

Kosmische Neutrinos

Sommersemester 2015

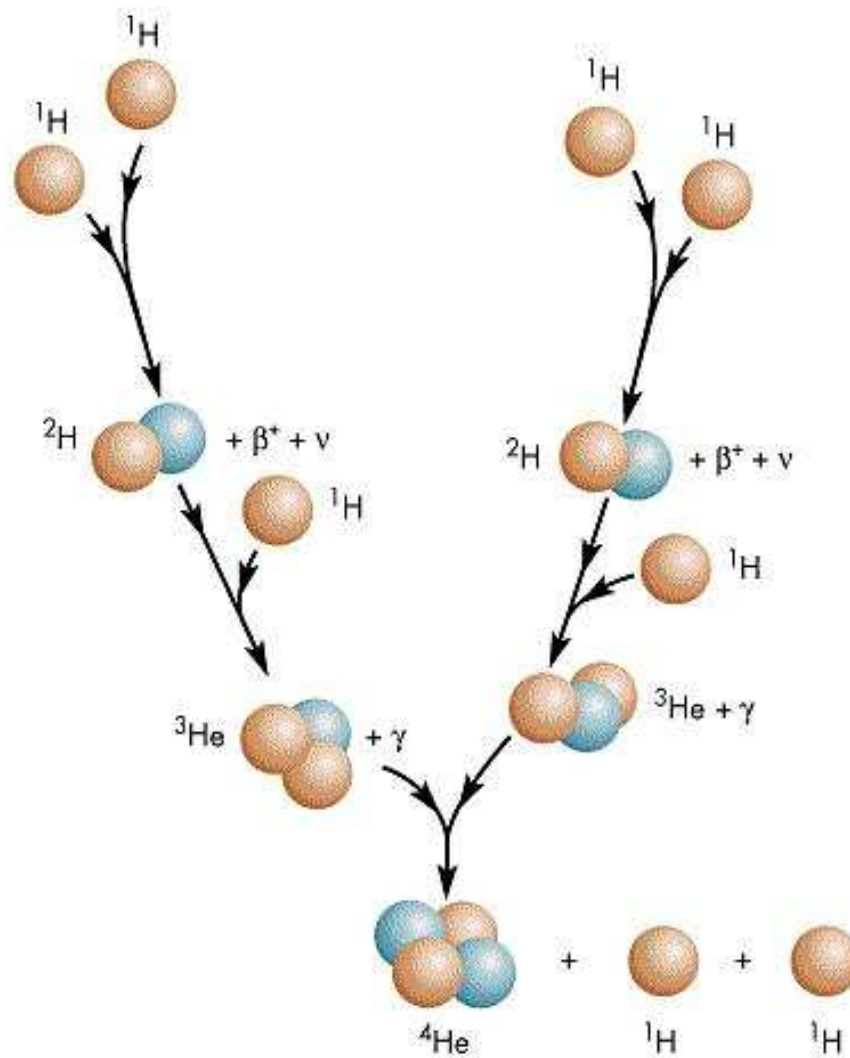


Universität Siegen
Claus Gruppen

Neutrino Astronomie

- Solare Neutrinos (MeV-Bereich)
- Atmosphärische Neutrinos (GeV-Bereich)
- Neutrino Oszillationen
- Supernova Neutrinos (MeV-Bereich)
- Galactische und Extragalaktische Neutrinos (TeV-Bereich)

Solare Neutrinos

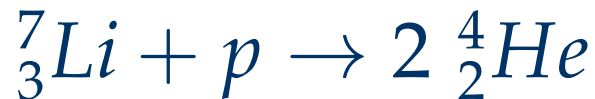


Proton - Proton Zyklus



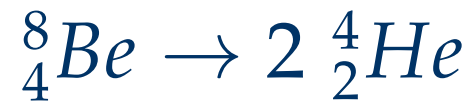
Hauptprozess: 85% Wahrscheinlichkeit

Lithium-Brennen



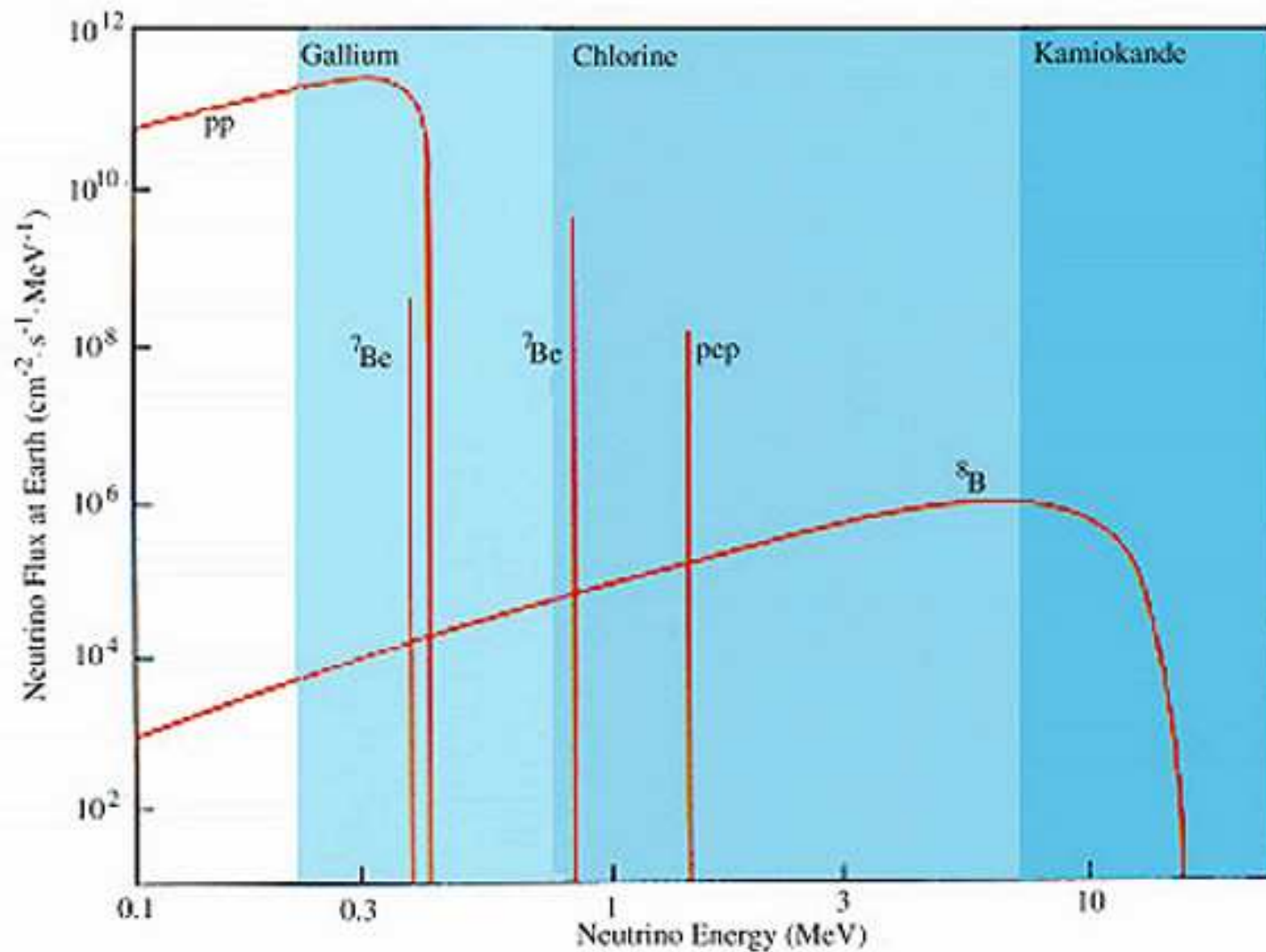
mit 15 % Wahrscheinlichkeit

Bor-Zweig



mit 0,02 % Wahrscheinlichkeit

Spektren solarer Neutrinos



Homestake Experiment



Neutrino-Nachweis

Neutrino Reaktion im Detektor:



Neutrino-Nachweis im Chlortank



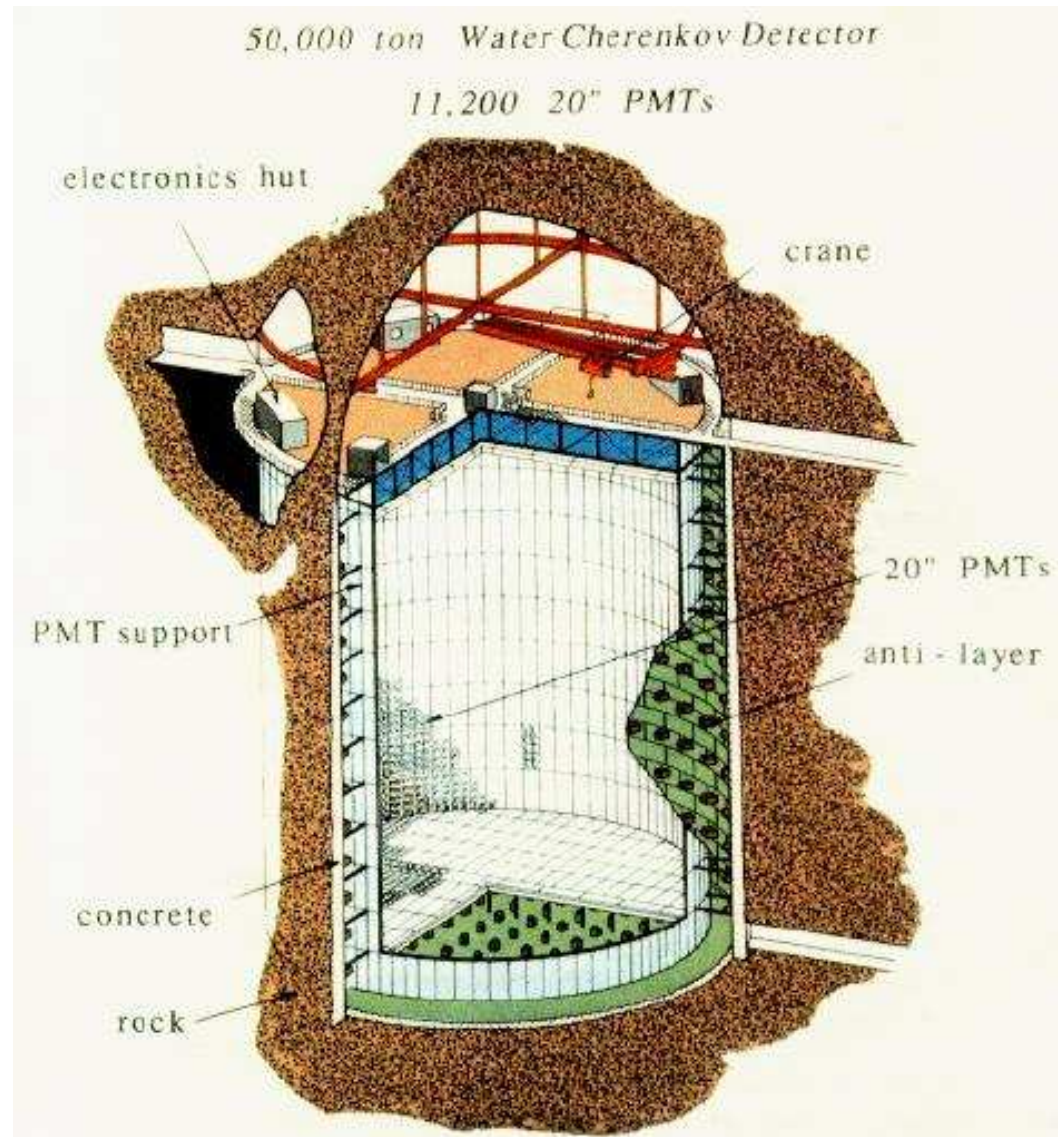
mit nachfolgender Emission von charakteristischer

Röntgenstrahlung vom ${}^{37}\text{Cl}^*$

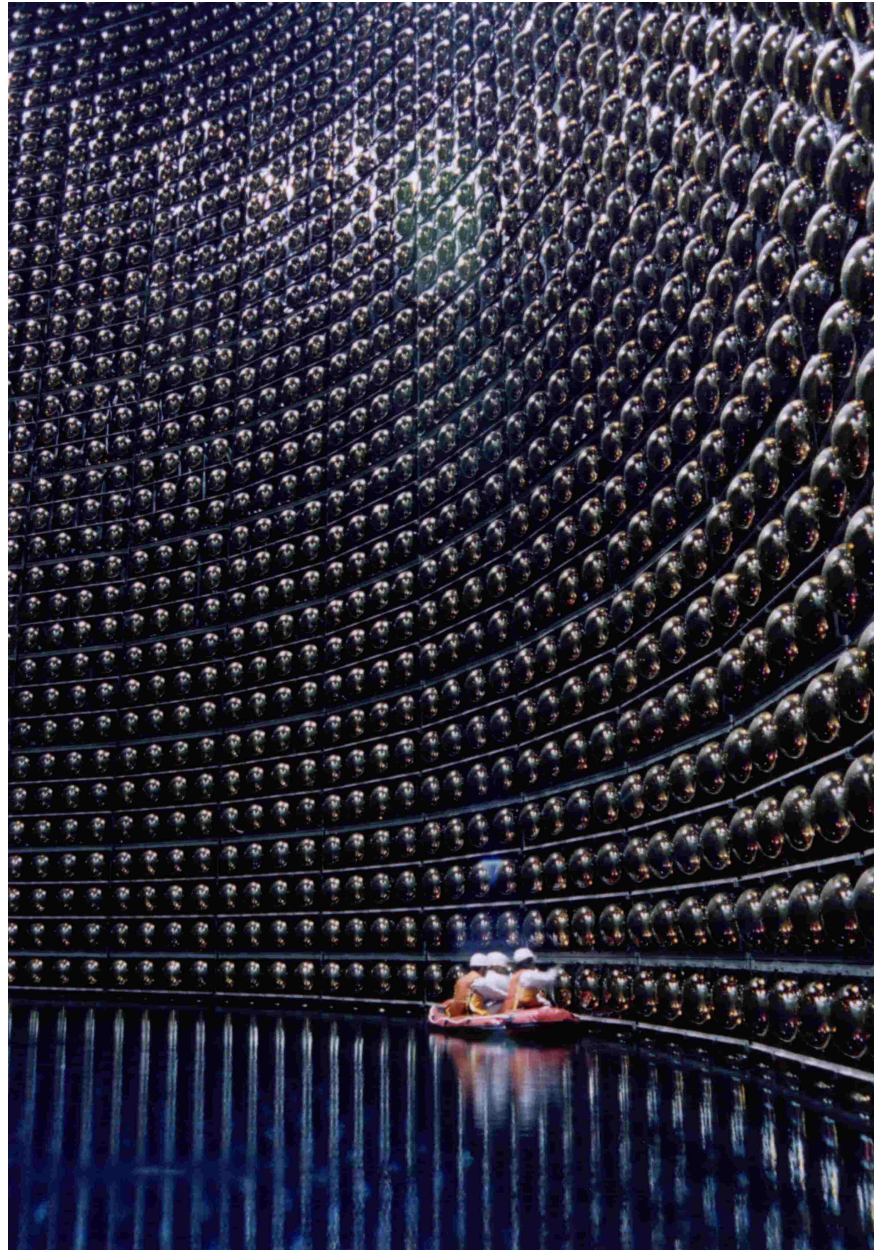
analog in den Gallium Experimenten



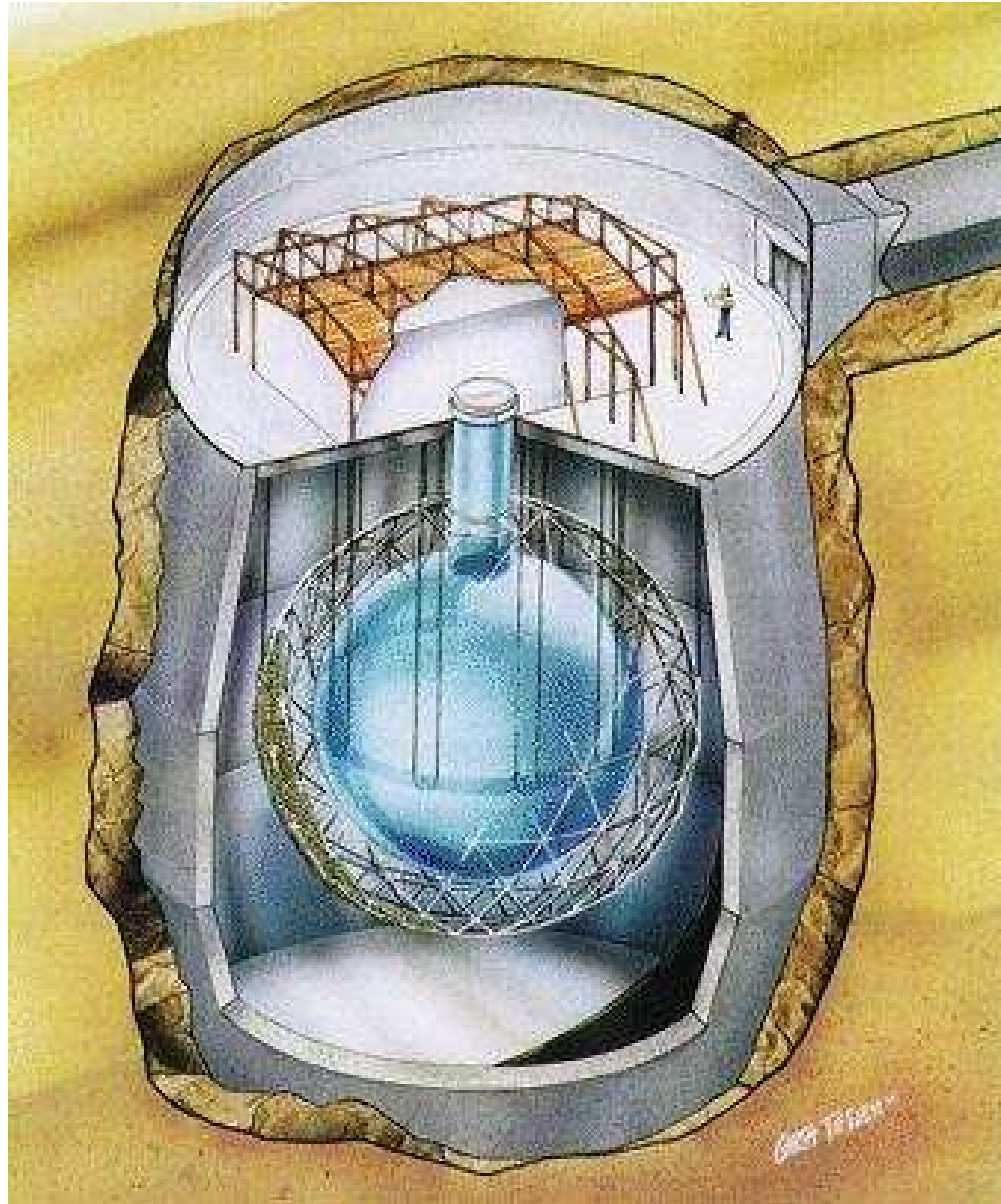
Superkamiokande



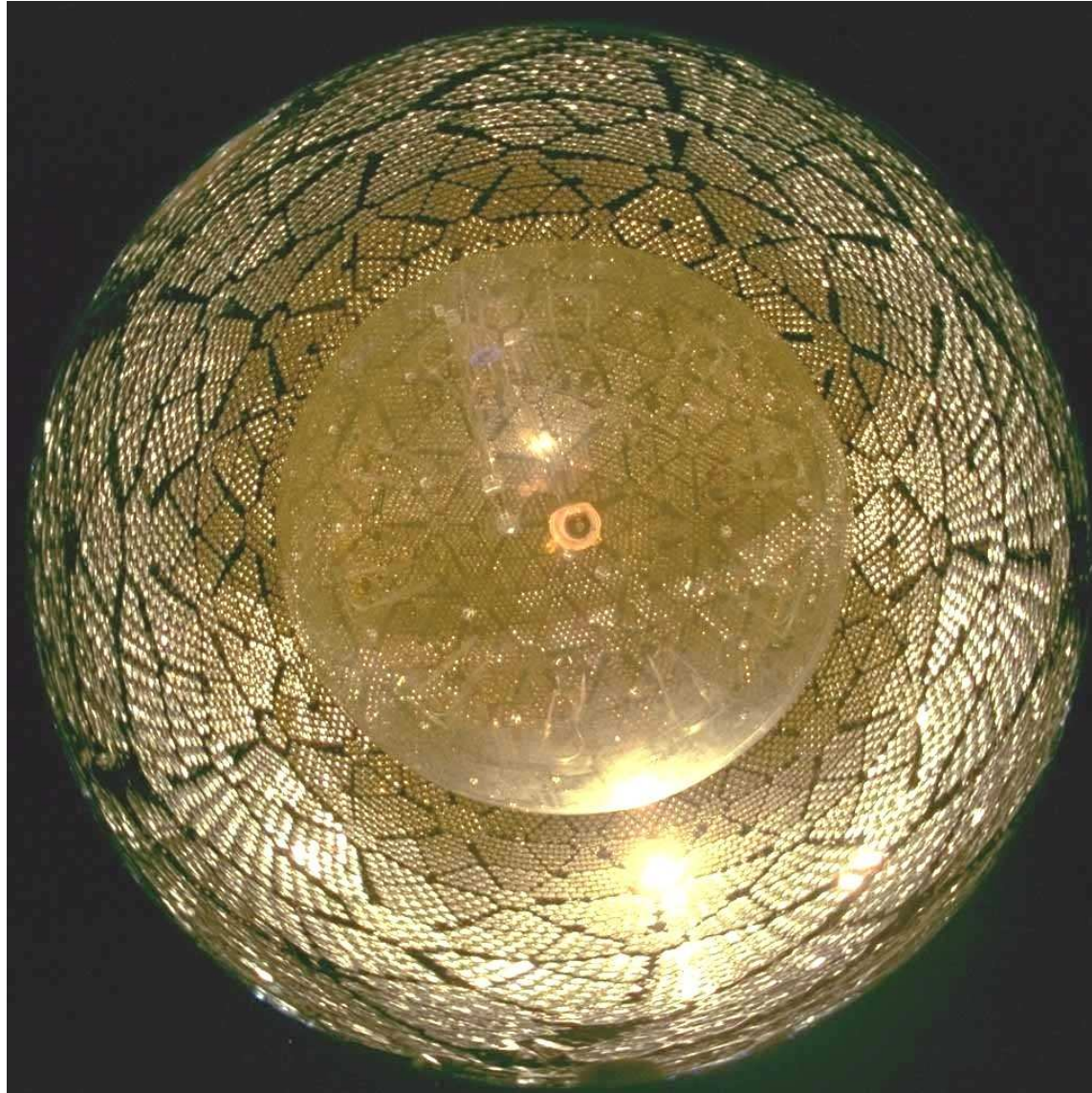
Superkamiokande



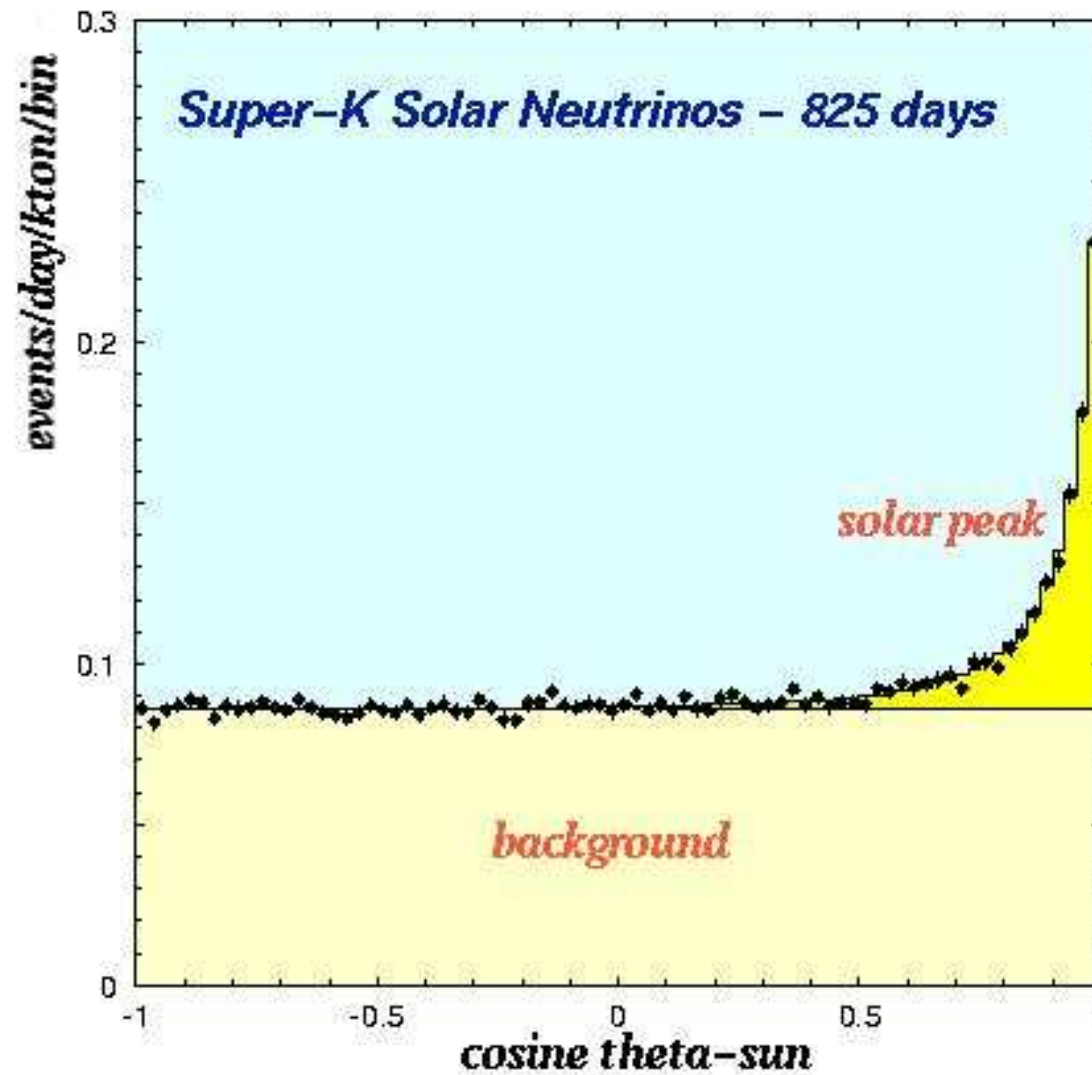
Sudbury Neutrino Observatory



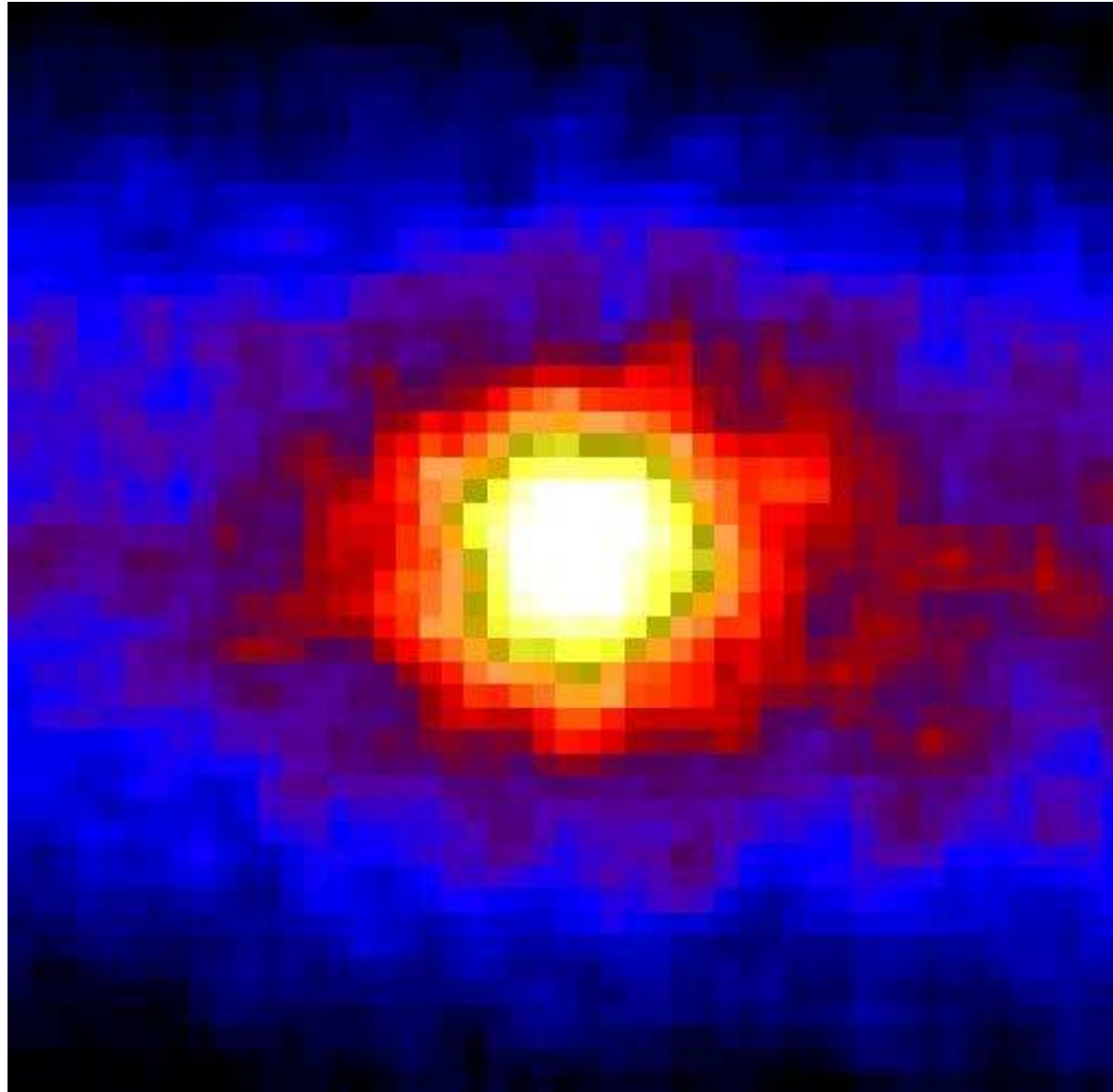
Subury Neutrino Observatory



Neutrinos von der Sonne



Sonne im Lichte von Neutrinos



Atmosphärische Neutrinos

Atmosphärische Neutrinos sind hauptsächlich Zerfallsprodukte geladener Pionen

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

mit nachfolgendem Myon-Zerfall

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

naiverweise würde man erwarten

$$\frac{N(\nu_\mu, \bar{\nu}_\mu)}{N(\nu_e, \bar{\nu}_e)} \approx 2$$

Nachweis atmosphärischer ν 's

$$\nu_e + e^- \rightarrow \nu_e + e^-$$

$$\nu_e + N \rightarrow e^- + N'$$

$$\nu_\mu + N \rightarrow \mu^- + N'$$

Nachweis in speziellen Cherenkov-Zählern

RICH - Ring Imaging Cherenkov Zähler

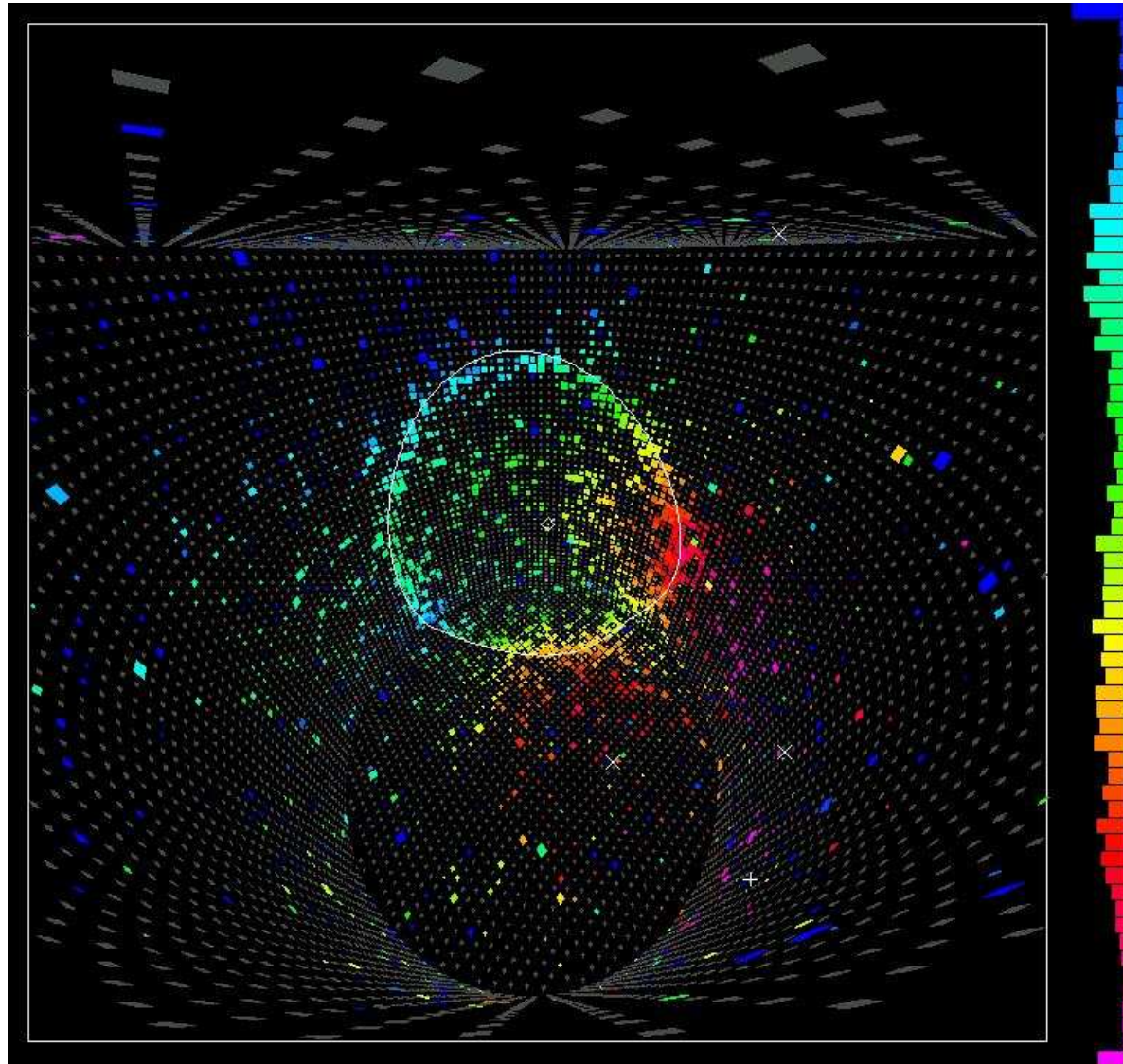
experimentelles Ergebnis: Es gibt ein

Defizit von ν_μ 's

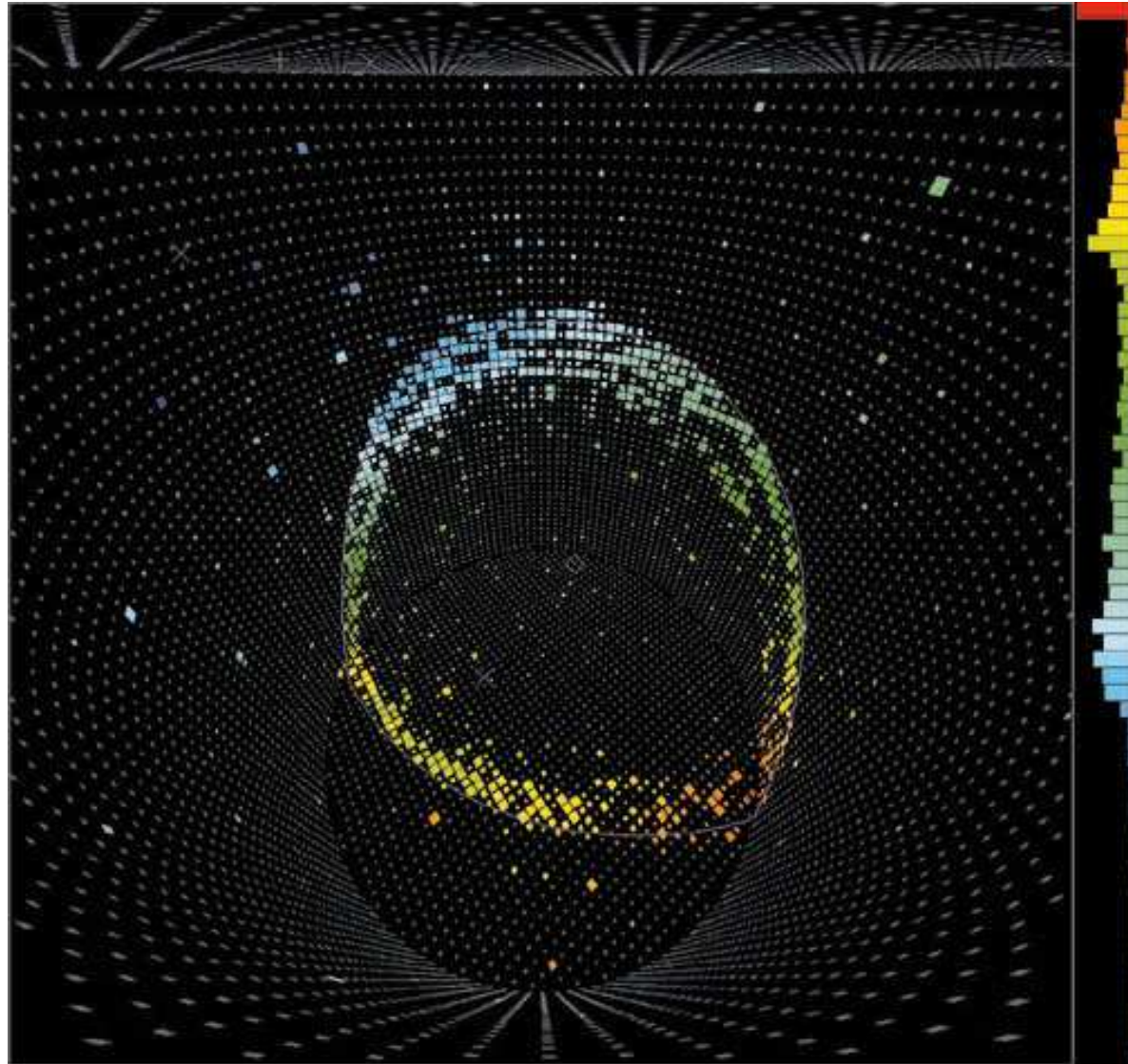
$$\frac{N(\nu_\mu, \bar{\nu}_\mu)}{N(\nu_e, \bar{\nu}_e)} \approx 1,2$$

Lösung: Neutrino Oszillationen

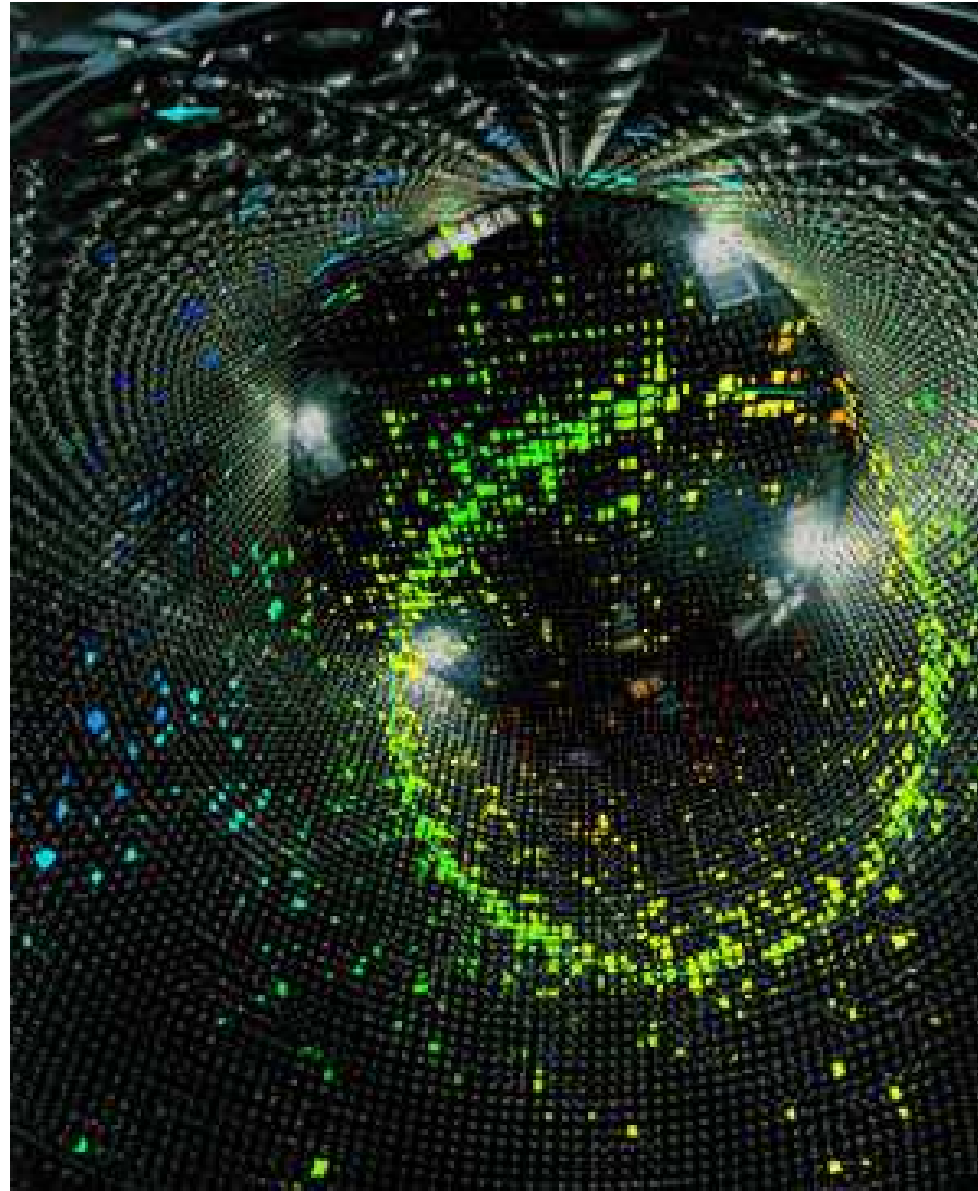
ν -Ereignisse



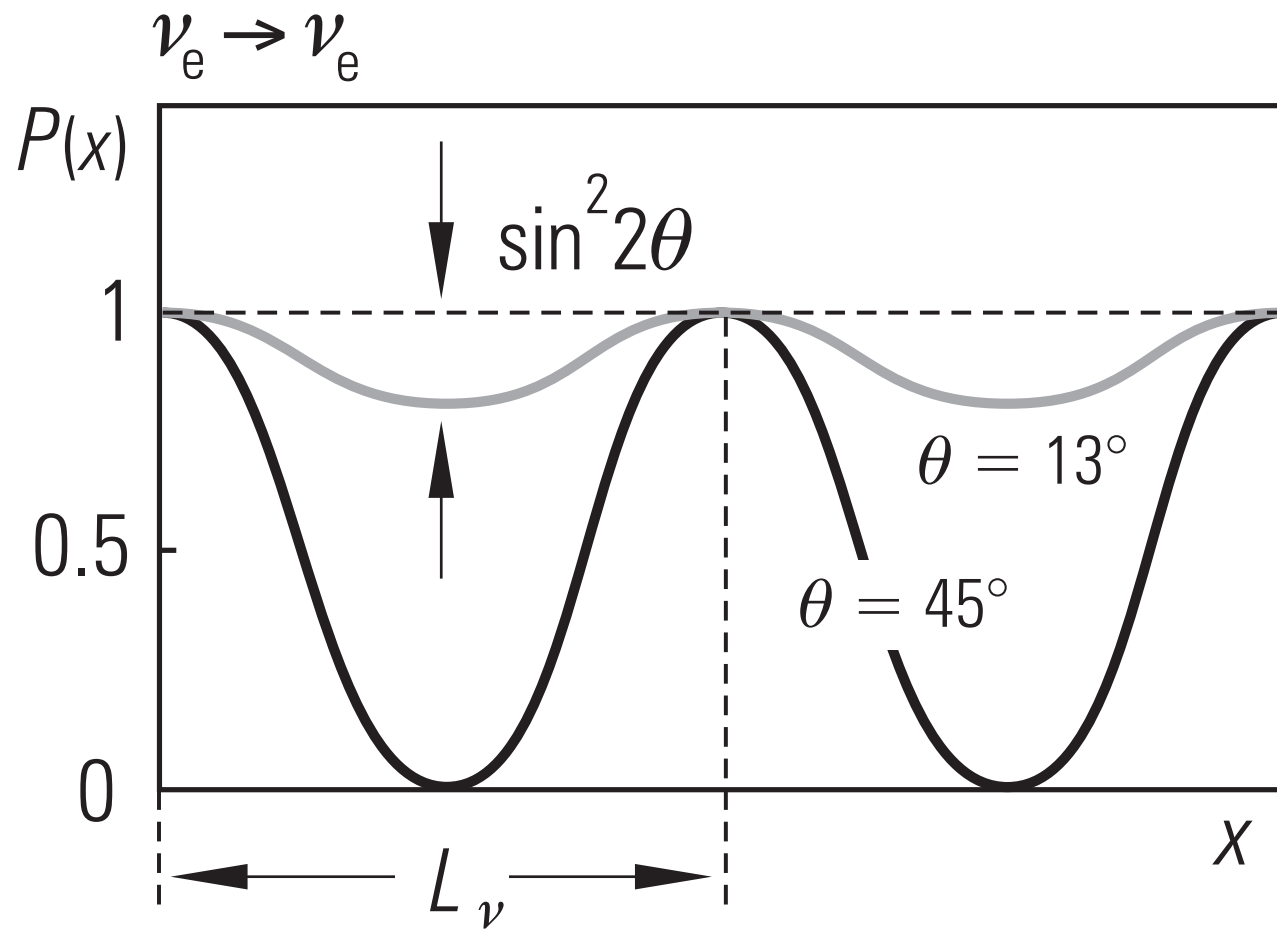
ν -Ereignisse



ν -Ereignisse

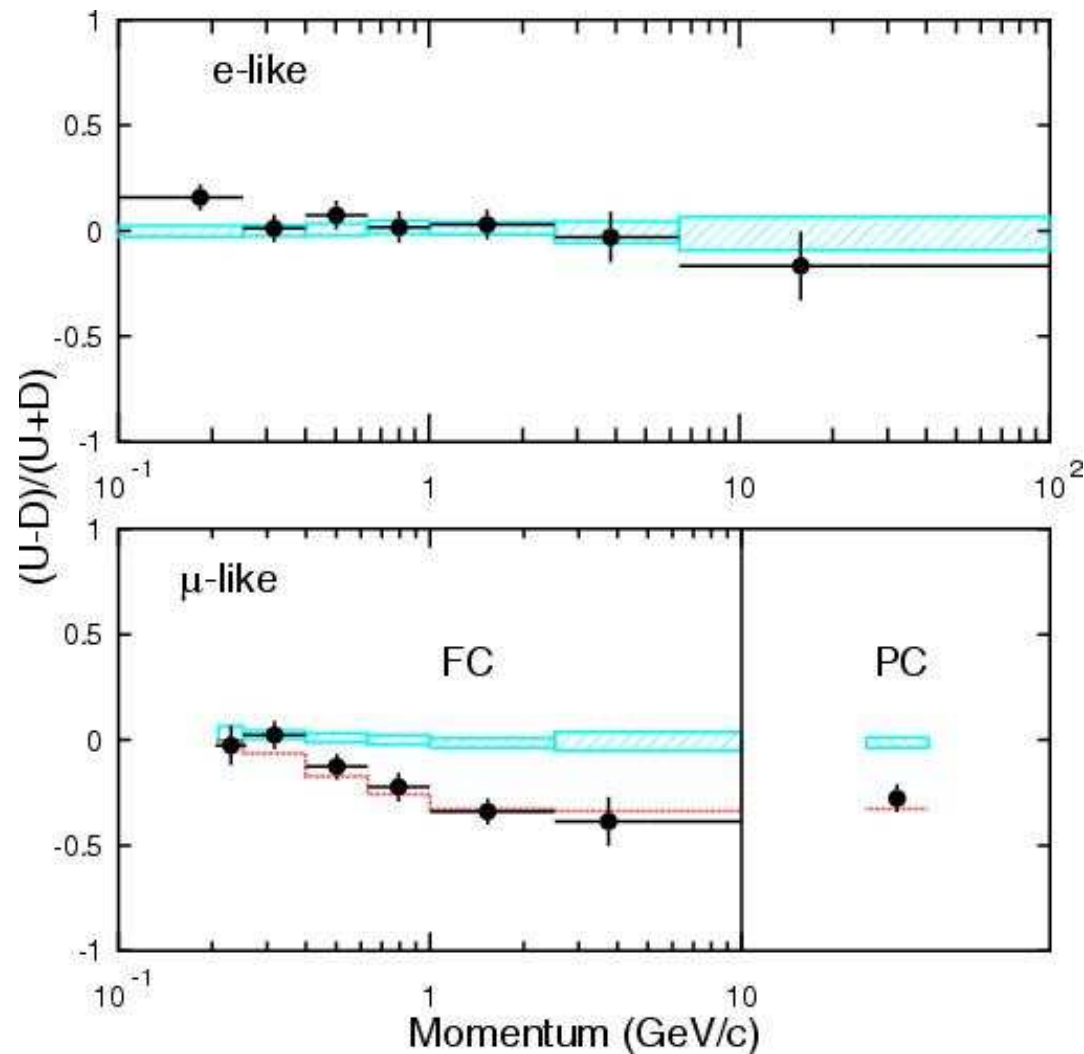


ν Oszillationen



ν Oszillationen

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_\mu) = \sin^2 \left(\frac{\Delta(m^2)L}{4E_\nu} \right) \cdot \sin^2 (2\Theta_m)$$



Supernova Neutrinos

aus der Deleptonisation



⇒ Neutronenstern

‘thermische’ Neutrinos



wobei α für ν_e, ν_{μ} and ν_{τ} s steht

Nachweis von Supernova ν 's

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

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

$$\nu_e + e^- \rightarrow \nu_e + e^-$$

i.e. wobei Elektronen und/oder Positronen gemessen werden

Myonen und Taus können nicht von SN ν 's erzeugt werden.

Neutrino Massen

$$\Delta t = L \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right) = \frac{L}{c} \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right), \quad L - \text{Flugstrecke}$$

$$\begin{aligned} \Delta t &= \frac{L}{c} \left\{ \sqrt{\frac{\gamma_1^2}{\gamma_1^2 - 1}} - \sqrt{\frac{\gamma_2^2}{\gamma_2^2 - 1}} \right\} \\ &= \frac{L}{c} \left\{ \sqrt{\frac{(E_1/m_0c^2)^2}{(E_1/m_0c^2)^2 - 1}} - \sqrt{\frac{(E_2/m_0c^2)^2}{(E_2/m_0c^2)^2 - 1}} \right\} \\ &\approx \frac{L}{c} \left\{ \sqrt{1 + \left(\frac{m_0c^2}{E_1} \right)^2} - \sqrt{1 + \left(\frac{m_0c^2}{E_2} \right)^2} \right\} \\ &= \frac{L}{c} \left\{ 1 + \frac{1}{2} \frac{m_0^2c^4}{E_1^2} + \dots - \left(1 + \frac{1}{2} \frac{m_0^2c^4}{E_2^2} + \dots \right) \right\} \end{aligned}$$

Neutrino Massen

$$\Delta t = \frac{L}{c} \left\{ 1 + \frac{1}{2} \frac{m_0^2 c^4}{E_1^2} + \dots - \left(1 + \frac{1}{2} \frac{m_0^2 c^4}{E_2^2} + \dots \right) \right\}$$

$$\Delta t = \frac{L}{2 \cdot c} \cdot m_0^2 c^4 \left\{ \frac{1}{E_1^2} - \frac{1}{E_2^2} \right\}$$

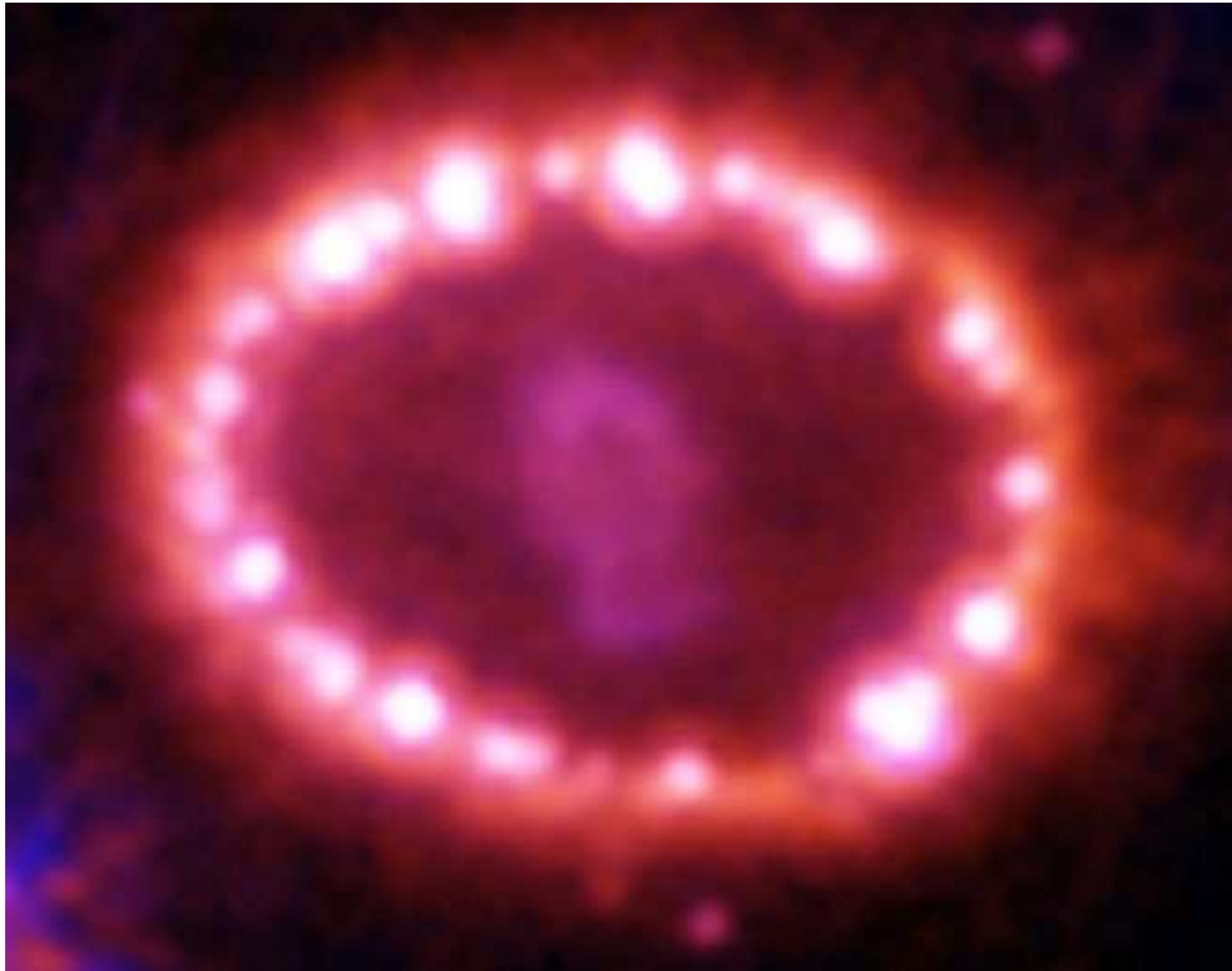
$$m_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta t}{L \cdot c^3} \cdot \frac{E_1^2 \cdot E_2^2}{E_2^2 - E_1^2}}$$

mit den SN-Neutrino Daten $\Rightarrow m_0 \leq 10 \text{ eV} / c^2$

Tarantula Nebel



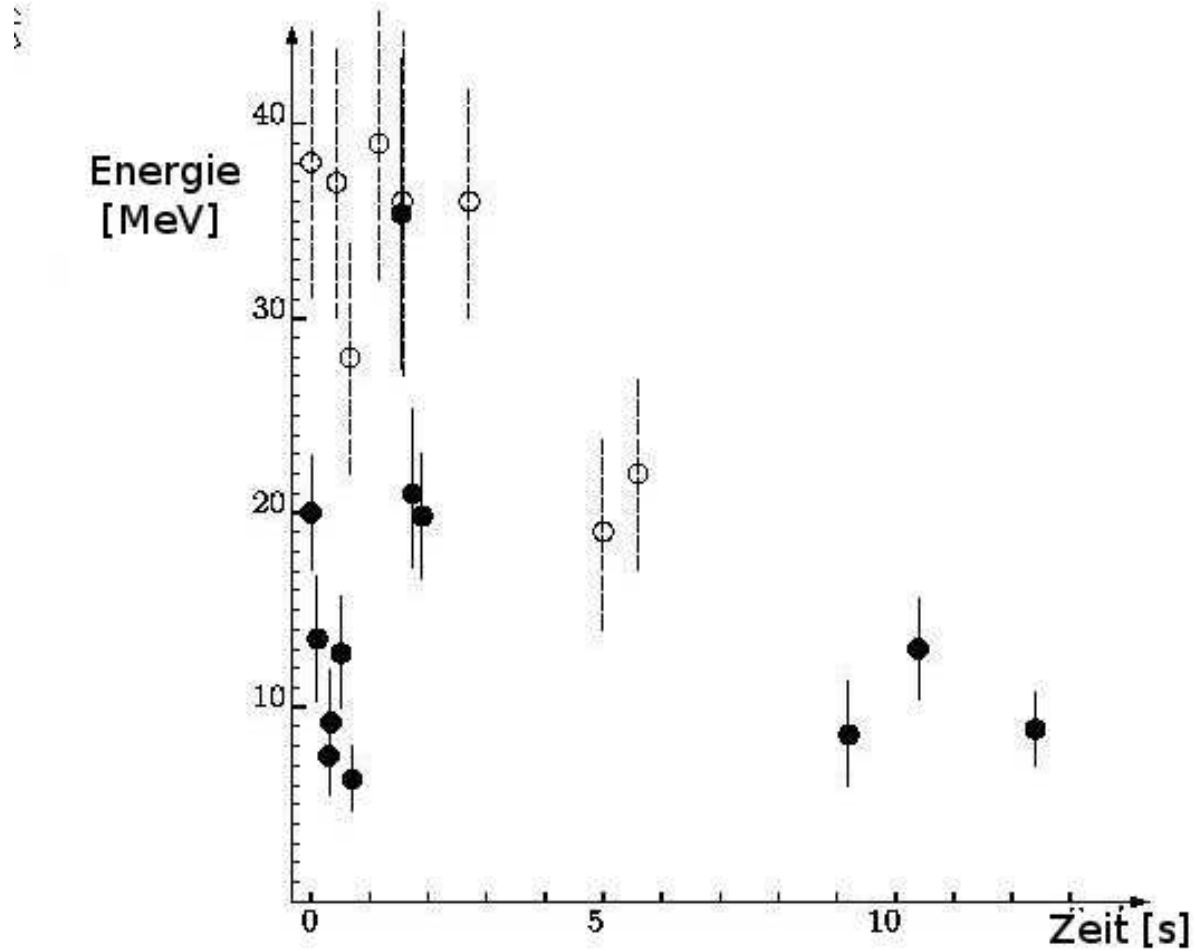
Supernova 1987A



Supernova 1987A



Supernova 1987A

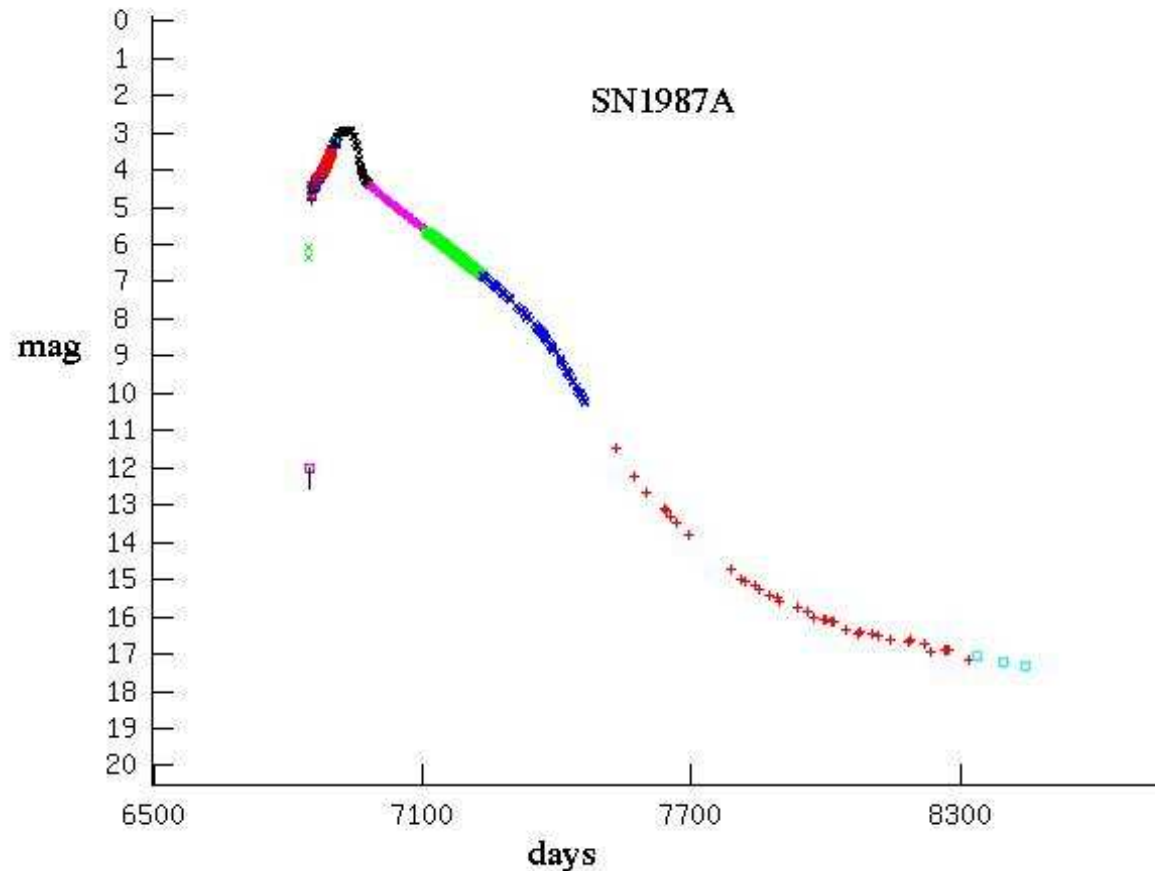


offene Kreise: IMB-experiment; volle Kreise: Kamiokande

Energie-Ausstoß

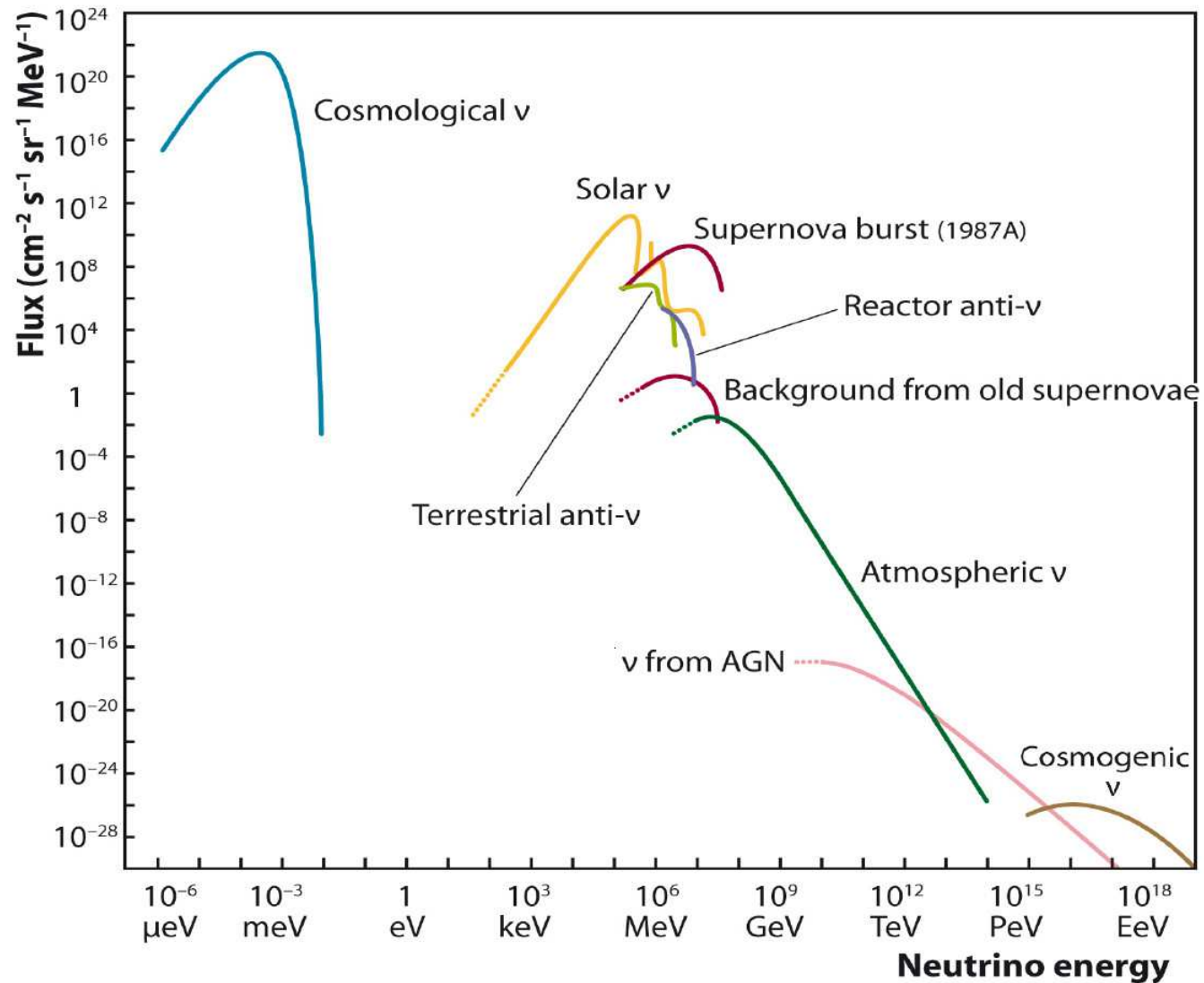
$$E_{total} = \sum_{i=1}^{20} \frac{E_{\nu}^i}{\epsilon_1(E_{\nu}^i) \cdot \epsilon_2(E_{\nu}^i)} \cdot 4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot f(\nu_{\alpha}, \bar{\nu}_{\alpha})$$
$$\approx (6 \pm 2) \cdot 10^{46} \text{ Joule}$$
$$\cong 10^{58} \text{ emittierte Neutrinos}$$

Lichtkurve 1987A

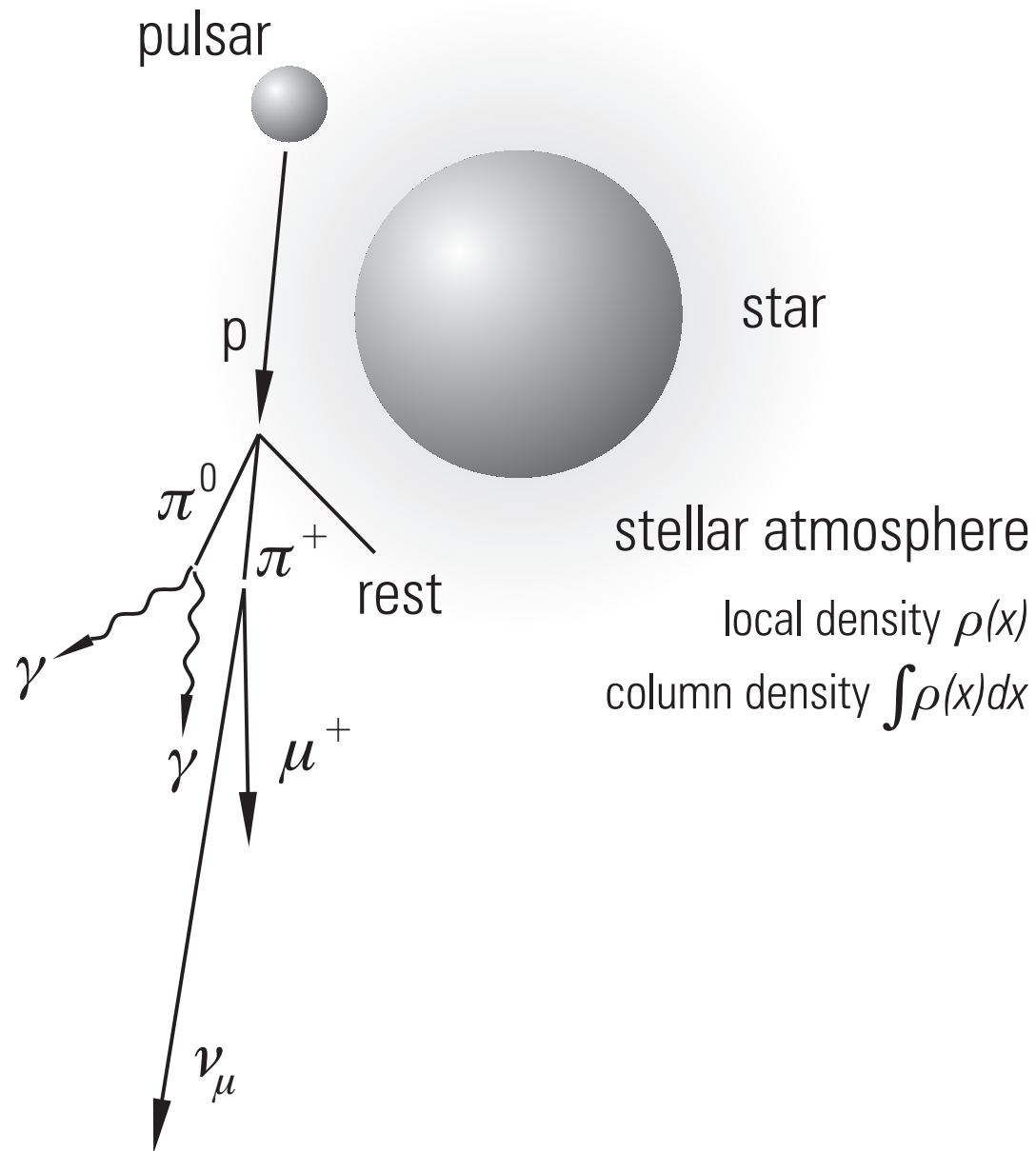


Das Licht im Optischen wird zurückgeführt auf den radioaktiven Zerfall von Kobalt- und Nickelisotopen.

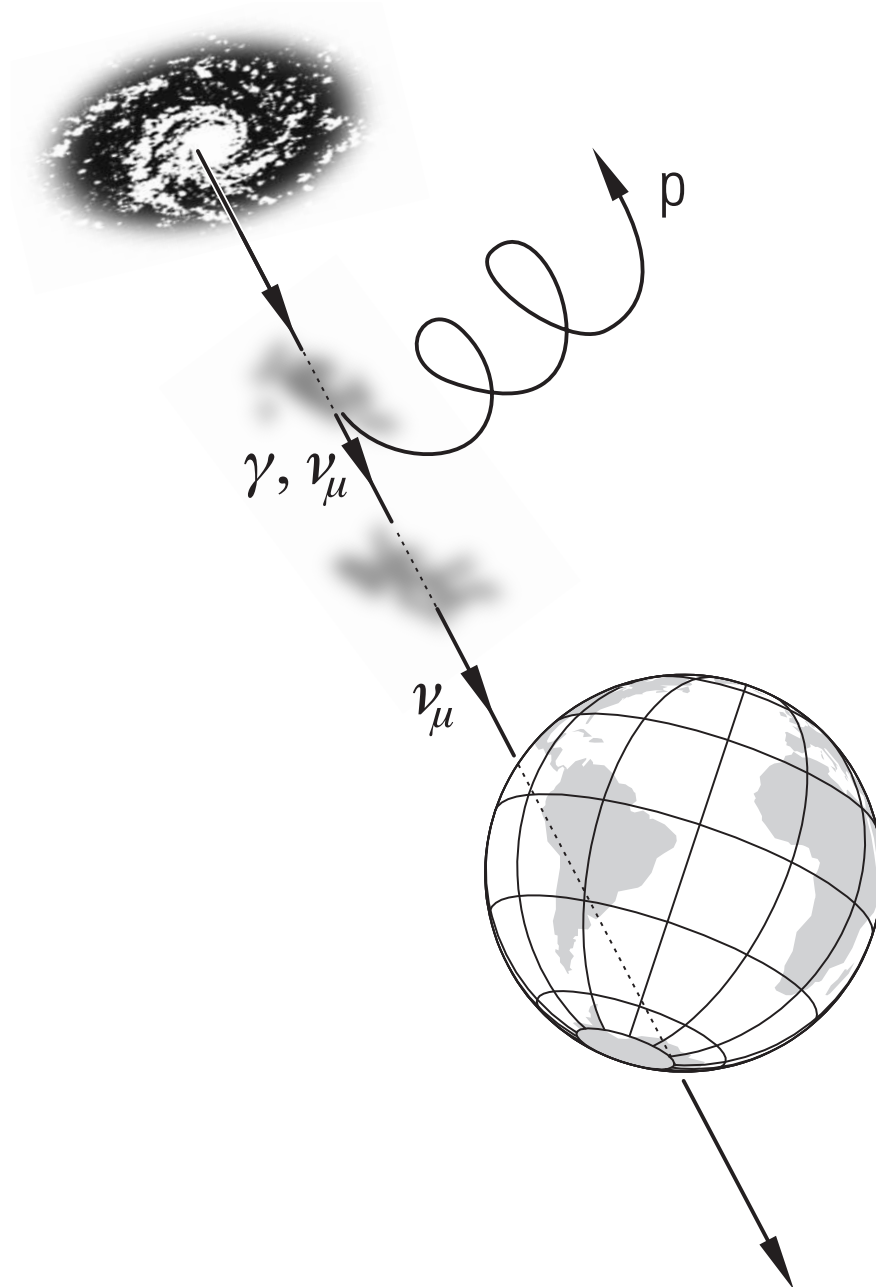
Kosmische Neutrino Flüsse



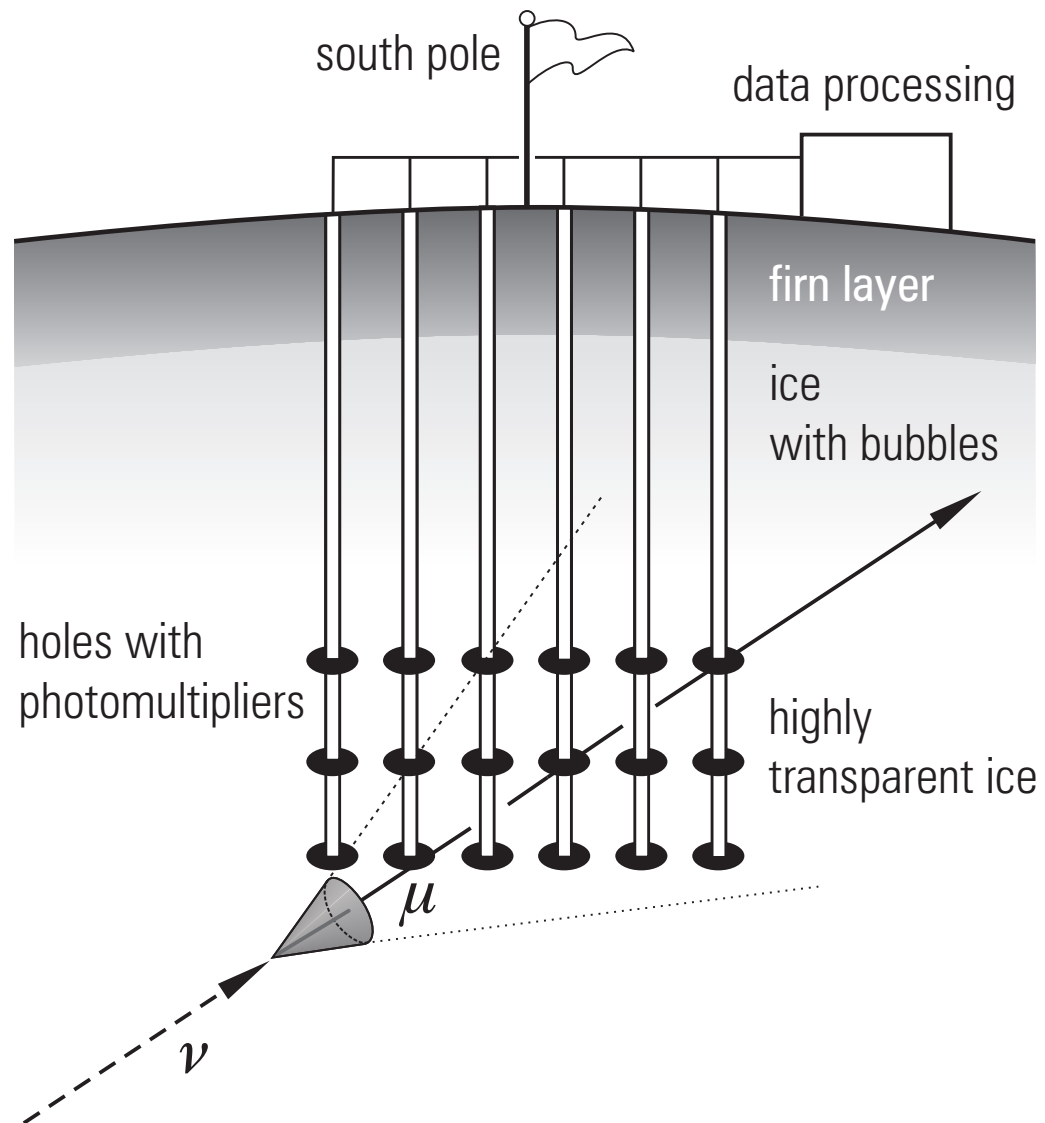
Galaktische und Extragalaktische ν 's



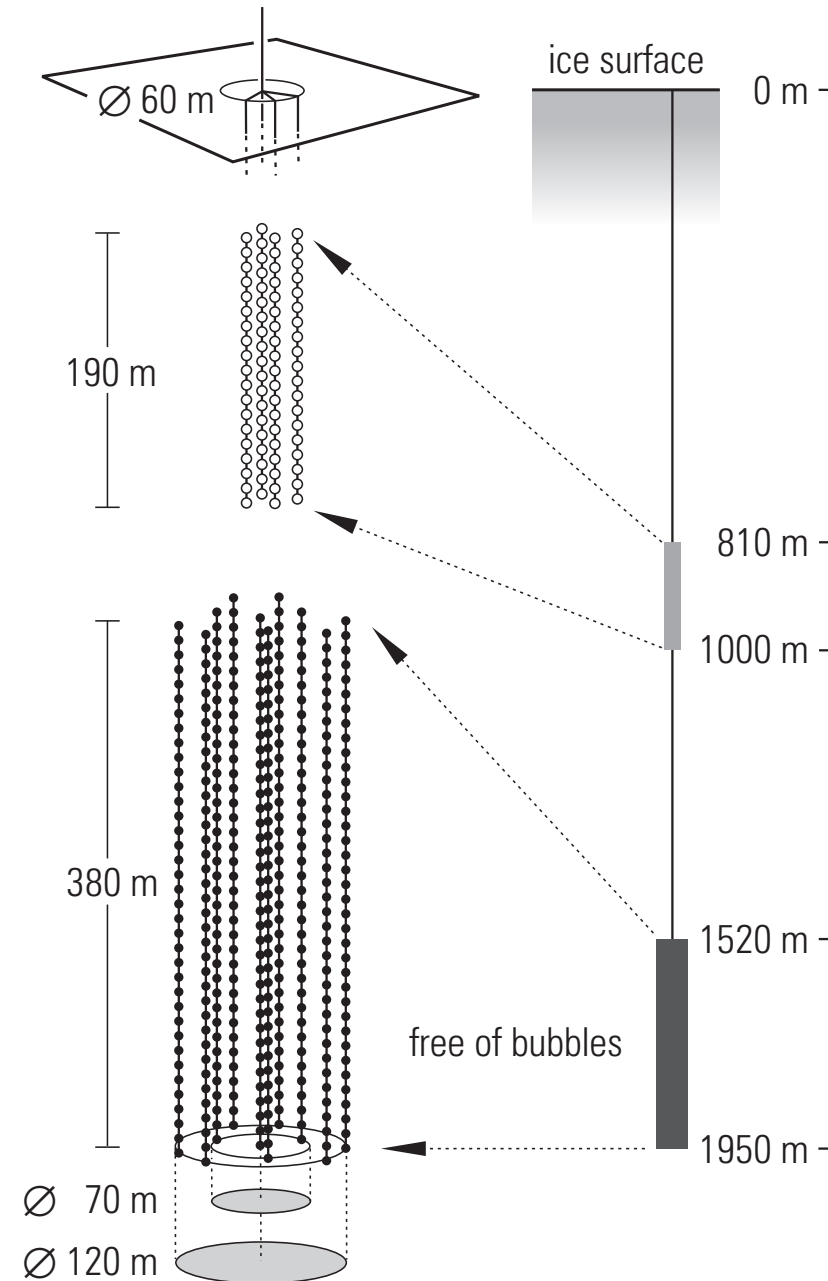
Galaktische und Extragalaktische ν 's



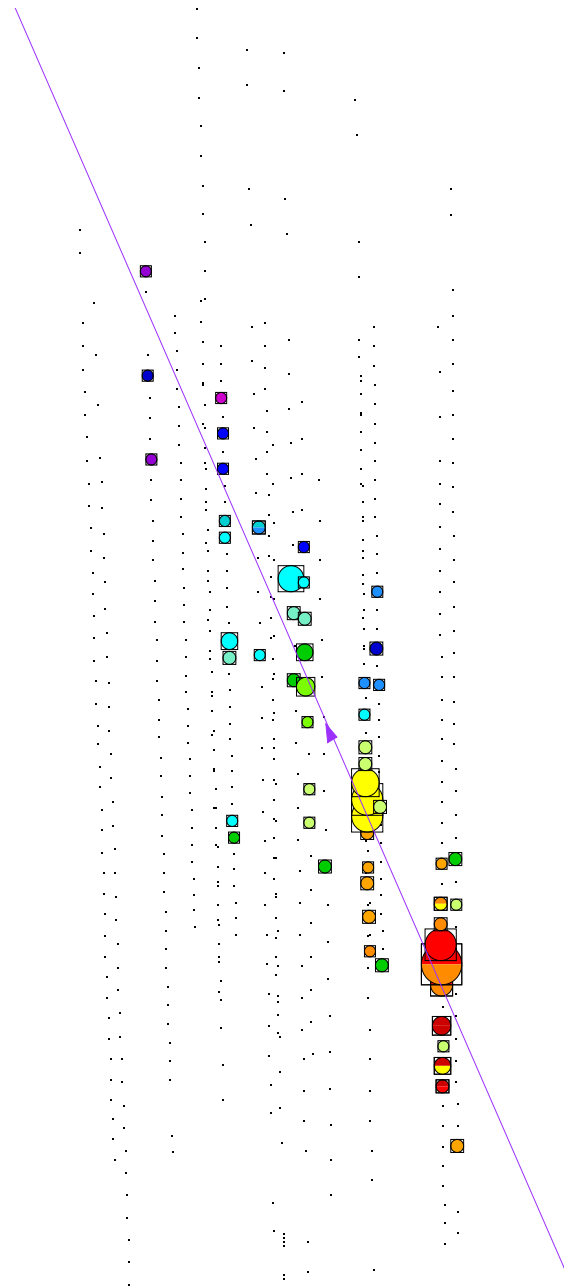
AMANDA in der Antarktis



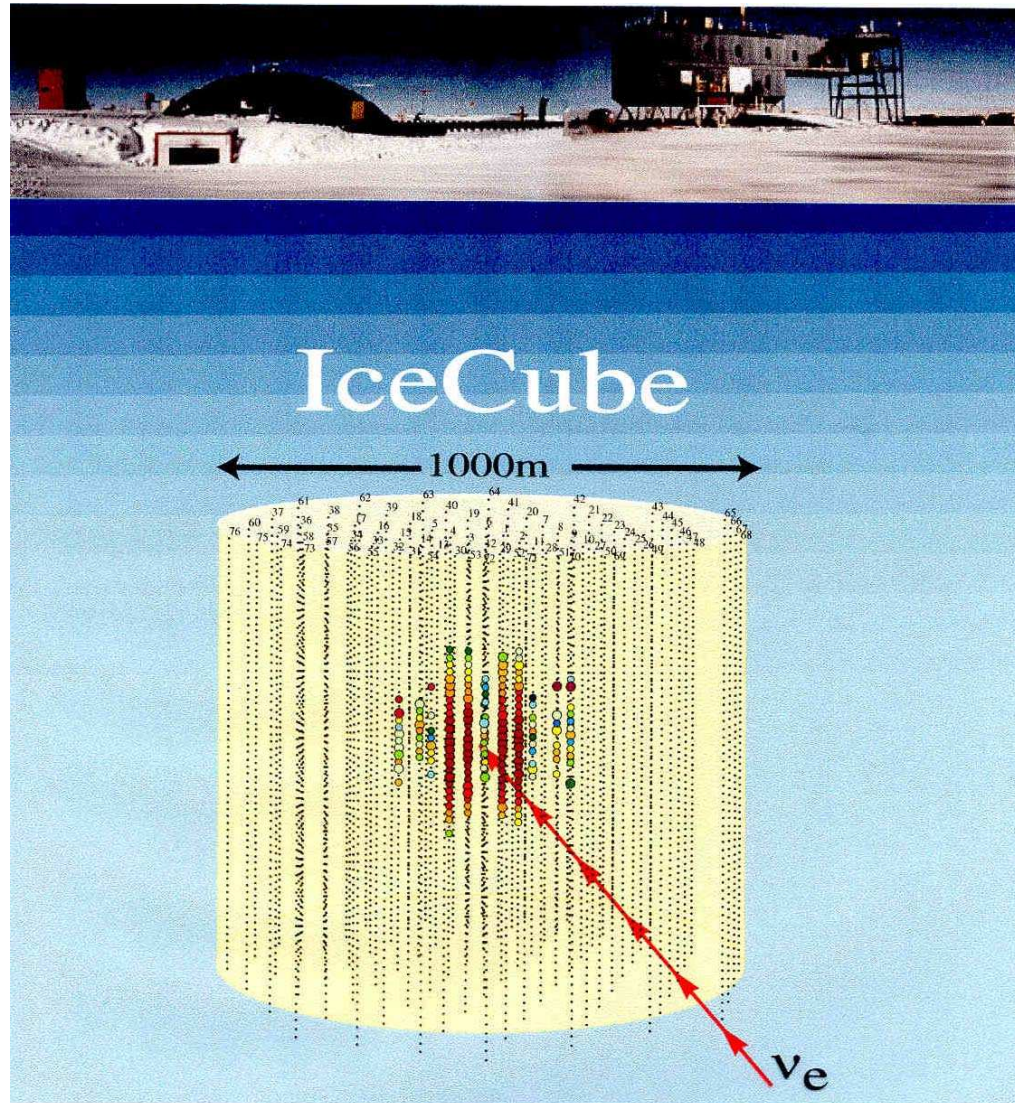
AMANDA experimenteller Aufbau



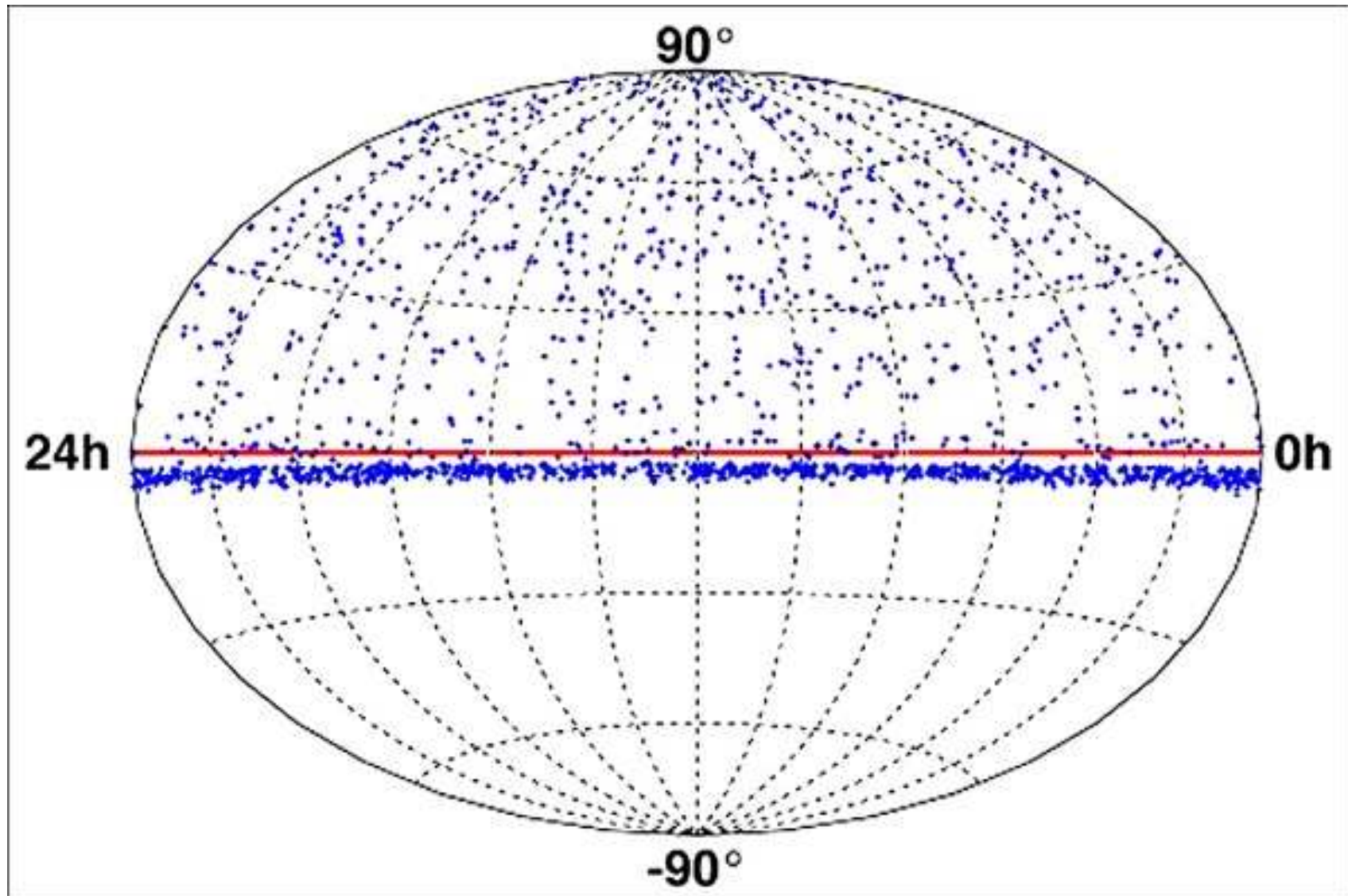
AMANDA Ereignis



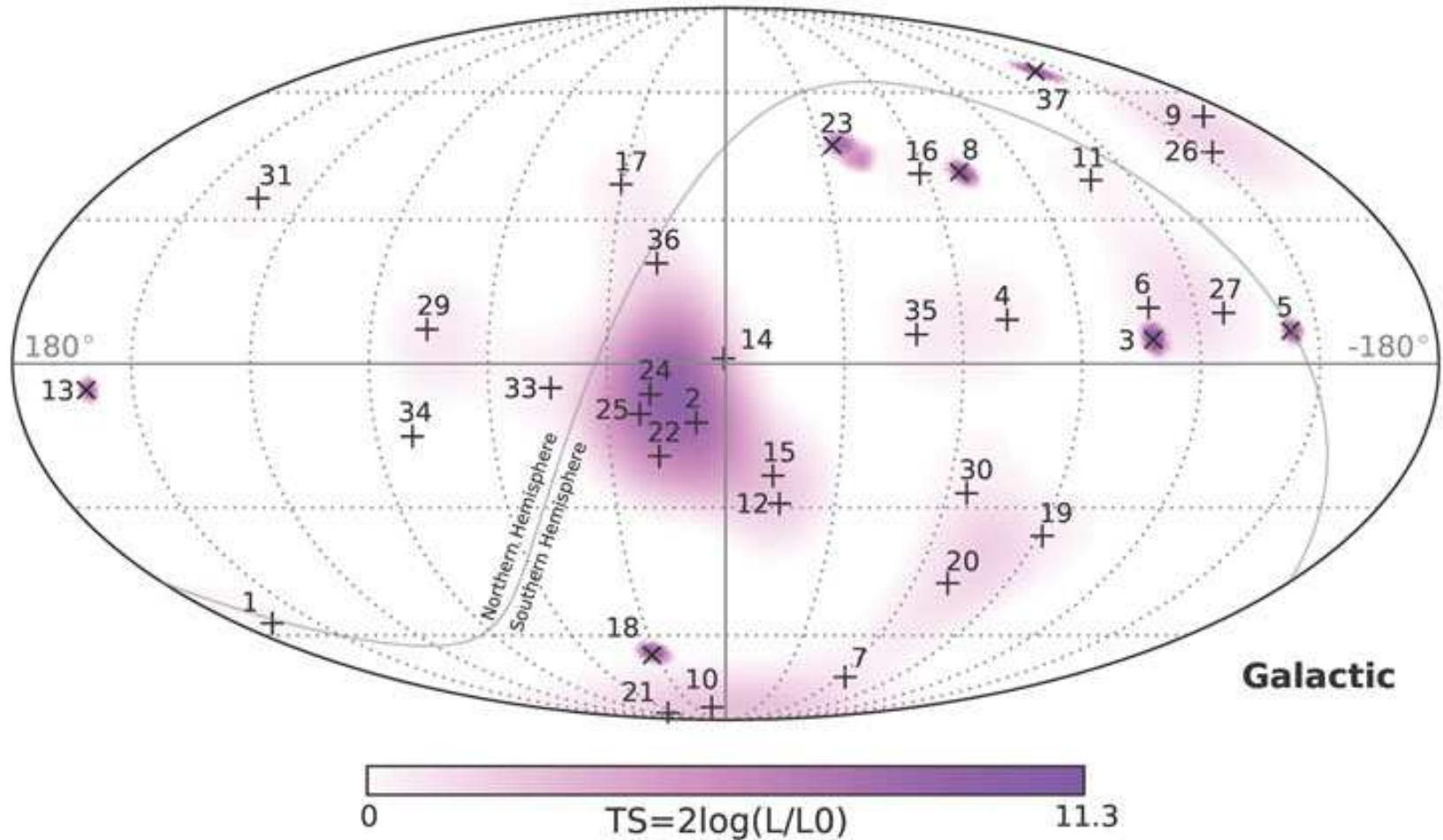
ICECUBE Detektor



Neutrino-Himmel von AMANDA

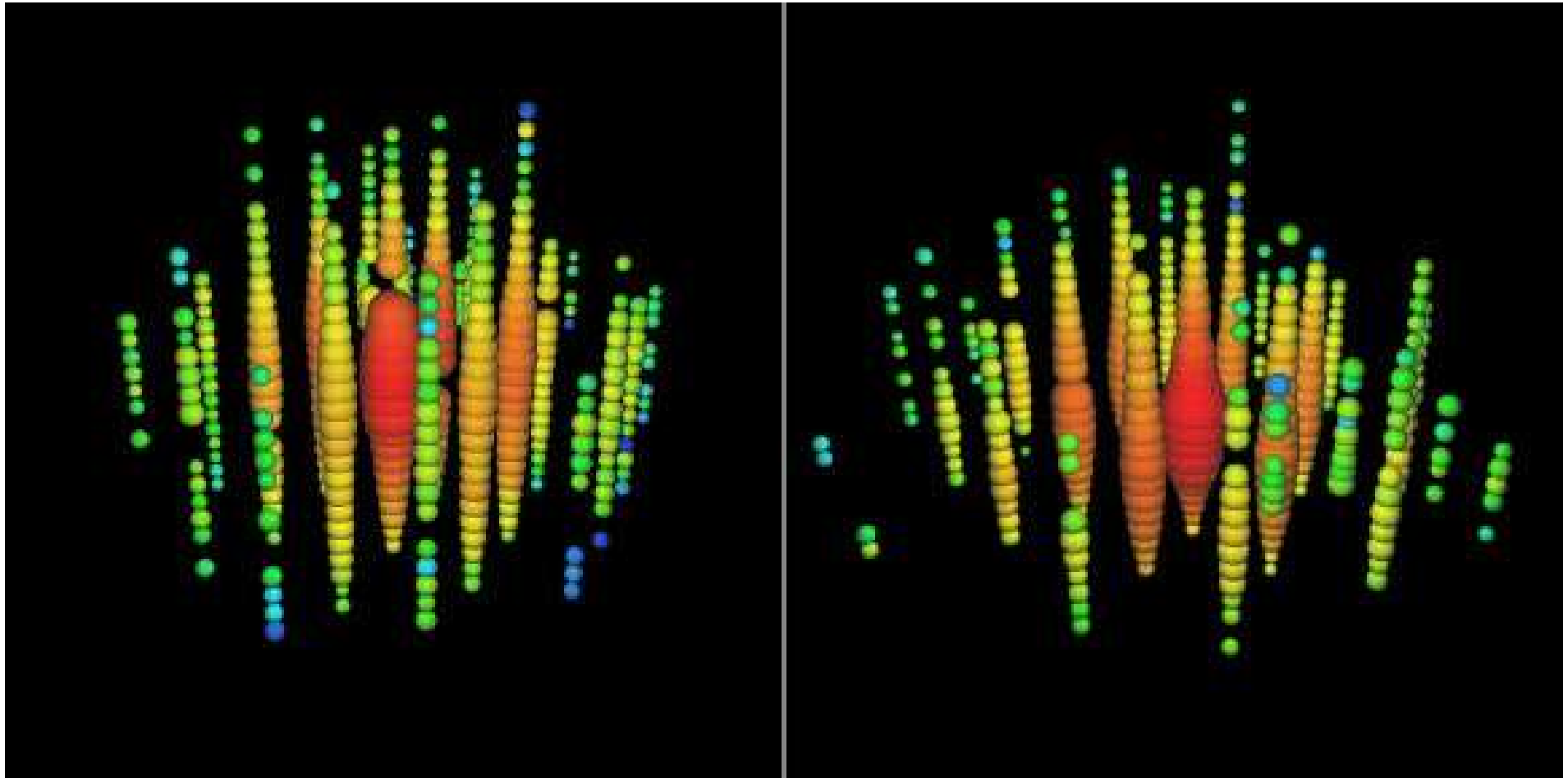


ICECUBE

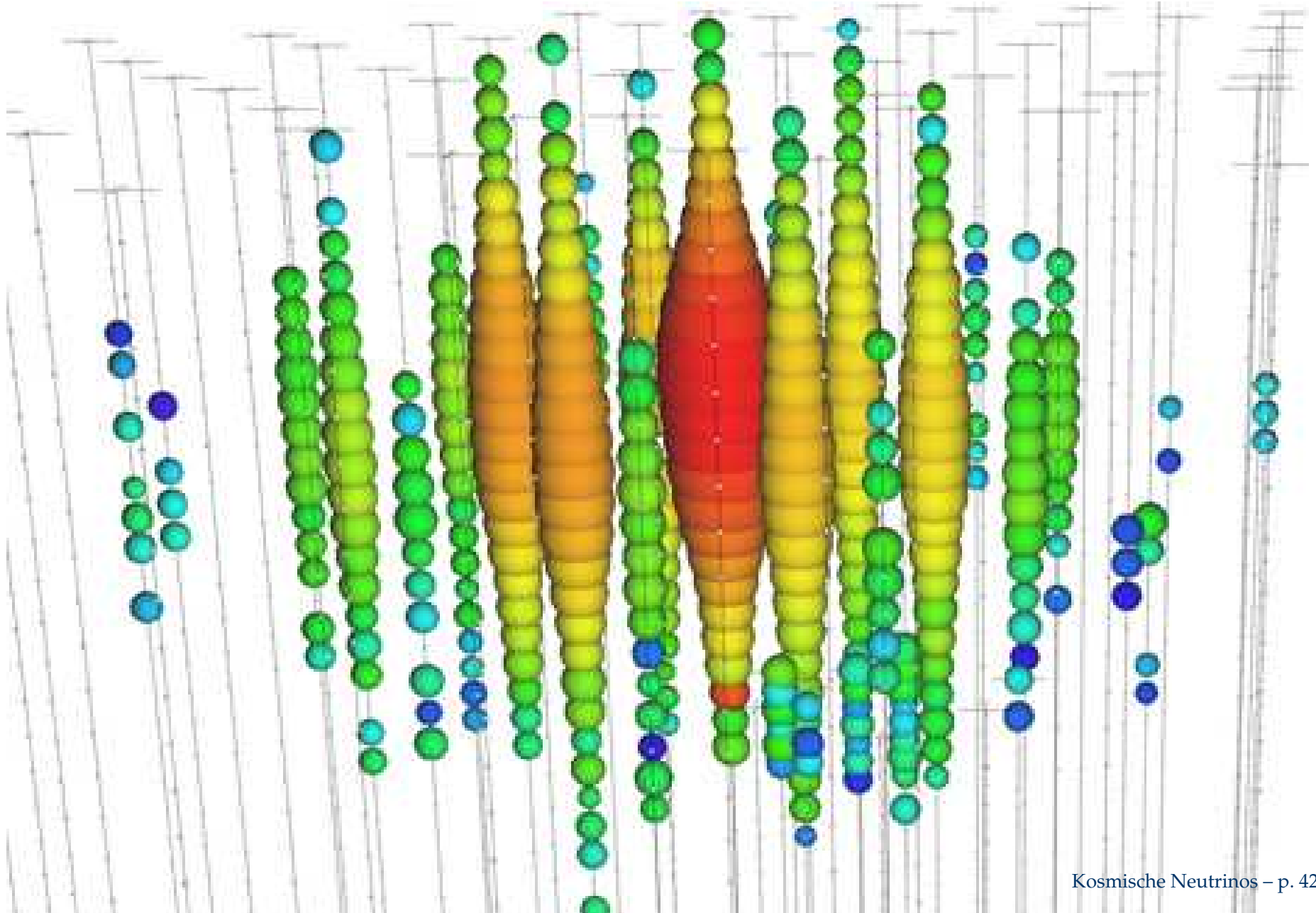


signifikante Kluster möglicher Korrelationen
mit bekannten γ -Quellen

Ernie und Bert



Big Bird, 2 PeV

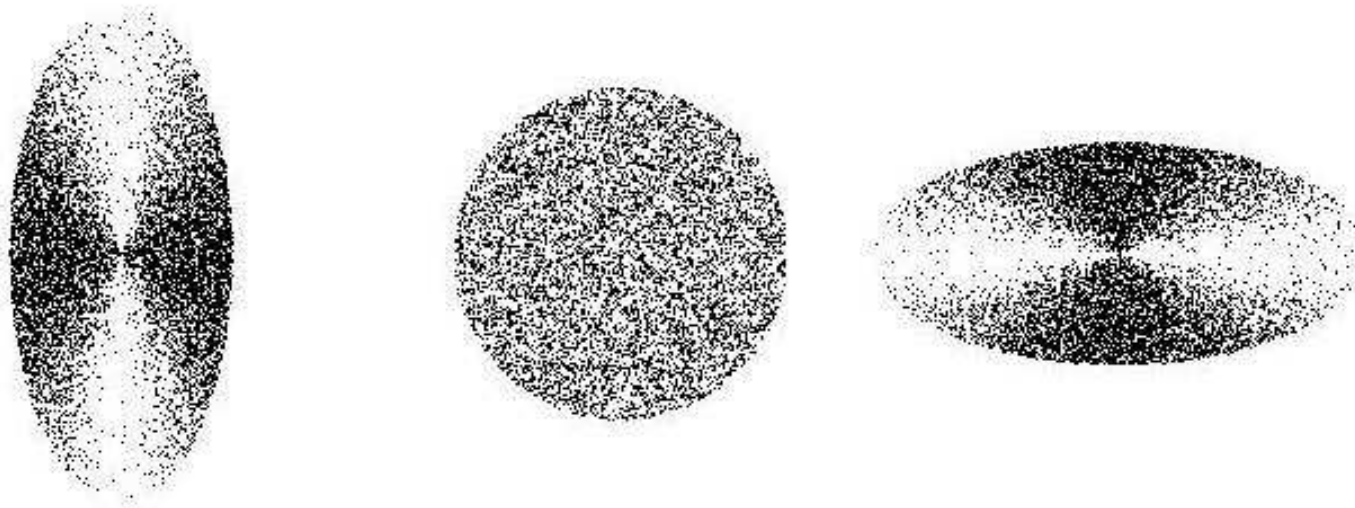


Zusammenfassung

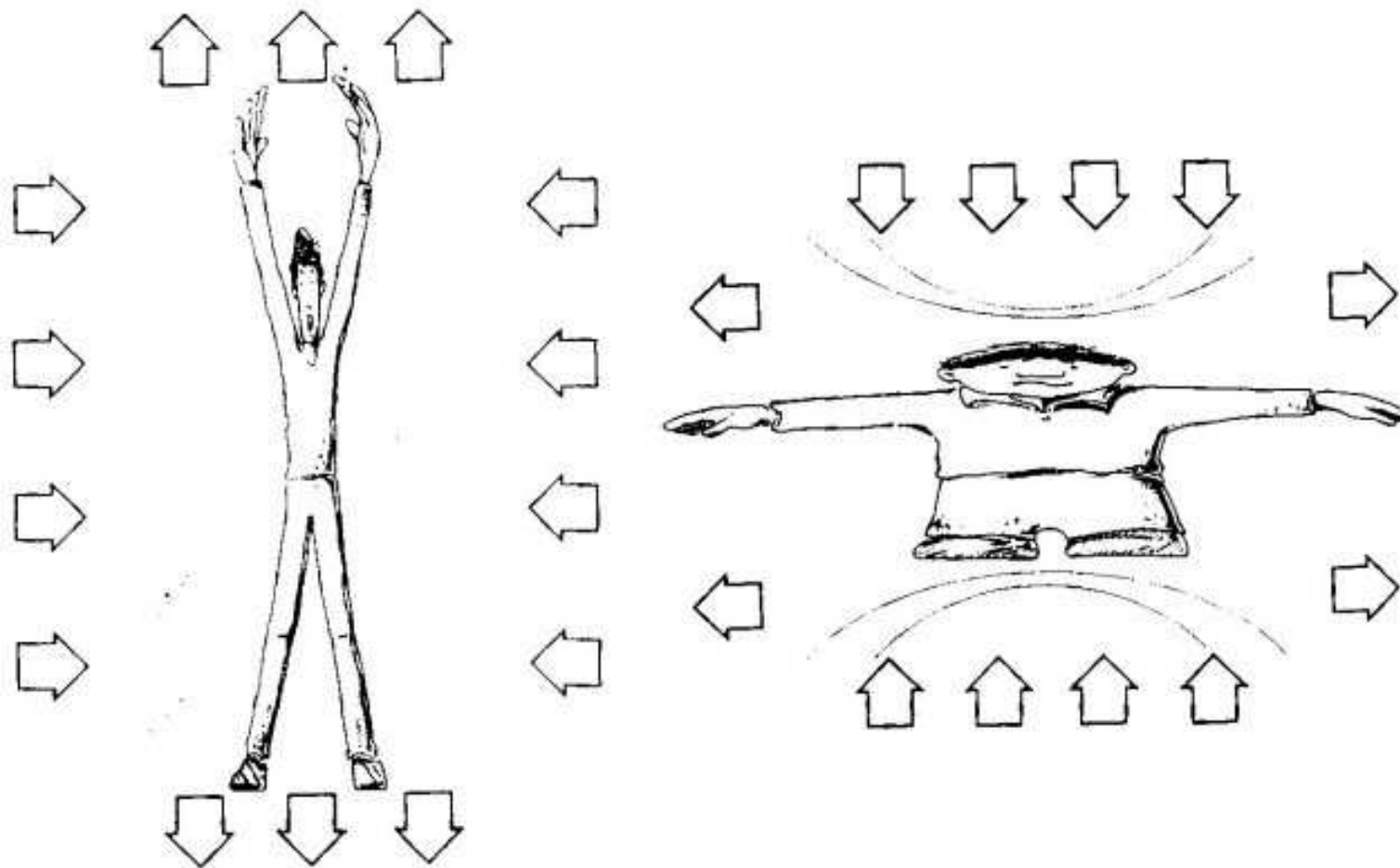


Es ist zu früh für Schlussfolgerungen.
Mit einer Handvoll von Ereignissen kann man
keine Astronomie betreiben.
Icecube wird aber weiter messen und plant signifikante
Erweiterungen.

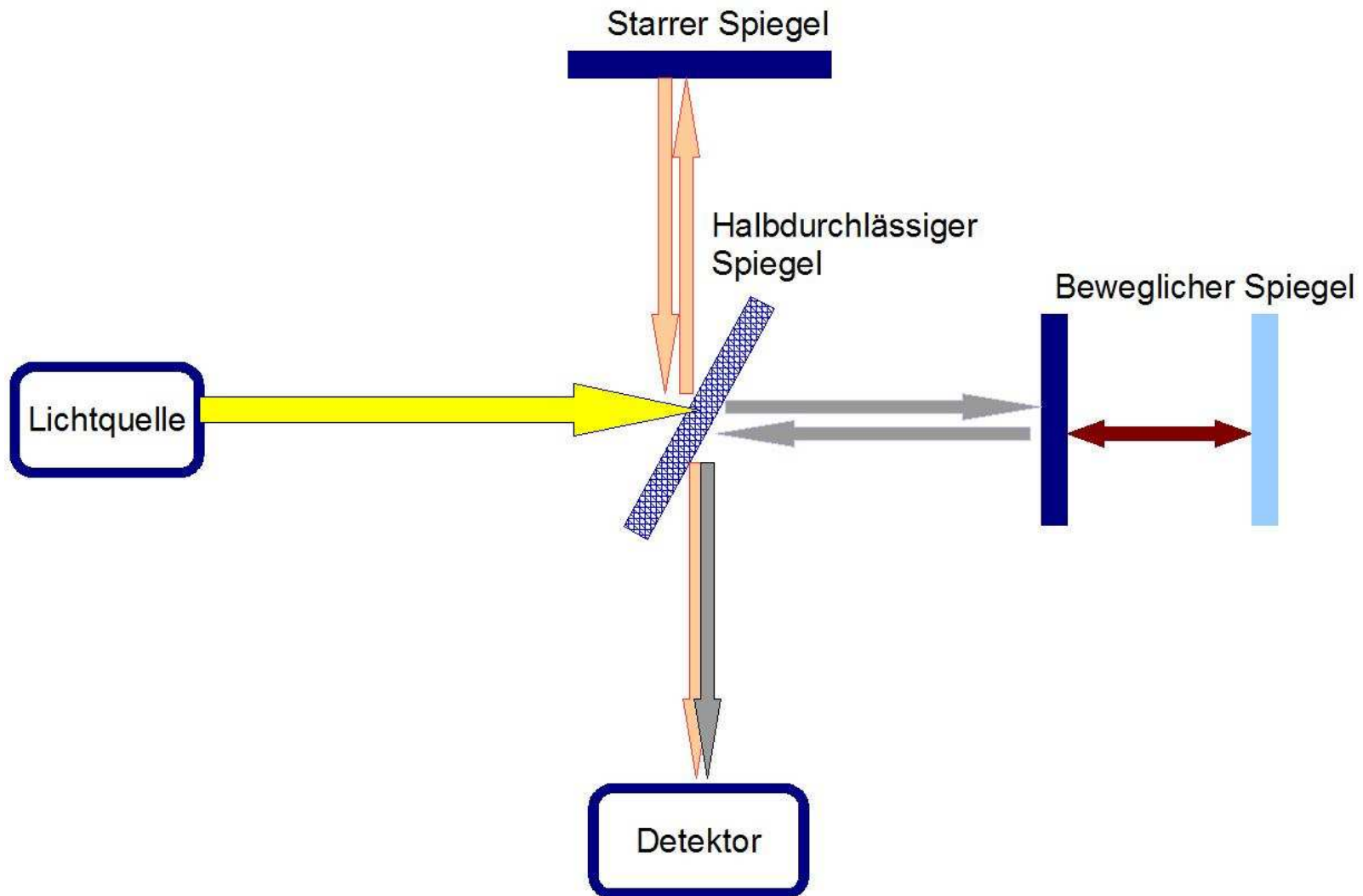
Gravitationswellen



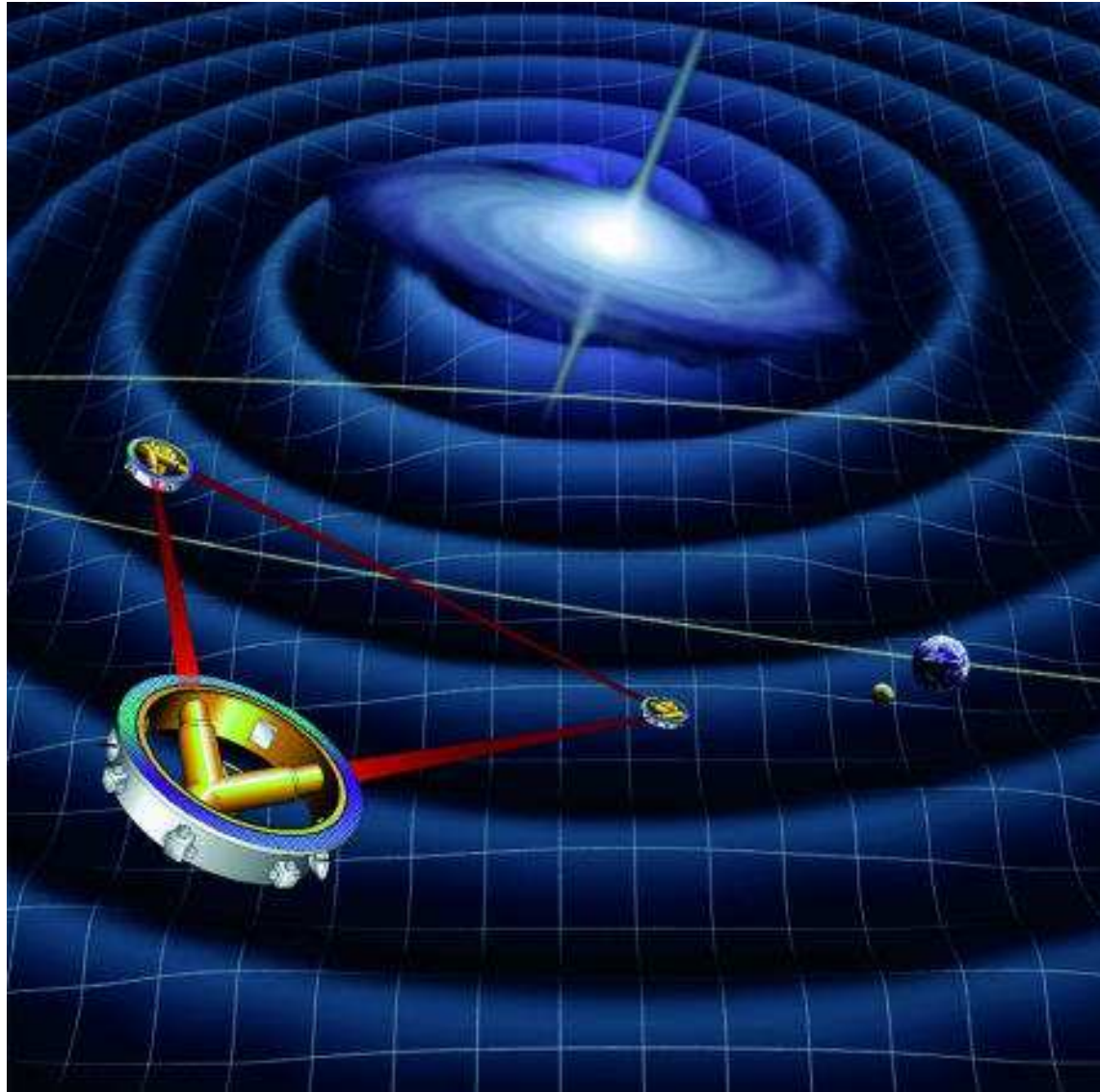
Gravitationswellen



Gravitationswellen



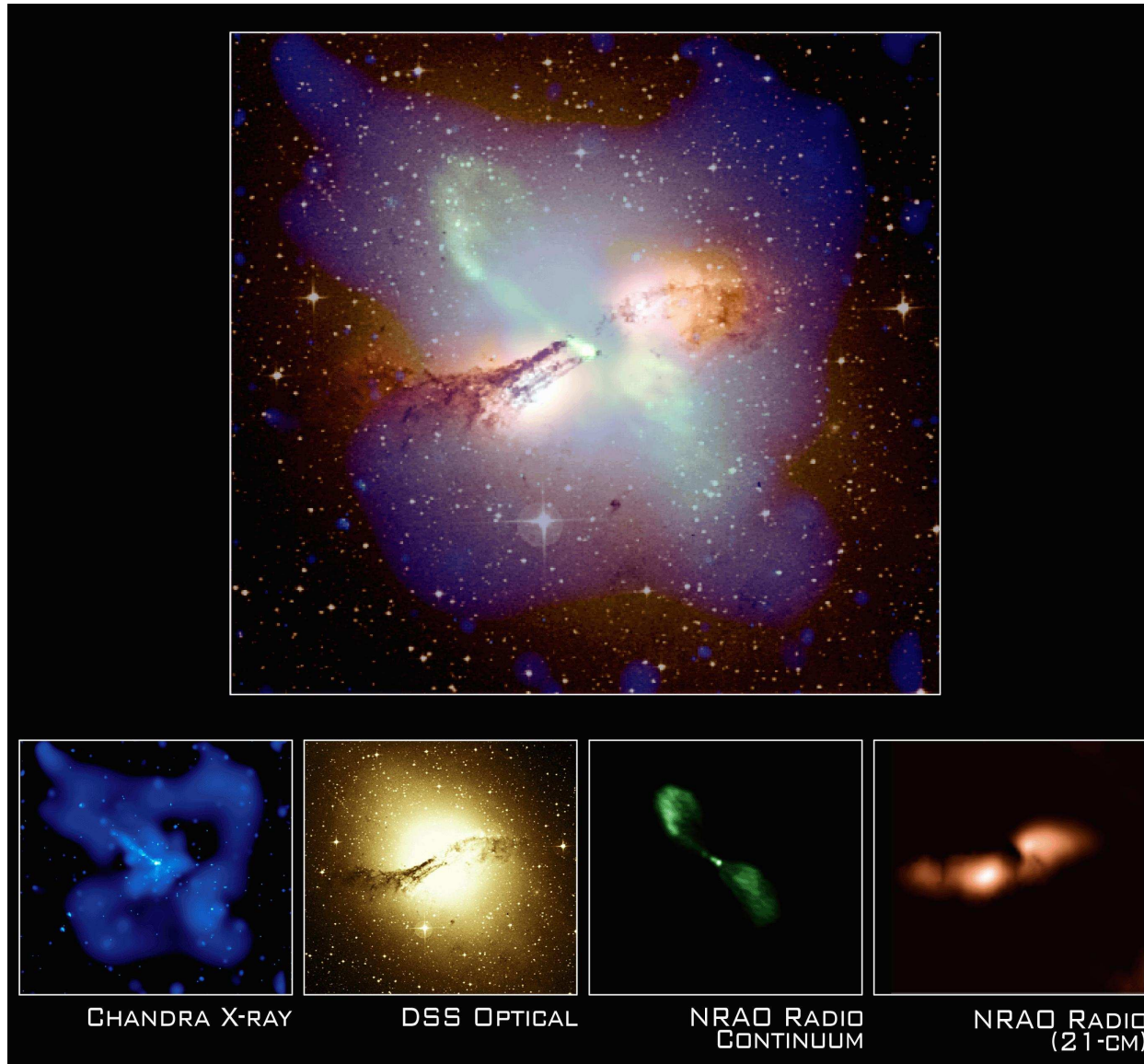
Gravitationswellen



Gravitationswellen



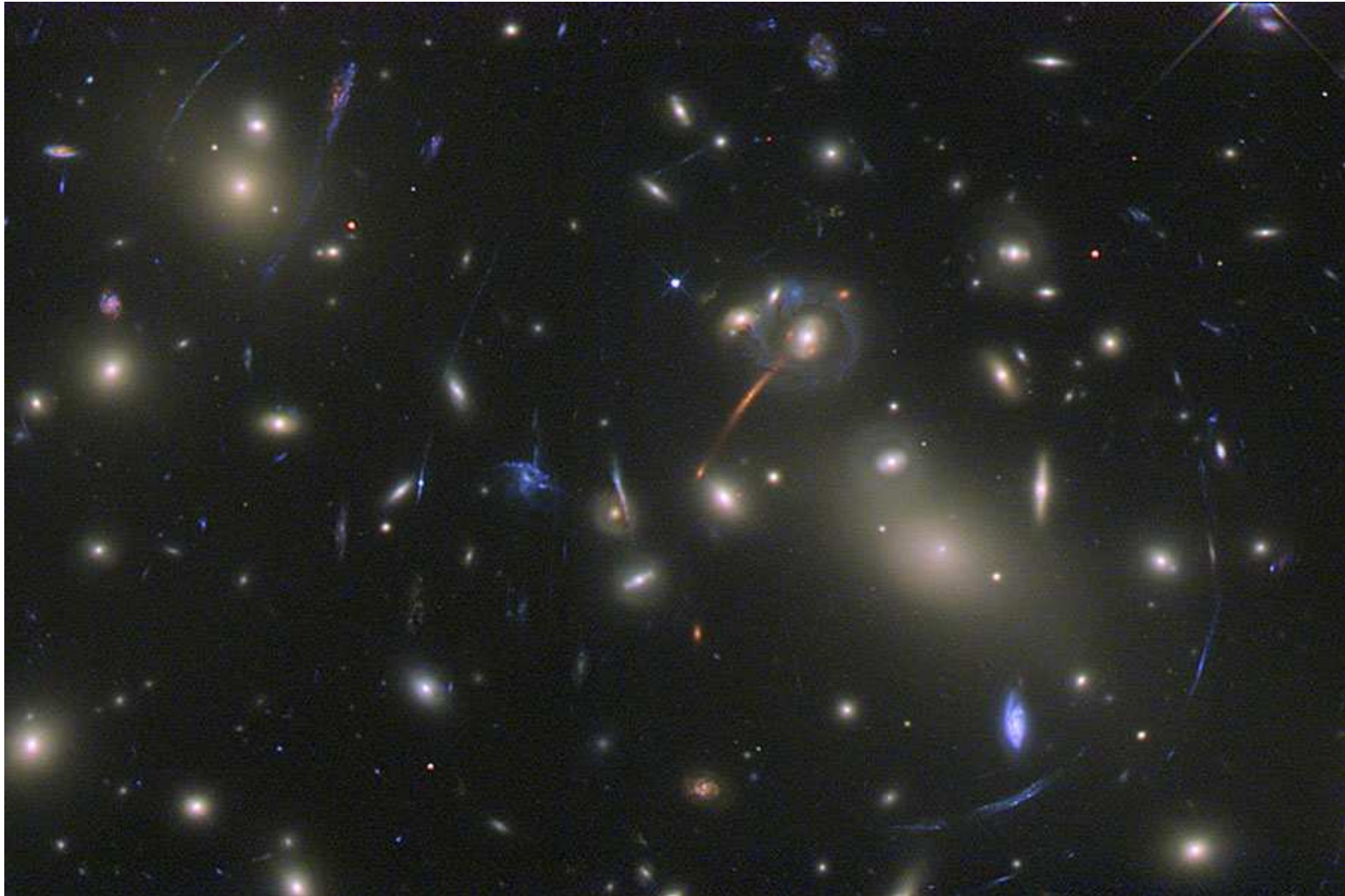
Gravitationswellen



Gravitationswellen



Gravitationswellen



Zusammenfassung

- Röntgen-, γ und Neutrinoastronomie stellen ein neues Fenster zum All dar
- Neutrinos von der Sonne erlauben die Messung nuklearer Prozesse
- Neutrinos gestatten einen Blick in das Innere von Sternen und galaktischen Kernen
- Suche nach den Quellen kosmischer Strahlung
- Verständnis der Beschleunigung kosmischer Strahlung
- Untersuchung extremer Materiezustände