



# MPIK-NEWS

Liebe Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter,  
Ehemalige und Freunde des MPIK,



ein weiteres,  
dank Ihrem Wirken  
erfolgreiches, Jahr  
neigt sich dem Ende  
entgegen.

Vieles ent-  
wickelt sich: Die  
Welt, der Raum,  
die Menschen und  
ihr Wissen. Unsere  
wissenschaftlichen

Erfolge sind hier wie gewohnt für Sie  
zusammengefasst. Neue Mitarbeiterin-  
nen und Mitarbeiter bereichern die Ar-  
beitsgemeinschaft unseres Instituts. Der  
Feinwerktechnik-Anbau steht und bietet  
Raum für neue Projekte.

Wie die Welt morgen aussieht? Daran  
bauen wir heute und jeden Tag neu. So  
entstehen aus der Kombination Ihrer  
vielschichtigen Erfahrung, Ihrer Begeiste-  
rung und messbaren Fakten Bausteine für  
unsere Zukunft in Wissenschaft, Technik  
und Gesellschaft. Zeugnis davon gaben  
die öffentlichen Veranstaltungen, insbe-  
sondere der Tag der offenen Tür, im Jahr  
60 des MPIK.

Zum Ausklang dieses Jubiläumsjahres  
wünsche ich Ihnen Allen frohe und erhol-  
same Festtage und ein gutes Neues Jahr.

Ihr

Prof. Dr. Thomas Pfeifer  
(Geschäftsführender Direktor)

## In dieser Ausgabe

Wasser verstärkt Strahlenschäden .....	1
Schnelle Wasserbildung in diffusen interstellaren Wolken .....	2
Zeitmessung ohne Stoppuhr .....	2
Kurzmeldungen .....	3
Jubiläumsfeier 60 Jahre MPIK .....	3
Namen & Notizen .....	3
Tag der offenen Tür .....	4
Max-Planck-Woche .....	4

## Wasser verstärkt Strahlenschäden

*Durch den Energietransfer von der Hydrathülle auf ein Biomolekül entstehen mehrere reaktive Teilchen, die etwa die DNA angreifen können.*

Ionisierende Strahlung schlägt aus Biomolekülen reaktive Teilchen wie Radikale, Ionen und langsame Elektronen heraus. Diese schädigen das Erbgut und andere Teile der Zelle. So können sie einen oder gar beide Stränge in der Strickleiterstruktur des DNA-Moleküls brechen. Besonders fatal wirken dabei die vielen Elektronen. Sie können in einem lawinenartigen Effekt weitere langsamere Elektronen freisetzen, die aber immer noch genügend Energie besitzen, um Biomoleküle kaputt zu machen.

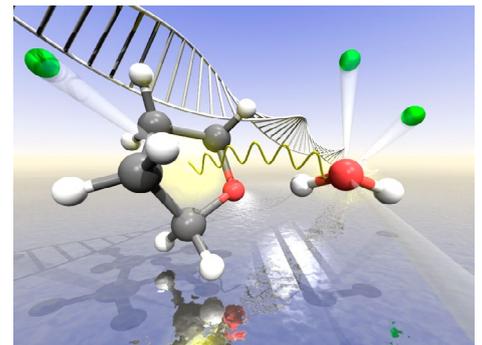
In einem bisher unbekanntem Mechanismus für Strahlenschäden in Biomolekülen spielt die Hydrathülle eines Biomoleküls die entscheidende Rolle. Ein relativ langsames Elektron, wie es ionisierende Strahlung im Gewebe erzeugt, kann aus einem Wassermolekül dieser Hülle ein Elektron heraus schlagen. In das entstehende Loch fällt ein anderes Elektron aus dem Wassermolekül, wobei Energie frei wird. Diese Energie kann dann das Biomolekül sehr schnell ionisieren. Letztlich erzeugt ein Elektron mit relativ wenig Energie bei diesem intermolekularen Coulombzerfall also fünf reaktive Produkte: drei noch energieärmere Elektronen sowie die energiereichen Ionen des Wassers und des Biomoleküls. Diese Produkte können weitere Schäden anrichten, und zwar besonders gravierende, weil gleich mehrere reaktive Teilchen in einem Volumen entstehen, das etwa so groß ist wie ein Protein oder ein DNA-Molekül.

Als Modell für ein DNA-Molekül mit Hydrathülle diente ein Komplex aus einem Molekül Tetrahydrofuran und einem Wassermolekül. Das organische Molekül ähnelt dem Zuckermolekül Desoxyribose, einem der Bausteine der DNA-Strickleiter. Erzeugt ein Elektronenstoß im Sauerstoff-Atom des Wassermoleküls ein Loch, so kann das Tetrahydrofuran-Molekül über den intermolekularen Coulombzerfall ionisiert werden. Weil sich die beiden nun jeweils positiv geladenen Moleküle ab-

stoßen, bricht die schwache Bindung auf und es kommt zur Coulombexplosion des Komplexes.

Bei den Experimenten mit einem Reaktionsmikroskop konnten aus einem einzelnen Coulomb-Zerfall beide Ionen und wenigstens ein Elektron nachgewiesen werden. Wissenschaftler der Universität Irkutsk in Russland unterfütterten die Experimente mit theoretischen Studien, indem sie die Struktur des Komplexes aus Tetrahydrofuran und Wasser sowie den Ablauf des Coulombzerfalls berechneten.

So untersuchten die Forscher, wie oft der Coulombzerfall im Vergleich zu einem anderen Prozess auftritt, der zum gleichen Ergebnis führt. Denn ein ursprüngliches, relativ energiereiches Elektron kann nacheinander auch das Wasser- und das Tetrahydrofuran-Molekül ionisieren. Es zeigte sich jedoch, dass der Coulombzerfall etwa fünfmal wahrscheinlicher ist als die Doppelionisierung durch zwei Stöße des ursprünglichen Elektrons.



*Künstlerische Darstellung des intermolekularen Coulombzerfalls des Tetrahydrofuran-Wasser-Komplexes nach Elektronenstoß, bei dem zusätzlich Elektronen (grün) freigesetzt werden. Die gelbe Welle symbolisiert die Energieübertragung vom Wasser auf das Tetrahydrofuran-Molekül. Im Hintergrund ist ein DNA-Strang angedeutet.*

**Kontakt:** Alexander Dorn

**Publikation:** Experimental evidence for ultrafast intermolecular relaxation processes in hydrated biomolecules  
Nature Physics 14 (2018) 1062-1066,  
doi: 10.1038/s41567-018-0214-9

## Schnelle Wasserbildung in diffusen interstellaren Wolken

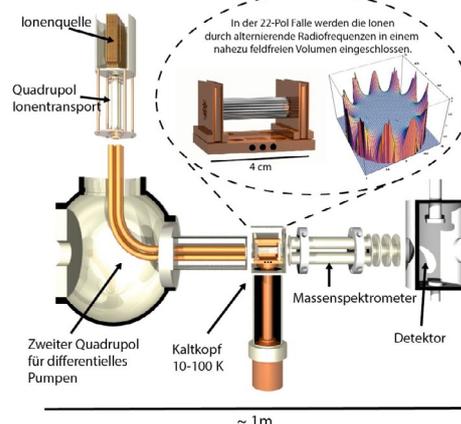
*Zwei Schritte in der Bildung von gasförmigem Wasser in diffusen interstellaren Wolken verlaufen schneller als bisher vermutet.*

Ansammlungen von Gas und Staub im All können als interstellare Wolken beobachtet werden. Trotz der niedrigen Temperaturen und der geringen Dichten findet man darin eine Vielzahl von Molekülen. Das Rückgrat der kalten interstellaren Chemie sind Reaktionen zwischen geladenen und ungeladenen Atomen oder Molekülen. Wie effektiv sind nun diese Prozesse? Hierbei kommt es entscheidend darauf an, ob ein Stoß zwischen den Reaktionspartnern auch tatsächlich zur Reaktion führt, denn in dem dünnen Medium sind Stöße selten. Das lässt sich nur mit Laborexperimenten herausfinden, die unter Bedingungen wie in interstellaren Wolken erfolgen sollten. Da diese aber schwierig zu realisieren sind, basieren bis heute astrochemische Modelle meist auf Daten, die bei weit höheren Temperaturen und Dichten gemessen wurden, und dementsprechend nur bedingt Gültigkeit haben.

Wasser entsteht in diffusen interstellaren Wolken über eine Kette von Prozessen, die von der kosmischen Strahlung gestartet wird. Zwischenprodukte sind das Hydroxylion ( $\text{OH}^+$ ) und das Wasserkation ( $\text{H}_2\text{O}^+$ ), die jeweils mit Wasserstoffmolekülen reagieren, wobei sie ein Wasserstoffatom anlagern und das andere freisetzen. Eine Messung der Reaktionsraten dieser beiden wichtigen Schritte für die Erzeugung von interstellarem Wasser bei tiefen Temperaturen gelang nun in einer kryogenen Radiofrequenz-Ionenfalle, in der Temperaturen bis zu 10 Kelvin erreichbar sind. Bis zu 100 Millisekunden nach Zugabe einer definierten Menge Wasserstoffgas wurde bestimmt, wie viele der ursprünglichen Ionen noch vorhanden waren. Aus den Daten wurden so-

genannte Ratenkoeffizienten abgeleitet, die ein Maß dafür sind, wie effizient die Stöße zwischen den Reaktionspartnern sind. Es zeigte sich, dass hier praktisch jeder Stoß zur Reaktion führt. Die neuen Werte sind gegenüber früheren Messungen bei Raumtemperatur deutlich „schneller“. Das hat weitreichende Auswirkungen auf das Verständnis der interstellaren Chemie.

Parallel dazu haben Kollegen aus Zypern und den USA theoretische Rechnungen mit einer neuartigen Methode durchgeführt, welche auf elegante Weise Analogien nutzt und damit Quanteneffekte berücksichtigt, welche bei tiefen Temperaturen besonders relevant sind. Die so berechneten Ratenkoeffizienten stimmen hervorragend mit den gemessenen überein.



Übersicht des experimentellen Aufbaus mit der kryogenen 22-Pol-Falle in der Mitte.

**Kontakt:** Holger Kreckel

**Publikation:** Low temperature rates for key steps of interstellar gas-phase water formation, *Science Advances* 4, eaar3417 (2018), doi: 10.1126/sciadv.aar3417

## Zeitmessung ohne Stoppuhr

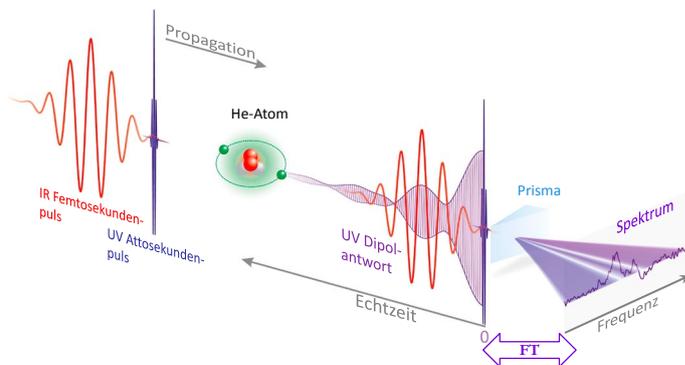
*Die volle Zeitabhängigkeit der Antwort eines Atoms auf starke Laserfelder lässt sich durch Spektralanalyse extrahieren.*

Das Verständnis und die Kontrolle ultraschneller Quantendynamik in Materie ist eine der zentralen Herausforderungen in der modernen Physik. In den meisten Fällen wird die Antwort des untersuchten Systems auf eine externe Störung, z. B. einer Anregung, in einem Pump-Probe-Schema gemessen. Ein erster Laserpuls startet einen dynamischen Prozess, der nachfolgend mit einem zweiten Laserpuls mit variabler Verzögerung abgefragt wird. Zur Zeit erlaubt dies die Messung ultraschneller Bewegungen bis auf Zeitskalen von Femto- und Attosekunden. Jedoch ist es nach wie vor schwierig, die Dynamik von gebundenen Elektronen unter Einfluss intensiver Laserfelder in Echtzeit zu vermessen. Ein Weg hierzu ist, die wellenartige Ladungszillation des Elektrons, „Dipolantwort“ genannt, aus den Messungen zu extrahieren.

Wenn ein System durch einen sehr kurzen Laserpuls angeregt wird, erlaubt eine simple Fourier-Transformation des gemessenen Absorptionsspektrums, die zeitliche Entwicklung der Dipolantwort zu rekonstruieren. Dies war schon für schwache Lichtfelder („lineare Antwort“) bekannt.

Das Konzept lässt sich auf den Fall eines starken zusätzlichen Laserpulses, der die Dipolantwort der Elektronen antreibt, verallgemeinern: Einem ultrakurzen (Attosekunden) Ultraviolett-Laserpuls folgt direkt ein intensiver Femtosekunden-Infrarotpuls, der die Dipolantwort der Probe – hier ein Heliumatom – modifiziert. Das UV-Absorptionsspektrum, zu dem der eingestrahlte Attosekundenpuls und die Dipolantwort beitragen, wird analysiert und die zeitabhängige Antwortfunktion rekonstruiert.

Während der Wechselwirkung mit dem starken IR-Feld führt resonante Kopplung an weitere Zustände zu einer Modulation (Rabi-Oszillation) der Antwortfunktion. Bei hoher Intensität zeigt sich eine verstärkte Dämpfung durch Starkfeldionisation. Auch hier stimmt die rekonstruierte Antwort noch gut mit einer „Ab-Initio“-Simulation überein, während ein vereinfachtes Modell zusammenbricht. Die Ursache liegt in der aufkommenden dynamischen Komplexität oberhalb einer kritischen Intensität, wo die Anzahl der beteiligten Zustände gleichsam explodiert.



*Durch einen IR-Laserpuls modifizierte Dipolantwort eines Helium-Atoms nach Anregung durch einen UV-Laserpuls. Das Spektrum ist damit über Fourier-Transformation (FT) verknüpft.*

**Kontakt:** Thomas Pfeifer, Veit Stooß, Christoph Keitel

**Publikation:** Real-Time Reconstruction of Strong-Field-Driven Dipole Response, *Physical Review Letters* 121, 173005 (2018), doi: 10.1103/PhysRevLett.121.173005

## + + + Kurzmeldungen + + +

### Intensives Licht verlangsamt Elektronen

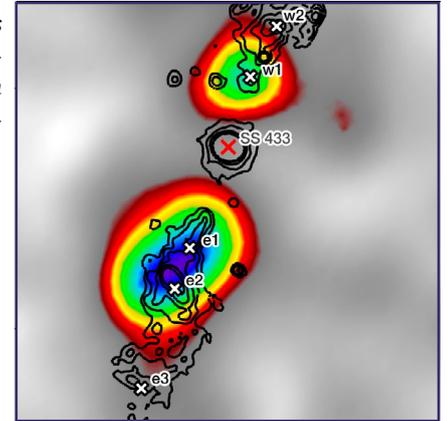
Eine internationale Kollaboration hat den ersten direkten experimentellen Beleg dafür geliefert, dass ultra-intensives Licht einen hochenergetischen Elektronenstrahl erheblich verlangsamen kann. Dies erhellt ein fundamentales Problem in der modernen Physik, die sogenannte Strahlungsrückwirkung: Dabei wirkt die Strahlung, die von einem in einem externen elektromagnetischen Feld beschleunigten Elektron ausgeht, auf das Elektron selbst zurück. Unter Berücksichtigung mehrerer theoretischer Modelle ließ sich zeigen, dass Quanteneffekte einbezogen werden müssen, um die experimentellen Ergebnisse zu reproduzieren.

Kontakt: Christoph Keitel, Matteo Tamburini  
Meldung vom 05.07.2018

licht mit einer Energie von mindestens 25 TeV zu sehen, das vom gleichen Ort wie die bekannten Radio- und Röntgenemissionen kommt. Diese Strahlung muss von Teilchen (sehr wahrscheinlich Elektronen und Positronen) herrühren, die auf Energien bis nahezu 1 PeV beschleunigt sind.

Kontakt: Jim Hinton, Harm Schoorlemmer  
Meldung bei HAWC vom 03.10.2018

*Die Jets des Mikroquasars SS 433 im höchstenergetischen Gammalicht im Vergleich zu Röntgendaten (Konturen).*



### Einzigartiges Verhalten von Hg-Kernen

Das Wissenschaftlerteam der ISOLTRAP-Kollaboration konnte sprunghafte Veränderungen der Kerndeformation exotischer Quecksilberisotope aufklären. Dazu wurden die Isotope  $^{177}\text{Hg}$  bis  $^{185}\text{Hg}$  am Ionenseparator ISOLDE des CERN hergestellt und dann laserspektroskopisch und massenspektrometrisch untersucht.

Kontakt: Klaus Blaum  
Meldung der Universität Greifswald vom 02.10.2018

### Jets eines Mikroquasars

Mikroquasare sind wie Miniaturausgaben von aktiven Galaxienkernen: sie schießen energiereiche Jets aus ionisierter Materie ins All. Da sie in der Milchstraße beheimatet sind, ist die von ihnen erzeugte Gammastrahlung räumlich aufgelöst beobachtbar. Der HAWC-Kollaboration gelang es nun, die Jets eines Mikroquasars – eines binären Systems aus einem schwarzen Loch und einem Begleitstern innerhalb eines Supernova-Überrests – im Gamma-

### Max Planck Center bewilligt

In dem neuen MPG-PTB-RIKEN-Zentrum für Zeit, Konstanten und fundamentale Symmetrien haben sich Experimentalphysiker mit einer Leidenschaft für Präzision zusammengetan, um gemeinsam nach Antworten auf fundamentale Fragen der Physik zu suchen, wie der zeitlichen Konstanz von Naturkonstanten oder den feinen Unterschieden zwischen Materie und Antimaterie. An der Forschungsinitiative sind außer dem MPIK auch das MPQ beteiligt. Der Start ist für den 01.01.2019 vorgesehen; die offizielle Eröffnung soll im 1. Halbjahr an RIKEN in Tokyo/Japan stattfinden.

Kontakt: Klaus Blaum, Thomas Pfeifer, José Crespo, Sven Sturm

## Jubiläumsfeier 60 Jahre MPIK am 3. Juli

Am Vormittag tagte das Kuratorium, nachmittags fand die 60-Jahr-Feier mit Grußworten und 2 Festvorträgen statt. Es folgte ein Empfang mit Häppchen und Getränken.



Übertragung ins Festzelt.



Die Festredner v.l.: Oberbürgermeister Prof. Dr. Eckart Würzner, Dr. Jürgen Kroseberg vom BMBF, MPG-Generalsekretär Rüdiger Willems, Uni-Rektor Prof. Dr. Bernhard Eitel (Grußworte), Prof. Dr. Joachim Ullrich, Prof. Dr. Werner Hofmann (Festvorträge) und Prof. Dr. Thomas Pfeifer.



Niemand musste hungern.

### Namen & Notizen

#### Preise

**PD Dr. Adriana Pálffy-Buß:** Hertha-Sponer-Preis der DPG  
**Dr. Ludwig Rauch:** Ruprecht-Karls-Preis der Stiftung Universität Heidelberg

#### Dienstjubiläen 25 Jahre

**Klaus-Dieter Sauer, Norbert Winkler** (MPG + ö. D.), **Klaus Jänner** (MPG)

## Tag der offenen Tür am 16. September



Radioaktivität, CONUS, Strahlenschutz

3023 Besucher  
69 Stationen  
Ideales Wetter



Netzwerktechnik



„Science and Fun“



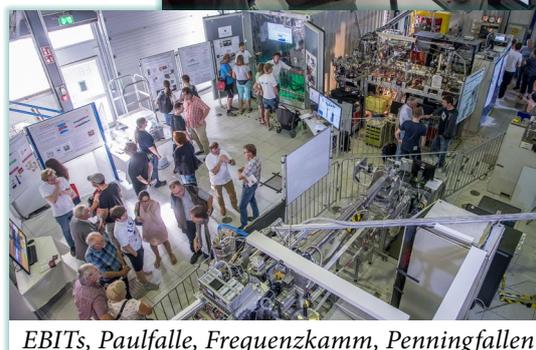
CSR



Elektronik



Hochenergie-Astrophysik



EBITs, Paulfalle, Frequenzkamm, Penningfallen

## Max-Planck-Woche

Am 14. September beging die Max-Planck-Gesellschaft (MPG) bundesweit ihren Max-Planck-Tag, um der Öffentlichkeit ihre Forschung vorzustellen. Aus diesem Anlass gab es in Heidelberg eine Max-Planck-Woche. An vier Vortragsabenden im DAI präsentierten Forscher der vier hiesigen MPIs große Fragen allgemeinverständlich und unterhaltsam. Für das MPIK sprachen am Montag Prof. Dr. Dr.h.c. Manfred Lindner und PD Dr. Jörg Evers über „Helles Licht und Dunkle Teilchen“. Am eigentlichen Max-Planck-Tag fand eine Podiumsdiskussion statt mit führenden Köpfen der Institute. Daran schloss sich ein Science Slam an.



Podiumsdiskussion im DAI mit v.l.: Prof. Dr. Klaus Blaum, Prof. Dr. Anne Peters (MPIL), Moderator Jakob J. Köllhofer (Direktor des DAI), Prof. Dr. Kai Johnsson (MPIImF) und Prof. Dr. Thomas Henning (MPIA).

### Impressum

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