



# MPIK-NEWS

Liebe Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, Ehemalige und Freunde des MPIK,



gerade haben wir die erste Runde der neuen BLBV-Leistungsprämien abgeschlossen. Erstmals kommen dabei auch Mitarbeiter der zentralen Dienste und der Verwaltung in

den Genuss von Prämien. Insgesamt wurden 26 Anträge für Einzel- oder Gruppenprämien eingereicht und von einem 6-köpfigen Ausschuss begutachtet, der von Betriebsrat und Institutsleitung eingesetzt wurde. Der Ausschuss hat 45 Personen für Prämien empfohlen; die Institutsleitung ist dieser Empfehlung gefolgt. Ich darf an dieser Stelle allen Vorschlagenden, den Mitgliedern des Ausschusses und natürlich ganz besonders den Prämierten sehr herzlich für ihren Einsatz für das Institut danken!

In dieser ersten Runde wurde vielleicht noch die eine oder andere herausragende Leistung übersehen. Wir werden im Frühsommer 2017 die nächste Prämienrunde starten, und ich freue mich auf zahlreiche und gut begründete Vorschläge von Vorgesetzten, aber auch von Mitarbeitern für andere oder für sich selbst.

Ich wünsche Ihnen allen frohe und erholsame Festtage!

Ihr

Prof. Dr. Werner Hofmann  
(Geschäftsführender Direktor)

## In dieser Ausgabe

- Spur der Dunklen Materie verliert sich... 1
- „Molekül-Selfie“ vom Aufbruch einer chemischen Bindung..... 2
- Gravitationswellen als Sensor für DM..... 2
- Kurzmeldungen, Namen & Notizen..... 3
- Nachruf auf Dirk Schwalm, Dr. h.c. für Manfred Lindner, Betriebsausflug ..... 4

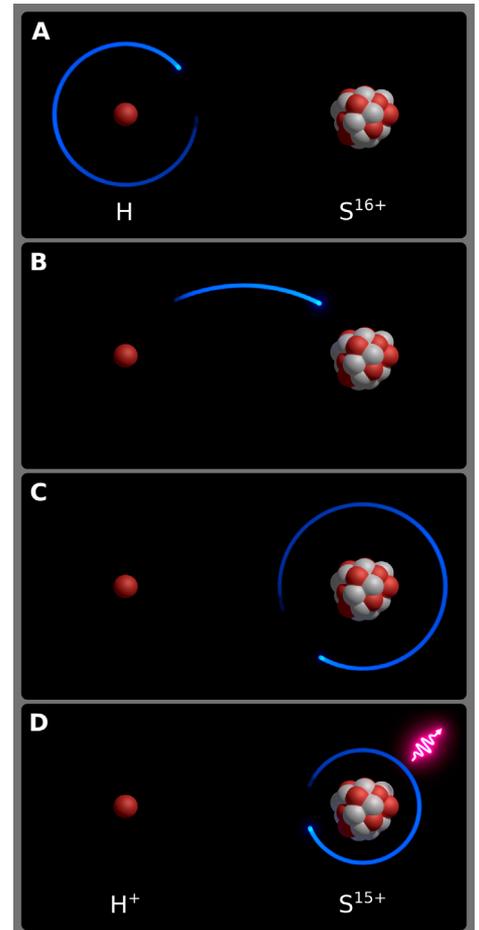
## Eine Spur der Dunklen Materie verliert sich

**Ein mysteriöses Röntgensignal dürfte von Schwefel-Ionen stammen, die Elektronen einfangen.**

Eine vom Röntgensatelliten XMM-Newton in mehreren Galaxienclustern beobachtete schwache Emissionslinie bei einer Energie von etwa 3,5 keV hat einige Aufregung verursacht, da sie sich nicht sofort anhand bekannter Spektren erklären ließ. Spekulationen kamen auf, dass es sich um Signale von zerfallenden Teilchen der langgesuchten Dunklen Materie handeln könnte. Neuere astrophysikalische Analysen ergaben jedoch keine Übereinstimmung mit der erwarteten räumlichen Verteilung der Dunklen Materie.

Die zur Auswertung der astronomischen Spektren verwendeten Daten in Tabellenwerken sind allerdings unvollständig und beruhen zum Teil auf theoretischen Annahmen. Deshalb lag es nahe, einen alternativen Erklärungsvorschlag experimentell zu überprüfen: die mysteriöse Linie könnte vom Ladungsaustausch zwischen „nackten“ Schwefelkernen ( $S^{16+}$ ) und Wasserstoffatomen herrühren. Hochgeladene Ionen sind häufig im heißen Medium zwischen den Galaxien eines Clusters anzutreffen, und komplett ionisierter Schwefel ist ausreichend vorhanden.

Für die Messungen wurde ein extrem dünner Strahl einer flüchtigen Schwefelverbindung in das Vakuum einer Elektronenstrahl-Ionenfalle (EBIT) injiziert. Beschuss mit Elektronen zerlegt die Moleküle und schlägt den Atomen ihre Elektronen weg – wie viele, hängt von der Energie des Elektronenstrahls ab. So lassen sich gezielt hochgeladene Schwefel-Ionen erzeugen. Während des Elektronenbeschusses entsteht durch Anregung der Ionen und Rekombination mit Elektronen viel Röntgenlicht. Um den Ladungsaustausch ungestört von dieser starken Emission beobachten zu können, wurde der Elektronenstrahl für einige Sekunden abgeschaltet. In dieser Zeit hält das Magnetfeld die Ionen in der Falle, und die Ionen können mit noch nicht zerstörten Molekülen wechselwirken und ihre viel schwächere Röntgenstrahlung emittieren.



*Ladungsaustausch: Ein Schwefelkern ( $S^{16+}$ ) nähert sich einem H-Atom und zieht das Elektron an, das in einem hohen Energieniveau von  $S^{15+}$  landet, Röntgenlicht abgibt und in den Grundzustand übergeht.*

Eine Analyse der resultierenden Spektren ergab den energiereichsten Übergang bei 3,47 keV. Berücksichtigt man die Ungenauigkeiten der astrophysikalischen Messungen und des Experiments, wird klar, dass der Ladungsaustausch zwischen Schwefelkernen und Wasserstoffatomen das mysteriöse Signal bei etwa 3,5 keV hervorragend erklären kann.

### Kontakt:

Chintan Shah, Sven Bernitt, José Crespo  
**Publikation:**  
 Laboratory measurements compellingly support charge-exchange mechanism for the 'dark matter' ~3.5 keV x-ray line  
 Astrophys. J., arXiv:1608.04751

## „Molekül-Selfie“ vom Aufbruch einer chemischen Bindung

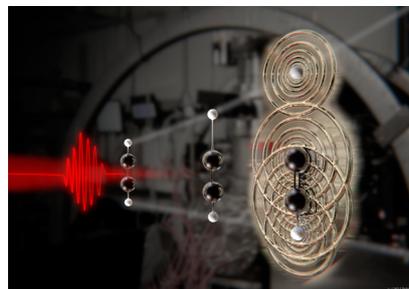
### Flucht eines Protons aus einem Molekül beobachtet.

Den Aufbruch oder die Umwandlung von Molekülen während einer chemischen Reaktion zu beobachten, setzt voraus, alle Atome, die das Molekül bilden, zu verfolgen – und dies mit subatomarer räumlicher Auflösung innerhalb weniger Femtosekunden ( $1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$ ). Derartige „Schnappschüsse“ einer molekularen Reaktion zu machen, klang bisher wie Science Fiction. Vor nunmehr genau 20 Jahren wurde die Idee geboren, die Elektronen des Moleküls selbst zu nutzen, um seine Struktur abzubilden: Man bringe dem Molekül bei – wie wir heute sagen würden – ein „Selfie“ von sich zu machen!

In einer jetzt bei Science publizierten Studie konnten Wissenschaftler einen entscheidenden Durchbruch vermelden. Dem Team gelang die Abbildung des Aufbruchs einer chemischen Bindung in Ethin (Acetylen,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ) innerhalb von 9 fs, nachdem das Molekül ionisiert wurde. Die Forscher verfolgten sämtliche Atome in einem einzelnen Ethinmolekül mit einer räumlichen Präzision von nur  $0,05 \text{ \AA}$  (deutlich weniger als ein Atomdurchmesser) und einer zeitlichen Präzision von  $0,6 \text{ fs}$ . Dabei konnten sie den Aufbruch einer bestimmten Bindung des Moleküls auslösen und beobachten, wie ein Proton das Molekül verlässt.

Eine ultraschnelle Laserquelle für den mittleren Infrarot-Bereich in Barcelona in Kombination mit einem Reaktionsmikroskop vom MPIK erlaubte es, alle geladenen Bruchstücke des Moleküls gleichzeitig nachzuweisen und der Reaktion zuzuordnen. Im Experiment wurde zunächst ein einzelnes Ethinmolekül mit einem kurzen Laserpuls räumlich ausgerichtet und dann mit einem zweiten ausreichend starken Laserpuls ionisiert. Das

Laserfeld treibt das freigesetzte Elektron wieder zum Ursprungsmolekül zurück, wobei es an diesem streut – alles innerhalb von 9 fs. Aufgrund seiner quantenmechanischen Welleneigenschaft bildet das Elektron bei diesem Streuprozess das gesamte Molekül ab und erlaubt so eine Rekonstruktion von dessen Struktur.



Schematische Darstellung des Aufbruchs einer molekularen Bindung in  $\text{C}_2\text{H}_2$ . Grafik: ICFO/Scixel.

Mittels einer geschickten Analyse der Daten konnten die Physiker ferner zeigen, dass die Orientierung des Moleküls relativ zur Richtung des elektrischen Feldes des Lasers ganz grundlegend die Dynamik der Reaktion ändert. Bei paralleler Ausrichtung wurde eine Schwingung des Moleküls entlang der Feldrichtung beobachtet, während bei senkrechter Ausrichtung eine der C–H-Bindungen aufbrach. In dem Experiment wurde der Aufbruch der Bindung erstmals visualisiert und beobachtet, wie das Proton das  $\text{C}_2\text{H}_2^+$ -Ion verlässt.

#### Kontakt:

Robert Moshhammer

#### Publikation:

Ultrafast electron diffraction imaging of bond breaking in di-ionized acetylene

Science 354, 308 (2016); DOI: 10.1126/science.aah3429

## Gravitationswellen als Sensor für Dunkle Materie

Im Universum muss es gut fünfmal mehr unsichtbare als sichtbare Materie geben. Woraus diese Dunkle Materie besteht, ist immer noch unbekannt. Die experimentelle Suche konnte bisher nur Teilchenarten bzw. Energiebereiche ausschließen; gelegentliche Erfolgsmeldungen und Vermutungen ließen sich nicht verifizieren. Es sind aber noch längst nicht alle theoretischen Vorschläge überprüft.

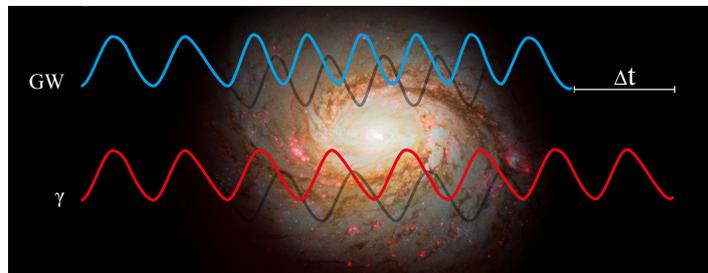
Einer der Vorschläge ist, dass Dunkle Materie aus sehr leichten Teilchen besteht, die im frühen Universum ein Bose-Einstein-Kondensat, d. h. ein einziges makroskopisches Quantenobjekt gebildet haben. Damit ließe sich die Struktur des Universums auf allen Größenskalen erklären.

Und wie kann man diesen Vorschlag überprüfen? Mit Gravitationswellen! Das klingt überraschend, aber Rechnungen zeigen, dass ein solches Bose-Einstein-Kondensat die Geschwindigkeit von durchgehenden Gravitationswellen, die sich eigentlich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, verlangsamt. Ursache dafür sind die von den Gravitationswellen hervorgerufenen Verzerrungen der Raumzeit, welche das Bose-Einstein-Kondensat anregen. Das ist ähnlich wie bei Licht, das beim Durchgang durch ein dichtes Medium wie Wasser gebremst und damit gebrochen wird.

Wie stark eine Gravitationswelle gebremst wird, wenn sie durch den Dunkle-Materie-Halo einer Galaxie läuft, hängt nur von der Masse und der Wechselwirkung der Teilchen im Bose-Einstein-Kondensat sowie der Frequenz der Gravitationswelle ab: je niedriger die Frequenz, desto stärker der Effekt – auch die Lichtbrechung hängt von der Lichtfarbe ab. Nach den Berechnungen ist die Bremswirkung bereits bei den Frequenzen stark genug für eine Messung, für welche die LIGO-Detektoren emp-

findlich sind. Laufende Messungen mit den IPTA-Radioteleskopen und zukünftige Satelliten-Instrumente wie eLISA können auch Gravitationswellen mit niedrigeren Frequenzen beobachten.

Gelingt es, Gravitationswellen verursachende Ereignisse, die von der Erde aus gesehen hinter einer Galaxie stattfinden, auch mit Neutrinos oder im Gammalicht zu beobachten, lässt sich anhand möglicher Zeitunterschiede, wann die Signale eintreffen, entscheiden, ob die Dunkle Materie aus einem Bose-Einstein-Kondensat sehr leichter Teilchen besteht oder nicht.



Falls der Dunkle-Materie-Halo einer Galaxie aus einem Bose-Einstein-Kondensat besteht, werden durchgehende Gravitationswellen (GW), nicht aber Lichtwellen ( $\gamma$ ) gebremst. Daraus resultiert ein messbarer Laufzeitunterschied  $\Delta t$ .

#### Kontakt:

Sebastian Ohmer, Manfred Lindner

#### Publikation:

Gravitational waves as a new probe of Bose-Einstein condensate Dark Matter

arXiv:1609.03939 (2016)

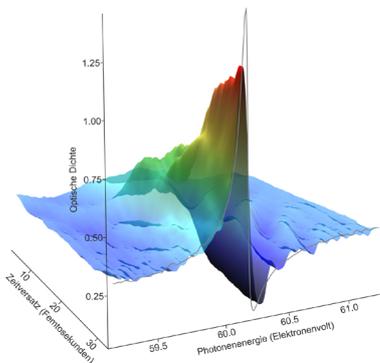
## + + + Kurzmeldungen + + +

### GERDA setzt neues Limit

Gibt es den neutrinolosen Doppelbetazerfall? Auf diese Frage sucht das GERDA-Experiment im Gran-Sasso-Untergrundlabor in Italien eine Antwort. Ergänzt um weitere Germaniumdioden und ausgerüstet mit verbesserter Abschirmung gegen Störsignale startete GERDA im Dezember 2015 mit der zweiten Messphase. Ein halbes Jahr später zeigten die ersten Ergebnisse: der gesuchte Zerfall wurde (noch?) nicht gefunden, aber die Untergrenze seiner Halbwertszeit stieg auf  $5,2 \times 10^{25}$  Jahre. Das ist eine Verbesserung des Ergebnisses von 2013 um das Zweieinhalbfache. Die GERDA-Wissenschaftler konnten die Störsignale in dem Bereich, in dem sich der gesuchte Zerfall zeigen sollte, um einen Faktor 10 verringern.

**Kontakt:** Bernhard Schwingenheuer, Manfred Lindner  
Meldung vom 05.07.2016

### Wie eine Spektrallinie entsteht



*Absorption in He in Abhängigkeit von der Photonenenergie des anregenden Lichtblitzes und dem Zeitversatz zum ionisierenden Laserpuls.*

Wie sich die asymmetrische Fano-Linienform von zwei quantenmechanisch interferierenden Elektronen im Heliumatom zeitlich aufbaut, verfolgten die Wissenschaftler, indem sie den Zeitversatz zwischen den beiden Laserpulsen variierten.

**Kontakt:** Alexander Blättermann, Christian Ott, Thomas Pfeifer  
Meldung vom 11.11.2016

### Neues von einem alten Bekannten

Der Supernovaüberrest RX J1713.7–3946 ist im hochenergetischen Gammalicht eine der hellsten Quellen. Mit ihr gelang es des H.E.S.S.-Teleskops vor über 12 Jahren zum ersten mal, eine Gammaquelle aufgelöst abzubilden. Ein Vergleich der neuesten

H.E.S.S.-Daten mit Daten des Röntgensatelliten XMM Newton ergab nun, dass die radiale Ausdehnung von RX J1713.7–3946 im Gammalicht deutlich größer ist als im Röntgenlicht. Die Theorie der Beschleunigung an einer expandierenden Schockfront sagt solche Effekte voraus, da beschleunigte Teilchen der Schockfront entkommen. Jetzt ist klar: die Röntgenstrahlung markiert das Ende der Schockfront und die Gammastrahlung von außerhalb stammt von Teilchen, die gerade dabei sind, diese zu verlassen.

**Kontakt:** Werner Hofmann  
H.E.S.S. Source of the Month 09/2016

### Wichtiger Schritt zur Realisierung von CTA

Die Tscherenkow-Teleskope von CTA Nord werden auf der Kanareninsel La Palma gebaut. Eine entsprechende Vereinbarung zwischen dem Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) und der Cherenkov Telescope Array Observatory (CTAO) gGmbH wurde am 19.09.2016 in der Sitzung des CTAO Council am MPIK unterzeichnet. Auf La Palma beim Observatorio del Roque de los Muchachos werden 4 große und 15 mittelgroße Teleskope mit Spiegeldurchmessern von 23 bzw. 12 Metern gebaut.

**Kontakt:** Werner Hofmann, Jim Hinton  
Meldung vom 20.09.2016

### Erweiterung von HAWC

Seit 1 1/2 Jahren beobachtet das High Altitude Water Cherenkov Observatorium HAWC Gammalicht mit Energien über 1 TeV. Es misst die atmosphärischen Teilchenschauer nicht wie H.E.S.S. über das emittierte Licht, sondern direkt in 300 großen Wassertanks, die deshalb auf 4100 m Höhe in Mexiko aufgebaut sind. Die Richtung, aus der das Gammaquant kam, ergibt sich aus der Ankunftszeit in den einzelnen Tanks und die Energie aus der Intensität der Signale. Die höchstenergetischen Gammastrahlen (über 30 TeV) produzieren aber Teilchenschauer, die zu groß sind, um vollständig von HAWC erfasst zu werden. Deshalb werden derzeit 350 kleinere Wassertanks in lockerer Anordnung um die bestehenden Tanks aufgebaut. Dieses „Outtrigger-Array“ soll 2017 in Betrieb gehen. Die Trigger- und Ausleseelektronik dafür basiert auf der FlashCam-Elektronik (s. MPIK-NEWS Nr.13).



Einer der HAWC-Outtrigger-Wassertanks.

**Kontakt:** Harm Schoorlemmer, Rubén López Coto, Jim Hinton

### Namen & Notizen

#### Preise und Ehrungen

**Prof. Dr. Manfred Lindner:** Ehrendoktor der Königlichen Technischen Hochschule, Stockholm, Schweden

**Prof. Dr. Thomas Pfeifer:** Fellow of the American Physical Society 2016

**Dr. Kristina Meyer:** Ruprecht-Karls-Preis der Stiftung Universität Heidelberg

**Lisa Schmöger:** Posterpreis, 4<sup>th</sup> European Conference on Trapped Ions

**Janko Nauta:** Kamerlingh Onnes Prize, Universität Groningen

**Jennifer Mauel:** Vortragspreis, Jahreskongress 2016 der Canadian Association of Physicists

**Tilman Streib:** Kammersieger im Leistungswettbewerb des Handwerks

#### Rufannahme

**Dr. Bhupal Dev:** Assistant Professor

in Theoretical Particle-Astroparticle Physics, Washington University, St. Louis, Missouri, USA

#### Dienstjubiläen 25 Jahre MPG

**Dietmar Hübner, Annegret Gawenda** (auch 25 Jahre öffentlicher Dienst),

**Dr. Christian Bauer**  
40 Jahre öffentlicher Dienst  
**Bernhard Preissler**

## Nachruf auf Dirk Schwalm

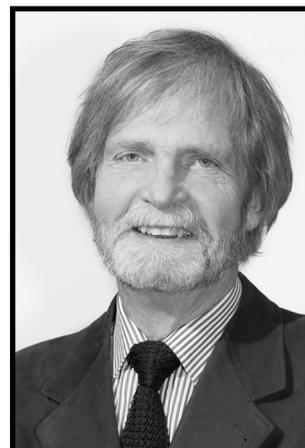
**Prof. Dr. Dirk Schwalm, emeritiertes wissenschaftliches Mitglied der Max-Planck-Gesellschaft und von 1993 bis 2005 Direktor am Institut, verstarb nach kurzer schwerer Krankheit am 14. Juli 2016.**

Dirk Schwalm wurde am 29. Februar 1940 in Berlin geboren. Er studierte Physik in Tübingen, Freiburg und Heidelberg und wurde 1969 an der Universität Heidelberg promoviert. Nach einem Forschungsaufenthalt am Brookhaven National Laboratory nahe New York habilitierte er sich 1974 in Heidelberg und wurde 1976 Leitender Wissenschaftler an der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt. Im Jahr 1981 als Ordinarius für Experimentalphysik an das Physikalische Institut der Universität Heidelberg berufen, wurde er 1993 Direktor der Abteilung Physik mit Schweren Ionen am MPIK. Nach seiner Emeritierung 2005 wurde Dirk Schwalm mit der Position als

Joseph Meyerhoff Visiting Professor des Weizmann-Instituts in Rehovot geehrt.

Bereits seit Mitte der 1960er-Jahre hat Dirk Schwalm am MPIK gearbeitet, und die experimentelle Forschung zur Struktur der Atomkerne und Wechselwirkung schwerer Ionen am Institut vorangetrieben; sein Arbeitsgebiet umschrieb er selbst als die „Struktur und Dynamik fundamentaler atomarer, molekularer und kernphysikalischer Systeme“. Nach wegweisenden kernphysikalischen Arbeiten war er Mitinitiator des Ionenspeicherringes TSR am MPIK und prägte die Forschung hieran – von atomarer Spektroskopie bis zu hochgeladenen Ionen, Molekülionen, atomaren Clustern und astrochemischen Prozessen. Durch eine schwere Krankheit wurde er erst vor wenigen Monaten jäh aus einer Vielzahl wissenschaftlicher Aktivitäten gerissen; etwa 100 seiner fast 500 Veröffentlichungen stammen aus der Zeit nach seiner Emeritierung.

Als Professor an der Fakultät für Physik und Astronomie an der Universität Heidelberg hat Dirk Schwalm 40 Jahre lang die enge Verzahnung der Heidelberger Fakultät mit dem Max-Planck-Institut für Kernphysik exemplarisch geprägt und gelebt. Seine Studenten, Kollegen und Mitarbeiter betrauern Dirk Schwalm unerwarteten, viel zu frühen Tod und werden seine Begleitung und Aufmunterung, die Breite seines Wissens und seiner Erfahrung, seinen Rat, seine Anleitung und Freundschaft schmerzlich vermissen.



## Verleihung der Ehrendoktorwürde an Manfred Lindner

In einer festlichen Zeremonie erhielt Prof. Dr. Manfred Lindner am 18. November die Ehrendoktorwürde der Königlichen Technischen Hochschule (KTH) in Stockholm. Der Festakt begann mit einer Ansprache von Rektorin Sigbritt Karlsson. Urkunde, Ring und Ehrendoktorhut wurden von Vizerektorin und Promotorin Margareta Norell Bergendahl überreicht, während Fakultätendekanin Katja Tollmar Grillner die Laudatio hielt. In der Feier wurde eine weitere Ehrendoktorwürde verliehen, und die in diesem Jahr an der KTH Promovierten erhielten ihre Urkunden. Außerdem wurden alle neuen Professoren der KTH offiziell eingeführt. Darauf folgten ein Bankett mit anschließendem Ball.



## Betriebsausflug nach Stuttgart

Bei bestem Wetter ging es am 29. September mit drei Bussen nach Stuttgart, wo das Team der zentralen Konstruktion für den Vormittag verschiedene Führungen sowie Stadtrundgänge am Nachmittag organisiert hatte.



Führung am Flughafen.



Mercedes-Benz Museum.



Stadtrundgang.

### Impressum

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