

UniverseNews

Exzellenzcluster Universe | Ausgabe 1/2015

Neue Befunde zur Masse von Neutrinos

Die kleinsten Teilchen
beeinflussen die größten Strukturen

Exakte Messung der Polarisierbarkeit
von Pionen stützt das Standardmodell

Präzisionsmessung zur
starken Wechselwirkung

Liebe Leserinnen und Leser,

die Grenzen des Standardmodells der Teilchenphysik spielen in fast jedem Beitrag dieser Ausgabe eine Rolle. Unter anderem gibt es rund um die Neutrinos einige ungelöste teilchenphysikalische Fragestellungen. Im Interview berichtet TUM-Emeritus Prof. Dr. Franz von Feilitzsch über die Erforschung der Neutrino-Oszillation und welche Rolle die von ihm initiierten Experimente dabei spielten (Seite 3). Dass auch die Astrophysik wichtige Beiträge zur Theorie der Elementarteilchen leisten kann, zeigen die Arbeiten von Prof. Dr. Hans Böhringer (MPE), der aus den großräumigen Strukturen des Universums neue Anhaltspunkte für die Masse von Neutrinos gewinnen konnte (Seite 7). Dagegen widmet sich der Nachwuchsgruppenleiter Dr. David M. Straub am Exzellenzcluster Universe ganz der Suche nach neuer Physik jenseits des bekannten Modells (Seite 12).

Petra Riedel, PR Managerin



Interview mit Prof. Dr. Franz von Feilitzsch
„Als ich anfang, habe ich nichts verstanden“ 3

Neue Befunde zur Masse von Neutrinos
Kleine Teilchen beeinflussen große Strukturen 7

Präzisionsmessung zur starken Wechselwirkung
Polarisierbarkeit von Pionen 9

Tiefseeruste enthält wenig schwere Elemente
Überraschung in Sachen Elemententstehung 10

Ausstellung „Entwicklung des Universums“
Wieder auf dem neuesten Stand 11

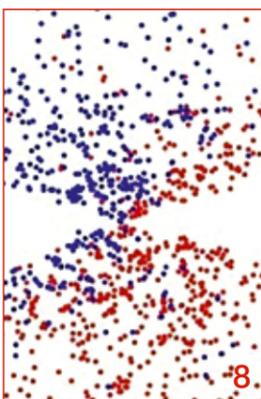
Nachwuchsgruppenleiter Dr. David M. Straub
Jenseits der vertrauten Gewissheiten 12

PhD Awards 2014
Beeindruckende Doktorarbeiten 14

Rückblick 2

Termine 15

Personalien, Impressum 16



Rückblick



Science Week 2014
1. – 4. Dezember 2014

Während der Science Week 2014 gaben die Wissenschaftler des Exzellenzclusters Universe wie jedes Jahr einen Überblick über die neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse der vergangenen Monate. Höhepunkt war der Vortrag von Prof. John Ellis (CERN) (Bild), Mitglied des wissenschaftlichen Beirats des Exzellenzclusters, der über die Herausforderungen nach der Entdeckung des Higgs-Teilchens sprach. In der alle zwei Jahre stattfindenden Generalversammlung wurden die Koordinatoren und die Research Area Koordinatoren des Exzellenzclusters in ihren Ämtern bestätigt.



Sphärenklänge
25. Februar 2015

Einem „Dialog zwischen Musik und Kosmologie“ konnten die rund 500 Besucher im Audimax der TU München an diesem Abend lauschen. Unter der Leitung des Dirigenten Simon Gaundenz spielte das Münchener Kammerorchester Werke von Mozart, Rameau, Schubert und Logothetis, die den Themen Nacht, Mond, Gestirne und Himmel gewidmet sind. Dazwischen antwortete Prof. Dr. Stephan Paul (TUM) auf Fragen von Kindern wie „Warum ist der Nachthimmel dunkel?“ oder „Wie sieht es am Ende des Universums aus?“. Die Andrea von Braun Stiftung hatte die Veranstaltung initiiert.



Masterclasses 2015
23. März 2015

60 Schülerinnen und Schüler konnten bei den 11. Particle Physics Masterclasses am Max-Planck-Institut für Physik (MPP) erleben, wie Wissenschaftler arbeiten. Am Vormittag gab es eine kurze Einführung in die Teilchenphysik und in die Welt der Detektortechnik. Am Nachmittag konnten die 10.-Klässler dann in den Originaldaten des CERN die Kollisionen analysieren, in denen das Higgs-Teilchen entdeckt worden war, und sich anschließend per Videokonferenz mit anderen Schülern darüber austauschen. An der Organisation waren neben dem MPP auch die LMU und der Exzellenzcluster Universe beteiligt.

Fotos: Riedel/TUM (2), Florian Ganslmeier/IMKO



© Wenzel Schürmann/TUM

Prof. Dr. Franz von Feilitzsch beim Symposium am 7. November 2014 anlässlich seines 70. Geburtstags.

Interview mit TUM-Emeritus Prof. Dr. Franz von Feilitzsch „Als ich anfang, habe ich nichts davon verstanden“

Der Experimentalphysiker Prof. Dr. Franz von Feilitzsch ist in Europa Pionier auf dem Gebiet der Astroteilchenphysik. Aus Anlass seines 70. Geburtstages organisierten sein Nachfolger Prof. Dr. Stefan Schönert sowie Prof. Dr. Lothar Oberauer und Dr. Jean-Côme Lanfranchi im vergangenen November ein großes wissenschaftliches Symposium am TUM-Institute for Advanced Study. Ein Gespräch über forschendes Lernen, wissenschaftliche Konkurrenz, ambitionierte Mitarbeiter und dauernde Geldsorgen. Interview: Petra Riedel

Mit welchem Gefühl kommt man zu einem solchen Symposium?

Mit großer Freude! Es war sehr schön, all die ehemaligen Mitarbeiter wieder zu treffen und zu sehen, wie sie ihr Profil entwickelt und welchen Erfolg sie haben.

Sie haben Mitte der 1960-er Jahre Ihr Physikstudium begonnen. Wie sah Ihr Einstieg in die Wissenschaft aus?

Meine Diplom- und die Doktorarbeit habe ich im Bereich Kernphysik bei Paul Kienle am damals gerade in Betrieb gegangenen Tandembeschleuniger gemacht. Viele internationale Gäste, eine Arbeitsgruppe

mit Professoren von Weltruf – Paul Kienle, Heinz Maier-Leibnitz –, und ich als kompletter Anfänger und Nichtswisser konnte mit dabei sein. Alle waren sehr kollegial und hilfsbereit. Das hat einen unglaublichen Eindruck auf mich gemacht.

Nach der Doktorarbeit haben Sie das Gebiet gewechselt und sind Rudolf Mößbauer gefolgt, der sich seit Anfang der 1970-er Jahre für Neutrinos interessierte, was damals ganz neu war, und der Mitte der 1970-er Jahre Direktor am Insitut Laue-Langevin (ILL) in Grenoble war. Wie kam das?

Paul Kienle hatte das eingefädelt. Er sagte, ich sollte mal mit Mößbauer sprechen. Und so bin ich im Januar 1977 als PostDoc nach Grenoble gegangen. Mößbauer war mit dem amerikanischen Neutrino-Physiker Felix Boehm gut befreundet, den er aus seiner Zeit am California Institute of Technology (Caltech) Anfang der 1960-er Jahre kannte. Gemeinsam mit einer Wissenschaftlergruppe aus Frankreich haben die beiden am ILL das erste europäische Experiment zur Suche nach der Neutrino-Oszillation initiiert. Ich sollte das übernehmen. Als ich anfang, habe ich nichts davon verstanden.



Beim Symposium zu Ehren von Prof. Dr. Franz von Feilitzsch (Mitte) wurden die Vorträge gehalten von (v.l.): Prof. Dr. Wolfgang Hillebrandt (MPA), Dr. Hans-Thomas Janka (MPA), Prof. Dr. Lothar Oberauer (TUM), Prof. Dr. Michael Wurm (Uni Mainz), Prof. Dr. Josef Jochum (Uni Tübingen), Dr. Thierry Lasserre (CEA Saclay), Prof. Dr. Marco Pallavicini (INFN & Uni Genua), Prof. Dr. Stefan Schönert (TUM).

NEUTRINOS

Neutrinos sind elektrisch neutrale Elementarteilchen, deren Eigenschaften noch nicht vollständig erforscht sind und die daher in der Physik ein wichtiger Forschungsgegenstand sind. Im Standardmodell der Teilchenphysik existieren drei Neutrino-Arten: Elektron-Neutrinos, Myon-Neutrinos und Tau-Neutrinos sowie deren Antiteilchen. Entgegen dem Standardmodell besitzen die Neutrino-Arten kleine Massen und können sich aufgrund quantenmechanischer Prozesse ineinander umwandeln, die Physiker sprechen von Neutrino-Oszillation. In der Diskussion ist, ob Neutrinos ihre eigenen Antiteilchen, also Majorana-Teilchen, sind, was eine Erklärung für ihre Masse liefern würde; allerdings gibt es bisher keine experimentellen Hinweise.

Neutrinos entstehen bei Kernprozessen, wie sie insbesondere in der Sonne ablaufen. Da sie nur der Schwachen Wechselwirkung unterliegen, reagieren sie nur sehr selten mit Materie und sind entsprechend schwer zu detektieren. Sonnenneutrinos haben Energien von einigen eV bis zu 18 MeV, Physiker sprechen dann von niederenergetischen Neutrinos. Hochenergetische Neutrinos entstehen in Kollisionen mit hochenergetischen Teilchen, etwa wenn Teilchen der kosmischen Strahlung auf die Erdatmosphäre treffen (MeV bis TeV). Von Neutrinos mit noch höheren Energien nimmt man an, dass sie außerhalb unserer Milchstraße produziert wurden, also etwa von Schwarzen Löchern, Neutronensternen oder Supernova-Explosionen beschleunigt wurden (einige TeV bis zu 10 PeV).

Trotzdem waren Sie erfolgreich.

Wir konnten nicht unmittelbar zeigen, dass es Neutrino-Oszillationen wirklich gibt, aber wir haben neue Grenzen für Oszillationsparameter gesetzt. Es gab Wissenschaftler, die unsere Messungen als Hinweis auf die Existenz von Neutrino-Oszillation interpretiert haben. Unserer Ansicht nach war das statistisch aber nicht signifikant. Leider haben wir erst hinterher erfahren, dass die Leistung des Reaktors falsch geeicht war, mit einem Fehler von zehn Prozent. Da hätte unser Ergebnis anders ausgesehen! Als wir von dem Fehler erfuhren, war es für Korrekturen oder Nachprüfungen zu spät: Wir waren sehr effizient und hatten das Experiment innerhalb von drei Jahren aufgebaut, durchgeführt und abgebaut.

Sie haben im Jahr 1995 einen in Europa ganz neuen und einmaligen Sonderforschungsbereich für Astroteilchenphysik gegründet.

Die Idee entstand nach einer Doktorprüfung in einem lockeren Gespräch und stammt von Wolfgang Hillebrandt, der heute Direktor am Max-Planck-Institut für Astrophysik ist. Ich war damals Ordinarius am Lehrstuhl Mößbauer. Was ein Sonderforschungsbereich ist, wusste ich nicht. Wir haben dann ein Konzept entwickelt und einen Vorantrag mit einer Reihe von Projekten gestellt. Dieser wurde von der DFG sehr positiv aufgenommen, mit ein paar Änderungsvorschlägen. Kurz darauf erhielt ich einen Ruf nach Dresden, auf einen Lehrstuhl für Tieftemperaturphysik. An der TU München wollte man wohl den sehr positiv bewerteten Sonderforschungsbereich nicht abziehen lassen, und so kam es, dass ich zum Ordinarius an der TU berufen

wurde. Wir haben den Antrag neu gestellt, und er ist glatt durchgegangen. Wir waren die erste koordinierte Forschungsgruppe zum Thema Astroteilchenphysik in Europa. Zu diesem Zeitpunkt gab es nur in Berkeley noch ein Center of Excellence für Astroteilchenphysik.

Der Sonderforschungsbereich lief 12 Jahre, eine lange Zeit.

Das ist die absolute Maximalzeit. Auch die Leitung lag immer bei uns am Institut. Das ist ungewöhnlich, weil die Leitung eines Sonderforschungsbereichs normalerweise rotiert. Es lief halt gut.

Worauf führen Sie das zurück?

Vor allem auf die guten Mitarbeiter! Ein relativ wichtiges Prinzip war wohl, dass ich nie ein Projekt ausgeschrieben oder Leute angeworben habe. Die Studenten sind immer aus eigenem Antrieb gekommen. Ich glaube, dass eigenes Interesse ein gutes Anzeichen für eine selbstständige Arbeitsweise ist. Darüber hinaus bin ich fest von einem zweiten Prinzip überzeugt: Keine Konkurrenz in der Arbeitsgruppe! Es ist wesentlich, dass alle miteinander reden, sich gegenseitig helfen und ihr Wissen weitergeben. Deshalb war das Arbeitsklima bei uns immer ausgezeichnet. Aus meiner Arbeitsgruppe sind eine Reihe hervorragender Wissenschaftler hervorgegangen, insgesamt zehn Professoren, davon vier Frauen.

Welches der Projekte, die Sie initiiert haben, hat aus Ihrer Sicht die wichtigsten Ergebnisse geliefert?

Schwer zu sagen. Ich denke, dass das Gallium-Experiment Gallex und der Nachfolger GNO am bedeutendsten waren. Gallex war experimentell angelehnt an das

Chlor-Experiment von Raymond Davis, dem Homestake Chlorine Solar Neutrino Experiment. Davis war der erste, der Anfang der 1970er-Jahre gemessen hat, dass der Neutrinofluss von der Sonne um etwa ein Drittel kleiner ist als erwartet. Keiner hat ihm damals geglaubt. Unser Gallex-Experiment, das ab 1991 im Gran Sasso Untergrundlabor lief, sowie das Sage-Experiment, das sowjetisch-amerikanische Gallium-Experiment, haben diese Beobachtung von Ray Davis bestätigt. Unsere Energieschwelle war sehr niedrig, und wir konnten daher erstmals die niederenergetischen Neutrinos aus der pp-Reaktion detektieren, aus der die Sonne den größten Teil ihrer Energie erzeugt. Nachdem das gesamte Neutrino-Spektrum integriert gemessen war, insbesondere das der pp-Neutrinos, war klar, dass der Neutrinofluss von der Sonne viel zu gering ist und nicht im Gleichgewicht mit der Strahlungsenergie der Sonne steht. Das hat bestätigt, dass die Neutrinos andere Eigenschaften haben müssen als das Standardmodell der Teilchenphysik ihnen zuschreibt. Die Community war auch von diesen Ergebnissen zunächst nicht überzeugt. Aber im Jahr 2002 hat Raymond Davis für sein Pionier-Experiment dann den Nobelpreis bekommen.

Ist nicht Borexino das anspruchsvollste Projekt?

Borexino hätte das entscheidende Experiment sein können. Als Nachfolge-Experiment von Gallex sollte es erstmals die spektrale Verteilung der Sonnenneutrinos untersuchen, die empfindlich für die Neutrino-Oszillation ist. Leider hat sich der Bau des Experiments aufgrund massiver Finanzierungsprobleme immer wieder hinausgezögert. Wäre Borexino wie geplant gebaut worden, wären wir wohl die ersten gewesen, die hätten zeigen können, dass die Neutrino-Oszillation für das Neutrino-Defizit verantwortlich ist, das alle früheren Experimente beobachtet hatten. So gelang dies dem Sudbury Neutrino Observatory in Kanada. Aber die experimentelle Auslegung von Borexino ist auf jeden Fall einmalig. Es gibt weltweit kein anderes Neutrino-Experiment, das auch nur annähernd die radioaktive Reinheit und Empfindlichkeit von Borexino aufweist. Das hat insbesondere mit den innovativen Reinigungstechniken für den Szintillator-Detektor zu tun.

Sie plädieren seit Jahren für den Bau von Lena, einem riesigen Neutrino-Observatorium auf der Basis der Technik von Borexino. Was würde Lena bringen?

Astronomen lernen über das Universum viel aus der Beobachtung von Photonen, also dem Licht verschiedener Wellenlängen, die aus dem Weltall zu uns kommen. Aber Supernovae und andere kosmische Ereignisse und Phänomene senden vor allem Teilchen aus. Auch diese Teilchen transportieren interessante Informationen. Die weitaus meisten dieser Teilchen sind Neutrinos, und sie stammen aus Regionen, die ansonsten unsichtbar für uns sind, etwa aus den Zentren von Sternen. Neutrinos öffnen also ein zusätzliches Beobachtungsfenster. Mit Lena, einem großen Neutrino-Detektor, könnte man richtige Neutrino-Astronomie betreiben. Ich bin fest davon überzeugt, dass Lena ein sehr breites physikalisches Programm hätte, in der Teilchen-, Astro- und Geophysik.

Die Realisierung von Lena macht keine Fortschritte. Warum?

Es gibt viele europäische Wissenschaftler aus Geophysik, Astronomie und Sonnenphysik, die sich für Lena begeistern. Aber kein Wissenschaftler kann es sich leisten, sich jahrelang für ein Projekt zu engagieren, das keine Fortschritte macht. Das Problem ist die Finanzierung. Wir bemühen uns seit zwölf Jahren darum, ohne Erfolg. Das finde ich betäublich. In China wurde gerade mit dem Bau des Neutrino-Observatoriums Juno begonnen, das innerhalb von wenigen Monaten eine Zustimmung bekommen hat. Das chinesische Experiment ist interessant – aber es hat ein sehr viel schmaleres Programm als es haben könnte, wenn es so gebaut würde wie Lena.

Gab es unter Ihren realisierten Projekten eines, von dem Sie sich mehr erhofft hätten?

Nein (lacht). In der Wissenschaft ist eine Null-Messung auch eine Information.



Zwei vielversprechende Jung-Physiker: Franz von Feilitzsch (l.) und Thomas Faestermann im Jahr 1974 als Doktoranden an der TUM



Sehr in Gedanken: Dr. Franz von Feilitzsch (r.) und die damalige Doktorandin Johanna Stachel 1978 an der GSI Darmstadt.

Wie steht's denn mit CRESST? Weder CRESST noch irgendein anderes Experiment zur direkten Suche nach Dunkler Materie was bislang erfolgreich. Lohnt sich das Weitermachen?

Auf jeden Fall. Wir wissen seit einigen Jahrzehnten, dass das Universum nur zu einem sehr geringen Teil aus der sichtbaren Materie besteht, aus der wir aufgebaut sind. Alles, was wir in der Physik bis jetzt erforscht haben, bezieht sich auf diese fünf Prozent. Die Suche nach Dunkler Materie sollte daher höchste Priorität haben. Übrigens halte ich die Entdeckung der Neutrino-Oszillation innerhalb der Teilchenphysik für eines der wichtigsten, wenn nicht das wichtigste Ergebnis der letzten Jahre. Es zeigt, dass es eine Physik jenseits des Standardmodells gibt. Die Entdeckung des Higgs-Teilchens, so erfreulich und fundamental sie ist, vervollständigt nur das Standardmodell.

Sie suchen mit CRESST speziell nach leichten, schwach wechselwirkenden Teilchen. Warum konzentrieren Sie sich gerade darauf?

Die Situation ist vergleichbar mit der vor 40 Jahren: Wir wussten aufgrund des Experiments von Raymond Davis, dass mit den Neutrinos etwas nicht stimmt. Aber wir hatten keine Ahnung, in welcher Größenordnung sich die Neutrino-Massen bewegen und mit welcher Frequenz ein Neutrino in ein anderes übergeht. Es gab viele Experimente am CERN und an Beschleunigern in den USA, die nichts gefunden haben. Diese Ergebnisse lieferten natürlich wichtige Informationen, aber sie konnten, wie wir heute wissen,

nichts finden, weil sie im hoch- und nicht im niederenergetischen Bereich gesucht haben. Mit der Dunklen Materie sieht es ähnlich aus: Wir wissen nicht, wo wir suchen müssen. Wenn man an das frühe Universum denkt, so wäre ein schwach wechselwirkendes Teilchen ein guter Kandidat. Es kann aber auch etwas anderes sein.

Wo sehen Sie die nächsten Aufgaben in der Astroteilchenphysik?

Zunächst einmal müssen die teilchenphysikalischen Fragestellungen abgearbeitet werden: Sind Neutrinos Majorana- oder Dirac-Teilchen, also identisch mit ihren Antiteilchen oder nicht? Die Suche nach dem doppelten neutrinolosen Beta-Zerfall ist der einzige uns bekannte oder realistisch erscheinende Ansatz, um die Natur des Neutrinos zu testen. Ich habe auf diesem Gebiet nicht gearbeitet, aber es ist eine extrem fundamentale Frage für die Elementarteilchenphysik. Und dann sind natürlich die Details der Neutrino-Oszillation zu klären. Der nächste Schritt wäre, Neutrinos tatsächlich als Informationsträger zu nutzen.

Was ist wichtiger: der hoch- oder der niederenergetische Bereich?

Beide. Neutrinos sind natürlich von Bedeutung, wenn man Informationen über Ereignisse im Universum erhalten will, die sich bei extrem hohen Energien abspielen, wie etwa Supernova-Explosionen. Ich halte aber insbesondere die Niederenergiephysik für sehr wichtig, sowohl für die Neutrino-Astronomie als auch für teilchenphysikalische Fragestellungen.

Denn meiner Meinung nach bilden sich die Effekte von Teilchen, die so leicht sind wie Neutrinos, bei niedrigen Energien besser ab als bei hohen. Daher halte ich das von uns vorgeschlagene Neutrino-Observatorium Lena für absolut notwendig, obwohl das Experiment in absehbarer Zeit wohl nicht gebaut wird.

Welche Argumente könnten die Geldgeber überzeugen?

Europa wird seine führende Rolle in der Astroteilchenphysik verlieren, wenn die europäischen Finanzierungsstrategien nicht überdacht werden. In den USA ist das bereits im Gang. Die Technologien, die wir in der Neutrino-Physik brauchen, sind übrigens nicht nur in der Grundlagenphysik wichtig, sondern spielen in der gesamten Chemie eine große Rolle. Wenn man so will, geht es um die großtechnische Reinigung von organischen Flüssigkeiten, was etwa für die Medizintechnik von großer Bedeutung ist.

Aber diese Sichtweise hat sich noch nicht durchgesetzt.

Wenn man ein neu entstandenes Forschungsgebiet wie die Astroteilchenphysik nicht abwürgen will, muss man bereit sein, es zu finanzieren. Wenn man die Gebiete Kernphysik, Teilchenphysik und Astroteilchenphysik betrachtet, so sollte die Astroteilchenphysik mindestens zehn Prozent des Budgets bekommen. Das ist nicht überzogen, wenn man das Engagement der Wissenschaftler vergleicht, die sich auf den Gebieten engagieren. Zehn Prozent für die Astroteilchenphysik, das ist mein Plädoyer.

Neue Befunde zur Masse von Neutrinos

Die kleinsten Teilchen beeinflussen die größten Strukturen des Universums

Eine systematische Erfassung der massereichen Galaxienhaufen im nahen Universum liefert wichtige Informationen über die leichtesten Elementarteilchen: Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik konnten aus einem Röntgenkatalog ableiten, dass das heutige Universum weniger stark ausgeprägte Strukturen hat, als aufgrund der Dichteschwankungen im frühen Universum zu erwarten gewesen wäre, die man aus dem kosmischen Mikrowellenhintergrund kennt. Die Diskrepanz lässt sich erklären, wenn die drei Neutrino-Arten zusammen eine Masse von etwa einem halben Elektronenvolt besitzen.

Überall sind wir von ihnen umgeben und durchdrungen, aber wir spüren sie nicht: die Neutrinos, die merkwürdigsten unter den uns bekannten Elementarteilchen. Sie haben fast keine Wechselwirkung mit anderer Materie und in jeder Sekunde durchdringen viele Milliarden von ihnen den ganzen Erdball, aber nur einzelne bleiben stecken. Eine große Zahl an Neutrinos ist im Moment des Urknall entstanden und heute immer noch vorhanden: Etwa 340 Millionen Ur-Neutrinos finden sich im Mittel in jedem Kubikmeter. Sie sind neben den Lichtteilchen, den Photonen, die häufigsten Elementarteilchen im Universum.

Lange galten Neutrinos als masselos. Inzwischen haben aber Beobachtungen von Sonnenneutrinos sowie terrestrische Experimente gezeigt, dass sie eine Ruhemasse besitzen. Noch ist allerdings unklar, wie schwer sie sind. Aufgrund ihrer großen Zahl leisten sie aber auf jeden Fall einen deutlichen Beitrag zur Massendichte im Universum.

Neutrinos sind die schnellsten Flitzer unter den massiven Elementarteilchen. Während sich der überwiegende Anteil der Materie im Laufe der kosmischen Entwicklung unter der Wirkung der Schwerkraft zu großräumigen Strukturen zusammengeballt hat und unter anderem die sichtbaren Galaxien bildet, fügen sich die Neutrinos aufgrund ihrer hohen Geschwindigkeiten nicht in diese Strukturen ein und behindern deren Wachstum. An dieser Stelle wird nun die Masse der Neutrinos wichtig: Je massereicher sie sind, desto mehr wirken sie der Konzentration von Materie in großräumigen Strukturen entgegen.

Astrophysiker versuchen nun, das Ausmaß der Wachstumsdämpfung zu messen. Hilfreich ist hierbei, dass die Dichtefluktuationen des frühen Universum bekannt sind: Denn der kosmische Mikrowellenhintergrund, jene elektromagnetische Strahlung, die etwa 380.000 Jahren nach dem Urknall ausgesandt wurde, trägt die Informationen über die Dichte-

verhältnisse unmittelbar nach dem Urknall. Mit hoher Präzision wurde dieses erste Licht des Universums zuletzt mit dem Planck-Satelliten gemessen. Mithilfe kosmologischer Modelle können Physiker daraus berechnen, welche Strukturen das heutige Universum haben sollte. Sie können zum Beispiel vorhersagen, wie viele Galaxienhaufen bestimmter Masse sich in einem Einheitsvolumen im Universum gebildet haben sollten.

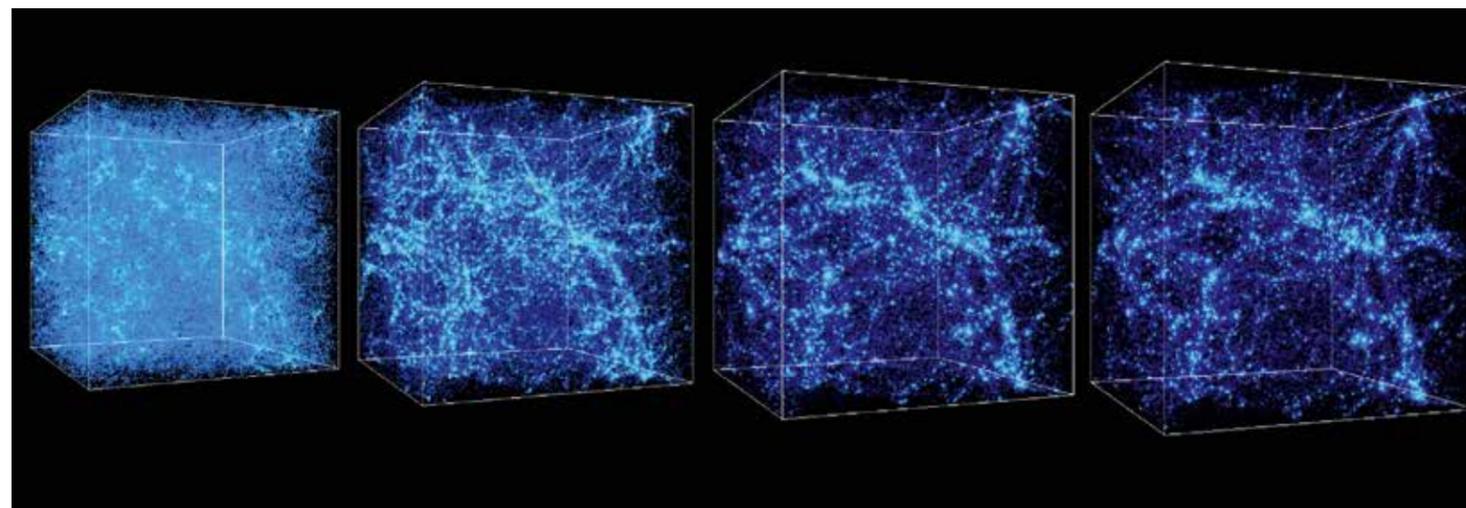
Prof. Dr. Hans Böhringer und Dr. Gayoung Chon vom Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik untersuchen seit Jahren die Galaxienhaufen im nahen Universum bis zu einer Entfernung von etwas mehr als drei Milliarden Lichtjahren. Sie nutzten dazu Beobachtungen des Röntgenlichts mit dem ROSAT-Satelliten und konnten damit einen vollständigen Katalog der massereichen Galaxienhaufen erstellen. Mit Hilfe dessen haben sie überprüft, ob die Voraussage des kosmologischen Standardmodells mit den Beobachtungen übereinstimmt.

PROF. DR. FRANZ VON FEILITZSCH

studierte von 1967 bis 1973 Physik an der TU München. Im Jahr 1977 promovierte er bei dem Kernphysiker Prof. Dr. Paul Kienle (1931 – 2013) zum Thema „Gamma-Spektroskopische Untersuchungen von Hochspinzuständen mit Schwerionen-Compoundreaktionen und multipler Coulombanregung“. Danach wechselte er in das neue Gebiet der Neutrino-Physik und war in den 1970-er und 1980-er Jahren an richtungsweisenden Neutrino-Experimenten beteiligt, wie dem Gallium Experiment Gallex (1991 – 1997) und dem Nachfolger Gallium Neutrino Observatory (GNO) (1998 – 2002) im Gran Sasso Untergrundlabor. 1987 wurde er an der TU München habilitiert, seine Habilitationsschrift trägt den Titel „Suche nach Neutrinomassen“. 1991 wurde er zum außerordentlichen Professor am Lehrstuhl von Prof. Dr. Rudolf Mößbauer (1929 - 2011) berufen, im Jahr 1995 zu Mößbauers Nachfolger als Lehrstuhlinhaber. Von 1995 bis 2006 war Prof. Dr. Franz von Feilitzsch Leiter des DFG-Sonderforschungsbereichs 375 „Astroteilchenphysik“. Seine

Forschungsinteressen liegen auf den Gebieten der Neutrino-Physik und der schwachen Wechselwirkung, der direkten Suche nach Dunkler Materie im Universum, der Tieftemperaturphysik und der Entwicklung von Detektoren sowie der Supraleitung. Auf seine Initiative geht insbesondere das Experiment Borexino (seit 2006) im Gran Sasso Untergrundlabor zurück, das unter anderem zur Messung von Sonnenneutrinos in Echtzeit dient und dessen Detektortechnik er maßgeblich entwickelte. Das Experiment CRESST (Cryogenic Rare Event Search with Superconducting Thermometers) (seit 1999) zur direkten Suche nach Dunkler Materie nutzt das Phänomen der Supraleitung, um Temperaturänderungen in einem Kristall zu messen, welche von Rückstößen potentieller Dunkler-Materie-Teilchen verursacht werden. Mit dem von Prof. Dr. Franz von Feilitzsch vorgeschlagenen Neutrino-Observatorium Lena (Low Energy Neutrino Astronomy) sollen Neutrinos aus der Erde, der Sonne und von Supernovae erforscht werden. Prof. Dr. Franz von Feilitzsch wurde im Jahr 2009 emeritiert.

© National Center for Supercomputer Applications by Andrey Kravtsov (The University of Chicago) and Anatoly Klypin (New Mexico State University)



Simulation der Bildung von Galaxienclustern im Universum: Die Würfel zeigen die Entwicklung der großräumigen Strukturen in einem Volumen mit 140 Millionen Lichtjahren Kantenlänge von einer fast gleichmäßigen Massenverteilung im frühen Universum bis hin zu den sehr ausgeprägten heutigen Strukturen.

„Es passt alles erstaunlich gut“, sagt Hans Böhringer. „Aber bei näherer Betrachtung sind die Strukturen im nahen Universum etwas weniger stark ausgeprägt, als wir aufgrund der Planck-Beobachtungen erwartet hätten – sofern man die Masse der Neutrinos vernachlässigt.“

Die Diskrepanz zu den Vorhersagen beträgt nur etwa zehn Prozent. Die Genauigkeit der Messungen konnte jedoch in den letzten Jahren so stark verbessert werden, dass die Wissenschaftler diese Abweichung ernst nehmen. „Die Abweichung können wir erklären, wenn wir annehmen, dass Neutrinos eine Masse haben“, erklärt Gayoung Chon. „Unsere Analyse deutet darauf hin, dass die drei Neutrino-Arten zusammen eine Masse zwischen 0,17 und 0,73 Elektronenvolt besitzen.“

Es gibt drei Neutrino-Arten, die sich ineinander umwandeln können: Elektronen-, Myon- und Tau-Neutrinos. Ebenso wie diese neue Massenabschätzung, konnten

auch andere Experimente bisher nur die Gesamtmasse aller drei Neutrinos oder deren Massendifferenzen bestimmen. Umgerechnet in Kilogramm wird deutlich, wie winzig die Gesamtmasse ist: etwa $0,8 \times 10^{-36}$ Kilogramm, eine Millionen mal leichter als ein Elektron, das kleinste Elementarteilchen, das etwa in unserem Körper zu finden ist.

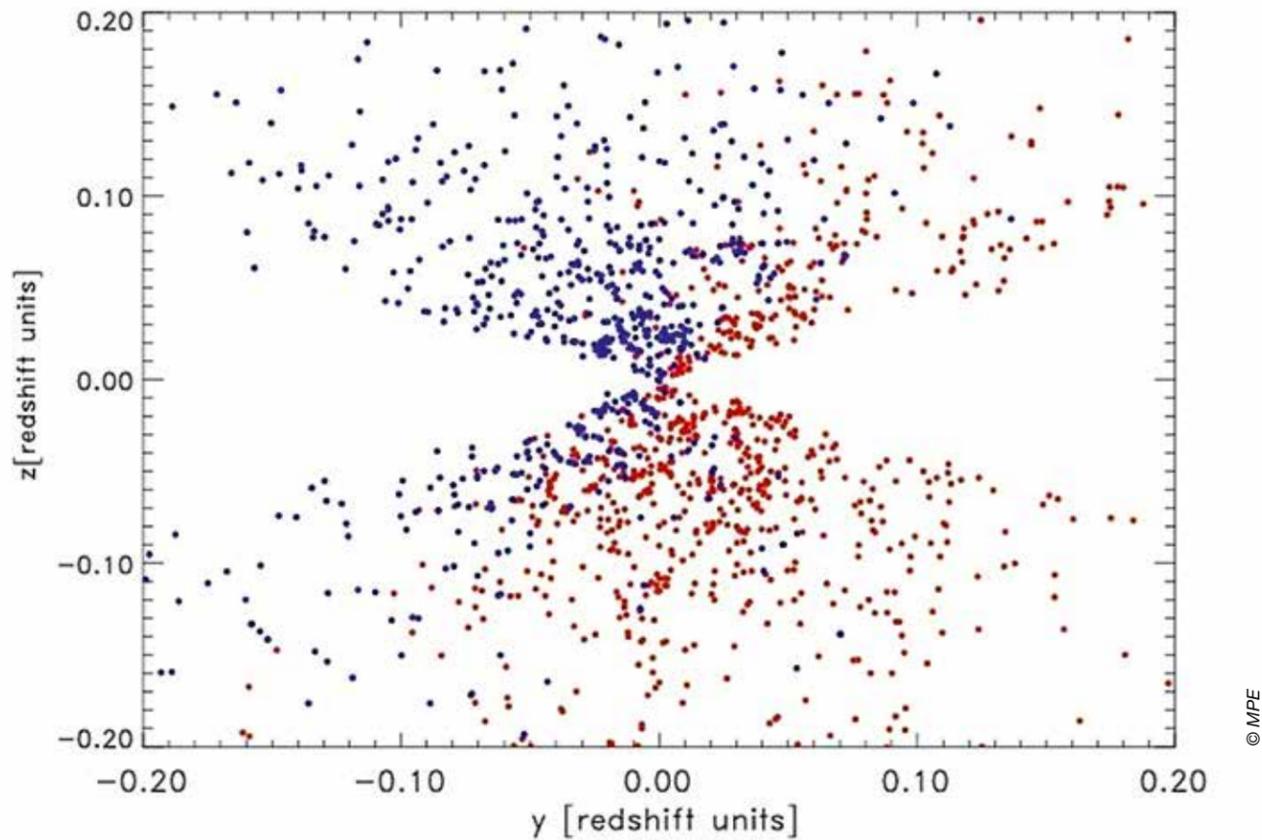
Damit können Neutrinos nur ungefähr ein bis fünf Prozent der so genannten Dunklen Materie ausmachen. Trotzdem lässt sich der Effekt mit den heutigen, sehr genauen Methoden messen. Auch der Gravitationslinseneffekt und die Bewegung von Galaxien in großräumigen Strukturen weisen auf eine Dämpfung der Strukturbildung nach der Freisetzung des ersten Lichts im Universum hin. Das neue Ergebnis steht also im Einklang mit anderen Beobachtungen.

Für die Dämpfung des Strukturwachstums sind auch andere Erklärungen denkbar, zum Beispiel eine Wechselwirkung zwischen

Dunkler Materie und Dunkler Energie. „Das ist aber eher ein exotischer Effekt“, betont Hans Böhringer, der auch Principal Investigator am Exzellenzcluster Universe ist. „Massereiche Neutrinos liefern im Moment die weitaus plausibelste Erklärung für die Beobachtungen. Die Ergebnisse sind sehr ermutigend. Wir sind derzeit dabei, unsere Messmethoden weiter zu verbessern, und wir werden in Kürze noch präzisere Resultate erzielen können.“

Die Wissenschaftler arbeiten an noch exakteren Resultaten

Dies ist ein faszinierendes Beispiel dafür, dass die Welt im Kleinsten und Größten zusammenspielt: Denn die größten klar definierten Strukturen im Universum, die Galaxienhaufen, liefern Informationen über das Gewicht der leichtesten uns bekannten Elementarteilchen. Der Masseunterschied umfasst dabei 48 Größenordnungen. Die Astrophysik leistet an dieser Stelle einen wichtigen Beitrag zur Theorie der Elementarteilchen.



Dreidimensionale Verteilung der Galaxienhaufen aus der ROSAT-Himmelsdurchmusterung: Die Anzahl von Galaxienhaufen einer bestimmten Masse ist etwas geringer als das kosmologische Standardmodell aufgrund der Ergebnisse des Planck-Satelliten vorhergesagt. Die Diskrepanz lässt sich mit einer Neutrino-Gesamtmasse von 0,5 eV erklären. (Die galaktische Ebene befindet sich in der Bildmitte; rund um die galaktische Scheibe wurden aufgrund der hohen Absorption durch Materie keine Daten gewonnen. Blaue Punkte sind am äquatorialen Nord- und rote Punkte am äquatorialen Südhimmel.)

Neue Messung der Polarisierbarkeit von Pionen stützt das Standardmodell

Präzisionsmessung zur starken Wechselwirkung

Pionen genannte Kernteilchen tragen wesentlich zur so genannten starken Wechselwirkung bei. Sie ist die Kraft, die Atomkerne zusammenhält und für die Masse der uns umgebenden Materie verantwortlich ist. Erstmals ist es Physikern nun gelungen, die Verformbarkeit von Pionen exakt zu bestimmen. Das Ergebnis, zu dem Physiker der Technischen Universität München (TUM) maßgeblich beigetragen haben, stimmt gut mit den theoretischen Vorhersagen überein und revidiert frühere Messungen, deren Ergebnisse nicht mit dem Standardmodell der Physik vereinbar waren.

Die sichtbare Materie im Universum besteht aus winzigen Elementarteilchen, Quarks und Elektronen. Die Bausteine der Atomkerne wiederum, die Protonen und Neutronen, sind aus drei Quarks aufgebaut. Ein Gold-Atomkern besteht aus 79 Protonen und 118 Neutronen. Sie tauschen so genannte Pionen aus, wodurch der Atomkern zusammenhält.

Pionen bestehen aus einem Quark und einem Antiquark, welche wiederum von der starken Wechselwirkung fest aneinander gebunden werden. Das Ausmaß, in dem diese beiden Bestandteile voneinander entfernt werden können, ist daher ein direktes Maß für die Stärke der Bindungskraft zwischen den Quarks und damit für die starke Wechselwirkung.

Extrem starkes elektrisches Feld

Um diese Verformbarkeit der geladenen Pionen – Physiker sprechen auch von ihrer Polarisierbarkeit – zu messen, schossen die Wissenschaftler des COMPASS-Experiments am CERN einen Pionen-Strahl auf eine Nickelscheibe. Die Pionen näherten sich den Nickel-Atomkernen dabei auf Distanzen von im Mittel nur zwei Kernradien und erfuhren dabei das sehr starke elektrische Feld des Nickelkerns. Dieses elektrische Feld verursacht eine Polarisierung der Pionen und ändert ihre Flugbahn unter Aussendung von Photonen, also Lichtteilchen. Aus der Messung der Photonen und der Ablenkungen der Pionen für eine große Anzahl von 63.000 Pionen konnten die Wissenschaftler die Polarisierbarkeit der Teilchen bestimmen. Das Ergebnis zeigt, dass die Pionen nur zu weit weniger als ein Tausendstel ihres Volumens deformierbar sind. „Das Experiment ist – trotz der hohen Teilchenenergien am CERN – eine große Herausforderung“, sagt Prof. Dr. Stephan Paul vom Physik-Lehrstuhl E18 an der TU München und Koordinator der Exzellenzclusters Universe. „Der Effekt

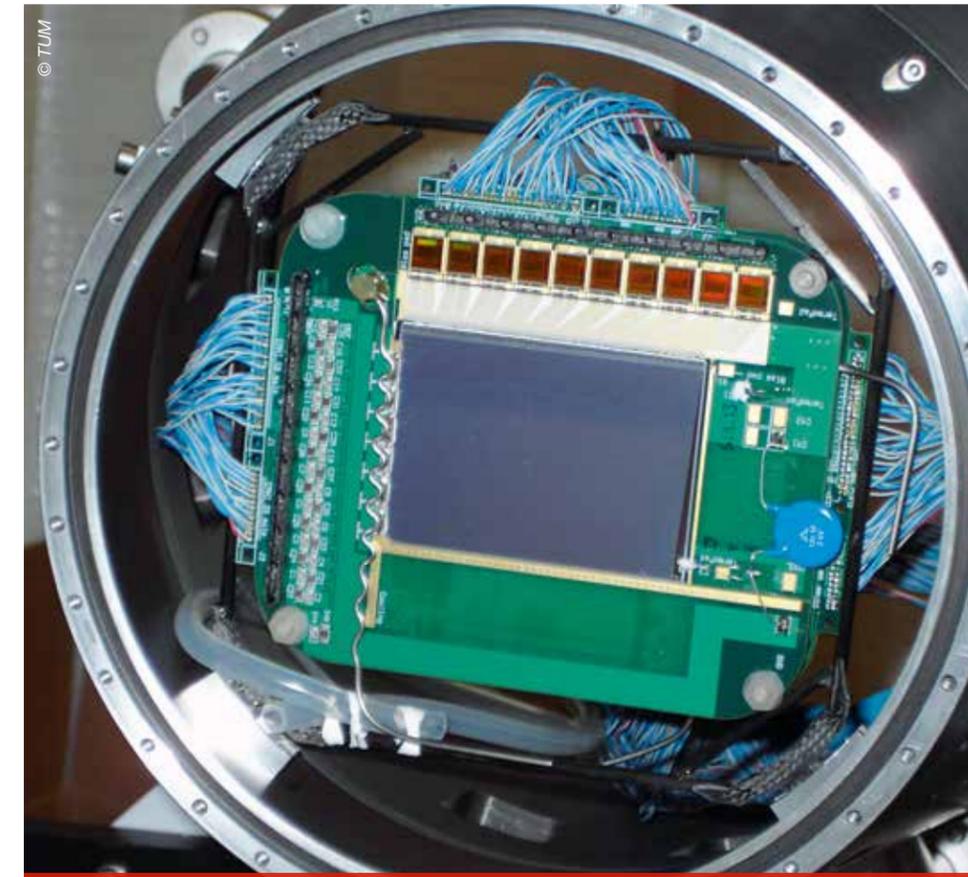
der Pion-Polarisierbarkeit ist winzig. Dies macht die Stärke der inneren Kräfte besonders deutlich.“

Ergebnisse revidieren frühere Messungen

Erste, in den 1980-er Jahren durchgeführte Messungen hatten Ergebnisse geliefert, die im Widerspruch zu den theoretischen Vorhersagen standen und die Physiker vor große Rätsel gestellt. „Die Theorie der starken Wechselwirkung ist einer der Grundpfeiler unseres Verständnisses der Natur auf der Ebene der Elementarteilchen“, sagt PD Dr. Jan Friedrich, Wissenschaftler am Physik-Lehrstuhl E18 der TUM und Mitglied des

Exzellenzclusters Universe, der die Datenanalyse der COMPASS-Kollaboration leitete. „Daher ist die gute Übereinstimmung dieses Ergebnisses mit der Theorie von großer Bedeutung.“

Das COMPASS-Experiment wird seit 2002 am Super Proton Synchrotron (SPS) betrieben, dem zweitgrößten Beschleuniger am CERN. Zur Kollaboration gehören rund 220 Physiker aus 13 Ländern. In Deutschland sind die Unis in Bielefeld, Bochum, Bonn, Erlangen-Nürnberg, Freiburg, Mainz und München beteiligt sowie die Technische Universität München, bei der die Verantwortung für die Datenanalyse lag.



Eines der vier Detektor-Module des Experiments am CERN. Das an der TUM entwickelte Silizium-Modul kann rund 10.000 Teilchen pro Sekunde detektieren.



© X-ray (NASA/CXC/Columbia/F.Bauer et al); Visible light (NASA/STScI/UMD/A.Wilson et al.)

Astrophysiker rechneten mit mehr Plutonium aus Supernova-Explosionen als sie nachweisen konnten. Im Bild: Die Circinus Galaxie mit der Supernova SN 1996cr (rechts unten), eine der nächstgelegenen Supernova-Ereignisse der letzten 25 Jahre

Tiefseekruste enthält weniger besonders schwere Elemente als bisher angenommen

Überraschende Erkenntnisse über die Elemententstehung

Elemente kosmischen Ursprungs am Grund des Pazifiks liefern neue Einsichten zu Supernova-Explosionen: Ein internationales Forscher-Team, an dem auch Physiker der Technischen Universität München (TUM) beteiligt sind, untersuchte eine Tiefsee-Mangankruste auf ihren Gehalt an besonders schweren Elementen. Es zeigte sich, dass die Menge deutlich geringer ist als angenommen. Die Wissenschaftler nehmen daher an, dass die gefundenen schweren Elemente nicht von Supernovae stammen können. Die Untersuchung wurde vom Exzellenzcluster Universe unterstützt und in der Fachpublikation „Nature Communications“ veröffentlicht.

Die Lebenszeit eines massereichen Sternes endet mit einer Supernova. Dabei explodiert der Stern und leuchtet kurzzeitig so hell wie eine ganze Galaxie. Bei solchen Explosionen werden die schwereren chemischen Elemente wie Silber, Zinn oder Iod erzeugt und in den Raum zwischen den Sternen geschleudert. Auf ihrem Weg durch die Milchstraße fängt die Erde Staubpartikel derartiger Explosionen ein, die sich schließlich auf den Meeresböden ablagern und dort archiviert werden. Schon vor einiger Zeit hatten Physiker der TU München das langlebige Eisen-Isotop Fe-60 in Tiefsee-Mangankrusten nachgewiesen, von dem sich die Forscher sicher sind, dass es in Supernovae gebildet wird. Nun hat ein Team von Forschern der Universität Wien, der TU München, der Australian National University, Canberra, und der Hebrew University, Israel, Proben vom Meeresboden auf interstellares Plutonium hin analysiert und dabei wichtige Erkenntnisse für das Verständnis der Entstehung schwerer Elemente entdeckt.

Die Forscher untersuchten Tiefseesedimente aus dem Pazifik, darunter eine zehn Zentimeter dicke Eisen-Mangankruste aus 5.000 Metern Tiefe. Diese über 25 Millionen Jahre alten Ablagerungen enthielten neben Spurenelementen aus dem Ozean auch Elemente interstellaren Staubs, wie eine Analyse an der Beschleunigeranlage Vera in Wien zeigte. Die Physiker suchten nach einem Isotop von Plutonium, Pu-244, das auf der Erde natürlicherweise nicht vorkommt und mit einer Halbwertszeit von 81 Millionen Jahren ein wichtiger Marker für Spuren von Sternexplosionen in der jüngeren Erdgeschichte sein sollte. Supernova-Explosionen produzieren auch Blei, Gold und Quecksilber. Diese Elemente sind jedoch stabil und auf der Erde reichlich vorhanden, so dass sie sich nicht als Erkennungszeichen für den Eintrag kosmischen Staubes eignen.

„Überraschenderweise fanden wir viel weniger Plutonium als erwartet“, erklärt Dr. Thomas Faestermann von der TU

München, der mit seinem Kollegen Dr. Gunther Korschinek an dem Projekt maßgeblich beteiligt war. Aufgrund der Häufigkeit von Supernovae hatten die Wissenschaftler mit wesentlich mehr Pu-244 in der Meeresprobe gerechnet. Durchschnittlich ereignen sich pro hundert Jahre etwa eine bis zwei Sternexplosionen in unserer Galaxie. Die Proben enthielten aber nur einen sehr kleinen Bruchteil des Plutoniums, als die Forscher aufgrund der Anzahl an Supernovae erwartet hatten.

Seltene kosmische Explosionen als Lösung?

Die Forscher schließen daraus, dass das Plutonium nicht durch normale Supernovae erzeugt wird. Sie gehen nun davon aus, dass das gefundene Pu-244 aus selteneren kosmischen Ereignissen rührt, möglicherweise aus der Verschmelzung von zwei Neutronensternen. Diese ereignen sich hundert- bis tausendmal seltener, produzieren aber ebenfalls schwere Elemente.

Die Ausstellung „Entwicklung des Universums“ im Deutschen Museum ist vollständig aktualisiert Wieder auf dem neuesten Stand

Die Ausstellung „Entwicklung des Universums“ in der Abteilung Astronomie des Deutschen Museums wurde komplett überarbeitet und bietet seinen Besuchern nun wieder die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Erforschung unseres Universums. Die Ausstellung nimmt den Besucher mit auf eine Zeitreise, die vor 13,8 Milliarden Jahren mit dem Urknall beginnt und mit einem Blick auf die Zukunft des Universums endet. Dazwischen erfahren die Besucher, wie sich Raum, Zeit, Materie und die großen Strukturen im Weltall gebildet haben. Ein Ausflug in das heutige Universum beschreibt den Lebenszyklus von Sternen, den Aufbau und die Entwicklung von Galaxien – und die Rolle, die Schwarze Löcher dabei spielen.

In „Entwicklung des Universums“ sind die aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse aus der Astronomie, Astro-, Kern- und Teilchenphysik zusammengefasst und zu einer Geschichte des Kosmos verknüpft. Der Stand der Forschung wird mit Video- und Bildmaterial anschaulich illustriert. Experimente zum Mitmachen zeigen, was wir von der kosmischen Hintergrundstrahlung lernen können, wie wichtig die Dunkle Materie ist und warum es auf der Erde Sauerstoff, Eisen und Gold gibt. Das interaktive „Himmelsradio“ macht das unsichtbare Universum bei allen Wellenlängen sichtbar und liefert verblüffende Einblicke in den heißen und kalten Kosmos.

Die Ausstellung im Deutschen Museum besteht seit 2009. Im damaligen Jahr der

Astronomie haben fünf Forschungsinstitute in München und Garching die Ausstellung geplant, finanziert und realisiert: der Exzellenzcluster Universe, die Europäische Südsternwarte (ESO) und die Max-Planck-Institute für Physik (MPP), extraterrestrische Physik (MPE) und Astrophysik (MPA). Zunächst als Sonderausstellung mit einer Laufzeit von zwei Jahren konzipiert, ist diese inzwischen zu einem Kernstück der Abteilung Astronomie im Deutschen Museum geworden und wird von jährlich rund 75.000 Besuchern besucht. Im Jahr 2014 wurde „Entwicklung des Universums“ durch die fünf Institute umfassend aktualisiert und gewartet: Es wurden alle neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse eingearbeitet, insbesondere die Entdeckung des Higgs-Teilchens, sowie neue Ausstellungsstü-

cke ergänzt, die den aktuellen Stand der Forschung repräsentieren. Dazu gehört auch ein Originalteil des Belle-Detektors am japanischen Forschungszentrum KEK, einem Experiment, das den rätselhaften Überschuss der normalen Materie gegenüber der Antimaterie klären soll.

„Dass nach fünf Jahren Laufzeit der Bedarf an einer grundlegenden Aktualisierung bestand, zeigt, welche großen Fortschritte die Physik in den letzten Jahren gemacht hat“, sagt Prof. Dr. Andreas Burkert, Koordinator des Exzellenzclusters Universe von der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU). „Nach Abschluss der Arbeiten können wir jetzt alle neuen faszinierenden Erkenntnisse über unseren Kosmos im Deutschen Museum präsentieren.“



„Entwicklung des Universums“ im Deutschen Museum: Die Ausstellung nimmt den Besucher mit auf eine Zeitreise, die vor 13,8 Milliarden Jahren mit dem Urknall beginnt und mit einem Blick auf die Zukunft des Universums endet.

Der Nachwuchsgruppenleiter Dr. David M. Straub untersucht das Zusammenspiel zwischen direkter und indirekter Suche nach neuer Physik

Jenseits der vertrauten Gewissheiten

Dr. David M. Straub ist einer derjenigen Wissenschaftler, die nach einer Physik jenseits des Standardmodells fahnden. Der Nachwuchsgruppenleiter am Exzellenzcluster Universe forscht an der Schnittstelle zwischen Theorie und Experiment, und sein besonderes Interesse gilt den B-Mesonen. Diese künstlich erzeugten Teilchen sind der Theorie zufolge besonders gut geeignet, um neuen physikalischen Phänomenen auf die Spur zu kommen. Seit zwei Jahren diskutieren Teilchenphysiker nun über zwei unerwartete Beobachtungen. Doch noch ist unklar, ob sich darin Hinweise auf eine neue Physik zeigen.

Das Standardmodell der Teilchenphysik beschreibt ziemlich exakt alle bislang beobachteten Eigenschaften von Elementarteilchen. Dennoch bleiben Phänomene, für die es bislang keine überzeugenden Erklärungen gibt. Etwa das Materie-Anti-

materie-Rätsel: Wie kommt es, dass sich Materie und Antimaterie nach dem Urknall nicht vollständig vernichtet haben, sondern dass ein kleiner Teil Materie übrig blieb, aus dem wir und das uns umgebende, sichtbare Universum aufge-

baut sind? Auch ist unklar, warum die sichtbare Materie offenbar nur 20 Prozent aller Masse im Universum ausmacht und was die Natur der übrigen 80 Prozent kennzeichnet, die als Dunkle Materie bezeichnet wird.

Dazu kommen die ungelösten Rätsel rund um Neutrinos (siehe Seiten 3 bis 8). Und schließlich bleibt das Problem, dass das Standardmodell der Teilchenphysik zwar drei Grundkräfte der Physik elegant vereint, doch die vierte Fundamentalkraft, die Schwerkraft, sich nicht in das Modell integrieren lässt. Hier knüpfen unterschiedliche Theorien und Hypothesen an – etwa die, dass es womöglich mehr als die vier bekannten Fundamentalkräfte gibt. Oder die Vermutung, dass das Standardmodell in eine umfangreichere Theorie, etwa die Supersymmetrie, eingebettet werden muss. Oder die Überlegung, dass das kürzlich entdeckte Higgs-Teilchen kein Elementarteilchen ist, sondern sich aus weiteren, bisher unbekanntem Teilchen zusammensetzt.

Man sieht: Die theoretische Physik ist in Bewegung; gleichzeitig versuchen Experimentalphysiker, die Vorhersagen, die sich aus diesen Hypothesen ergeben, systematisch zu testen.

Zwischen Experiment und Theorie ist die Arbeit von Dr. David M. Straub angesiedelt, der am Exzellenzcluster Universe die Nachwuchsforschungsgruppe zum Thema „Zusammenspiel zwischen direkter und indirekter Suche nach neuer Physik“ leitet. Straub untersucht die experimentellen Daten auf Hinweise auf neue Physik und prüft, ob diese für eine der vorgeschlagenen neuen Theorien sprechen oder ob andere Erklärungen in Frage kommen. David Straubs Hauptinteresse gilt der Suche neuen Teilchen und Wechselwirkungen und dabei insbesondere den B-Mesonen.

Diese B-Mesonen können elektrisch neutral oder geladen sein; sie sind ungefähr fünfeinhalb mal so schwer wie Protonen und bestehen aus einer ungewöhnlichen Kombination aus Anti-Quark und Quark: einem bottom-Antiquark, das am Anfang des Universums existiert haben muss, aber in der uns umgebenden Materie nicht mehr vorkommt, sowie einem up-, down-, strange- oder charm-Quark. B-Mesonen werden durch Kollision von Elektronen mit ihren Antiteilchen, den Positronen, an großen Teilchenbeschleunigern erzeugt. Ihre Lebensdauer beträgt nur eine Billionstel Sekunde. Danach zerfallen sie – und es gibt Hunderte von Möglichkeiten, auf welche Weise sie dies tun. „Weil manche dieser Zerfälle

höchst selten, aber hoch interessant für uns Physiker sind, brauchen wir möglichst viele B-Mesonen“, sagt David Straub.

Das Standardmodell der Teilchenphysik sagt sehr genau voraus, wie häufig bestimmte Zerfälle vorkommen sollten. Es macht auch präzise Angaben darüber, in welchen Winkeln zueinander die Zerfallsprodukte davonfliegen sollten. Eine davon abweichende Beobachtung sorgt seit zwei Jahren für Diskussionen. Entdeckt wurde sie am Experiment LHCb am Large Hadron Collider (LHC) am CERN, dem derzeit einzigen aktiven Experiment auf dem Gebiet der B-Physik: Ein bestimmter Zerfallswinkel bei einem Zerfall eines B-Mesons in ein angeregtes Kaon, ein Myon und ein Anti-Myon ($B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$) weiche von der Vorhersage ab, meldeten die LHCb-Wissenschaftler. Neue Physik? „Möglicherweise ja“, sagt David Straub, „aber es kann sich ebenso gut um einen Effekt handeln, der bisher nicht verstanden ist.“

Letztes Jahr veröffentlichte das LHCb-Experiment eine weitere spannende Beobachtung. Offensichtlich unterscheiden sich die Zerfallsraten von B-Mesonen in ein Kaon, ein Myon und ein Anti-Myon ($B \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$) von denen in ein Kaon, ein Elektron und ein Positron ($B \rightarrow K^* e^+ e^-$). „Dem Standardmodell zufolge kann das nicht sein, weil Elektronen und Myonen bis auf ihre Masse identisch sind und Masse bei diesem Zerfall keine Rolle spielt“, sagt David Straub. Beide Zerfallsraten sollten also gleich sein – doch sie sind es nicht.

„Interessanterweise passen die beiden Anomalien sehr gut zusammen, wenn man sie als Physik jenseits des Standardmodells versteht“, so Straub. Nur: Die Abweichung im Zerfallswinkel könnte ebenso einen unverständlichen Effekt als Ursache haben, und die beiden unterschiedlichen Zerfallsraten sind für sich genommen statistisch nicht ausreichend signifikant. David Straub hat daher auf neue Messergebnisse zu dem in Frage stehenden Zerfallswinkel gewartet. Auf der „Rencontres de Moriond“ im März 2015 in Italien, eine der wichtigsten Konferenzen in der Hochenergie-Teilchenphysik, stellte die LHCb-Kollaboration diese Daten nun vor. David Straub hatte als einer der wenigen

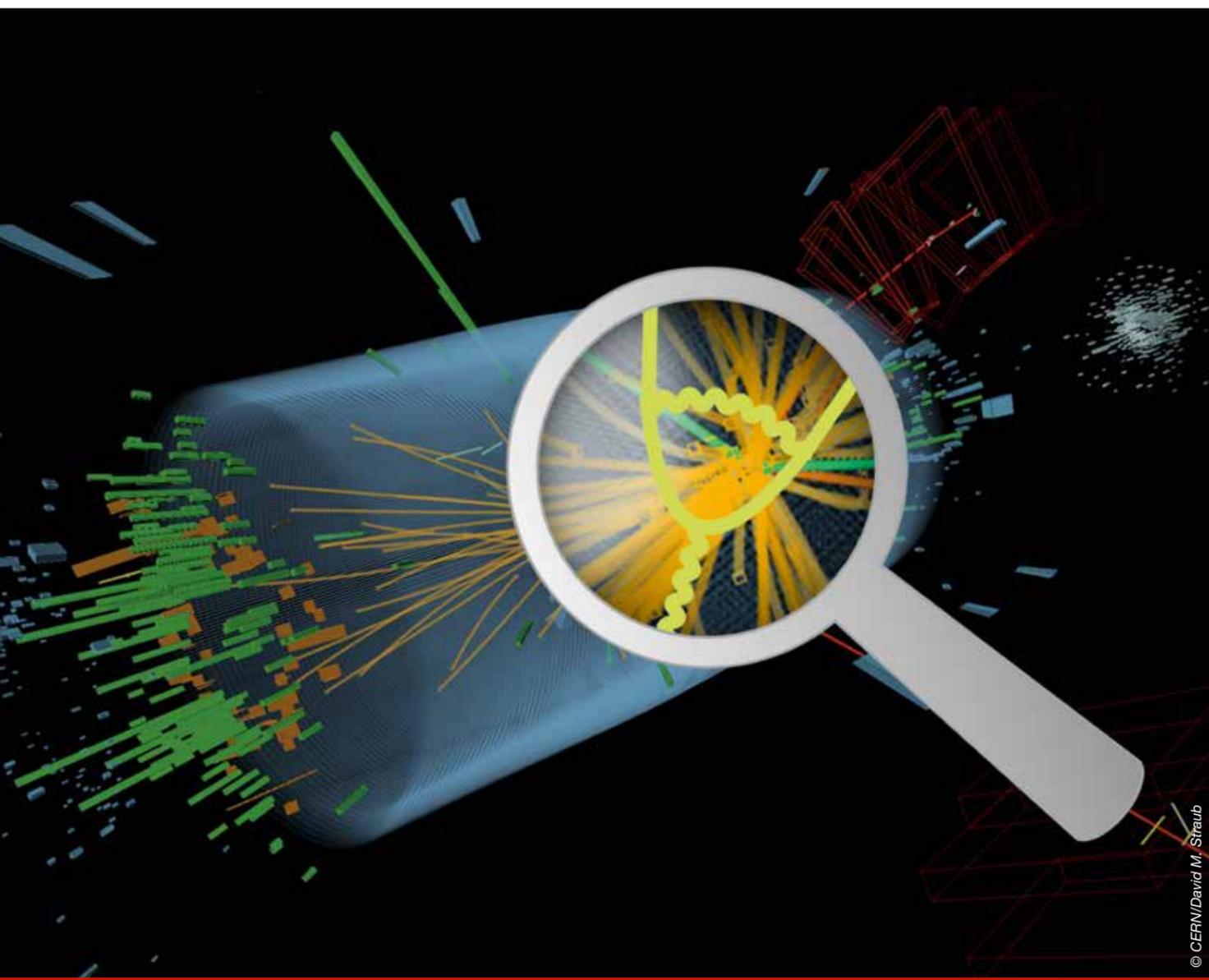
Theoretiker Gelegenheit, eine erste Interpretation der neuen Messungen vorzunehmen. Seine Analyse beruht auf einer Methode, die er gemeinsam mit seinem ehemaligen Doktoranden-Kollegen Wolfgang Altmannshofer entwickelt hat.

„Leider ist immer noch keine eindeutige Antwort möglich“, sagt David Straub. Es spreche einiges für neue Physik, aber es könne immer noch sein, dass sich die Physiker von einem unerwarteten Effekt haben täuschen lassen: „Beide Hypothesen sind gültig und können interessante Konsequenzen haben.“ David Straub geht davon aus, dass weitere präzise Messungen das Rätsel lösen werden. Neue Erkenntnisse erwartet er sich auch von dem Experiment BELLE-II am japanischen Beschleuniger KEK, an dem auch eine Reihe von Physikern des Exzellenzclusters Universe beteiligt sind. BELLE-II soll im Jahr 2016 in Betrieb gehen.

Petra Riedel



DR. DAVID M. STRAUB studierte an der Universität Stuttgart und der TU München Physik und schloss sein Studium im Jahr 2007 ab. Im Jahr 2010 promovierte er am Exzellenzcluster Universe bei Prof. Dr. Andrzej Buras mit einer Arbeit zu „Supersymmetry, the flavour puzzle and rare B decays“. Anschließend forschte er zwei Jahre lang als PostDoc an der Scuola Normale Superiore und am INFN in Pisa, Italien, anschließend an der Universität Mainz. Seit 1. Oktober 2013 leitet Dr. David M. Straub am Exzellenzcluster Universe eine Nachwuchsforschungsgruppe auf dem Gebiet „Zusammenspiel zwischen direkter und indirekter Suche nach neuer Physik“.



© CERN/David M. Straub

Auf der Suche nach unbekanntem Teilchen und Wechselwirkungen:
Dr. David M. Straub untersucht experimentelle Daten nach Hinweisen auf neue Physik.

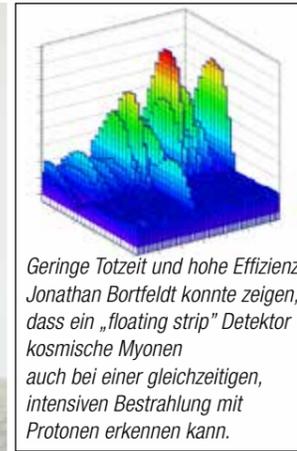
Der Exzellenzcluster Universe zeichnet zwei experimentelle Dissertationen aus

Beeindruckende Doktorarbeiten

Die Promotionspreise 2014 des Exzellenzclusters Universe gehen an die experimentellen Arbeiten von Tobias Prinz und Jonathan Bortfeldt, beide von der Ludwig-Maximilians-Universität. Jonathan Bortfeldt entwickelte im Rahmen seiner Dissertation einen in vielen teilchenphysikalischen Experimenten verwendeten Detektor so weiter, dass das Anwendungsspektrum der Detektorart deutlich erweitert werden kann. Tobias Prinz hat in seiner Arbeit bisher wenig erforschte Überreste von Sternexplosionen im Röntgenbereich detailliert untersucht und dabei wichtige neue und international beachtete Erkenntnisse gewonnen.



Röntgenaufnahme des Objekts Puppis A im Sternbild Puppis: Die Messungen von Tobias Prinz weisen erstmals eindeutig nach, dass es sich dabei um den Überrest einer Supernova handelt.



Geringe Totzeit und hohe Effizienz: Jonathan Bortfeldt konnte zeigen, dass ein „floating strip“ Detektor kosmische Myonen auch bei einer gleichzeitigen, intensiven Bestrahlung mit Protonen erkennen kann.

© NASA/CXC/IAFE/G.Dubner et al & ESA/XMM-Newton; Fiedel/TUM; privat

Über die Arbeit von Tobias Prinz

In seiner Doktorarbeit „Exploring the End States of Massive Stars using X-Ray Emission of Neutron Stars and Supernova Remnants“ untersuchte Tobias Prinz die Strahlungseigenschaften von Supernova-Überresten von massiven Sternen. Im ersten Teil seiner Arbeit widmet er sich dem Objekt Puppis-A im Sternbild Puppis, einem der hellsten Himmelsflecke in einem Röntgenteleskop. Seine Messungen weisen zum ersten Mal eindeutig nach, dass es sich bei Puppis-A tatsächlich um den Überrest einer Sternexplosion handelt.

Tobias Prinz konnte die Bewegungsgeschwindigkeit von Puppis-A mit bisher nicht erreichter Genauigkeit ermitteln, und damit auch dessen Alter abschätzen. Sein Ergebnis unterscheidet sich dabei deutlich von den bisher veröffentlichten Werten und zeigt, dass sich Puppis-A offenbar sehr viel langsamer bewegt als bisher angenommen.

Auf Basis der ROSAT-Himmelsdurchmusterung und der Daten der Weltraumobservatorien XMM-Newton und Chandra konnte Tobias Prinz außerdem aus einem Kreis von 200 Supernova-Kandidaten zwei Objekte eindeutig als Supernova-Überreste identifizieren und detailliert studieren. Des Weiteren untersuchte Tobias Prinz Pulsare auf ihre Röntgenstrahlungseigenschaften. Insgesamt entdeckte er 18 Pulsare, von denen bisher nicht bekannt war, dass sie Röntgenstrahlen aussenden.

„Die Ergebnisse von Tobias Prinz stellen einen wesentlichen Beitrag zur Erforschung der Strahlungseigenschaften von Supernova-Überresten dar. Für seine herausragende Arbeit wird Tobias Prinz daher mit dem Universe PhD Award 2014 ausgezeichnet“, lobt Prof. Dr. Joachim Trümper.

Die Dissertation von Jonathan Bortfeldt

Jonathan Bortfeldt stellt in seiner Arbeit „Development of Floating Strip Micromegas Detectors“ einen von ihm neu entwickelten Gasdetektor vor. Herkömmliche Micromegas-Detektoren werden in diversen Experimenten der Teilchenphysik eingesetzt, weil sie auch bei sehr hohen Raten Teilchenspuren exakt vermessen können. Allerdings ist die Effizienz des Detektors durch unvermeidbar auftretende Hochspannungs-Entladungen begrenzt.

Inzwischen existiert mit dem „resistive strip“ Micromegas-Detektor eine Bauform, die den Einfluss der Entladungen deutlich reduziert. Jonathan Bortfeldts Ansatz verbindet nun die Vorzüge der herkömmlichen mit der „resistive strip“ Bauform. Hierbei werden die Kupferstreifen, welche die Auslesestruktur bilden, einzeln mit Hochspannung versorgt und auf diese Weise die Auswirkung von Entladungen auf einen kleinen Bereich des Detektors reduziert, wobei eine um etwa zwei Größenordnungen reduzierte Totzeit der betroffenen Detektorregion im Vergleich zur konventionellen Bauweise erreicht wird.

Jonathan Bortfeldt entwickelte in seiner Arbeit drei unterschiedliche „floating strip“ Detektoren und untersuchte und charakterisierte deren Verhalten unter verschiedenen Bestrahlungsszenarien, die mit unterschiedlichen Teilchensorten, Strahlungsenergien und -intensitäten gewonnen wurden.

„Für diese beeindruckende, ebenso detailreiche wie umfangreiche Dissertation verdient Jonathan Bortfeldt den PhD Award 2014“, sagte Laudator Prof. Dr. Konrad Kleinknecht im Namen des PhD Award Komitees bei der Preisverleihung im Rahmen der Science Week 2014 des Exzellenzclusters.

Wissenschaftliche & Öffentliche Events

Terminvorschau

Der Exzellenzcluster Universe organisiert in den kommenden Monaten zahlreiche Veranstaltungen. Die hervorgehobenen Konferenzen und Workshops sprechen vor allem Wissenschaftler an, Veranstaltungen für Lehrerinnen und Lehrer sind mit einem „L“ gekennzeichnet, alle anderen Events richten sich an die interessierte Öffentlichkeit.

15.04.2015, 16:30 Uhr	Universe Colloquium mit anschließendem Wein & Käse Prof. Dragan Huterer (Univ. Michigan): „The quest for primordial non-gaussianity“ weitere Termine siehe: www.universe-cluster.de	Exzellenzcluster Universe, Boltzmannstr. 2 (Seminarraum Untergeschoss), Garching
22.04.2015, 19:00 Uhr	Café & Kosmos: PD Dr. Klaus Dolag (LMU/MPA): „Galaktische Nebelhaufen – Die Könige im Universums-Zoo“	Muffatcafé, Zellstr. 4, München
04. - 29.05.2015	Munich Institute for Astro- and Particle Physics (MIAPP) Programm II/2015: The new Milky Way	MIAPP, Boltzmannstr. 2, Garching
12.05.2015, 19:00 Uhr	Café & Kosmos: Peter Ludwig (TUM): „Spuren von Sternexplosionen auf dem Meeresboden“ weitere Termine siehe: www.cafe-und-kosmos.de	Muffatcafé, Zellstr. 4, München
01. - 03.06.2015	MIAPP III Topical Workshop: Flavour 2015 – New Physics at High Energy and High Precision Registrierung unter www.munich-iapp.de (bis 03.05.2015)	MIAPP, Boltzmannstr. 2, Garching
01. - 26.06.2015	MIAPP III: Indirect Searches for New Physics in the LHC and Flavour Precision Era	MIAPP, Boltzmannstr. 2, Garching
16. - 19.06.2015	Workshop: „Let’s group: The life cycle of galaxies in their favorite environment“ weitere Informationen: letsgroup2014.wix.com/workshop	ESO, Karl-Schwarzschild-Str. 2, Garching
22. - 25.06.2015	Irsee Symposium 2015: „Symmetries and Phases in the Universe“ www.universe-cluster.de/irsee2015	Kloster Irsee
27.06.2015, 17:00 - 24:00 Uhr	Lange Nacht der Wissenschaft www.forschung-garching.de	Garching-Forschungszentrum
29.06. - 03.07.2015	Lehrerfortbildung: Astronomie, Kosmologie & Relativität www.fibs.schule.bayern.de	Lehrerakademie Dillingen
29.06. - 24.07.2015	MIAPP IV: Anticipating 14 TeV – Insights into Matter from the LHC and Beyond	MIAPP, Boltzmannstr. 2, Garching
13. - 15.07.2015	MIAPP IV Topical Workshop: Anticipating Discoveries – LHC14 and Beyond Registrierung unter www.munich-iapp.de (bis 13.06.2015)	MIAPP, Boltzmannstr. 2, Garching
27.07. - 21.08.2015	MIAPP V: The Star Formation History of the Universe	MIAPP, Boltzmannstr. 2, Garching
24.08. - 18.09.2015	MIAPP VI: The many Faces of Neutron Stars	MIAPP, Boltzmannstr. 2, Garching



Prof. Dr. Viatcheslav Mukhanov,

Ordinarius für Physik an der Ludwig-Maximilians-Universität und Principal Investigator des Exzellenzclusters Universe, wird von der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) mit der Max-Planck-Medaille 2015 ausgezeichnet, ihrer wichtigsten Auszeichnung für theoretische Physik. Damit würdigt das Preiskomitee Viatcheslav Mukhanovs grundlegende Beiträge zur Kosmologie und zur Strukturbildung im frühen Universum.



Prof. Dr. Rashid Sunyaev,

Direktor am Max-Planck-Institut für Astrophysik (MPA) und Gründungsmitglied des Exzellenzclusters Universe, erhält die Eddington-Medaille der Royal Astronomical Society in Anerkennung seiner Leistungen in der theoretischen Astrophysik. Rashid Sunyaev spielte eine Schlüsselrolle bei der Erforschung der kosmischen Hintergrundstrahlung, insbesondere bei der Charakterisierung des nach ihm benannten Sunyaev-Zeldovich-Effekts.



Dr. Martin Jung

ist seit dem 1. Oktober 2014 Research Fellow am Exzellenzcluster Universe. Martin Jung studierte an der Uni Siegen und promovierte dort im Jahr 2009 mit einer Arbeit im Bereich theoretischer Elementarteilchenphysik. Anschließend arbeitete er als PostDoc an der Universität Valencia sowie an der TU Dortmund. Seine Schwerpunkte liegen auf den Gebieten Flavour-Physik, CP-Verletzung und der Berechnung des elektrischen Dipolmoments des Neutrons.



Prof. Dr. Thomas Kuhr

ist zum 1. Mai 2015 als Professor für die Physik Schwerer Quarks an die LMU berufen worden. Thomas Kuhr promovierte im Jahr 2002 an der Uni Hamburg. Nach einer Station am CERN war er seit dem Jahr 2005 am Institut für Experimentelle Kernphysik am Karlsruher KIT angestellt, wo er sich im Jahr 2013 habilitierte. Der Wissenschaftler ist Gründungsmitglied der BELLE-II-Kollaboration und fungiert als deren Computing- und Software-Koordinator.

© C. Olesinski / LMU, MPA, Riedel / TUM, privat

SYMPOSIUM
Symmetries and Phases in the Universe
22-25 JUNE 2015
KLOSTER IRSEE, GERMANY
www.universe-cluster.de/irsee2015

IMPRESSUM

Redaktion: Petra Riedel, Dr. Andreas Müller

Layout: Sabine Kwauka

Druck: flyeralarm GmbH, Alfred-Nobel-Str. 18, 97080 Würzburg

Abonnement: www.universe-cluster.de/newsletter

Abmeldung: E-Mail an: presse@universe-cluster.de, Textinhalt: „ucnews abbestellen“

Der Newsletter erscheint am Exzellenzcluster Universe, Technische Universität München, Boltzmannstr. 2, D-85748 Garching, Tel. +49.89.35831-7100, Fax: +49.89.3299-4002, E-Mail: info@universe-cluster.de Web: www.universe-cluster.de

Leitung: Prof. Dr. Stephan Paul (TUM), Prof. Dr. Andreas Burkert (LMU)

Der Exzellenzcluster Universe wird von der Deutschen Exzellenzinitiative gefördert.

