



Detektion von GRB-Neutrinos mit dem ANTARES Neutrino-Teleskop

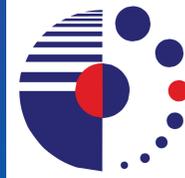
M. NAUMANN-GODÓ, G. ANTON, J. HÖßL, A. KAPPES, U. KATZ, W. KRETSCHMER

<http://www.antares.physik.uni-erlangen.de/>

Physikalisches Institut, Universität Erlangen-Nürnberg, Erwin-Rommel-Str. 1, D-91058 Erlangen



Die Fähigkeit des ANTARES-Detektors, Neutrinos aus Gamma-Ray Bursts zu detektieren wird beispielhaft anhand des BATSE-Katalogs gezeigt. Individuellen GRBs, die vom BATSE-Detektor auf dem Compton Gamma-Ray Observatory im Zeitraum zwischen 1991 - 2000 gemessen wurden, werden analysiert und die dazugehörigen Neutrino Flüsse berechnet. Als Modell für die Neutrinoemission von GRBs dient das Standard-Feuerballmodell mit internen Schockwellen. Aus der Summe der individuellen Neutrino Flüsse wird ein mittlerer Neutrino flux pro GRB ermittelt, der skaliert mit der Anzahl der Bursts pro Jahr, zur Berechnung der erwarteten Neutrinorate im ANTARES Detektor verwendet wird. Untergrundstudien zeigen, dass die Detektion eines einzelnen Neutrinos in Koizidenz mit dem Richtungs- und Zeitfenster eines aufgezeichneten GRBs bereits signifikant wäre.



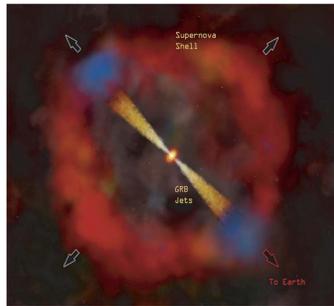
bmb+f - Förderschwerpunkt

ANTARES

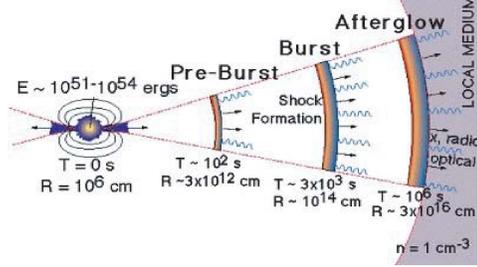
Großg räte der physikalischen Grundlagenforschung

Was sind Gamma-Ray Bursts (GRBs)?

Als Gammastrahlungsausbrüche (Gamma-Ray Bursts, kurz GRBs) werden temporär am Himmel aufleuchtende, sehr helle γ -Strahlungsquellen bezeichnet. Die Burstdauer kann zwischen 0,01 und 1000 s liegen, wobei in diesem Zeitraum die Strahlungsquelle im Gammaband das hellste Objekt am Himmel ist. Die beobachteten Variabilitätszeiten und gemessenen **nicht-thermischen Spektren** mit Flüssen bis in den MeV- und sogar TeV-Bereich zeigen, dass das Objekt mit ultra-relativistischer Geschwindigkeit von $\Gamma > 100$ expandiert. Nach der heute favorisierten Vorstellung liegt den GRBs ein **relativistischer Materieausfluss (Jet)** zugrunde, der aus einer

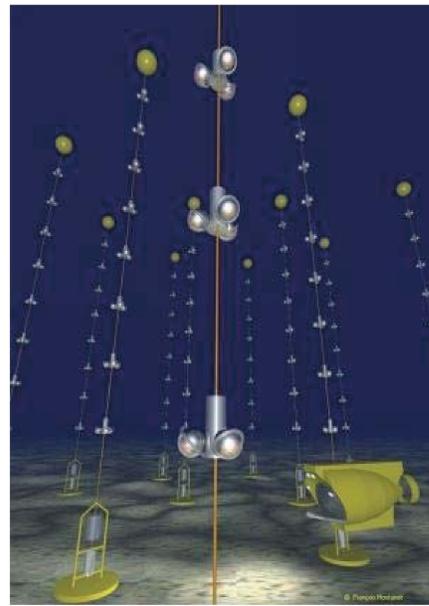


GRB FIREBALL MODEL

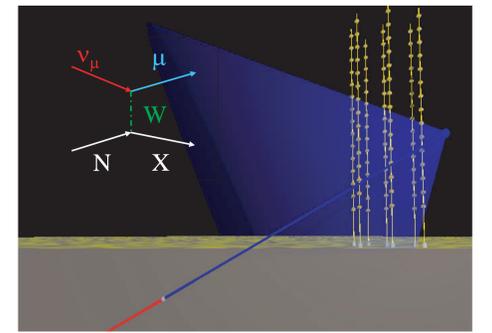


sehr kompakten zentralen Quelle entspringt. Als Energiequelle dient die **Akkretion** auf ein neu entstandenes stellares Schwarzes Loch. Beobachtungen lassen vermuten, dass die prompte γ -Strahlung durch Umwandlung der kinetischen Energie des ultra-relativistischen Materieausflusses in internen Schockwellen entsteht, im sog. **Feuerball** [1]. Als Emissionsmechanismus werden sowohl **Synchrotron**- als auch **Inverse Compton Emission** von Fermi-beschleunigten Elektronen vermutet.

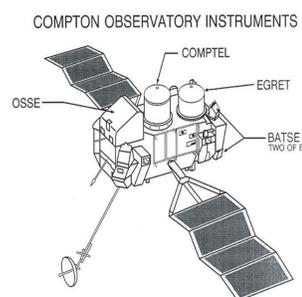
Neutrino-Detektion mit ANTARES



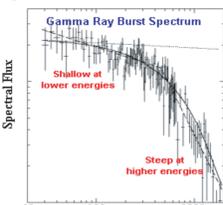
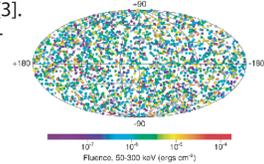
Das ANTARES Neutrino-Teleskop [2] wird derzeit im Mittelmeer, 40 km vor der südfranzösischen Küste, aufgebaut. In 2400 m Wassertiefe wird es, abgeschirmt von anderen Störquellen, **hochenergetische kosmische Neutrinos** detektieren, und damit ihre kosmischen Beschleuniger identifizieren. Die Neutrinodetektion erfolgt über die **Rekonstruktion des Cerenkov-Kegels**, das die bei der Wechselwirkung entstehenden geladenen Sekundärteilchen im Wasser erzeugen.



GRB-Detektion mit Satelliten

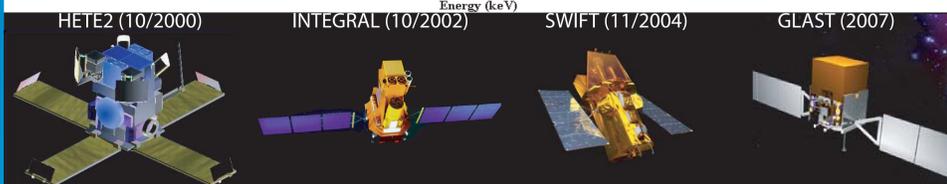


Mit dem bislang erfolgreichsten Satellitenexperiment zum Studium der GRBs, dem **BATSE** auf dem *Compton Gamma-Ray Observatory*, konnten in den Jahren 1991 - 2000 insgesamt **2704 Bursts** beobachtet werden [3]. Die dabei festgestellte streng isotrope Verteilung am Himmel machte deutlich, dass die Bursts kosmologische Rotverschiebungen haben müssen.



Die gemessenen γ -Flussspektren der GRBs lassen sich allesamt als Potenzgesetz parametrisieren unter der Annahme einer Knickstelle, an der sich der Spektralkoeffizient ändert [4].

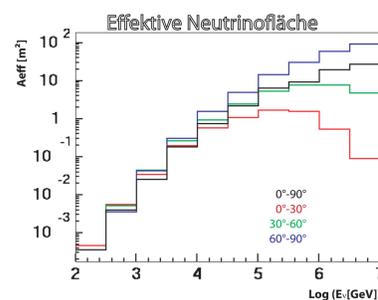
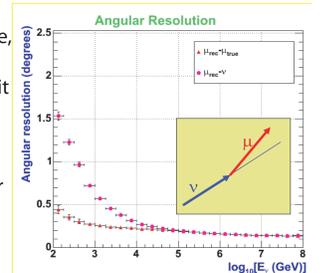
Heutige Satelliten detektieren die GRBs mit einer Winkelauflösung von unter 20 arcmin.



Parameter des ANTARES Teleskops

Wichtige Parameter für die Detektion von Neutrinos aus GRBs und anderen Punktquellen sind die Winkelauflösung und die effektive Fläche des Teleskops:

- Die **Winkelauflösung** verbessert sich mit zunehmender Energie, da sowohl die Richtung des Myons besser rekonstruiert werden kann, als auch das Myon aufgrund des hohen Lorentz-Faktors mit paralleler Flugbahn zum einfallenden Neutrino erzeugt wird. Im für die GRB-Neutrinos relevanten Energiebereich beträgt die Auflösung des ANTARES Teleskops **< 0.3°**.
- Mit Hilfe der **effektiven Neutrinofläche** lässt sich ein gegebener Neutrino flux direkt in die erwartete Ereignisrate im Detektor umrechnen. Sie stellt die Fläche dar, die von den Neutrinos beim Eintritt in die Erde gesehen wird.



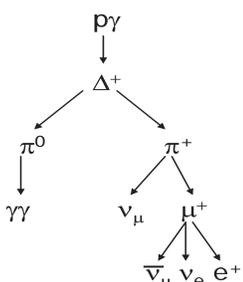
$$N_\nu = V_{eff}^\nu(E_\nu, \theta_\nu, \phi_\nu) \rho N_A \sigma(E_\nu) P_{Earth}(E_\nu, \theta_\nu) \frac{d\Phi_\nu}{dE_\nu d\Omega_\nu}$$

$$A_{eff}^\nu = V_{gen} \frac{N_{reco}(E_\nu, \theta_\nu, \phi_\nu)}{N_{gen}(E_\nu, \theta_\nu, \phi_\nu)} \rho N_A \sigma(E_\nu) P_{Earth}(E_\nu, \theta_\nu)$$

Bei hohen Energien ist sie zunehmend zenithwinkelabhängig, da die Wahrscheinlichkeit einer ν -Interaktion im Erdinnern für vertikale Richtungen zunimmt.

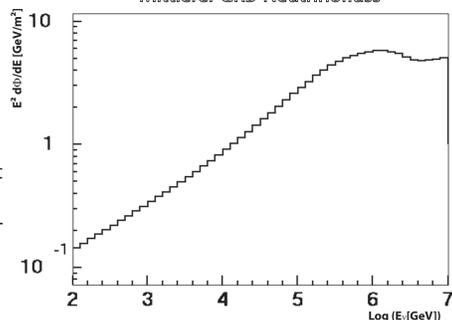
Neutrino Flüsse aus GRBs

Modellannahmen zur Neutrino flux-Berechnung [5]:



- Neutrino-Produktion über **Photomeson-Wechselwirkungen von Protonen mit GRB-Photonen** in internen Schockwellen
- Photonen-Spektrum** des gemessenen GRB wird durch Band-Fit parametrisiert.
- Protonen-Spektrum** durch die Annahme der Schock-Beschleunigung festgelegt.

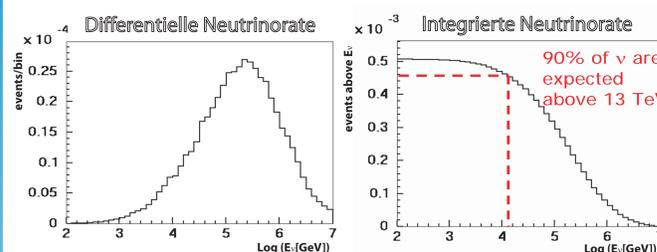
Mittlerer GRB-Neutrino flux



Es wurden insgesamt **793 individuelle von BATSE detektierte GRBs** analysiert und deren Neutrino Flüsse gemäß dem Standard-Feuerballmodell mit internen Schockwellen berechnet. Der resultierende **mittlere GRB-Neutrino flux** ist rechts dargestellt. Skaliert man diesen Fluss mit der Anzahl der pro Jahr voraussichtlich detektierten Bursts, kann man so unter Zuhilfenahme der effektiven Detektorfläche die erwartete Anzahl der Neutrinos berechnen.

Nachweis der GRB-Neutrinos mit ANTARES

Unter Verwendung der BATSE GRBs als Vorlage zur Bestimmung des mittleren Neutrino fluxes pro GRB, kann die erwartete Ereignisrate an GRB-Neutrinos in ANTARES vorhergesagt werden.



Unter der Annahme, dass ANTARES innerhalb eines Jahres ca. **1000 Bursts in 4π steradian** beobachten könnte, müssten in der Summe ca. **0.5 Neutrinos** gesehen werden.

Unter Ausnutzung der Richtungs- und Zeitinformation - wie in diesem Fall durch den BATSE Katalog bekannt - kann die Einschränkung des Suchkegels und des Zeitfensters zu einer massiven Unterdrückung der atmosphärischen Neutrinos führen, so dass die GRB- ν -Detektion im Wesentlichen untergrundfrei ist. So wird jedes einzelne detektierte Neutrino in Koizidenz mit dem zugehörigen Winkel- und Zeitfenster signifikant!

Literaturnachweis

- [1] E. Waxman, J. Bahcall, PRL 78 (1997), 2292
- [2] <http://antares.in2p3.fr>
- [3] <http://f64.nsstc.nasa.gov/batse/grb/catalog>
- [4] D. Band, et al., ApJ 413 (1993), 281
- [5] D. Guetta, et al., AP 20 (2004), 429