



MPIK-NEWS

Liebe Mitarbeiter*innen, Ehemalige und Freund*innen des MPIK,



die Pandemie ist vorbei! Nun, nicht ganz, aber wir konnten wichtige Schritte in Richtung einer „neuen Normalität“ gehen. Wir reisen wieder, und viele Vorschriften sind aufgehoben.

„Warum tragen wir dann immer noch Masken, Jim?“ höre ich Sie fragen. Da es aber immer noch viele Fälle von COVID-19 gibt, erschien es uns ratsam, diese Empfehlung überall dort aufrechtzuerhalten, wo Abstand oder Belüftung nicht ausreichen (wie in unseren Fluren). Wenn die Fallzahlen weiter zurückgehen, werden wir dies überprüfen.

Viele von uns haben während der Pandemie viel Zeit im Home-Office verbracht und haben festgestellt, dass sie dort recht effektiv arbeiten konnten. Folglich gibt es jetzt viele Anträge für mobile Arbeit und ‚Telearbeit‘. Dies langfristig auszubalancieren wird nicht einfach sein, und ich bitte Sie, kurzfristige Geduld zu haben.

Ich möchte auch ein neues Mitglied des Leitungsteams willkommen heißen: unseren neuen Forschungskordinator Werner Rodejohann, sowie unsere neue Leiterin für Öffentlichkeitsarbeit und Kommunikation Renate Hubele. Sprechen Sie mit ihnen – Ihre Ideen sind willkommen!

Ihr

Prof. Dr. Jim Hinton
(Geschäftsführender Direktor)

In dieser Ausgabe

H.E.S.S. schaut erstmals Nova-Ausbruch zu1	Explosion im Biomolekül..... 2
Materie/Antimaterie-Symmetrie und	„Antimaterie-Uhr“..... 2
Kurzmeldungen..... 3-4	Neu im Team Öffentlichkeitsarbeit..... 4
Namen & Notizen..... 4	

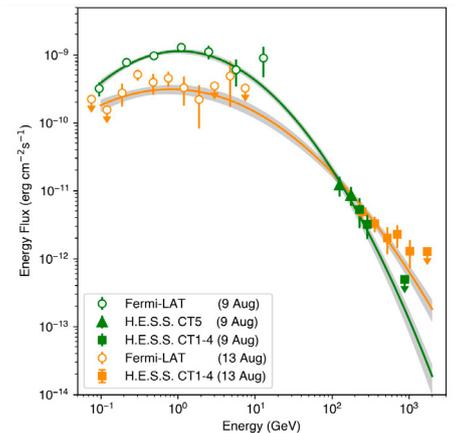
H.E.S.S. schaut erstmals Nova-Ausbruch zu

Erstaunlicherweise scheint die Nova „RS Ophiuchi“ Teilchenbeschleunigung bis zum theoretischen Limit zu bewerkstelligen.

„RS Ophiuchi“ ist ein etwa 7500 Lichtjahre entferntes Doppelsternsystem aus einem weißen Zwerg und einem roten Riesen. Deren Abstand – etwa das Eineinhalbfache der Entfernung zwischen Erde und Sonne – ist so gering, dass der weiße Zwerg kontinuierlich Materie aus der Atmosphäre seines Begleiters absaugt. Sobald sich genügend Material auf der Oberfläche des weißen Zwergs angesammelt hat, zündet die starke Gravitation eine thermonukleare Explosion. Am 8. August 2021 ereignete sich ein solcher Ausbruch, der sogar mit bloßem Auge sichtbar war.

Ab der folgenden Nacht nahm H.E.S.S. den Stern ins Visier und konnte ihn tatsächlich identifizieren; das ist die allererste Beobachtung einer Nova im sehr hochenergetischen Gammalicht. Einen Monat lang – nur unterbrochen von den Nächten rund um Vollmond – konnte H.E.S.S. die Entwicklung der Nova verfolgen.

Parallele Messungen des Fermi-Satelliten im weniger energiereichen Gammalicht ergänzten die H.E.S.S.-Beobachtungen. Zusammen ergeben die Daten der beiden Instrumente aufschlussreiche Einblicke in die der Gammastrahlen-Emission zugrunde liegenden Vorgänge und ihrer Entwicklung. Die Instrumente registrierten zunächst eine kontinuierlich zu- und dann mit einer in beiden Energiebereichen gleichen Geschwindigkeit abnehmende Gammastrahlung. Allerdings erreichten die von H.E.S.S. detektierten höheren Energien das Maximum zwei Tage später als die von Fermi beobachteten niedrigeren Energien. Darüber hinaus bilden die mit den beiden Instrumenten gemessenen Energiespektren eine gemeinsame Kurve, die sich von Nacht zu Nacht langsam verändert: sie wird mit der Zeit flacher, aber dafür breiter. Das legt es nahe, dass die von Fermi und H.E.S.S. beobachtete Gammastrahlung einen gemeinsamen Ursprung hat: beschleunigte Teilchen, deren maximale Energie in den ersten Tagen nach der Explosion noch zunimmt.



Das Energiespektrum der mit Fermi bzw. H.E.S.S. gemessenen Gammastrahlung von RS Ophiuchi.

Das wahrscheinlichste Szenario ist, dass Protonen und andere Atomkerne an der sich ausdehnenden Explosions-Schockfront stark beschleunigt werden und mit komprimiertem Material des Sternwinds des roten Riesen kollidieren, was Gammastrahlung freisetzt. Derartige Nova-Ausbrüche sind also effiziente kosmische Beschleuniger, die Teilchen bis zu Energien am theoretischen Maximum beschleunigen und ihre Umgebung mit reichlich hochenergetischen Teilchen versorgen – ein erheblicher Beitrag zur kosmischen Strahlung in der Umgebung der Nova. Diese Erkenntnis untermauert die gängige Theorie, dass die sich in dichte Winde massiver Sterne hinein ausdehnenden schnellen Schockwellen junger Supernova-Überreste – extreme Gegenstücke zur Nova RS Ophiuchi – die Produktion der höchstenergetischen galaktischen kosmischen Strahlung antreiben.

Die FlachCam, mit der das große H.E.S.S.-Teleskop seit 2019 ausgestattet ist, hat mit dieser Messung bewiesen, welches Potenzial in dieser Technologie steckt.

Kontakt: Brian Reville, Jim Hinton, Simon Steinmaßl
Publikation: Time-resolved hadronic particle acceleration in the recurrent Nova RS Ophiuchi, Science 10.03.2022, DOI: 10.1126/science.abn0567

Explosion im Biomolekül

Ionisierende Strahlung könnte biologisches Gewebe auch über einen bislang unbeachteten Mechanismus schädigen.

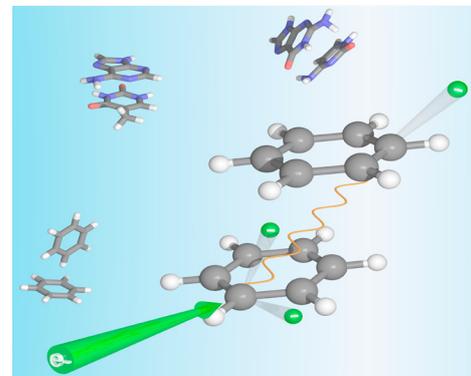
Wenn Zellen radioaktiver Strahlung ausgesetzt sind, kommt es zu möglicherweise mehr zerstörerischen Kettenreaktionen als bislang angenommen. Das ist zwar bei der Strahlentherapie erwünscht, aber ansonsten so weit wie möglich zu vermeiden.

Die DNA-Doppelhelix des Genoms ähnelt einer Strickleiter mit Sprossen aus Nukleinbasenpaaren. Da Experimente mit den freien Nukleinbasen schwierig sind, dienten Paare von Benzolmolekülen im Experiment als Modellsystem. Diese Kohlenwasserstoffringe sind auf ähnliche Weise miteinander verbunden wie die Nukleinbasen. Beschuss der Benzolpaare mit Elektronen imitiert die radioaktive Betastrahlung. Trifft ein Elektron ein Benzolmolekül, wird dieses ionisiert und mit viel Energie aufgeladen. Es zeigte sich, dass das Molekül einen Teil seines Energieüberschusses mit hoher Wahrscheinlichkeit an sein Partnermolekül abgibt. Dieser Energieschub reicht, um auch das zweite Molekül zu ionisieren, sodass beide Moleküle positiv geladen sind. Das geht natür-

lich nicht lange gut: Die beiden Molekülionen stoßen sich gegenseitig ab und fliegen in einer Coulombexplosion auseinander.

Bislang ging die Wissenschaft davon aus, dass ionisierende Strahlung Biomoleküle vor allem indirekt schädigt. Die energiereiche Strahlung ionisiert nämlich auch die Wassermoleküle, aus denen eine Zelle größtenteils besteht. Die ionisierten Wassermoleküle, vor allem aber Hydroxidionen, greifen dann die DNA an. Und wenn ein Elektron der Betastrahlung oder ein Gammaquant ein DNA-Molekül mal direkt trifft, wird der Energieüberschuss durch Prozesse im Molekül selbst abgebaut, so dass dieses intakt bleibt – so die bisherige Annahme. Auch die schwachen Bindungen zwischen verschiedenen Molekülen oder verschiedenen Molekülteilen, wie sie auch in Proteinen vorliegen, sollten davon jedenfalls nicht betroffen sein. Dass ionisierende Strahlung solche Bindungen sehr wohl aufbrechen kann, zeigen die neuen Experimente mit einem Reaktionsmikroskop. Damit gelang es, nicht nur die beiden auseinanderfliegenden Benzolmoleküle aufzufangen und deren Energie zu messen, sondern auch die emittierten Elektronen zu charakterisieren.

Wie sich der intermolekulare Coulombzerfall auf den DNA-Strang auswirkt ist noch unklar. Bricht ein einzelner Strang in der DNA-Strickleiter, dürfte das nicht gravierend sein. Doch der neue Mechanismus setzt mehrere Elektronen frei, die weitere Molekülpaare sprengen können.



Veranschaulichung des intermolekularen Coulomb-Zerfalls.

Kontakt: Alexander Dorn

Publikation: Ultrafast energy transfer between π -stacking aromatic rings upon inner-valence ionization, Nat. Chem. 20.12.2021, DOI: 10.1038/s41557-021-00838-4

Materie/Antimaterie-Symmetrie und „Antimaterie-Uhr“

Die Verhältnisse von Ladung zu Masse von Antiprotonen und Protonen sind auf elf Stellen identisch und Anti-Uhren gehen gleich schnell wie Uhren.

Wir haben Grund zu der Annahme, dass beim Urknall Materie und Antimaterie in gleichen Mengen entstanden sind. Warum nur die Materie übrig blieb, ist noch ungeklärt. Ein weiteres heißes Thema der Physik ist die Frage, ob sich Materie und Antimaterie unter Schwerkraft gleich verhalten. In einem hochpräzisen Experiment gelang es nun, die Ladung-zu-Masse-Verhältnisse von Antiprotonen und Protonen sowie – während des Umlaufs der Erde um die Sonne – die Ähnlichkeit von Uhren aus Antimaterie und Materie zu testen.

Ein Teilchen in einer Penning-Falle schwingt mit einer charakteristischen Frequenz, die durch seine Masse definiert ist. „Abhören“ der Schwingungsfrequenzen von Antiprotonen und Protonen in derselben Falle ermöglicht es, deren Massen zu vergleichen. Durch Beladen eines zylindrischen Stapels mehrerer solcher Penning-Fallen mit Antiprotonen und negativen Wasserstoffionen gelang ein Massenvergleich innerhalb von nur vier Minuten,

50 Mal schneller als bei früheren Proton/Antiproton-Vergleichen. Technische Verbesserungen des Versuchsaufbaus erhöhten die Stabilität des BASE-Experiments und verringerten systematische Verschiebungen in den Messwerten. Im Verlauf von eineinhalb Jahren wurde ein Datensatz von rund 24000 einzelnen Frequenzvergleichen erfasst. Durch Kombination aller Messergebnisse ergab sich, dass das Ladung-zu-Masse-Verhältnis von Antiprotonen und Protonen identisch ist, und zwar mit einer Genauigkeit von 16 Teilen in einer Billion, also einer Zahl mit 11 si-

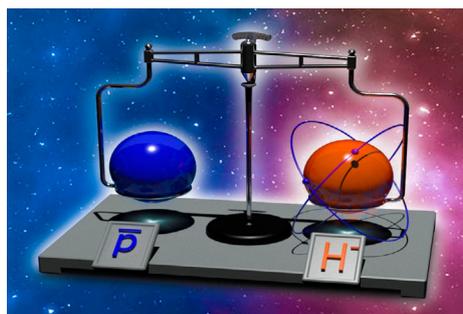


Illustration zum experimentellen Vergleich der Ladung-zu-Masse-Verhältnisse von Antiproton und negativem Wasserstoffion. Grafik: BASE-Kollaboration

gnifikanten Stellen. Das verbessert die Genauigkeit der bisher besten Messung um mehr als einen Faktor vier: ein erheblicher Fortschritt in der Präzisionsphysik.

Ein in einer Penning-Falle schwingendes Teilchen kann man als „Uhr“ betrachten, ein Antiteilchen als „Anti-Uhr“. Bei starker Gravitation gehen Uhren langsamer. Während der Langzeitmessung war die Erde auf ihrer elliptischen Bahn unterschiedlich starker Anziehungskraft der Sonne ausgesetzt. Falls Antimaterie und Materie verschieden auf Schwerkraft reagierten, würden die Materie- und Antimaterie-Uhren entlang der Flugbahn der Erde unterschiedliche Frequenzverschiebungen erfahren. Bei der Analyse der Daten ließ sich aber keine derartige Frequenzanomalie feststellen – das ergibt erstmals direkte und weitgehend modellunabhängige Grenzen für anomales Verhalten von Antimaterie unter Schwerkraft.

Kontakt: Klaus Blaum

Publikation: Comparison of the Antiproton-to-Proton q/m Ratios at 16 Parts per Trillion Precision, Nature, 05.01.2022, DOI: 10.1038/s41586-021-04203-w

+ + + Kurzmeldungen + + +

„Breakthrough of the Year 2021“

Sowohl die Arbeiten zur kohärenten Kontrolle von Kernanregungen mit geeignet geformtem Röntgenlicht (Meldung „Röntgen-Doppelblitze treiben Atomkerne an“) als auch die neue Methode zur sympathischen Laserkühlung von Protonen über einen supraleitenden Schwingkreis (Meldung „In der Falle: Neue Kühlmethode für geladene Teilchen“) haben die Jury von Physics World überzeugt. Das ist ein großer Erfolg für unser Institut.



Meldung vom 08.12.2021

Ein Team von Herausgebern sichtet die Publikationen, über die Physics World im Lauf des Jahres berichtet hat, nach drei Kriterien: wesentlicher Fortschritt in Wissen oder Verständnis, Bedeutung der Arbeit für die Wissenschaft oder Anwendungen und von allgemeinem Interesse für die Leserschaft.

Quanten-Algorithmen stoppen Ionen

Laserstrahlen können nicht nur erhitzen, sondern auch kühlen. Das ist unter Physikern, die sich der Präzisionsspektroskopie oder der Entwicklung optischer Atomuhren verschrieben haben, nichts Neues. Aber neu ist die extrem geringe Temperatur, die Forschende am QUEST-Institut an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) an diesen speziellen Forschungsobjekten erreicht haben: Noch nie zuvor waren hochgeladene Ionen auf nur 200 μK heruntergekühlt worden. Das gelang den Team-Mitgliedern, indem sie ihre etablierten Methoden der Laserkühlung an gekoppelten Ionen mit Methoden aus dem Bereich des Quantencomputing verbanden: Quanten-Algorithmen sorgten dafür, dass Ionen, die sich dafür eigentlich zu unähnlich sind, nun doch gemeinsam heruntergekühlt werden konnten. Damit rückt eine optische Atomuhr mit hochgeladenen Ionen näher, die noch genauer werden könnte als andere optische Atomuhren.

Kontakt: José Crespo

Meldung vom 14.12.2021

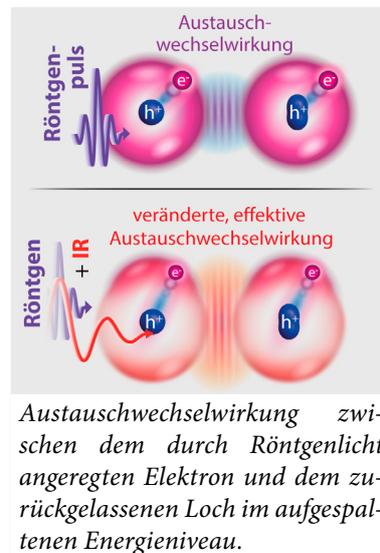
Ausbreitung der kosmischen Strahlung

Wissenschaftler am MPIK sind intensiv an der Erforschung der Ausbreitung der kosmischen Strahlung beteiligt, und in jüngster Zeit gelangen durch Beobachtung von ‚Halos‘ energiereicher Elektronen an Orten der Teilchenbeschleunigung an Pulsaren wichtige Fortschritte. Pulsarwindnebel (PWN) sind leistungsstarke Teilchenbeschleuniger, angetrieben durch die schnelle Rotation junger Neutronensterne. Lange Zeit galten Pulsarwindnebel als geschlossene Blasen mit hochenergetischen Teilchen, doch dank der jüngsten Fortschritte unserer Beobachtungstechniken können wir beschleunigte Teilchen dabei beobachten, wie sie aus ihren Quellen in das interstellare Medium entweichen. Nach einer bahnbrechenden Messung mit dem HAWC-Observatorium in Mexiko, die ergab, dass die Teilchen viel langsamer als erwartet diffundieren, haben wir daran gearbeitet, das Vorhandensein von Halos um die vielen bekannten TeV-PWN zu verstehen. Die zukünftigen Projekte SWGO und CTA werden unser Verständnis der Ausbreitung der kosmischen Strahlung anhand von Halos um Pulsare und ihre Nebel sowie andere Systeme revolutionieren können.

Kontakt: Jim Hinton, Felix Aharonian

Meldung vom 15.02.2022

Paarungsverhalten von Elektronen



Austauschwechselwirkung zwischen dem durch Röntgenlicht angeregten Elektron und dem zurückgelassenen Loch im aufgespaltenen Energieniveau.

Die quantenmechanische Austauschwechselwirkung zwischen Elektronen, eine Konsequenz des Pauli-Prinzips, kann man mit intensiven Infrarot-Lichtfeldern auf Zeitskalen weniger Femtosekunden gezielt verändern, wie zeit aufgelöste Experimente an Schwefelhexafluorid-Molekülen zeigen. Dieses Ergebnis weist einen Weg, um in Zukunft chemische Reaktionen von Grund auf mit Lasern zu steuern – rein auf Basis der Elektronen, dem „Klebstoff“ der Chemie.

Kontakt: Christian Ott, Patrick Rupprecht, Thomas Pfeifer

Meldung vom 12.04.2022

Kollisionen kühlen Molekülonen

Ein frei im kalten Raum schwebendes Molekül kühlt sich ab, indem es spontan seine Rotationsenergie in Quantenübergängen verliert, normalerweise nur alle paar Sekunden einmal. Stöße mit umgebenden Teilchen beeinflussen diesen Prozess. In einem Experiment am CSR wurde die Rate der Quantenübergänge durch Begegnungen zwischen Molekülen und Elektronen gemessen, indem isolierte, geladene Moleküle unter kontrollierten Bedingungen bei etwa 26 Kelvin in Kontakt mit Elektronen kamen. Das erhöhte diese bisher nur durch komplexe Berechnungen bekannte Rate so weit, dass sie quantitativ messbar war. Das gelang laserspektroskopisch an Methylen-Ionen (CH^+) während einer bis zu 10-minütigen Speicherzeit. Die durch Elektronen verursachten Änderungsraten der Quantenniveaus sind von entscheidender Bedeutung für die Analyse der schwachen Signale von Molekülen im Weltraum oder für die Vorhersage der niveauabhängigen chemischen Reaktivität in dünnen, kalten Plasmen.

Kontakt: Ábel Kálosi, Oldřich Novotný, Andreas Wolf

Meldung vom 05.05.2022

CTAO einen wichtigen Schritt weiter

Das Gremium der Regierungsvertreter von CTAO hat nun formal die Gründung eines Europäischen Forschungsinfrastruktur-Konsortiums bei der Europäischen Kommission beantragt. Voraussetzung dafür war, dass komplette Finanzierungszusagen für Bau und Betrieb des CTA-Observatoriums aus den wichtigsten beteiligten Staaten vorlagen, einschließlich Deutschland. Für den Antrag waren umfangreiche Dokumente einzureichen, darunter ein Finanzierungsplan und die wissenschaftlich-technische Beschreibung einschließlich der Beiträge der einzelnen Konsortiums-Mitglieder. Das CTAO ERIC wird die CTAO gGmbH als juristische Einheit ablösen und Bau und Betrieb des Observatoriums überwachen. Die Zustimmung der Kommission wird für die erste Jahreshälfte 2023 erwartet. Das wird der offizielle Startschuss sein für das Gammastrahlenobservatorium CTA.

Kontakt: Jim Hinton, Werner Hofmann

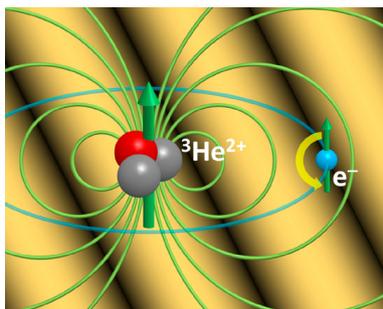
Meldung vom 03.06.2022

+ + + Kurzmeldungen + + +

Wie magnetisch ist Helium-3?

Zum ersten Mal gelang es in einer kombinierten experimentell-theoretischen Studie, die elektronischen und nuklearen g -Faktoren des $^3\text{He}^+$ -Ions direkt mit einer relativen Genauigkeit von 10^{-10} zu messen. Mit einer um zwei Größenordnungen verbesserten Genauigkeit wurde die magnetische Wechselwirkung zwischen Elektron und Kern bestimmt. Eine genaue Berechnung der elektronischen Abschirmung ergab den g -Faktor des nackten $^3\text{He}^{2+}$ -Kerns. Die Ergebnisse stellen die erste direkte Kalibrierung für ^3He -Kernspinresonanzsonden (NMR) dar.

Kontakt: Andreas Mooser, Zoltán Harman
Meldung vom 08.06.2022



Das $^3\text{He}^+$ -Ion und seine magnetischen Wechselwirkungen.

Genauer Test der Quantenelektrodynamik

Mit einer neu entwickelten Technik gelang es, den sehr kleinen Unterschied der magnetischen Eigenschaften zweier Isotope von hochgeladenem Neon in einer Ionenfalle mit bisher unerreichter

Genauigkeit zu messen. Der Vergleich mit ebenfalls extrem präzisen Berechnungen dieses Unterschiedes erlaubt einen Test der Quantenelektrodynamik (QED) auf Rekordniveau. Die Übereinstimmung der Ergebnisse ist eine beeindruckende Bestätigung des Standardmodells der Physik und ermöglicht Rückschlüsse auf die Eigenschaften der Kerne und setzt Grenzen für neue Physik und dunkle Materie.

Kontakt: Tim Sailer, Zoltán Harman, Sven Sturm
Meldung vom 15.06.2022

Doppelspalt und Tunneleffekt

Trifft eine Licht- oder auch eine Materiewelle auf einen Doppelspalt, so entsteht hinter dem Hindernis eine charakteristische Abfolge von hellen und dunklen Streifen, erzeugt durch konstruktive oder destruktive Überlagerung (Interferenz) der Wellen. Diese Wellennatur zeigen z. B. Elektronen, die durch Photoionisation aus einem zweiatomigen Molekül freigesetzt werden – hier entspricht die Bindungslänge des Moleküls dem Spaltabstand. Ferner spielt die Zeit eine Rolle, welche das Licht zum Durchqueren des Moleküls braucht. Eine neue theoretische Studie hat nun gezeigt, dass für die Tunnelionisation in starken Lichtfeldern an die Stelle der Bindungslänge der Abstand der „Tunnelausgänge“ tritt. Für Edelgas-Dimere macht sich dies in den Interferenzmustern bemerkbar und hängt vom Grundzustand des Dimers ab.

Kontakt: Karen Z. Hatsagortsyan
Meldung vom 22.06.2022

Neu im Team Öffentlichkeitsarbeit



Renate Hubele

Am 1. Juni hat **Renate Hubele** die Leitung des Teams Presse- und Öffentlichkeitsarbeit am MPIK übernommen. Sie ist am Institut keine Unbekannte – einige kennen sie sicherlich noch aus ihrer Zeit als Doktorandin und Postdoc in der damaligen Abteilung Ullrich bzw. Pfeifer. In den letzten Jahren war sie am Haus der Astronomie auf dem Königstuhl tätig und hier für die Öffentlichkeitsarbeit des Sonderforschungsbereichs SFB

881 „Das Milchstraßensystem“ zuständig. Ein Schwerpunkt ihrer Arbeit lag hier auch im Bildungsbereich.

Sie wird die Öffentlichkeitsarbeit sowie die interne und externe Kommunikation des MPIK intensivieren und ausbauen.

en. Eine produktive Zusammenarbeit mit den beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern ist ihr dabei besonders wichtig.

Um eines bekannter dürfte **Ralf Lackner** sein, der sich gerade erst als Strahlenschutzbeauftragter und Sicherheitsfachkraft in den Ruhestand verabschiedet hat. Er wird sich jetzt ganz seiner Leidenschaft Fotografie und Video widmen und unterstützt das Team weiterhin auf Basis eines Mini-jobs. Dafür will er seinen guten Draht zu den verschiedenen experimentell arbeitenden Gruppen ausnützen.

Wir freuen uns auf eine erfolgreiche Zusammenarbeit!



Ralf Lackner in Aktion

Namen & Notizen

Karriere

Giorgio Busoni: Assistenzprofessur an der Australian National University

Preis

Frederik Depta: Best Paper Award des Exzellenzclusters „Quantum Universe“

Impressum

Herausgeber:
Redaktion:

Max-Planck-Institut für Kernphysik, Saupfercheckweg 1, 69117 Heidelberg · info@mpi-hd.mpg.de
Dr. Renate Hubele, Dr. Bernold Feuerstein, Dr. Gertrud Hönes