

## München (Garching)

Technische Universität München, Physik-Department E15  
Lehrstuhl für Experimentalphysik und Astro-Teilchenphysik

James-Franck-Straße, 85748 Garching  
Tel.: (0 89) 289-12511, Fax: (0 89) 289-12680  
E-Mail: [franz.vfeilitzsch@ph.tum.de](mailto:franz.vfeilitzsch@ph.tum.de)  
WWW: <http://www.e15.physik.tu-muenchen.de>

### 0 Allgemeines

Der hier vorgelegte Bericht für das Jahr 2006 beschreibt vor allem die Arbeiten im SFB 375: ASTRO-TEILCHENPHYSIK, soweit sie den Lehrstuhl betreffen. Der Lehrstuhlinhaber ist Initiator und Sprecher dieses SFB.

Die Forschungsarbeiten konzentrierten sich auf zwei Schwerpunkte: Low-Energy Neutrino Astronomy mit den Experimenten BOREXINO und LENA, und die Suche nach Dunkler Materie mit dem Experiment CRESST.

Nach Fertigstellung des BOREXINO-Detektors im Jahr 2005 wurde im Sommer 2006 begonnen, die BOREXINO-Tanks mit Wasser bzw. Pseudocumol zu füllen. Für den LENA-Detektor wurde eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt, welche zeigen, dass dieser Detektor in hervorragender Weise zur Klärung folgender Fragestellungen beitragen kann: solare Neutrinospektroskopie, Nachweis von Supernovaneutrinos, Nachweis des diffusen Supernovaneutrino-Untergrunds, Nachweis von Geoneutrinos, Suche nach dem Protonzerfall.

Das Ziel des Experiments CRESST ist die Suche nach schwach wechselwirkenden schweren Teilchen (Weakly Interacting Massive Particles, WIMPs) als Kandidaten für die Dunkle Materie. Die verwendeten Detektoren auf der Basis von  $\text{CaWO}_4$ -Einkristallen ermöglichen die gleichzeitige Messung des Phononensignals und des bei einer Wechselwirkung ebenfalls erzeugten Szintillationslichts. Dadurch ist eine sehr effektive Unterscheidung zwischen ionisierender Untergrundstrahlung und den eigentlich interessierenden und möglicherweise von WIMPs erzeugten Kernrückstoß-Ereignissen gewährleistet. Die Umbau- bzw. Erweiterungsphase des CRESST-Experiments, in der die Masse des  $\text{CaWO}_4$ -Detektormaterials von 0.3kg auf insgesamt 10kg erhöht wird, ist gut vorangekommen. Im Herbst 2006 waren 5 Detektoren mit insgesamt 1.5kg Targetmasse, eine Neutronenabschirmung aus Polyäthylen sowie ein Myonveto installiert. Mit ersten Testmessungen bei  $\sim 7\text{mK}$  wurden im November 2006 begonnen.

## 1 Personal und Ausstattung

### 1.1 Personalstand

*Direktoren und Professoren:*

Prof. Dr. Franz v. Feilitzsch [-12511], Prof. Dr. Lothar Oberauer [-12509].

*Wissenschaftliche Mitarbeiter:*

Dr. Walter Potzel [-12508], Dr. Marianne Göger-Neff [-12432], Dr. Gunther Korschinek [-14257], Dr. Jean Lanfranchi [-12525], Dr. Wolfgang Rau [-12516], Dr. Loredana Gastaldo, Dr. Mikhail Poutivtsev [-14257], Dr. Georg Rugel [-14257].

*Doktoranden:*

Paulo Afonso, MA [-12516], Dipl.-Phys. Davide D'Angelo [-12328], Dipl.-Phys. Christian Ciemiak, Dipl.-Phys. Chiara Coppi [-12504], Dipl.-Phys. Christian Isaila [-12504], Dipl.-Phys. Teresa Marrodán-Undagoitia [-12328], Dipl.-Phys. Sebastian Pfister [-12525]. Dipl.-Phys. Wolfgang Westphal [-12504], Dipl.-Phys. Michael Wurm [-12328].

*Diplomanden:*

Achim Gütlein [-12524], Martin Hofmann [-14416], Timo Lewke [-12328], Patrick Pfahler [-14416], Sabine Roth [-12525], Jürgen Winter [-12328].

*Sekretariat und Verwaltung:*

Lehrstuhl E15: Beatrice van Bellen [-12522]  
SFB 375 and TR 27: Alexandra Földner [-12503].

*Technisches Personal:*

Ursel Heim [-14282], Harald Hess [-12494], Norbert Gärtner [-14289], Thomas Richter [-12521], Erich Seitz [12521].

### 1.2 Personelle Veränderungen

*Ausgeschieden:*

Dr. Davide D'Angelo, INFN and Università di Milano, Italien; Dr. Loredana Gastaldo, Kirchhoff-Institut für Physik, Heidelberg; Dr. Klaus Knie, Universität Wien; Astrid Meier, Universität Stuttgart; Dr. Wolfgang Rau, Assistant Professor, Queen's University Kingston, CDN.

## 2 Lehrtätigkeit, Prüfungen und Gremientätigkeit

### 2.1 Lehrtätigkeiten

Die Lehrtätigkeit (Kurs- und Spezial-Vorlesungen sowie Seminare) wird im universitätsüblichen Rahmen durchgeführt.

Im Rahmen des SFB 375 werden regelmäßig Seminare und Vorlesungen koordiniert und zum Teil auch gemeinsam abgehalten. Der SFB ist zusätzlich an Schwerpunktprogrammen und Europäischen Netzwerken zur Förderung des Austausches junger Wissenschaftler beteiligt.

### 2.2 Prüfungen

Die Prüfungen im Vor- und Hauptdiplom (schriftlich und mündlich) werden den Vorlesungen entsprechend zentral geplant.

### 2.3 Gremientätigkeit

Prof. Dr. Franz von Feilitzsch:

Initiator und Sprecher des SFB 375 – Astro-Teilchenphysik, an dem zwei Max-Planck-Institute sowie die Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU) beteiligt sind; Mitglied des TU-Forschungskollegiums des gemeinsam mit der LMU betriebenen Beschleunigerlabors (Maier-Leibnitz-Labor); Vorsitzender des Governing Council des EU-Netzwerks ILIAS (Integrated Large Infrastructure for Astroparticle Science); Mitglied verschiedener Research Areas des Exzellenz-Clusters für Grundlagen-Physik 'Origin and Structure of the Universe'; Mitglied im EU-network 'Applied Cryodetectors'; Mitglied im Peer Review Committee der ApPEC (Astroparticle Physics - European Coordination); Mitglied im KAT (Komitee für Astro-Teilchenphysik) - Wahl zum Vertreter der Niederenergie-Astrophysik in Deutschland; Mitglied des Rates Deutscher Sternwarten; Mitglied des Gutachterausschusses Helmholtz-Preis.

Prof. Dr. Lothar Oberauer:

Studiendekan des Physik-Departments der TUM; Mitglied des Executive Committee des internationalen BOREXINO-Experiments am Gran-Sasso-Untergundlabor in Italien; Mitglied des Steering Committees der IMPRS on Astrophysics; Scientific advisor of the ISAPP (Int. School on Astroparticle Physics); stellv. Koordinator für Research Area F 'Black Holes' - in Origin and Structure of the Universe - The Cluster of Excellence for Fundamental Physics; Mitglied verschiedener anderer Research Areas dieses Clusters.

## 3 Wissenschaftliche Arbeiten

### 3.1 Low-Energy Neutrino Astronomy – BOREXINO, LENA

Teilprojektleiter: L. Oberauer, Stellvertreter: W. Potzel

Gruppenmitglieder: D. D'Angelo, F. v. Feilitzsch, M. Göger-Neff, M. Hofmann, G. Korschi- nek, J. Lanfranchi, T. Lewke, T. Marrodán Undagoitia, P. Pfahler, J. Winter, M. Wurm.

#### *BOREXINO*

Der BOREXINO-Detektor befindet sich im italienischen Gran Sasso Untergundlabor. Das Hauptziel von BOREXINO ist die Spektroskopie solarer Neutrinos bei niedrigen Energien über die elastische Streuung an Elektronen. Insbesondere sollen zum ersten Mal die monoenergetischen  ${}^7\text{Be}$ -Neutrinos nachgewiesen werden. Gelingt es den Fluss an  ${}^7\text{Be}$ -Neutrinos mit 10% Genauigkeit zu vermessen, kann der pp-Neutrinofluss unter Berücksichtigung der solaren Luminosität und der Neutrino-Oszillationsparameter zu etwa 1% genau bestimmt werden. Da die theoretische Unsicherheit des pp-Flusses in der gleichen Größenordnung liegt, kann das Sonnenmodell mit bisher unerreichter Präzision getestet werden. Daneben sollen mit BOREXINO zumindest neue Obergrenzen für die solaren pep- und CNO-Neutrino Flüsse gefunden werden. Das KamLAND-Ergebnis wird durch die Messung des Flusses von Elektron-Antineutrinos aus europäischen Reaktoren getestet. Die Bestimmung der Neutrinos aus der Erde wird neue Erkenntnisse zu geophysikalischen Fragen erbringen. Im Falle einer galaktischen Supernova in 10kpc Abstand wird BOREXINO etwa 80 Neutrinoereignisse registrieren.

#### *Status des Experiments*

Ein transparenter Nylonballon wird das Target, nämlich 300t Flüssigszintillator, beinhalten. Das Szintillationslicht wird von 2200 Photomultiplier (PM) registriert. Diese sind an der Innenseite einer Stahlkugel mit 14m Durchmesser befestigt. Der Zwischenraum zum Nylonballon wird durch eine transparente, nicht szintillierende Flüssigkeit (der so genannte Buffer) aufgefüllt. Ein weiterer Nylonballon soll die Konvektion von Radon verhindern. Die Stahlkugel befindet sich in einem weiteren Stahldom mit 18m Höhe und Durchmesser. Er wird mit reinem Wasser gefüllt und dient als Cherenkovdetektor, um von außen eindringende Myonen zu registrieren. Dazu wurden 205 PMs auf dem Boden des Stahldoms und an der Außenwand der Stahlkugel positioniert.

In 2006 wurden alle Volumina innerhalb der Stahlkugel mit Reinstwasser gefüllt. Im Dezember wurde begonnen, von oben mit Szintillator- und Buffer-Flüssigkeit zu füllen. Das dabei verdrängte Wasser wird über einen Filter in den Cherenkovdetektor geleitet. Es wird erwartet, dass diese Füllaktion bis Anfang Mai 2007 abgeschlossen ist, so dass ab diesem Zeitpunkt Daten genommen werden können.

#### *Daten aus der CTF, BOREXINO und eigene Arbeiten*

Daten der Testapparatur 'Counting Test Facility' (CTF) von BOREXINO wurden auch über das gesamte Jahr 2006 ausgewertet. Dabei wurde nach Elektron-Antineutrinos mit der Reaktion  $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^- + n$  gesucht. Innerhalb einer gesamten Messzeit von 3 Jahren wurde ein Ereignis als Neutrino kandidat mit einer Energie von 4 MeV gefunden. Dies erlaubte es, neue Grenzen für die Konversion von solaren Elektron- in Antineutrinos aufzustellen. Im Energiebereich von 1.8 MeV (Schwellenenergie der obigen Reaktion) bis 8 MeV konnten die weltweit bisher besten Limits gefunden werden. Oberhalb von 8 MeV liefert das KamLAND-Experiment die besten Grenzen.

Für den Nachweis der pep- und CNO-Neutrinos spielt der kosmogen erzeugte in-situ Untergrund von  $^{11}\text{C}$  Zerfällen eine sehr wichtige Rolle. Mit der CTF konnten dieser Untergrund nun eindeutig identifiziert und Strategien zur Separation von echten Neutrinoereignissen erprobt werden.

Ende August 2006 und noch einmal Mitte Oktober wurden zum ersten Mal Neutrinos vom CERN zum Gran-Sasso-Untergrundlabor geschossen. Zu diesen Zeitpunkten war der BOREXINO-Detektor nur teilweise mit Wasser gefüllt. Trotzdem wurden mit Hilfe der Zeitinformation des gepulsten Strahls eindeutig Neutrinos über die Cherenkovstrahlung nachgewiesen. Damit konnte gezeigt werden, dass die gesamte Datenerfassung einwandfrei funktioniert.

In 2006 wurde eine Doktorarbeit abgeschlossen, die sich mit dem Aufbau und Test der Elektronik für das Myonveto von BOREXINO beschäftigte. Herr Dr. D'Angelo hat zudem wichtige Arbeiten zur Interpretation der CTF Daten (s. oben) geleistet.

#### *LENA, Low-Energy Neutrino Astronomy*

An der TU München werden das wissenschaftliche Potenzial und die technische Realisierbarkeit eines ca. 50 kt großen Szintillationsdetektors (genannt LENA-Detektor) untersucht. Folgende Fragestellungen sind von größter Bedeutung:

- a) Solare Neutrinospektroskopie
- b) Nachweis von Neutrinos, die bei einer Supernovaexplosion (im Zentrum der Milchstraße) entstehen
- c) Nachweis des sog. diffusen Supernova-Neutrino untergrunds, der durch Neutrinos hervorgerufen wird, die aus Supernovaexplosionen seit Bestehen des Universums entstanden sind
- d) Nachweis von Elektron-Antineutrinos aus dem Inneren der Erde, sog. Geoneutrinos, die beim radioaktiven Zerfall bei den Zerfallsketten von  $^{238}\text{U}$  und  $^{232}\text{Th}$  entstehen
- e) Suche nach dem Zerfall des Protons

Der LENA-Detektor soll als doppelwandiger Zylinder mit einem Durchmesser von 30 m und einer Länge von ca. 100 m aufgebaut werden. Der innere Bereich mit 13m Radius wird mit ca. 50 kt Flüssigszintillator gefüllt, während der äußere Bereich Wasser enthalten wird, das zur Abschirmung äußerer radioaktiver Strahlung und gleichzeitig als Myonveto verwendet wird. Annähernd 12 000 Photomultiplier mit einem Durchmesser von jeweils 50 cm werden das Licht nachweisen, das vom Szintillator bei einer Teilchenwechselwirkung erzeugt wird. Der Szintillator besteht aus PXE (phenyl-o-xylylethane,  $\text{C}_{16}\text{H}_{18}$ ), in welchem  $\sim 2$  g/l pTp und 20 mg/l bis-MSB, die als Fluor und Wellenlängenschieber fungieren, gelöst sind. Bei einer Abschwächlänge von 12 m wird eine Photoelektroneneffizienz von ca. 120 pe/MeV erwartet. Der Detektor ist für eine Schwelle von 250 keV (entspricht 30 Photoelektronen) geplant und sollte in einem Untergrundlaboratorium mit mehr als 4000

m.w.e. aufgebaut werden, um den Myonenuntergrund genügend zu unterdrücken. In Europa werden zwei Untergrundlaboratorien favorisiert: CUPP (Center of Underground Physics in Pyhäsalmi) in Finnland und das Deep-sea Nestor-Laboratorium in Pylos, Griechenland. Beide Laboratorien sind durch eine Abschirmung von  $\sim 4000$  m.w.e. ausgezeichnet und sind auch weit genug weg von nuklearen Leistungsreaktoren, die zum Elektron-Antineutrino-Untergrund bei den Messungen des diffusen Supernova-Neutrino-Untergrunds den größten Beitrag liefern.

a) Der LENA-Detektor wird solare  ${}^7\text{Be}$ -Neutrinos über Neutrino-Elektron-Streuung mit einer Rate von  $\sim 5400$  Ereignissen pro Tag nachweisen können. Dadurch sollte es möglich sein, zur Helioseismologie komplementäre Information, z.B. bzgl. Druck- und Temperaturschwankungen, sowie hinsichtlich magnetischer Wechselwirkungen in einem zeitlich veränderlichen solaren Magnetfeld, zu erhalten. Solare Neutrinos aus der pep-Reaktion werden mit einer Rate von  $\sim 210$  Ereignissen pro Tag erwartet. Da der Zusammenhang zwischen pep- und pp-Fusion theoretisch sehr gut verstanden ist, kann über die pep-Reaktion auch der weitaus dominante solare pp-Neutrinofluss unabhängig von allen bisherigen Messungen neu bestimmt werden. Der solare Neutrinofluss aus dem CNO-Zyklus ist theoretisch und experimentell nur sehr ungenau bekannt. Der LENA-Detektor könnte zu einer Bestimmung der CNO-Neutrinorate wesentlich beitragen. Auch bei der Untersuchung des Materieeffekts (MSW-Effekt) kann LENA eine herausragende Rolle spielen. Da der Übergang von Vakuumoszillationen zu Materie-induzierten Oszillationen im Energiebereich zwischen 1 und 2 MeV erwartet wird, sind hierfür die Neutrinos aus den pep- und  ${}^7\text{Be}$ -Reaktionen besonders gut geeignet.

b) Mit dem LENA-Detektor wird es möglich sein, über folgende Reaktionen den Gravitationskollaps einer galaktischen Supernova des Typs IIa im Detail zu verfolgen:

- 1)  $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$  ( $Q = 1.8$  MeV)
- 2)  $\bar{\nu}_e + {}^{12}\text{C} \rightarrow e^+ + {}^{12}\text{B}$  ( $Q = 17.3$  MeV)
- 3)  $\nu_e + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{12}\text{N} + e^-$  ( $Q = 13.4$  MeV)
- 4)  $\nu_x + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{12}\text{C}^* + \nu_x$  mit  ${}^{12}\text{C}^* \rightarrow {}^{12}\text{C} + \gamma$  ( $E_\gamma = 15.1$  MeV)
- 5)  $\nu_x + e^- \rightarrow \nu_x + e^-$  (elastic scattering)
- 6)  $\nu_x + p \rightarrow \nu_x + p$  (elastic scattering).

Dabei kann sehr genau über den inversen Betazerfall (Reaktion 1) der spektrale Fluss von Elektron-Antineutrinos zeitaufgelöst gemessen werden. Bei einer Supernova von 8 Sonnenmassen im Zentrum der Milchstraße werden bei Reaktion 1 eine Rate von ca. 8700, bei Reaktion 2 von ca. 500 Ereignissen erwartet. Der Fluss an Elektronneutrinos ist mit Reaktion 3 zu messen (85 Ereignisse) und über die neutrale Stromwechselwirkung von Reaktion 4 (ca. 2900 Ereignisse) kann der Gesamtfluss der Supernovaneutrinos ermittelt werden. Über die Streureaktionen 5 (ca. 610 Ereignisse) und 6 (ca. 7400 Ereignisse) wird das Energiespektrum aller Neutrino flavors gemessen. Durch eine zeit-aufgelöste Messung sollte es möglich sein, verschiedene Modelle zum Gravitationskollaps zu unterscheiden. Läuft die Front der Supernovaneutrinos wenigstens teilweise durch die Erde, kann man wegen der hohen Statistik und der guten Energieauflösung (im Gegensatz zu einem Cherenkovdetektor) im Spektrum der Elektron-Antineutrinos Oszillationsmuster erkennen, die abhängig sind vom bisher unbekanntem Mischungswinkel  $\Theta_{13}$  und der ebenfalls unbekanntem Hierarchie der Masseneigenzustände der Neutrinos. Mittels dieses Effekts könnte man also auch neue Erkenntnisse über intrinsische Neutrinoparameter gewinnen.

c) In einem großen Szintillationsdetektor wie LENA können diffuse Supernova-Neutrinos (DSN) in einem nahezu untergrundfreien Energiefenster zwischen  $\sim 10$  und  $25$  MeV nachgewiesen werden. Dazu wird der inverse Betazerfall als Nachweisreaktion verwendet. Eine hohe Unterdrückung von Untergrundeignissen wird durch den Nachweis des bei der Reaktion entstehenden Neutrons erreicht. Oberhalb von  $\sim 10$  MeV ist der Beitrag der Reaktor-neutrinos i. Vgl. zum DSN-Fluss vernachlässigbar klein. Oberhalb von  $\sim 25$  MeV dominiert

jedoch der Fluss atmosphärischer Elektron-Antineutrinos. An unserem Institut durchgeführte Rechnungen zeigen, dass für den LENA-Detektor im CUPP-Laboratorium (Pyhäsalmi, Finnland) - abhängig von der Supernova-Rate - zwischen 6 und 13 DSN-Ereignissen pro Jahr im oben genannten Energiefenster zu erwarten sind, wobei  $\sim 25\%$  dieser DSN-Ereignisse dem Rotverschiebungsbereich zwischen  $1 \leq z \leq 2$  zuzuordnen sind. Falls bei einer Messzeit von 10 Jahren kein Signal beobachtet wird, kann eine untere Grenze von  $0.13 \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  für den DSN-Fluss oberhalb von 19.3 MeV erreicht werden, was einer Verbesserung von etwa einem Faktor 9 gegenüber dem Limit des Super-Kamiokande-Detektors entspricht. Die beim LENA-Detektor im Energiebereich zwischen 10.5 und 19.3 MeV erreichbare untere Grenze von  $0.3 \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  liegt etwa um den Faktor 5 unterhalb der Rate, die gegenwärtige Modelle vorhersagen. LENA wird deshalb nicht nur die Möglichkeit bieten, DSN zum ersten Mal nachzuweisen, sondern auch in der Lage sein, verschiedene Modelle für Core-Collapse-Supernovae zu testen und Aussagen zur  $z$ -Abhängigkeit der Supernovarate zu treffen.

d) Um den Nachweis von Elektron-Antineutrinos aus dem Erdinneren mit dem LENA-Detektor zu untersuchen, wurden an unserem Institut Monte-Carlo-Simulationen durchgeführt. Es zeigte sich, dass der Geoneutrinofluss mit hoher Signifikanz nachgewiesen werden kann. Im CUPP-Laboratorium (Finnland) können im LENA-Detektor  $\sim 1000$  Ereignisse pro Jahr erwartet werden. Das ermöglicht Vorhersagen verschiedener geophysikalischer Modelle für den Gesamtfluss an Geoneutrinos und zum Neutrinospektrum zu überprüfen. Die Rechnungen zeigen weiterhin, dass ein hypothetischer Georeaktor im Erdkern von 2 TW Leistung nach einer Messzeit von bereits einem Jahr mit einer statistischen Signifikanz von  $3\sigma$  identifiziert werden könnte. Auch eine Abweichung von einem isotropen Fluss könnte nachgewiesen werden. Allerdings reicht selbst ein 50kt Detektor wie LENA nicht aus, um die Vorhersagen verschiedener geophysikalischer Modelle bzgl. der Richtungsabhängigkeit des Geoneutrinoflusses mit hoher Empfindlichkeit zu testen. Die mit dem LENA-Detektor erhaltene Information liegt hauptsächlich im gesamten Neutrinofluss und seines Spektrums.

e) Der LENA-Detektor erreicht eine einzigartige Empfindlichkeit hinsichtlich des Protonzerfallskanals  $p \rightarrow K^+ \bar{\nu}$ . Die hohe Empfindlichkeit wird durch die gute Energieauflösung des Szintillators ermöglicht, die wiederum auf einem im Vergleich zu einem Wasser-Cherenkovdetektor etwa 50 mal größeren Lichtsignal (bei Energien unterhalb von 1 GeV) beruht. Der oben erwähnte Zerfallsmodus wird von zahlreichen Supersymmetrischen Theorien favorisiert, wobei eine Protonlebensdauer  $\tau$  kleiner als  $10^{35}$  y vorhergesagt wird. Die bisherige experimentelle Grenze dieses Zerfallskanals von  $\tau > 2.3 \cdot 10^{33}$  y wurde im Super-Kamiokande-Experiment erreicht. Monte-Carlo-Rechnungen, die an unserem Institut für den LENA-Detektor durchgeführt wurden, zeigen, dass für diesen Zerfallsmodus bei zehnjähriger Messzeit eine untere Grenze von  $\tau > 4 \cdot 10^{34}$  y mit 90% C.L. erreicht werden kann.

### 3.2 Suche nach Dunkler Materie mit CRESST und EURECA

Teilprojektleiter: W. Rau, Stellvertreter: F. Pröbst

Gruppenmitglieder: P. Afonso, C. Ciemniak, C. Coppi, F. von Feilitzsch, A. Gütlein, C. Isaila, J. Lanfranchi, S. Pfister, W. Potzel, S. Roth, W. Westphal.

#### Einleitung

Durch eine beeindruckende Reihe von Messungen (u.a. Gravitationslinsen, Rotationskurven von Galaxien, kosmische Hintergrundstrahlung) wurde bestätigt, dass weniger als 1 % der gesamten Masse-Energiedichte des Universums in leuchtender Form vorliegt. Nur etwa 4 % sind normale (baryonische) Materie. Insgesamt macht Materie jedoch ca. 30 % aus, d. h. ca. 26 % der gesamten Materiedichte wird durch nicht-baryonische Dunkle Materie gebildet. Der weitaus größte Teil (70 %) der gesamten Masse-Energiedichte des Universums werden der sogenannten Dunklen Energie zugeschrieben.

Es wird erwartet, dass es eine weitere Klasse von bislang unbeobachteten Teilchen gibt, die als nicht-baryonische Materie den dominanten Beitrag zur Dunklen Materie liefert. Aus-

sichtsreiche Kandidaten für diese nicht-baryonische Materie sind schwach wechselwirkende, schwere Teilchen oder *Weakly Interacting Massive Particles* (WIMPs). In der Tat erfordern die aus rein theoretischen Erwägungen eingeführten Supersymmetrischen Theorien eine erhebliche Erweiterung des Teilchenrepertoires. Es wird vermutet, dass das leichteste dieser Teilchen stabil und neutral und damit ein idealer Kandidat für die Dunkle Materie ist.

#### *Das CRESST-Experiment*

Eine vielversprechende Möglichkeit zum direkten Nachweis von WIMPs ergibt sich durch Streuung von WIMPs an Atomkernen. Für eine kohärente Wechselwirkung wird ein starker Anstieg des Wechselwirkungsquerschnitts mit der Zahl der Nukleonen im Atomkern erwartet, weshalb sich schwere Kerne besonders gut zum Nachweis eignen.

Das Hauptproblem bei Experimenten zur direkten Suche nach WIMPs ist die geringe Ereignisrate. Vermeidung und Diskriminierung von Untergrund durch kosmische Strahlung oder Radioaktivität aus der Umgebung oder auch aus Detektormaterialien ist also eine zentrale Voraussetzung für eine Beobachtung von WIMPs.

CRESST (*Cryogenic Rare Event Search with Superconducting Thermometers*) ist ein Experiment zur direkten Suche nach WIMPs. Um die geringen bei einer WIMP-Wechselwirkung umgesetzten Energiemengen messen zu können, setzt CRESST Tieftemperaturdetektoren ein, bei denen die Energiedeposition über ein thermisches Signal bestimmt wird. Als Target werden szintillierende  $\text{CaWO}_4$ -Kristalle verwendet. Die Ausbeute an Szintillationslicht hängt von der Art der Teilchenwechselwirkung ab: bei Kernrückstößen, wie sie von WIMPs oder Neutronen hervorgerufen werden, wird ein sehr viel geringerer Teil der Energie in Licht umgesetzt, als bei Elektronrückstößen, wie sie durch sonstige radioaktive Strahlung erzeugt werden. Zusammen mit einer guten Abschirmung gegen kosmische Strahlung (das Experiment steht im Gran Sasso-Untergrundlabor mit ca. 3600 m Wasseräquivalent Abschirmung) und Gamma-Strahlung (ca. 30 t Blei und Kupfer) kann so der Untergrund durch Elektronrückstöße oberhalb etwa 12 keV vollständig beseitigt werden.

#### *Durch Neutronen hervorgerufene Untergründereignisse*

Aufgrund der Zusammensetzung der CRESST-Detektoren aus Atomen mit sehr unterschiedlicher Masse besteht grundsätzlich auch die Möglichkeit, Untergrund von Neutronenereignissen zu diskriminieren: wie bereits erwähnt, wechselwirken WIMPs bevorzugt mit schweren Kernen (Wolfram des  $\text{CaWO}_4$ -Kristalls) während das Signal von Neutronen von Rückstößen leichter Kerne (Sauerstoff) dominiert wird. Am Tandem-Beschleuniger des Maier-Leibnitz-Labors wurde ein Neutronenstreuexperiment mit einem monoenergetischen gepulsten Neutronenstrahl aufgebaut. Messungen bei Zimmertemperatur zeigen eine deutliche Abhängigkeit der Lichtausbeute von der Kernmasse, sodass Wolfram- und Sauerstoffrückstöße zumindest teilweise unterschieden werden können. Erste Messungen mit einer Standard-Neutronenquelle (Am-Be) deuten darauf hin, dass sich die Lichtausbeute auch bei tiefen Temperaturen unterscheidet. Eine Aufgabe der CRESST-Gruppe an der TU-München ist es, entsprechende Messungen auch bei tiefen Temperaturen durchzuführen.

Dazu wurde am Tandem-Beschleuniger ein  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$ -Entmischungskryostat mit hoher Kühlleistung aufgebaut. Nach Optimierung der mechanischen Aufhängung konnten Vibrationen weitgehend unterdrückt werden, sodass eine Temperatur von  $\leq 10\text{mK}$  erreicht wurde. Der Messaufbau an der Mischkammer wird mit bis zu 4 SQUID-Auslesekanälen bestückt werden, um die bei Neutronenstreuexperimenten im  $\text{CaWO}_4$ -Einkristall deponierte Energie in Form eines Phononen- und eines Lichtsignals auslesen zu können. Auf diese Weise sollte es dann möglich sein, Wolfram-, Kalzium- und Sauerstoffrückstöße bei ähnlich tiefen Temperaturen zu unterscheiden, bei denen auch die CRESST-Messungen im Gran Sasso-Labor durchgeführt werden.

#### *Erweiterung des CRESST-Experiments, zukünftige Projekte*

Bisherige CRESST-Messungen haben demonstriert, dass mit der Technik der gleichzeitigen Messung des Szintillationslichts und des thermischen Signals ein empfindliches Experiment zur Suche nach Dunkler Materie möglich ist. Mit etwa 10 kg-Tagen an Messergebnissen konnte eine Empfindlichkeit von  $1.6 \times 10^{-6}$  pb für den spin-unabhängigen WIMP-Nukleon-Wirkungsquerschnitt bei einer WIMP-Masse von ca. 70 GeV/ $c^2$  erreicht werden. Die Messungen wurden ohne Neutronenabschirmung durchgeführt, so dass die Empfindlichkeit erwartungsgemäß durch Neutronen begrenzt war. Bei Messungen im Jahr 2005 wurde gezeigt, dass die unterschiedliche Lichtausbeute der verschiedenen Kerne für eine Diskriminierung des Neutronensignals genutzt werden kann.

Im Jahr 2006 wurde der experimentelle Aufbau beträchtlich erweitert, um die Empfindlichkeit von CRESST weiter zu verbessern. Dazu wurde der gesamte Messaufbau mit einem Neutronenmoderator aus etwa 50 cm Polyäthylen umgeben. Außerdem wurde zur Identifikation von myoneninduzierten Untergründereignissen ein Myonveto-Detektor installiert. Die Targetmasse wurde auf  $\sim 1.5$  kg erhöht und mit 10 Phonon- und Lichtdetektoren ausgestattet. Insgesamt wurden 66 neue Auslesekanäle installiert, was eine Vergrößerung der Targetmasse auf etwa 10 kg erlaubt. Um alle CaWO<sub>4</sub>-Detektoren während des Betriebs unabhängig voneinander überprüfen zu können, wurde eine mit Pressluft betriebene Vorrichtung eingebaut, die es ermöglicht,  $\gamma$ -Eichquellen in der Nähe jedes einzelnen CaWO<sub>4</sub>-Detektors zu positionieren. Erste Tests haben gezeigt, dass der Kryostat auch nach den Umbauten noch seine Spezifikationen erfüllt. Ein neues Datenaufnahmesystem und neue Datenanalysesoftware für die größere Zahl an Kanälen stehen zur Verfügung. Ende des Jahres 2006 wurden CRESST-Messungen mit dem erweiterten Aufbau begonnen.

Mit dem erweiterten Aufbau soll CRESST eine Empfindlichkeit von etwa  $10^{-8}$  pb erreichen. Damit können bereits zentrale Bereiche der Vorhersage der Supersymmetrie getestet werden. Jedoch liegt der theoretisch favorisierte Bereich bei Wirkungsquerschnitten von  $10^{-8} - 10^{-10}$  pb. Um diesen Bereich ausschöpfen zu können, sind wesentlich größere Targetmassen (zwischen einigen 100 und etwa 1000 kg) notwendig. Daher wird innerhalb Europas ein neues Projekt unter dem Namen EURECA (*European Underground Rare Event Calorimeter Array*) vorgeschlagen, in dem die europäische Expertise für die Suche nach Dunkler Materie mit Tieftemperaturdetektoren gebündelt ist. Ein wesentliches Ziel von EURECA ist die Verwendung von mehreren unterschiedlichen Targetmaterialien zur eindeutigen Identifikation der WIMPs. Die Kerngruppe wird von den an CRESST und EDELWEISS beteiligten Wissenschaftlern gebildet. Weitere Gruppen (z. B. vom CERN) sind jedoch bereits jetzt beteiligt oder haben den Wunsch zur Mitarbeit geäußert.

## 4 Diplomarbeiten, Dissertationen, Habilitationen

### 4.1 Diplomarbeiten

Hofmann, Emanuel: Supraleitende Filme als Detektorkomponenten in der Astro-Teilchenphysik.

Meier, Astrid: Messung von in situ produziertem <sup>53</sup>Mn mit Beschleunigermassenspektroskopie.

Pfahler, Patrick: Bestimmung der absoluten Lichtausbeute des Flüssigszintillators für die äußeren Detektorkomponenten des Neutrino-Experiments Double Chooz.

Pfister, Sebastian: Reproducible Production of Superconducting Tungsten Thin Films as Detector Components for the CRESST Experiment.

### 4.2 Dissertationen

D'Angelo, Davide: Toward the detection of low energy solar neutrinos in BOREXINO data readout, data reconstruction and background identification.

Hollerith, Christian: X-Ray Microanalysis with Transition Edge Sensors - The Future of Material Analysis with Scanning Electron Microscopes.



## 5 Auswärtige Tätigkeiten

### 5.1 Kooperationen

Das Institut ist Mitglied im EU-Network 'Applied Cryodetectors', des ILIAS-Projektes (Integrating Large Infrastructures for Astroparticle Sciences), des 'Virtuellen Institut für Dunkle Materie und Neutrinophysik (VIDMAN)' sowie der IMPRS on Astrophysics. Auf dem Gebiet der Neutrinophysik und Neutrinoastronomie ist das Institut an den internationalen Projekten DOUBLE-CHOOZ und LAGUNA (Large Apparatus for Grand Unification and Neutrino Astronomy) beteiligt.

Innerhalb des SFB 375 ergab sich eine Reihe von direkten Kooperationen einzelner Teilprojekte, deren Ergebnisse und Erfahrungen in die Projekte eingeflossen sind.

Viele der Forschungsarbeiten innerhalb des SFB 375 erfolgen im Rahmen internationaler Kooperationen, mithin ideale Voraussetzungen für sämtliche Mitarbeiter, internationale Kontakte zu knüpfen und zu entwickeln. Dies wiederum führt häufig nach der Promotion zu exzellenten Angeboten, sich in Richtung Ausland - insbesondere in die USA - zu orientieren. Der SFB 375 stellt inzwischen unzweifelhaft eine Institution dar, die weit über den nationalen und europäischen Rahmen hinaus Bedeutung erlangt hat.

## 6 Veröffentlichungen

- Ardellier, F., et al.: Double Chooz: A search for the neutrino mixing angle  $\Theta_{13}$ . hep-ex/0606025
- Back, H., et al.: CNO and pep neutrino spectroscopy in Borexino: Measurement of the deep-underground production of cosmogenic  $C^{11}$  in an organic liquid scintillator. Phys. Rev. **C74** (2006), 045805-1–045805-6
- Balata, M., et al.: Search for electron antineutrino interactions with the Borexino counting test facility at Gran Sasso. Eur. Phys. J. **C47** (2006), 21–30
- Bilenky, S. M., et al.: Recoilless resonant neutrino capture and basics of neutrino oscillations. hep-ph/0611285
- Coppi, C., et al.: Quenching factor measurement for  $CaWO_4$  by neutron scattering. Nucl. Instrum. Meth. **A 559** (2006), 396–398
- Hochmuth, K. A., et al.: Probing the Earth's interior with the LENA detector. hep-ph/0610048
- Hollerith, C., et al.: Energy calibration of superconducting transition edge sensors for x-ray detection using pulse analysis. Rev. Sci. Instrum. **77** (2006), 053105-1–053105-6
- Isaila, C., et al.: Scintillation light detectors with Neganov-Luke amplification. Nucl. Instrum. Meth. **A 559** (2006), 399–401
- Jagemann, T., et al.: Measurement of nuclear recoil quenching factors in  $CaWO_4$ . Astropart. Phys. **26** (2006), 269–281
- Jagemann, T., et al.: Measurement of the scintillation light quenching at room temperature of Na recoils in NaI(Tl) and hydrogen recoils in NE213 by the scattering of neutrons. Nucl. Instr. Meth. **A564** (2006), 549–558
- Kraus, H., et al.: EURECA: The European future of cryogenic dark matter searches. J. Phys. Conf. Ser. **39** (2006), 139–141
- Marrodán Undagoitia, T., et al.: Low-energy neutrino astronomy with the large liquid-scintillation detector LENA. J. Phys. Conf. Ser. **39** (2006), 287–290
- Marrodán Undagoitia, T., et al.: Proton decay in the large liquid scintillator detector LENA: Study of the background. J. Phys. Conf. Ser. **39** (2006), 269–271

- Marrodán Undagoitia, T., et al.: Simulation of the proton decay in the LENA detector. *J. Phys. Conf. Ser.* **39** (2006), 290–292
- Marrodán Undagoitia, T., et al.: Low-energy neutrino astronomy with the large liquid-scintillation detector LENA. *Prog. Part. Phys.* **57** (2006), 283–289
- Niedermeier, L., et al.: Experimental scintillator purification tests with silica gel chromatography. *Nucl. Instr. Meth. A* **568** (2006), 915–922
- Petricca, F., et al.: CRESST: First results with the phonon-light technique. *Nucl. Instrum. Meth. A* **559** (2006), 375–377
- Potzel, W.: Recoilless resonant capture of antineutrinos: Basic questions and some ideas. *Phys. Scripta* **127** (2006), 85–88
- Rau, W.: Results and status of the CRESST experiment. *J. Phys. Conf. Ser.* **39** (2006), 75–81
- Westphal, W.: Detector calibration measurements in CRESST. *Nucl. Instrum. Meth. A* **559** (2006), 372–374
- Westphal, W.: Dark-matter search with CRESST. *Czech. J. Phys.* **56** (2006), 535–542

Franz von Feilitzsch