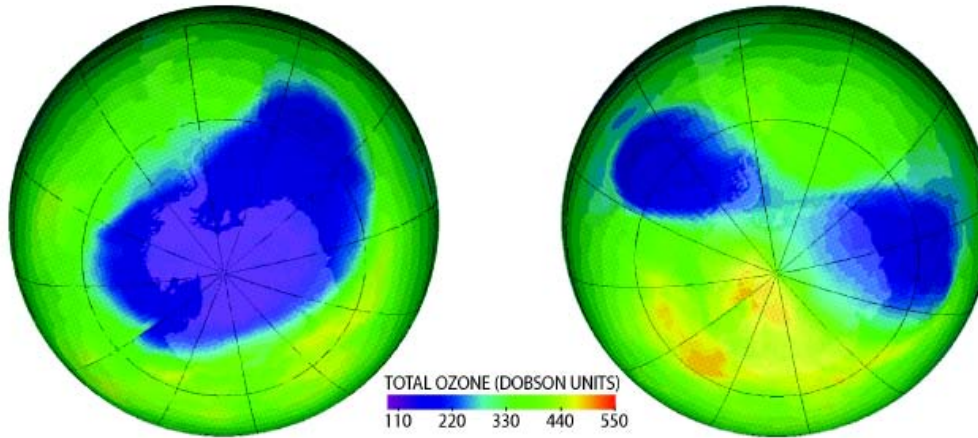


Atmospheric Variations as observed by IceCube



Ozon Layer Temperature

Ozone concentration over the southern hemisphere

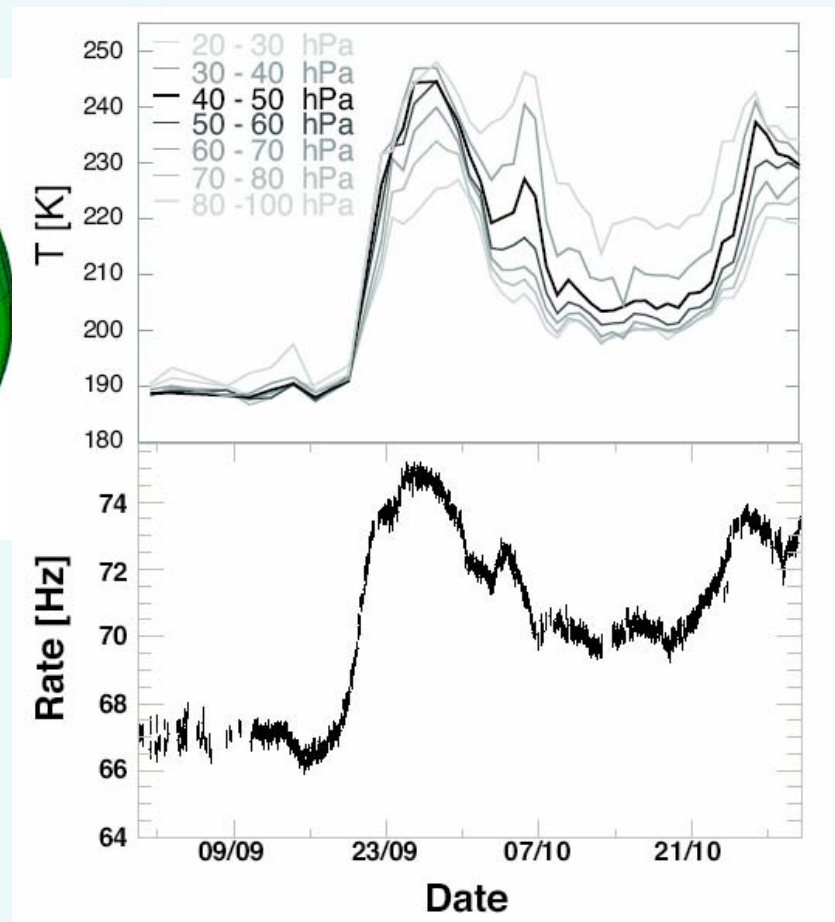


Sept. 20th 2002

Sept. 25th 2002

The Antarctic ozone layer is at pressure levels of 20-120 hPa where also the first cosmic ray interactions occur.

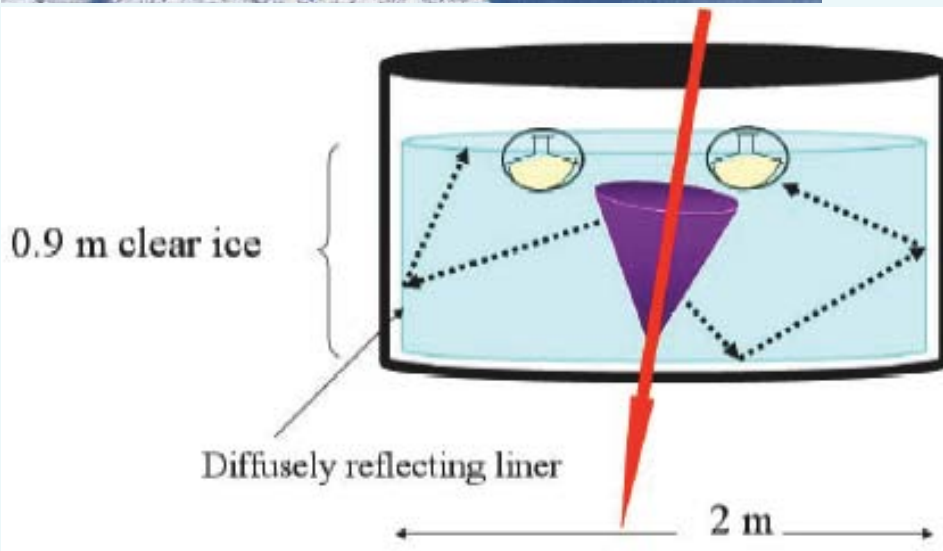
IceCube closely probes the temporal behavior of the stratospheric temperatures and the ozone hole dynamics, and

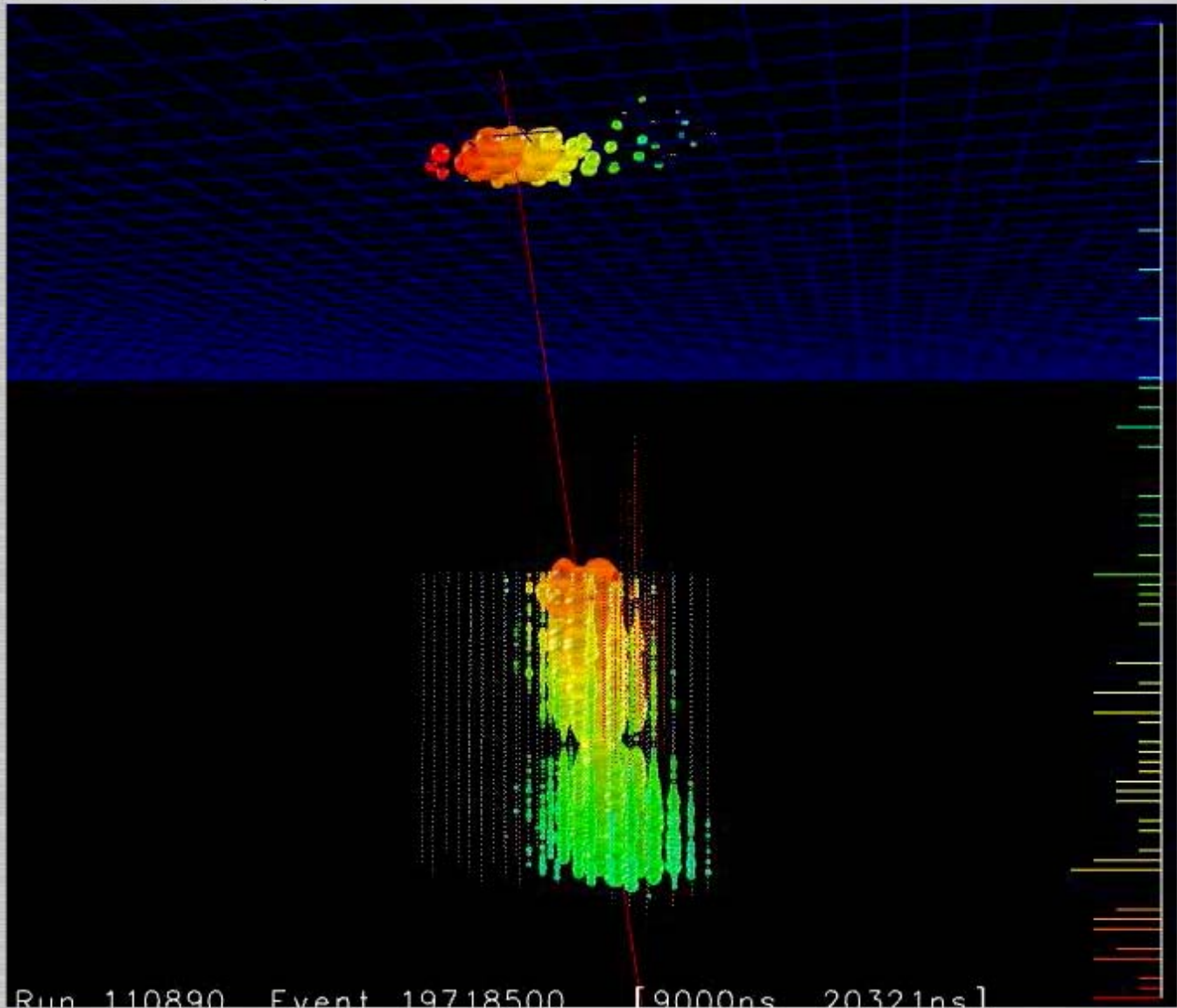


Cherenkov-Tanks von IceTop



- 1 km²
- 80 Stationen
- $E > 0.3 \text{ PeV}$

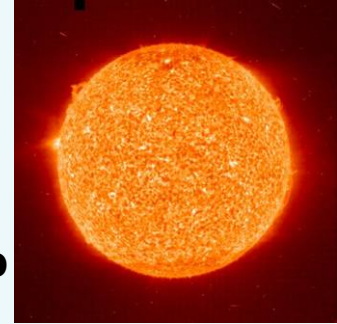




Run 110890 Event 19718500 [9000ns 20321ns]



Heliospherische Physik

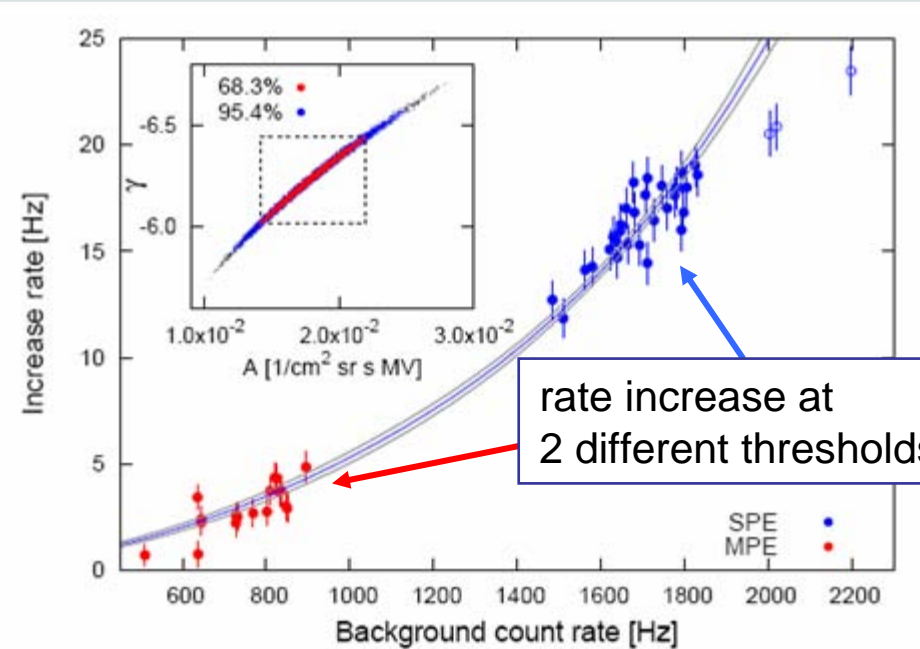
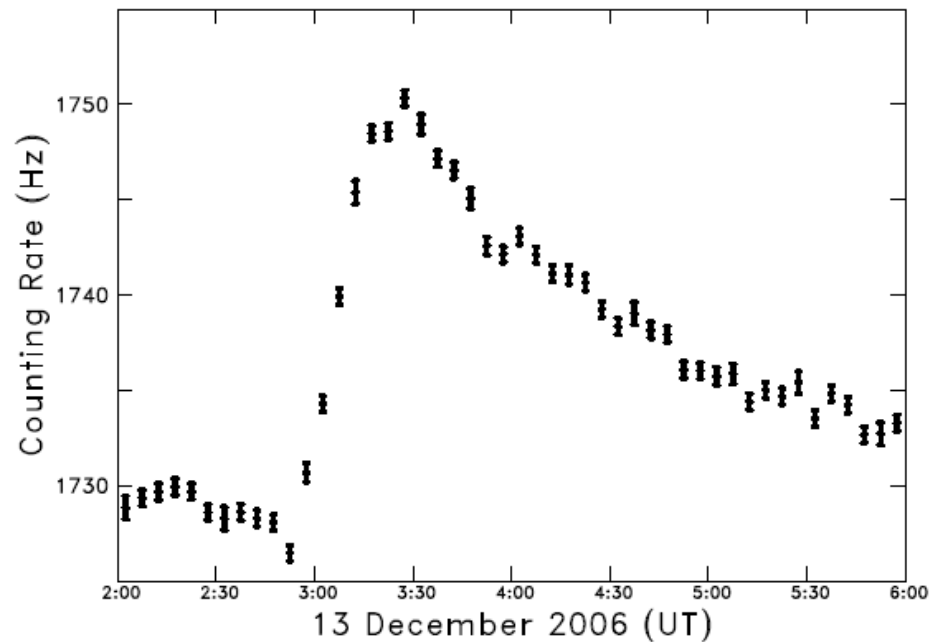


Beobachtung der 13-Dez-2006-Sonneneruption durch IceTop

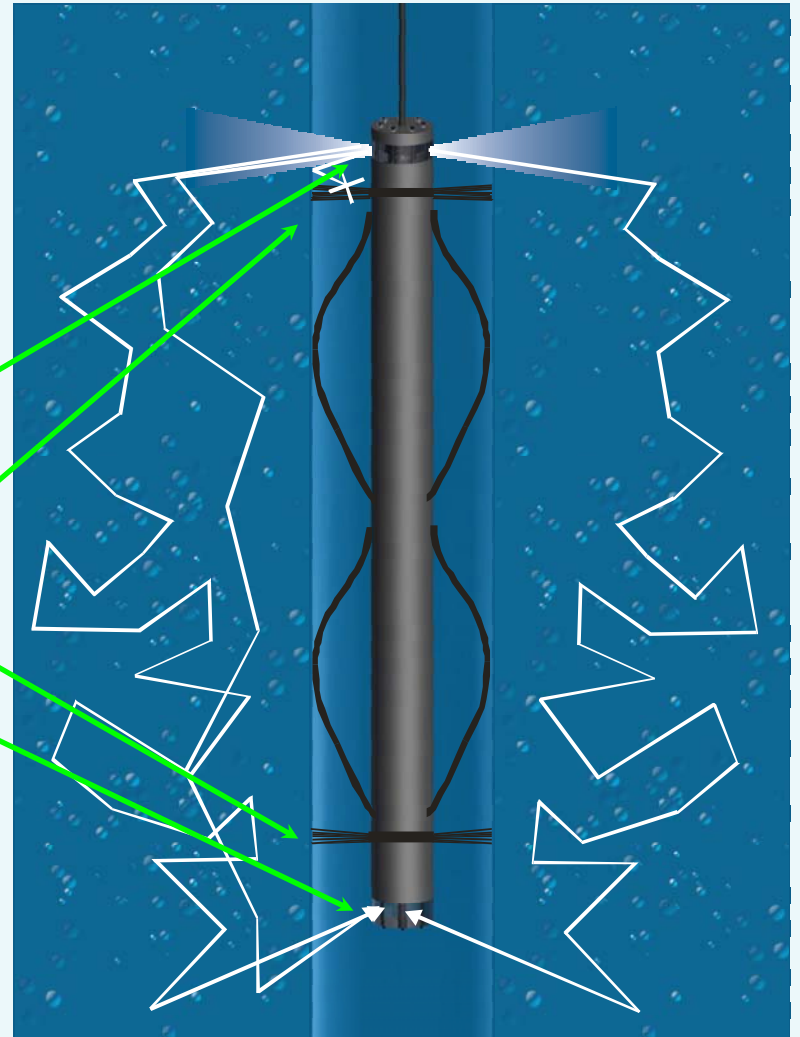
[ApJ Lett., 689: L65–L68, 2008]

On 2006 December 13 the IceTop air shower array at the South Pole detected **a major solar particle event**.

... the response of the IceTop tanks with multiple thresholds deployed at high altitude with **no geomagnetic cutoff**,



'Dust logger'

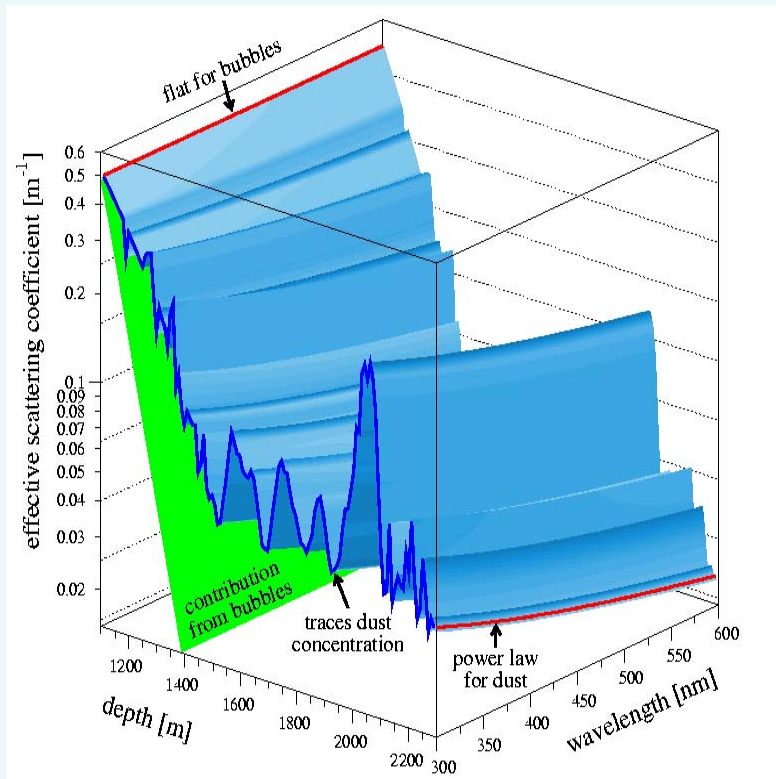


Diffusion/Absorption

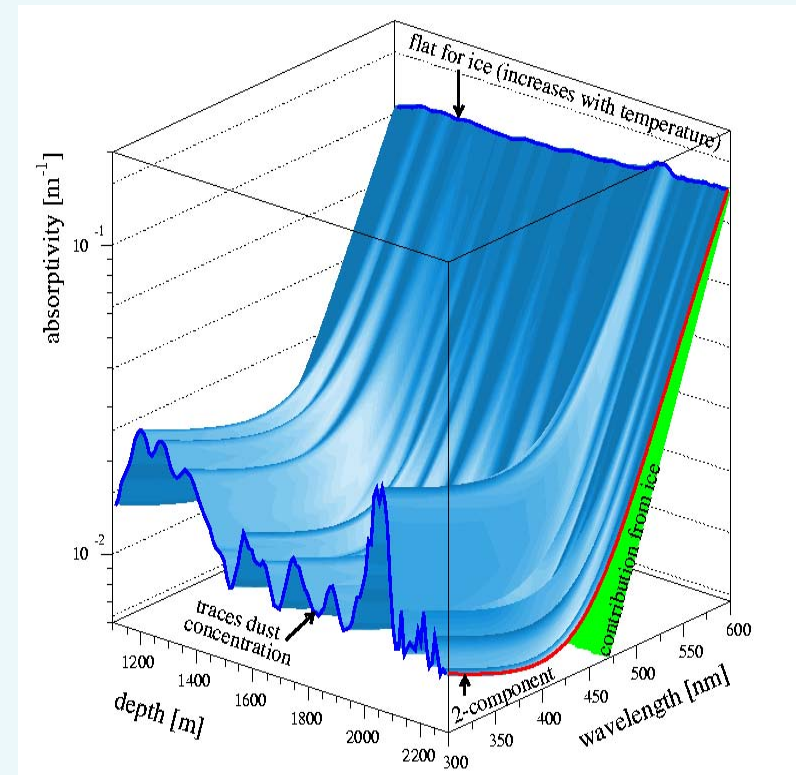
Absorptionslänge: ~ 110 m

Diffusionslänge: ~ 20 m

($\lambda = 400$ nm)



Diffusion



Absorption

A person wearing a dark winter jacket and pants stands in a vast, snow-covered field. The sun is low on the horizon, creating a bright glow and casting a long shadow of the person onto the snow. In the background, there are industrial structures, including a large white cylindrical tank and some buildings. The sky is a clear, pale blue.

Ende