



# MPIK-NEWS

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



der Krieg in der Ukraine verursacht schreckliches menschliches Leid. Im Vergleich dazu kann man die Auswirkungen des Konflikts auf die Energiekosten in Europa als bloße Unannehmlichkeiten betrachten. Dennoch droht der große Kostenanstieg, der uns 2023 bevorsteht, große Auswirkungen auf unser Institut zu haben – aufgrund unserer umfangreichen experimentellen Einrichtungen und Rechnerräume. Deshalb haben wir im Sommer eine Kampagne zur Ermittlung von Effizienzverbesserungen im gesamten Institut gestartet. Diese war äußerst erfolgreich, und in den letzten zwei Monaten wurde im Institut der niedrigste Energieverbrauch seit vielen Jahren verzeichnet.

Ich möchte die Gelegenheit nutzen, allen zu danken, die zu diesem großen Erfolg beigetragen haben, und Sie ermutigen, weiterhin gute Ideen zur Steigerung unserer Energie-Effizienz einzubringen! Wir erkunden auch andere Möglichkeiten, die Nachhaltigkeit unseres Instituts zu verbessern, darunter Photovoltaik und Fernwärme. Auch hier gilt: Bringen Sie Ihre Ideen und Begeisterung ein!

Ich wünsche Ihnen ein frohes (und nachhaltiges) Weihnachtsfest, Ihr

Prof. Dr. Jim Hinton  
(Geschäftsführender Direktor)

## In dieser Ausgabe

Röntgenanalyse ohne Zweifel .....	1
Westerlund 1: ein leistungsstarker kosmischer Beschleuniger .....	2
Neues zur Chemie des Methylidin-Ions in interstellaren Wolken .....	2
Kurzmeldungen .....	3
Institutsfest, MPIK bei Explore Science...4	
Namen & Notizen .....	4

## Röntgenanalyse ohne Zweifel

*Ein vier Jahrzehnte altes Rätsel kosmischer Röntgenstrahlung ist endlich gelöst.*

Im Weltraum befindet sich mehr als 99% der gesamten sichtbaren Materie im Plasmazustand; es ist so heiß, dass die Atome Elektronen verloren haben und als positiv geladene Ionen vorliegen. Extrem heiße Plasmen mit Temperaturen von mehr als eine Million Grad gibt es zum Beispiel in der Korona der Sonne. Die von solchen Plasmen ausgesandte Röntgenstrahlung weist die Fingerabdrücke der in ihnen befindlichen chemischen Elemente auf. Sehr prominent sind Emissionslinien von Eisen, insbesondere Fe XVII, das von seinen ursprünglichen 26 Elektronen 16 verloren hat.

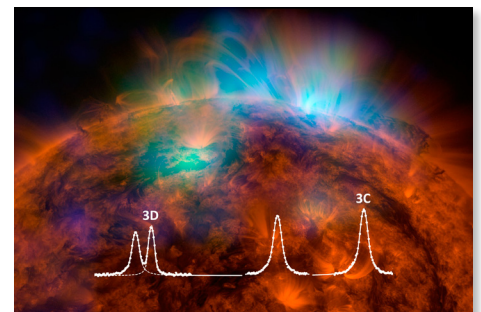
Bei der Analyse eines Röntgenspektrums vergleicht man neben den Energien der Emissionslinien unter anderem die Intensitätsverhältnisse charakteristischer Linien. Um daraus auf die Eigenschaften des kosmischen Plasmas schließen zu können, muss man diese Intensitätsverhältnisse gut kennen. Das ist möglich, indem man sie theoretisch berechnet und im Labor experimentell überprüft. Und genau das war bislang das Problem: Quantenmechanische Rechnungen und Laborergebnisse des Intensitätsverhältnisses von zwei starken Linien namens 3C und 3D wichen um etwa 20 Prozent voneinander ab und stellten unser Verständnis atomarer Struktur und das Vertrauen in die genutzten Modelle in Frage.

Das war nicht nur ein Problem für die Astronomen, sondern auch für die Physiker, denn wo lag der Fehler, in der Theorie oder dem Experiment? Vor zwei Jahren konnten das bis dahin genaueste Experiment und Berechnungen höchster Präzision die Diskrepanz nicht auflösen.

Mit neuen präziseren Messungen sollte nun anstelle des Intensitätsverhältnisses der beiden Linien die absolute Stärke der einzelnen Übergänge, auch Oszillatorstärke genannt, vermessen werden. Das gelang mit der PolarX-EBIT am Synchrotron PETRA III des DESY in Hamburg. Dieses erzeugt einen Röntgenstrahl, dessen Energie sich über einen bestimmten Ener-

giebereich durchstimmen lässt. Auf diese Weise regt man die Eisen-Ionen zur Emission von Röntgenstrahlung an, die dann in Abhängigkeit von der eingestrahlten Photonenenergie spektral analysiert wird. Mit trickreichen Verbesserungen an der Apparatur und am Messschema gelang es, die Auflösung der Spektren im Vergleich zur vorherigen Messung zu verdoppeln und den störenden Untergrund um einen Faktor tausend zu unterdrücken. Die enorm verbesserte Datenqualität brachte den Durchbruch: Erstmals ließen sich die zu untersuchenden Emissionslinien vollständig von benachbarten Linien trennen und die Linien 3C und 3D nun bis zum äußersten Rand vermessen. In den bisherigen Messungen waren die Flügel dieser Linien im Untergrund versteckt, was zu einer fehlerhaften Interpretation der Intensitäten geführt hatte. Das Endergebnis stimmt nun hervorragend mit den theoretischen Vorhersagen überein. Das freut auch die Theoretiker.

Damit ist das Vertrauen in die quantenmechanischen Rechnungen gestärkt, mit denen astrophysikalische Spektren analysiert werden. Dies gilt besonders für Linien, für die es keine experimentellen Vergleichswerte gibt. Und die Spektren der Weltraumteleskope können nun mit höherer Genauigkeit ausgewertet werden.



Röntgenlinien von hochgeladenem Eisen, dahinter die Sonne (NuStar, NASA).

**Kontakt:** José Crespo, Natalia Oreshkina, Steffen Kühn, Zoltán Harman  
**Publikation:** New Measurement Resolves Key Astrophysical Fe XVII Oscillator Strength Problem, PRL 129, 245001, DOI: 10.1103/PhysRevLett.129.245001

## Westerlund 1: ein leistungsstarker kosmischer Beschleuniger

*Wahrscheinlich verursacht der kollektive Wind des Sternhaufens die ausgedehnte hochenergetische Gammastrahlung*

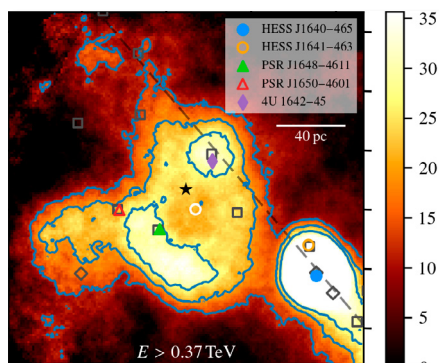
Seit mehr als 100 Jahren wissen wir, dass kosmische Strahlung (geladene Teilchen) in der Milchstraße auf extrem hohe Energien beschleunigt wird. Während lange Zeit Überreste junger und starker Supernova-Explosionen als „Schuldige“ verdächtigt wurden, sind in letzter Zeit junge, masse-reiche Sternhaufen als potenzielle Hauptverursacher der galaktischen kosmischen Strahlung in den Blickpunkt gerückt.

Westerlund 1 ist der größte bekannte junge Sternhaufen in unserer Galaxie. Er enthält zahlreiche sehr massereiche Sterne und seine Gesamtmasse beträgt etwa 105 Sonnenmassen, die Hälfte davon innerhalb eines Radius von  $\sim 1$  Parsec.

Im Jahr 2012 meldete die H.E.S.S.-Kollaboration die Entdeckung einer ausgedehnten, HESS J1646-458 genannten Gammastrahlenquelle, deren Position mit Westerlund 1 übereinstimmt. Aufgrund der begrenzten Datenmenge, die damals zur Verfügung stand, ließ sich die Emission jedoch nicht eindeutig mit Westerlund 1 in Verbindung bringen. Seitdem hat

sich die mit den vier 12-Meter-Teleskopen des H.E.S.S.-Arrays zu dieser Quelle gesammelte Datenmenge fast verfünffacht, was jetzt eine viel detailliertere Analyse der Gammastrahlenemission ermöglicht.

Die Gammastrahlenemission von HESS J1646-458 erstreckt sich über eine Region von fast 2 Grad Durchmesser, was etwa 140 Parsec (oder 450 Lichtjahre) entspricht – viel größer als der Sternhaufen selbst, wie die Karte zeigt. Die Struktur der Quelle ist recht komplex: Bemerkenswerterweise ist die Emission nicht an der Position von Westerlund 1 am stärksten, sondern scheint eher eine schalenartige



Gammastrahlen-Karte der Region um Westerlund 1.

Struktur mit mehreren hellen Bereichen zu haben. Eine detaillierte Untersuchung möglicher Quellen der Emission ergab, dass nur von Westerlund 1 beschleunigte kosmische Strahlung die beobachtete Gammastrahlenemission erklären kann.

Das gemessene Energiespektrum von HESS J1646-458 reicht bis zu einigen zehn Tera-Elektronenvolt, woraus folgt, dass Westerlund 1 als starker Beschleuniger kosmischer Strahlung wirkt. Das Spektrum lässt sich gut mit Modellen erklären, die die Gammastrahlenemission sowohl auf Protonen als auch Elektronen der kosmischen Strahlung zurückführen.

Die große räumliche Ausdehnung der Emission und ihre schalenartige Struktur könnten auf einen Zusammenhang mit dem kollektiven Wind des Haufens hindeuten, der sich als Überlagerung der Sternwinde aller massereichen Sterne innerhalb von Westerlund 1 bildet.

**Kontakt:** Lars Mohrmann, Jim Hinton

**Publikation:** A deep spectromorphological study of the  $\gamma$ -ray emission surrounding the young massive stellar cluster Westerlund 1, *A&A* 27.07.2022, DOI: 10.1051/0004-6361/202244323

## Neues zur Chemie des Methylidin-Ions in interstellaren Wolken

*Messungen unter Weltraumbedingungen am ultrakalten Speicherring CSR lieferten erstmals verlässliche Daten zur astrophysikalisch wichtigen Zerstörung von Methylidin-Ionen durch Elektronen.*

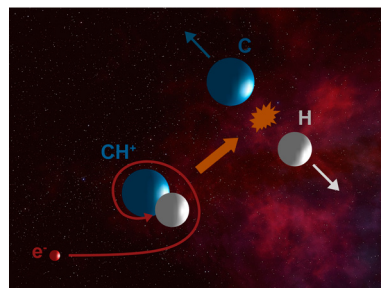
Interstellare Wolken bestehen aus extrem kaltem und extrem verdünntem Gas. Trotzdem ist dort schon die Existenz von nahezu 300 verschiedene Molekülsorten bekannt. Der Schlüssel zu dieser überraschenden Vielfalt steckt in Reaktionen zwischen geladenen Atomen und Molekülen (Ionen) und neutralen Reaktionspartnern. Diese Ionen-Neutral-Prozesse laufen ohne Aktivierungsbarriere ab und sind daher selbst bei niedrigsten Temperaturen sehr effektiv. Bereits 1941 wurde erstmals ein geladenes Molekül in solchen Wolken identifiziert, das Methylidin-Ion  $\text{CH}^+$ .

Seitdem stellt dessen beobachtete hohe Menge ein großes Rätsel für die Astrophysik dar. Das liegt auch daran, dass die Raten von chemischen Reaktionen zur Bildung und Zerstörung von  $\text{CH}^+$  für die extrem kalten Bedingungen im interstellaren Raum nicht bekannt sind. Dort sind im Gegensatz zu irdischen Bedingungen die inneren Bewegungen der  $\text{CH}^+$ -Mole-

küle ausgefroren. Eine dieser Reaktionen ist die dissoziative Rekombination: Hierbei fängt das positiv geladene  $\text{CH}^+$  ein freies Elektron ein, wobei so viel Energie frei wird, dass es in seine atomaren Bestandteile zerplatzt.

In einem Experiment am CSR haben Forscher nun die Häufigkeit der dissoziativen Rekombination für in inneren Bewegungen ausgefrorene  $\text{CH}^+$ -Moleküle vermessen. Dazu haben sie in der etwa 20 Kelvin kalten Umgebung des CSR die Moleküle bis zu zwei Minuten gespeichert, um deren Rotation zu stoppen. Daraufhin haben sie die  $\text{CH}^+$ -Moleküle mit einem ‚kalten‘, also nahezu gleich schnellen, Elektronenstrahl überlagert, um die dissoziative Rekombination zu initiieren und deren Häufigkeit zu bestimmen.

Die Messungen ergaben eine bis zu 6-fach schnellere Zerstörung von  $\text{CH}^+$ -Molekülen beim Einfang von Elektronen im Vergleich zu Annahmen in bisherigen



Dissoziative Rekombination eines Methylidin-Ions in interstellaren Molekülwolken.

astrophysikalischen Modellen. Sie liefern damit erstmalig eine solide Grundlage zur Beschreibung der  $\text{CH}^+$ -Chemie in kalten Molekülwolken. Sie werden Astrophysikern auf der Suche nach einer Lösung für das Rätsel des  $\text{CH}^+$ -Ions helfen.

Der CSR bietet als aktuell einziges Experiment auf der Welt die Möglichkeit, Kollisionen von Elektronen mit ausgefrorenen Molekülen – also unter echten Weltraumbedingungen – im Detail zu vermessen. So ist es möglich, verlässliche Daten für astrophysikalische Modelle zu generieren, die zur Interpretation von Beobachtungen nötig sind.

**Kontakt:** Daniel Paul, Oldřich Novotný

**Publikation:** Experimental determination of the dissociative recombination rate coefficient for rotationally cold  $\text{CH}^+$  and its implications for the diffuse cloud chemistry, *Astrophys. J.* 14.11.2022, DOI: 10.3847/1538-4357/ac8e02

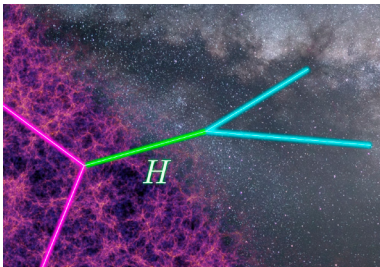
## + + + Kurzmeldungen + + +

### Tritium wohl schuld an XENON1T-Signal

XENONnT zeigt ein bisher unerreicht niedriges Niveau an Untergrundsignalen, was eine empfindliche Suche nach neuen, sehr seltenen Phänomenen ermöglicht. Erste Ergebnisse klären nun das mysteriöse Signal von XENON1T, einen Überschuss von Elektron-Rückstoßereignissen (s. MPIK-NEWS Nr. 22): Das Signal stammt wahrscheinlich von minimalen Spuren radioaktiven Tritiums im flüssigen Xenon. Denn einen solchen Überschuss zeigen die neuen Daten nicht. Gleichzeitig werden die Szenarien neuer Physik, die alternativ zur Erklärung des Signals herangezogen wurden, nun sehr stark eingeschränkt. Die vorhandenen Daten werden weiter analysiert, um nach schwach wechselwirkenden massiven Teilchen (WIMPs) zu suchen, einem der vielversprechendsten Kandidaten für Dunkle Materie im Universum.

Kontakt: Manfred Lindner, Teresa Marrodán, Hardy Simgen  
Meldung vom 22.07.2022

### Leichte DM-Teilchen durch 2. Higgs



Ein neues, leichtes Higgs-Teilchen könnte zwischen Dunkler Materie und der sichtbaren Welt vermitteln.

Im Universum muss es viel mehr Materie geben als sichtbar ist. Die Natur dieser Dunklen Materie ist immer noch ein großes Rätsel – trotz zahlreicher Versuche, sie zu finden. Ein neuartiges Modell postuliert nun ein zweites, leichtes Higgs-Teilchen. Dieses könnte ermöglichen, dass aus dem frühen Universum übrig gebliebene Dunkle-Materie-Teilchen leichter sind als oft vermutet. Das Modell trifft vielversprechende Vorhersagen für laufende und zukünftige Experimente.

Kontakt: Johannes Herms, Sudip Jana  
Meldung vom 22.08.2022

### Polarisierte ultrarelativistische Elektronen

Hochpräzise Hochenergiephysik an Beschleunigern erfordert longitudinal spin-polarisierte Elektronenstrahlen. Es gab eine Reihe von Versuchen, zu diesem Zweck die Compton-Streuung zu nutzen. Eine neue Studie untersucht die Rolle des anomalen magnetischen Moments der Elektronen auf die Helizitätsübertragung von einem zirkular polarisierten Laserpuls auf einen ultrarelativistischen Elektronenstrahl für den nichtlinearen Compton-Streuprozess in einem von Strahlungsreaktionen dominierten Regime. Entscheidend dabei ist die Berücksichtigung von QED-Strahlungskorrekturen, wodurch direkt eine erhebliche longitudinale Elektronenpolarisation erzeugt werden kann.

Kontakt: Karen Z. Hatsagortsyan  
Meldung vom 26.09.2022

### Erste Atomuhr mit hochgeladenen Ionen

Optische Atomuhren sind die genauesten je gebauten Messgeräte und sind inzwischen zu einer Schlüsseltechnik in der Grundlagen- und der angewandten Forschung geworden, etwa zum Test der Konstanz von Naturkonstanten oder für Höhenmessungen in der Geodäsie. Jetzt haben Forschende des QUEST-Instituts in der



Künstlerische Darstellung der Laserabfrage eines hochgeladenen Uhren-Ions. (PTB)

PTB in Zusammenarbeit mit dem MPIK und der TU Braunschweig zum ersten Mal eine optische Atomuhr realisiert, die auf hochgeladenen Ionen basiert. Diese Art von Ionen bietet sich für eine solche Anwendung an, da sie extreme atomare Eigenschaften und eine geringe Empfindlichkeit gegenüber externen elektromagnetischen Feldern haben. Für Atomuhren müssen die Ionen extrem kalt sein; hochgeladene Ionen kann man aber nicht direkt mit Laserlicht kühlen. Deshalb wurde in einem Tieftemperaturfallensystem ein einzelnes hochgeladenes Argon-Ion durch ein einfach geladenes Beryllium-Ion indirekt gekühlt und anschließend mithilfe eines Quantenalgorithmus nahe an den quantenmechanischen Grundzustand gebracht.

Kontakt: José Crespo  
Meldung vom 02.11.2022

### 20 Jahre H.E.S.S.-Teleskope

Mit einem Festakt – Teil eines Symposiums zur Hochenergie-Astrophysik – am 18. Oktober und einem Tag der offenen Tür am darauf folgenden Sonntag hat die H.E.S.S.-Kollaboration den 20. Jahrestag der Inbetriebnahme des ersten H.E.S.S.-Teleskops gefeiert – genau 10 Jahre nach Einweihung des fünften, großen Teleskops. H.E.S.S. ist derzeit das einzige Instrument, das den Südhimmel im hochenergetischen Gammalicht beobachtet, und zugleich das größte und empfindlichste Teleskopsystem seiner Art.

Kontakt: Werner Hofmann, Michael Panter  
Meldung vom 21.10.2022



Zum Empfang gab es Muffins mit dem H.E.S.S.-Logo.

### Elektronen und Photonen im Doppelpack

Am Freie-Elektronen-Laser FLASH des DESY in Hamburg gelang es, mit einer neuen Methode die resonante Zwei-Photonen-Ionisation von Helium detailliert zu untersuchen. In diesem nichtlinearen Prozess absorbieren beide Elektronen zugleich zwei Ultraviolett-Photonen und bilden einen doppelt angeregten Zustand. Der ist instabil und eines der Elektronen verlässt das Atom, während das andere in den Grundzustand des nun positiv geladenen Helium-Ions zurückfällt. Dieser Prozess tritt auf, wenn die Summenenergie der Photonen gerade der diskreten Anregungsenergie entspricht, also Resonanz vorliegt. Für die Messung kam ein Reaktionsmikroskop zum Einsatz, welches einen kinematisch vollständigen Nachweis sowohl der Photoelektronen als auch der Helium-Ionen erlaubt. Zusätzlich wurde mit einem Spektrometer die Energieverteilung der Photonen vermessen, die von Laserblitz zu Laserblitz variiert. Dadurch ließ sich ein hochaufgelöstes Spektrum gewinnen.

Kontakt: Christian Ott, Robert Moshhammer, Thomas Pfeifer  
Meldung vom 09.11.2022

## Institutsfest

Das Wetter meinte es fast zu gut mit uns (mit knapp 35°C war der 20. Juli einer der heißesten Tage dieses Sommers), aber im Schatten der Bäume, unter Zelten oder im wohltemperierten Hörsaalgebäude war es erträglich.



Um 12 Uhr eröffnete Jim Hinton das diesjährige, sehr gut besuchte Institutsfest.

Für das leibliche Wohl gab es Flammkuchen und herzhaftes vom Grill, Salate, erfrischende Getränke, Cocktails sowie Kaffee und Kuchen. Das Spieleprogramm am Nachmittag bot vielfältige Aktivitäten: Wikinger-Schach, Tischkicker, Dartspiel,



Human Table Soccer. Zur Unterhaltung trug die hausgemachte Live-Musik bei. Nach der Siegerehrung klang das Fest am frühen Abend aus, bevor einsetzender Regen die ersehnte Abkühlung brachte.



Ein herzlicher Dank gilt allen, die mit Vorbereitung, Organisation, Auf-/Abbau, Salat- und Kuchenspenden, Thekendiensten und sonstwie zu dem gelungenen Fest beigetragen haben, das sicher in guter Erinnerung bleiben wird.

## Namen & Notizen

### Preise und Ehrungen

**Klaus Blaum:** Ordentliches Mitglied der Heidelberger Akademie der Wissenschaften

**Eberhard Grün:** Ehrendoktorwürde der Universität Stuttgart

**José Ramón Crespo López-Urrutia:** Fellow of the American Physical Society

**Maximilian Bruder, Vincent Gahn und Lukas Heckmann:** Urkunden für sehr gute bzw. gute Leistungen in der Gesellenprüfung

**Maximilian Bruder:** 1. Kammersieger und 2. Landessieger im Leistungswettbewerb des deutschen Handwerks

**Lukas Heckmann:** 2. Kammersieger

### Rufannahmen

**Antonino Di Piazza:** Full professor, University of Rochester (NY) and distinguished scientist, Laboratory for Laser Energetics

**Yuanbin Wu:** Full professor, Nankai University, China

### Verstorben

**Robert von Hahn,** wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Blaum

**Volker Soergel,** Auswärtiges Wissenschaftliches Mitglied des MPIK

## MPIK bei Explore Science

Im Sommer war das MPIK wieder einmal bei Explore Science, dieses mal in Zusammenarbeit mit dem Haus der Astronomie. Am gemeinsamen Stand gab es zwei Exponate des MPIK: In einem Computerspiel zum Nachweis von Gammastrahlung konnten sich Nachwuchswissenschaftlerinnen messen. Dabei mussten sie innerhalb einer kurzen Zeitspanne so viele Detektorbilder wie möglich korrekt Ereignissen von Gammaquanten oder anderen Ionisationsereignissen in der Atmosphäre zuordnen.



Datenauswertung an H.E.S.S.-Teleskopen spielerisch erklärt.

An einem von Mitarbeitenden des MPIK entwickelten Experiment konnten interessierte Kinder die Gesetze der Statistik entdecken und nebenbei noch etwas über die Beschleunigung kosmischer Strahlung in Supernovae erfahren. Mit 2 Würfeln und 1700 Bällen haben sie die Wahrscheinlichkeiten für spezifische Würfelergebnisse bestimmt. Betreut wurden beide Aufbauten durch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des MPIK, die gerne die vielen Fragen der jungen und älteren Besucher beantworteten.



Kinder am Würfelexperiment zur Beschleunigung kosmischer Teilchen.

## 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