



# MPIK-NEWS

Liebe Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter,  
Ehemalige und Freunde des MPIK,



Gegensätze ziehen sich an, sind also „attraktiv“. Dies gilt in der Physik geladener Teilchen, die ihrerseits die Grundlage von Chemie und ihrer (Molekül-) Bindungen ist. Diese Bindungen beruhen

auf Austausch(-teilchen). Konstruktiver Austausch von Wissen und Erfahrungen bringt uns nicht nur bei der Arbeit und gesellschaftlich zusammen, es macht auch mehr Spaß, es wird „attraktiver“. Hinter uns liegt eine „austauschreiche“ Zeit mit einem gelungenen Betriebsausflug und einer öffentlichen „Nacht der Forschung“. Alles hält zusammen im erfolgreichen Leistungsaustausch zwischen Forschung, Technik und Verwaltung. Lesen Sie in dieser Ausgabe von aktuellen Erkenntnissen zu physikalischen Gegensätzen: Vom jungen Universum zu den langlebigsten Zerfallsprozessen, von dunkler Materie zu hellsten Gamma- und Laser-Lichtblitzen, die sogar Atome verzerren, wo sie und ihre Kerne doch zu den stabilsten Taktgebern zählen, die wir kennen.

Frohe Weihnachtsfeiertage und Alles Gute für das Neue Jahr, mit erfreulichen Attraktionen, wünscht  
Ihr

Prof. Dr. Thomas Pfeifer  
(Geschäftsführender Direktor)

## In dieser Ausgabe

Heliumhydrid-Ionen im frühen Universum	1
H.E.S.S. sieht Nachglühen eines Gammablitzes .....	2
Auf dem Weg zur Kernuhr .....	2
Kurzmeldungen .....	3
Namen & Notizen .....	3
Betriebsausflug, Nacht der Forschung....	4
Festkolloquium zum 90. Geburtstag von Hugo Fechtig .....	4

## Heliumhydrid-Ionen im frühen Universum

**Reaktionen von Elektronen mit Heliumhydrid-Ionen im kryogenen Speicherring CSR korrigieren frühere Messungen.**

Ungefähr 400.000 Jahre nach dem Urknall hatte sich das expandierende Universum soweit abgekühlt, dass Elektronen und Kerne begannen, sich zu neutralen Atomen zu verbinden. Mit weiter fallender Temperatur bildete sich durch Kollision von Helium mit noch vorhandenen freien Protonen das erste Molekül: das Heliumhydrid-Ion ( $\text{HeH}^+$ ) – der Anfang der Chemie.  $\text{HeH}^+$  und andere frühe Moleküle spielten durch Infrarotemission eine entscheidende Rolle zur Kühlung primordialer Gaswolken, ein notwendiger Schritt zur Sternentstehung.

Die Häufigkeit von  $\text{HeH}^+$  hängt kritisch von Reaktionen ab, die dieses abbauen. Bei niedrigen Temperaturen dominiert der Abbau durch dissoziative Rekombination (DR) mit freien Elektronen. Sobald Heliumhydrid durch einen Elektroneneinfang neutralisiert ist, zerfällt es in Helium- und Wasserstoff-Atome. Bisher in Datentabellen für die Reaktionsraten verfügbare Werte beruhten auf Laborexperimenten bei Raumtemperatur. Unter diesen Bedingungen befinden sich die Moleküle in recht hohen Rotations-Anregungszuständen, die immer im Verdacht standen, den Elektroneneinfangprozess zu beeinflussen.

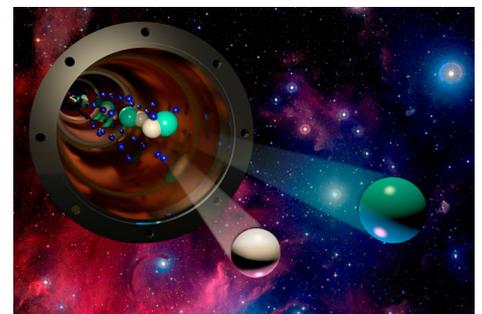
Ein tieferer Einblick in das Verhalten bei niedrigen Temperaturen gelang durch Untersuchung der Stöße von  $\text{HeH}^+$  mit Elektronen am CSR. Dieser ist mit seinen niedrigen Temperaturen und dem exzellenten Vakuum bestens für derartige Studien geeignet. Die Rekombination erfolgte im Elektronenkühler, wo der gespeicherte Ionenstrahl in einem gleichgerichteten Elektronenstrahl eingebettet ist. Die relativen Geschwindigkeiten lassen sich bis zum Wert Null einstellen, was einen Zugang zu sehr geringen Kollisionsenergien bietet. Die Reaktionsprodukte werden stromab nachgewiesen, was die Bestimmung absoluter Reaktionsraten erlaubt.

Bei einer Temperatur von 6 K im Inneren des CSR gehen die gespeicherten  $\text{HeH}^+$ -Ionen innerhalb von einigen zehn

Sekunden durch Strahlungskühlung in den Rotationsgrundzustand über. Während dieses Kühlvorgangs ließ sich die Besetzung der einzelnen Rotationszustände verfolgen und daraus die zustandsabhängigen DR-Wahrscheinlichkeiten extrahieren.

Für die niedrigsten Rotationsniveaus von  $\text{HeH}^+$  ergab sich eine Rekombinationsrate, die bis zu einem Faktor 80 unterhalb der Werte in den bisher verwendeten Datentabellen liegt. Der dramatische Rückgang liegt vor allem an den niedrigen Temperaturen. Daraus folgt wiederum eine stark erhöhte Häufigkeit dieses primordialen Moleküls in der Ära der ersten Sternentstehung.

Die neuen, beispiellos detaillierten Ergebnisse haben hohe Relevanz sowohl für das Verständnis der Reaktion an sich als auch für die Modellierung des frühen Universums. Für die Theorie molekularer Kollisionen ist das  $\text{HeH}^+$ -System weiterhin eine Herausforderung. Die neuen Resultate sind hier eine Messlatte für die Berechnungs-Codes. Aus den experimentellen DR-Reaktionsraten – nunmehr für verschiedene Elektronenenergien und Rotationszustände verfügbar – lassen sich die Umgebungseigenschaften in Modellrechnungen für die Chemie des primordialen Gases ableiten.



Künstlerische Darstellung des Experiments unter Weltraumbedingungen im CSR.

**Kontakt:** Oldřich Novotný, Andreas Wolf, Klaus Blaum  
**Publikation:** Quantum state selective electron recombination studies suggest enhanced abundance of primordial  $\text{HeH}^+$ , Science 365, 6454, 676-679, DOI: 10.1126/science.aax5921

## H.E.S.S. sieht Nachglühen eines Gammablitzes

**Gammastrahlenausbrüche enthalten im Nachglühen auch höchst-energetische Gammastrahlung. Diese Entdeckung gelang im Juli 2018 mit dem riesigen 28-m-Teleskop von H.E.S.S..**

Am 20. Juli 2018 meldeten Detektoren an Bord der Satelliten Fermi und Swift kurz nacheinander einen Gammastrahlenausbruch, genannt GRB 180720B.

Extrem energiereiche kosmische Explosionen produzieren Gammastrahlenausbrüche (GRB), die nur einige zehn Sekunden dauern. Darauf folgt ein länger andauerndes Nachglühen im optischen und Röntgen-Bereich, dessen Helligkeit rasch abklingt. Bis zu welchen Energien GRBs Strahlung emittieren, und ob auch höchstenergetische Gammastrahlung dabei ist, blieb bisher offen.

Dieser Nachweis gelang nun mit dem großen H.E.S.S.-Teleskop, das für derartige Beobachtungen besonders geeignet ist. In den Beobachtungsdaten, die 10 bis 12 Stunden nach dem Gammastrahlenausbruch aufgezeichnet wurden, war an der Stelle des Ausbruchs eine neue, punktförmige Gammastrahlen-Quelle sichtbar, die 18 Tage später wieder verschwunden war.

GRB 180720B war sehr stark und dauerte etwa 50 Sekunden – eine relativ lange Zeit, die auf den Tod eines massereichen Sterns hindeutet. Dabei kollabiert dessen Kernbereich zu einem schnell rotierenden Schwarzen Loch mit einer Akkretionsscheibe aus

heißem Gas. Senkrecht zur Scheibenebene ausgestoßene Gasjets erzeugen die Gammablitzte.

Die jetzt entdeckte höchstenergetische Gammastrahlung demonstriert nicht nur die Anwesenheit von extrem beschleunigten Teilchen, sondern zeigt auch, dass diese Teilchen relativ lange nach der Explosion noch existieren bzw. erzeugt werden.

Zum Zeitpunkt der H.E.S.S.-Messungen hatte das Nachglühen im Röntgenlicht schon stark abgenommen. Erstaunlich ist, dass „Helligkeit“ und spektrale Form im Röntgen- und höchstenergetischen Gammabereich übereinstimmen. Wie diese auf sehr hohe Energien beschleunigten Teilchen höchstenergetisches Gammalicht erzeugen, kann theoretisch auf verschiedene Art und Weise geschehen. Die H.E.S.S. Ergebnisse grenzen die möglichen Emissionsmechanismen stark ein, geben aber auch neue Rätsel auf, da sie recht extreme Parameter des GRBs als kosmischem Teilchenbeschleuniger erfordern.

Zusammen mit den Beobachtungen höchstenergetischer Gammastrahlung nach späteren GRBs durch MAGIC und erneut H.E.S.S. ermöglicht diese Entdeckung tiefere Einblicke in die Natur von Gammastrahlenausbrüchen und eröffnet ganz neue Perspektiven für das Nachfolgerinstrument CTA.



Das große H.E.S.S.-Teleskop und zwei der vier kleineren Teleskope.

**Kontakt:** Edna Ruiz, Dan Parsons, Jim Hinton, Werner Hofmann  
**Publikation:** A very-high-energy component deep in the Gamma-ray Burst afterglow, *Nature* 575, 464–467 (2019), DOI: 10.1038/s41586-019-1743-9

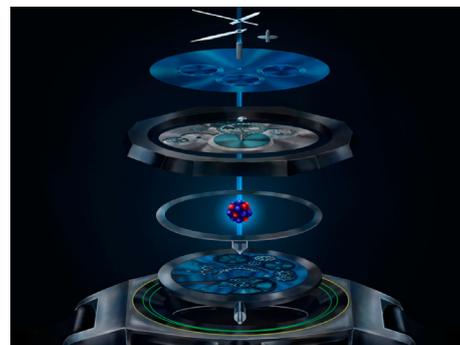
## Auf dem Weg zur Kernuhr

**Erstmals gelang es, die Energie genau messen, die frei wird, wenn Thorium-229-Atomkerne aus dem niedrigsten angeregten Niveau in den Grundzustand zurückfallen.**

Die derzeit besten Atomuhren gehen in 30 Milliarden Jahren nur um eine einzige Sekunde falsch. Eine Kernuhr könnte diese Präzision noch um eine Größenordnung übertreffen. Im Unterschied zu Atomuhren dienen bei Kernuhren nicht Schwingungen in der Elektronenhülle als Taktgeber, sondern Schwingungen im Atomkern selbst. Die Schwingungen sind die Folge von Übergängen zwischen Energieniveaus, die von Lasern bestimmter Wellenlängen angeregt werden. Allerdings liegen die zur Anregung von Atomkernen erforderlichen Energien um mehrere Größenordnungen über den Anregungsenergien für Elektronen. Eine Ausnahme ist das Isotop Thorium-229: Es besitzt das bei weitem niedrigste angeregte Energieniveau aller derzeit bekannten Atomkerne. Für seine Anregung reicht ultraviolette Strahlung aus, die mit Lasern produziert werden kann. Für den Bau eines solchen Lasers muss aber die Energie des Kernübergangs genau bekannt sein.

Für die Experimente an der LMU München kamen angeregte Thorium-229-Kerne aus in Mainz hergestellten Quellen zum Einsatz. Daraus gewonne Thorium-229-Kationen schossen die Wissenschaftler durch eine Folie aus Graphen. Dann holt sich das Ion seine fehlenden Elektronen vom Graphen und verlässt die Folie als neutrales Atom. Der angeregte Kernzustand gibt seine Energie an ein Elektron ab, das aus der Atomhülle herausgeschossen wird. Die kinetische Energie dieses Elektrons hängt von der Energie des angeregten Kernniveaus ab und ist dann mit einem Elektronen-Spektrometer messbar.

Die Interpretation der gemessenen Spektren ist allerdings sehr anspruchsvoll, da das Elektron nur einen Teil der Kernanregungsenergie trägt und ein anderer Teil beim Thorium-Ion zurückbleibt. Nur mithilfe von aufwendigen Simulationen der elektronischen Energiespektren war es möglich, die Energie des Kernübergangs zu bestimmen. Hier konnten theoretische Physiker des MPIK den entscheidenden Beitrag leisten. Während der Neutralisation wird der Elektronenhülle Energie übertragen. Dadurch sind die meisten Thorium-Atome gar nicht im elektronischen Grundzustand, sondern in angeregten Zuständen. Das verkompliziert die Datenanalyse.



Unter Berücksichtigung dieser Prozesse ergab sich, dass zur Anregung von Thorium-229 Laserstrahlen mit einer Wellenlänge von rund 150 Nanometern erforderlich sind. Auf Basis dieser Ergebnisse können nun erstmals solche Laser konstruiert und damit die Entwicklung einer Kernuhr entscheidend vorangetrieben werden.

**Kontakt:** Adriana Pálffy  
**Publikation:** Energy of the  $^{229}\text{Th}$  nuclear clock transition, *Nature* 573, 243-246, DOI: 10.1038/s41586-019-1533-4

## + + + Kurzmeldungen + + +

### Neues Gammastrahlen-Observatorium

36 Forschungsinstitute aus neun Ländern haben eine neue internationale Forschungs- und Entwicklungskollaboration gegründet, um auf der Südhalbkugel ein Gammastrahlenobservatorium mit großem Gesichtsfeld zu bauen: das Southern Wide field-of-view Gamma-ray Observatory (SWGGO). Die Detektionstechnik ist im Prinzip dieselbe wie bei HAWC in Mexiko und LHAASO in China. Wasser-Tscherenkow-Detektoren registrieren die Teilchenschauer, die von Gammastrahlen in der Atmosphäre erzeugt werden, indem sie das Licht messen, das entsteht, wenn Teilchen durch Tanks mit gereinigtem Wasser fliegen.

Kontakt: Jim Hinton, Harm Schoorlemmer

Meldung vom 01.07.2019

### Anwendung der FlashCam-Elektronik

Bei der Ionenstrahltherapie ist es das Ziel, malignes Gewebe durch die ionisierende Wirkung von Ionenstrahlen zu zerstören. Gleichzeitig soll umgebendes Gewebe möglichst verschont werden. Eine Forschergruppe am DKFZ entwickelt mit Hilfe der Spektroskopie von prompter Gammastrahlung aus Ion-Kern Wechselwirkungen ein Verfahren zur schnellen und genauen Bestimmung der wahren Eindringtiefe während der Bestrahlung. Im Rahmen einer interdisziplinären Zusammenarbeit trägt das MPIK das Digitalisierungs- und Datennahmesystem zu den Studien bei. Das System wurde ursprünglich für die Anwendung in Kameras (FlashCam) von Cherenkov Teleskopen entwickelt und ist ebenso bereits in mehreren anderen Experimenten erfolgreich im Einsatz.

Kontakt: German Hermann, Thomas Kihm

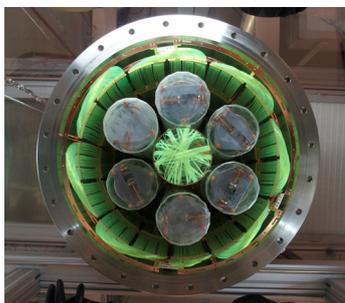
Meldung vom 02.07.2019

### Der Neutrinomasse auf den Fersen

Seit 2010 fahndet das GERDA-Experiment nach einem extrem seltenen radioaktiven Zerfall: dem neutrinolosen doppelten Beta-Zerfall, mit dessen Existenz sich gleich mehrere Physikprobleme lösen ließen. Er würde Aufschluss darüber geben, ob Neutrinos mit ihren Antiteilchen identisch sind und was der Ursprung ihrer Masse ist. Außerdem würde er helfen zu verstehen, warum es im

Universum praktisch keine Antimaterie gibt. Wie die aktuellen, jetzt in Science veröffentlichten Daten zeigen, lässt dieser Nachweis aber weiter auf sich warten. Dennoch sind die Wissenschaftler einen großen Schritt weiter: Das Experiment ist so empfindlich geworden, dass die Halbwertszeit dieses Zerfalls mehr als unvorstellbare  $10^{26}$  Jahre betragen muss.

Kontakt: Manfred Lindner, Bernhard Schwingenheuer  
Meldung vom 06.09.2019



Blick von unten auf die 7 Stränge von Germaniumdetektoren in ihrer Abschirmung. Die grünen Fasern sammeln von Störereignissen im Argon erzeugtes Licht.

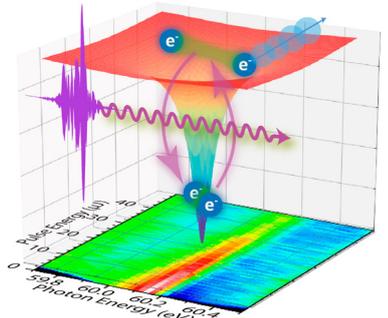
### Verzerzte Atome

Mit zwei Experimenten am Freie-Elektronen-Laser FLASH in Hamburg gelang es, starke nichtlineare Wechselwirkungen ultrakurzer extrem-ultravioletter (XUV) Laserpulse mit

Atomen und Ionen hervorzurufen. Die heftige Anregung des Elektronenpaares in einem Heliumatom konkurriert so stark mit dem ultraschnellen Zerfall des angeregten Zustands, dass vorübergehend sogar Besetzungsinversion auftreten kann. Verschiebungen der Energie elektronischer Übergänge in  $\text{Ne}^{2+}$ -Ionen wurde mittels transientser Absorptionsspektroskopie beobachtet (XUV-XUV Pump-Probe).

Kontakt: Christian Ott, Thomas Ding, Thomas Pfeifer

Meldung vom 15.10.2019



Gekoppelte Anregung eines Elektronenpaares im He-Atom durch einen intensiven XUV-Laserpuls und resonante XUV-Absorption der Doppel-Anregung und ihre Änderung mit der Energie des XUV-Pulses.

### Dem Krebsnebel ein Geheimnis entlockt

Der Krebsnebel ist der Überrest einer im Jahr 1054 beobachteten Supernova in unserer Galaxis. Obwohl es sich um eines der am besten untersuchten Himmelsobjekte handelt, ist es einem internationalen Team von Wissenschaftlern erst jetzt mit Hilfe der H.E.S.S.-Teleskope gelungen, die Ausdehnung des Krebsnebels in hochenergetischer Gammastrahlung zu bestimmen. Dafür kam erstmals eine neuartige Simulationsumgebung zum Einsatz, welche die Bedingungen bei der Beobachtung des Krebsnebels auf einem bisher unerreichten Detailgrad mitberücksichtigt.

Kontakt: Dan Parsons

Meldung vom 29.10.2019

### Neuartige Suche nach Dunkler Materie

Einen völlig neuen Ansatz bei der Suche nach Dunkler Materie haben Wissenschaftler der BASE-Kollaboration am CERN verfolgt: Das Untersuchungsobjekt ist ein einzelnes Antiproton, geliefert vom Antiproton Decelerator des CERN und gefangen in einer Penningfalle. Das Antiproton besitzt nicht nur eine Ladung, sondern auch einen Spin. In einem Magnetfeld präzediert dieser Spin mit einer konstanten Frequenz. Die Anwesenheit von Dunkler Materie könnte hypothetisch diese Frequenz verändern. Mit dem aktuellen Messaufbau ergaben sich keine Hinweise auf Dunkle Materie, aber die Messungen haben die Empfindlichkeit im Vergleich zu astrophysikalischen Beobachtungen um bis zu fünf Größenordnungen übertroffen.

Kontakt: Klaus Blaum

Meldung vom 13.11.2019

### Namen & Notizen

#### Preis

**PD Dr. Adriana Pálffy-Buß:** Röntgen-Preis der Justus-Liebig-Universität Gießen

#### Verstorben

**Prof. Dr. Ahmed El Goresy,** wissenschaftlicher Mitarbeiter am MPIK von 1963 bis 1998, im Alter von 85 Jahren

## Betriebsausflug am 9. Oktober



Wanderung entlang des Neckarsteigs zur Burg Dilsberg, dort Führungen in deutscher und englischer Sprache und weiter nach Neckarsteinach zum Mittagessen. Nachmittag zur freien Verfügung. Rückfahrt mit dem Linienschiff der Weißen Flotte von Neckarsteinach über Neckargemünd nach Heidelberg.  
**Perfekt vorbereitet vom Organisationsteam um Anja Berneiser!**



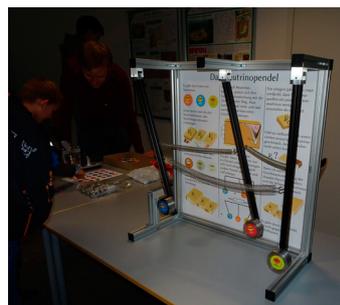
## Nacht der Forschung am 27. September

Am 27. September fand in Heidelberg und Mannheim die „Nacht der Forschung“ als offenes und öffentliches Wissenschaftsfestival statt. Diese vom EMBL koordinierte Veranstaltung war Teil der EU-geförderten „European Researchers' Night“, am letzten Freitag im September gleichzeitig an über 300 Orten in Europa. Im Zeitraum 2018/2019 wurden in Deutschland neben Heidelberg/Mannheim nur zwei weitere Standorte im Rahmen dieses Projekts gefördert.

Unter dem Motto „Expedition Neugier“ fanden vom Nachmittag bis Mitternacht ca. 7000 Besucher ihren Weg zu mehr als 130 Angeboten der 16 teilnehmenden Institutionen in der Wissenschaftsregion an Neckar und Rhein. Bus-Shuttles sorgten für eine gute Vernetzung der Standorte.



Das MPIK bot von 18 bis 21 Uhr im Hörsaalgebäude mit sechs Vorträgen sowie Vorführungen und Experimenten zum Mitmachen einen anschaulichen Einblick in seine vielfältige Forschung: sei es vor Ort im Labor und in der Theorie oder an speziellen Standorten weltweit.



Einige 100 Besucher erfuhren hier von unseren Wissenschaftler\*innen Spannendes und Informatives über Ionenfallen, den Ursprung kosmischer Strahlung, was uns farbiges Licht über Atome erzählt und welche Eigenschaften Neutrinos haben.

## Festkolloquium zum 90. Geburtstag von Hugo Fechtig

Am 14. November trafen sich zahlreiche Ehemalige zum Festkolloquium aus Anlass des 90. Geburtstags von Hugo Fechtig, der von 1974 bis 1994 Direktor am MPIK gewesen war. Nach der Begrüßung durch Heinz Völk hielt der Jubilar den ersten der drei Vorträge. Unter dem Titel „MPIK von Anfang an“ erzählte er von den ersten Jahren des Instituts, an das er als frisch Promovierter zusammen mit Wolfgang Gentner aus Freiburg gekommen war. Es folgte Eberhard Grün, der nach Fechtigs Emeritierung die Staubgruppe geleitet hatte, mit seinem Vortrag „Entwicklung der Staubastronomie“, in dem er über die Erforschung des interstellaren und interplanetaren Staubs im Sonnensystem mit Detektoren des MPIK berichtete. Im dritten Vortrag ging Jochen Kissel, einst wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Fechtig, unter dem Titel „Untersuchungen an Kometenstaub“ auf die verschiedenen Missionen zu Kometen und deren Ergebnisse ein.



Hugo Fechtig, Jochen Kissel, Heinz Völk, Eberhard Grün.

### Impressum

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