



MPIK-NEWS

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



jetzt bin ich dran! Im Januar habe ich die Geschäftsführung von Thomas Pfeifer übernommen. Ich lerne schnell und es macht mir wirklich Spaß, aber ich muss mich bei Ihnen allen für mein schlech-

tes Deutsch und meine Unwissenheit in vielen Dingen entschuldigen ☺.

Die COVID-Pandemie ist natürlich immer noch ein großes Thema, aber es gibt Hoffnungsschimmer und ich bin stolz darauf, dass ich auf meinen Folien für das Kuratorium schreiben kann: „Keine (bekannten) Fälle von COVID-19-Übertragung im Institut“. Ich danke Ihnen allen für das Einhalten der Regeln, Ihren trotz aller Schwierigkeiten anhaltenden Enthusiasmus und für Ihre (unter den gegebenen Umständen) unglaubliche Produktivität. In diesem Jahr konnten wir schon eine Menge großartiger Wissenschaft publizieren, und die Tätigkeit als Geschäftsführender Direktor hat mir noch deutlicher vor Augen geführt, welche entscheidende Rolle die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Infrastruktur des Instituts bei all unseren Erfolgen spielen. Ich wünsche Ihnen allen einen tollen und COVID-freien Sommer!

Ihr

Prof. Dr. Jim Hinton
(Geschäftsführender Direktor)

In dieser Ausgabe

Röntgen-Doppelblitze	1
Nachglühen eines GRB	2
Extreme Reinheit	2
Kurzmeldungen	3-4
Einsatz gegen Corona, „Jugend forscht“	4
Namen & Notizen	4

Röntgen-Doppelblitze treiben Atomkerne an

In einem Experiment am Europäischen Synchrotron ESRF gelang erstmals die kohärente Kontrolle von Kernanregungen mit geeignet geformtem Röntgenlicht mit einer zeitlichen Stabilität von wenigen Zeptosekunden. Eine solche Kontrolle der Kerndynamik verspricht zukünftig genauere Zeitstandards und neue Möglichkeiten auf dem Weg zu Kernbatterien.

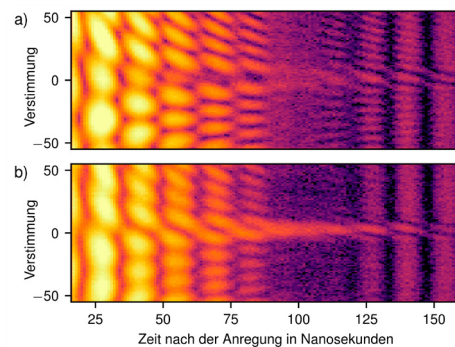
Neue Ansätze der nuklearen Quantenoptik bringen frischen Wind in die Kernphysik, indem sie die Unempfindlichkeit gegen äußere Störungen ausnutzen und die extremen Skalen der Atomkerne für besonders genaue Messungen einsetzen. Diese Übergänge können als Taktgeber für präzise Kernuhren dienen, wofür die Vermessung der Kerneigenschaften mit höchster Präzision erforderlich ist.

In einem weiteren Schritt wurde nun die Quantendynamik der Atomkerne nicht nur vermessen, sondern auch durch geeignet geformte Röntgenpulse mit bisher unerreichter zeitlicher Stabilität von wenigen Zeptosekunden – das ist 100-mal besser als alles bisher Erreichte – kontrolliert. Damit wird der in der optischen Spektroskopie erfolgreich etablierte Werkzeugkasten der kohärenten Kontrolle auch für Atomkerne anwendbar.

Diese nutzt die Welleneigenschaften von Materie zur Steuerung von Quantenprozessen durch elektromagnetische Felder: hier konkret Röntgenlichtblitze mit Laserqualität des ESRF zur Bestrahlung zweier mit dem Eisen-Isotop ⁵⁷Fe angereicherter Proben. Die erste Probe erzeugt einen steuerbaren Röntgen-Doppelpuls, um damit die Kerndynamik in der zweiten Probe zu kontrollieren. Die untersuchten Röntgen-An- und Abregungen der Kerne sind als Mößbauer-Übergänge durch eine sehr hohe Energieschärfe gekennzeichnet.

Im Experiment wird die Probe zwischen Anregung und Abregung schnell um eine kleine Distanz bewegt, die etwa der halben Röntgenwellenlänge entspricht. Hierdurch ändert sich die Flugzeit des zweiten Pulses zur zweiten Probe, was die Lage der Röntgenwellen (relative Phase) gegeneinander verschiebt.

Der Doppelpuls steuert nun die Kerne in der zweiten Probe. Der erste Puls regt eine quantenmechanische Dynamik im Kern an, der zweite Puls ändert diese in Abhängigkeit von der relativen Phase der beiden Röntgenpulse. Trifft die Welle des zweiten Pulses beispielsweise im Takt mit der Kerndynamik auf die zweite Probe, so werden die Kerne weiter angeregt. So lässt sich gezielt zwischen einer weiteren Anregung der Kerne und einer Abregung der Kerne hin- und herschalten und damit der Zustand der Kerne sowohl kontrollieren als auch rekonstruieren.



Röntgen-Interferenzstrukturen in Abhängigkeit von der Zeit und der Verstimmung der beiden Proben gegeneinander. (a) Abregung, (b) verstärkte Anregung.

Die hohe Stabilität dieses Kontrollmechanismus' öffnet das Tor für zukünftige neue Anwendungen auf der Basis von Kernübergängen: genauere Zeitstandards, Untersuchung der Variation von Fundamentalkonstanten oder die Suche nach neuer Physik jenseits der akzeptierten Modelle.

Insofern zukünftige Röntgenquellen eine stärkere Anregung der Kerne ermöglichen würden, wären damit auch Kernbatterien, die ohne Kernspaltung oder -fusion große Mengen Energie in internen Anregungen der Kerne speichern und wieder abgeben können, denkbar.

Kontakt: Jörg Evers, Christian Ott, Thomas Pfeifer, Christoph H. Keitel
Publikation: Coherent X-ray-optical control of nuclear excitons, Nature 590, 401 (2021), DOI: 10.1038/s41586-021-03276-x

Überraschendes Nachglühen eines Gammastrahlenausbruchs

Das Nachglühen eines relativ nahen Gammastrahlenausbruchs im sehr hochenergetischen Gammalicht ähnelt zeitlich und spektral dem im Röntgenbereich, was bisherige Modelle in Frage stellt.

Gammastrahlenausbrüche (GRBs) sind helle, am Himmel beobachtete Röntgen- und Gammastrahlenblitze, emittiert von weit entfernten extragalaktischen Quellen. Auf die einige Sekunden dauernden Blitze folgt eine Nachglühphase, die im Röntgenbereich mehrere Tage, im optischen und infraroten Bereich sogar Wochen oder gar Monate nachweisbar sein kann. Das Nachglühen im Röntgenlicht wird von beschleunigten Elektronen erzeugt, die mit dem Magnetfeld der Druckwelle wechselwirken und dabei Energie in Form von Synchrotron-Photonen abstrahlen. Das Nachglühen von GRBs gilt aufgrund der Einfachheit der zugrundeliegenden Physik als exzellentes kosmisches Labor zur Untersuchung der Beschleunigung von Teilchen im Kosmos. Im Gegensatz dazu ist die anfängliche Phase des Ausbruchs extrem komplex.

Am 29. August 2019 entdeckten und lokalisierten der Fermi Gamma-Ray Burst

Monitor und das Swift Burst Alert Telescope GRB 190829A. Die Beobachtungen mit H.E.S.S. begannen vier Stunden nach dem Ausbruch, als die Quelle für die Teleskope sichtbar wurde. Das Team war in der Lage, den GRB von 4 bis 56 Stunden nach der Explosion zu erfassen und seine Emission sehr genau zu messen.

Eine Kombination aus der guten Empfindlichkeit des Instruments und der zufälligen Nähe des GRB ermöglichte die genaue Bestimmung des Spektrums über mehr als eine Größenordnung der Energie, von 0,18 bis 3,3 TeV, die einen ausgedehnten zeitlichen Bereich von mehreren Tagen abdeckt. Diese genauen Messungen erlaubten es, das intrinsische VHE-Spektrum zum ersten Mal zuverlässig zu erforschen. Es zeigten sich verblüffende Ähnlichkeiten zwischen Röntgen- und VHE-Gammastrahlenemission. Dies passt nicht zur Standard-GRB-Theorie, die einen separaten Ursprung für die VHE-Komponente annimmt. In dieser Theorie ist Synchrotron-Emission bis hin zur VHE-Gammastrahlung nicht möglich, da die Energie der Elektronen auf einen Maximalwert begrenzt ist. Die Beobachtungen von H.E.S.S. lassen sich jedoch erklären, wenn

die Elektronen über diese Grenze hinaus beschleunigt werden.

Nach jahrzehntelanger Suche ist nun ein Verständnis der Prozesse, die dieses extrem energiereiche Phänomen steuern, endlich in Sicht. Die GRB-Nachweise in den letzten Jahren lassen regelmäßige Entdeckungen von GRBs im VHE-Bereich durch Instrumente der nächsten Generation erwarten.



Künstlerische Darstellung eines Gammastrahlenausbruchs. (Illustration: DESY)

Kontakt: Edna L. Ruiz Velasco, Felix Aharonian, Jim Hinton

Publikation: Revealing X-ray and gamma ray temporal and spectral similarities in the GRB 190829A afterglow, *Science* 372, 1081 (2021), DOI: 10.1126/science.abe8560

Extreme Reinheit für die Jagd nach Dunkler Materie

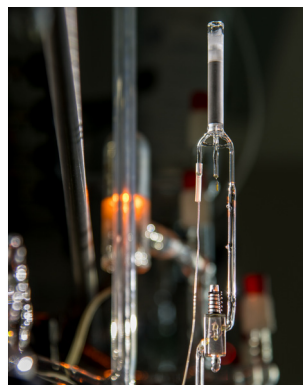
Am MPIK wurden einmalige Messverfahren entwickelt, um die enormen Reinheitsanforderungen von XENONIT und seines Nachfolgers XENONnT zu erreichen.

Schon aller kleinste Mengen des radioaktiven Edelgases Radon stellen eine Hauptstörquelle bei der Suche nach Dunkler Materie mit flüssigem Xenon dar. Deshalb muss die Radon-Konzentrationen in Xenon etwa 1 Million mal geringer sein als die in typischer Umgebungsluft. Radon kann in den Detektor hinein diffundieren, und seine radioaktiven Zerfälle sind nicht von den schwachen Spuren zu unterscheiden, die Dunkle Materie-Teilchen im Detektor hinterlassen würden. Bei so enormen Reinheitsanforderungen ist zu beachten, dass auch die Konstruktionsmaterialien des Detektors selbst Radon in aller kleinsten Mengen abgeben. Diese Radon-Emanation der Detektormaterialien ist sogar dominant. Sie lässt sich nur bekämpfen, indem man die Materialien vor der Benutzung prüft und sorgfältig selektiert. Dazu wiederum sind extrem empfindliche Radon-Messverfahren nötig.

Das MPIK ist führend bei der Entwicklung solcher Verfahren, die es er-

lauben, einige wenige Radon-Atome zweifelsfrei nachzuweisen. Dazu werden elektrostatische Radon-Monitore sowie miniaturisierte hochreine Proportionalzählrohre aus Quarz verwendet, die in unserer Glasbläserei in Handarbeit hergestellt werden. Von besonderer Bedeutung ist hier auch die einmalige am MPIK entwickelte automatisierte Emanationsanlage (Auto-Ema), die es erlaubt, viele Proben parallel vollautomatisiert zu prozessieren. Erst damit ist der hohe Durchsatz an Proben mit höchster Messempfindlichkeit möglich, der für einen Detektor wie XENONIT erforderlich ist.

Kürzlich hat die XENON-Kollaboration die Details zu den Radon-Emanationsmessungen veröffentlicht. Dort wird auch gezeigt, wie die verbleibenden Radonquellen im Detektor verteilt sind und wie man durch gezielten Austausch von schmutzigen Komponenten in Kombination mit permanenter Xenon-Reinigung die Ra-



Ein miniaturisiertes Proportionalzählrohr für hochempfindliche Radon-Emanationsmessungen.

don-Konzentration weiter reduzieren kann. Am Ende wurde ein Rekordwert von nur 4,5 Mikro-Becquerel pro Kilogramm Xenon erreicht. Das ist die niedrigste je erreichte Radon-Konzentration in einem Dunkle-Materie-Experiment mit Xenon.

Die Methoden zum Radon-Nachweis und zur Radon-Vermeidung werden permanent weiter verbessert, so dass das gerade angelaufene Nachfolge-Experiment XENONnT eine noch höhere Radon-Reinheit erreichen wird. Denn größere Experimente können nur dann sensitiver für die Dunkle-Materie-Suche sein, wenn die Störstrahlung weiter reduziert wird.

Kontakt: Hardy Simgen, Natascha Rupp, Manfred Lindner

Publikation: ^{222}Rn emanation measurements for the XENON1T experiment, *Eur. Phys. J. C* 81, 337 (2021), DOI: 10.1140/epjc/s10052-020-08777-z

+ + + Kurzmeldungen + + +

Nicht schneller als die Galaxis erlaubt

Eine lange bestehende Diskrepanz zwischen den gemessenen Geschwindigkeiten interstellarer Sauerstoffatome und anderer Elemente in unserer Galaxie ist behoben: Ein Unterschied von 380 km/s, den astrophysikalische Messungen der Röntgenabsorption durch Sauerstoffatome ergaben. Bei solchen Geschwindigkeiten könnte sich ein wesentlicher Teil dieses wichtigen Elements im Prinzip von der galaktischen Scheibe verflüchtigen. Messungen mit der PolarX-EBIT am BESSY-II-Synchrotron ergaben, dass die Energiewerte der Absorptionslinien von molekularem Sauerstoff um fast ein Promille falsch lagen. Der neue Wert impliziert eine „Abbremsung“ des atomaren Sauerstoffs im interstellaren Raum um 250 km/s, wodurch dieses Element dann in den „zulässigen“ und typischen Bereich von etwa 100 km/s zurückfällt.

Kontakt: José Crespo, Sven Bernitt, Steffen Kühn

Meldung vom 14.12.2020

Grenzen von Atomkernen vorhergesagt

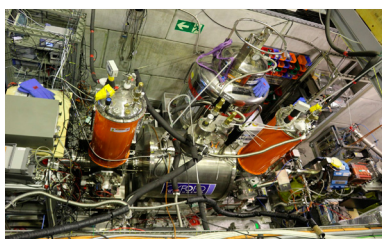
Mit Hilfe innovativer theoretischer Methoden gelang es, die Grenzen von Atomkernen bis zu mittelschweren Kernen zu berechnen. Die Ergebnisse sind eine Fundgrube an Informationen über mögliche neue Isotope. Frühere Untersuchungen des extrem neutronenreichen Bereichs der Kernlandschaft nutzten dafür die Dichtefunktionaltheorie. Die neue Studie basiert dagegen auf der ab-initio Kerntheorie. Ausgehend von mikroskopischen Zwei- und Drei-Teilchen-Wechselwirkungen, basierend auf der starken Wechselwirkung, der Quantenchromodynamik, lösten die Forscher die Vielteilchen-Schrödinger-Gleichung, um die Eigenschaften von Atomkernen von Helium bis Eisen zu simulieren.

Kontakt: Achim Schwenk

Meldung vom 13.01.2021

BASE sucht nach kalter dunkler Materie

Das Baryon-Antibaryon-Symmetrie-Experiment (BASE) am Antiprotonen-Entschleuniger des CERN hat neue Grenzen für die Masse von Axion-ähnlichen Teilchen – hypothetischen Teilchen,



Blick von oben auf das BASE-Experiment. (© BASE-Kollaboration/CERN)

die Kandidaten für dunkle Materie sind – festgelegt und eingeschränkt, wie leicht sie sich in Photonen, die Teilchen des Lichts, verwandeln können. Dies ist besonders bemerkenswert, da BASE nicht für solche Untersuchungen konzipiert wurde. Das Ergebnis des Experiments beschreibt diese bahnbrechende

Methode und eröffnet neue experimentelle Möglichkeiten für die Suche nach kalter dunkler Materie.

Kontakt: Klaus Blaum

Meldung vom 25.01.2021

Extrem hochfrequentes Zwitschern

In einem neuen Verfahren vermag ein ultraschneller Plasmaschalter Teile hochfrequenter Lichtblitze zeitlich abzuschneiden. Im Fokus steht hierbei der „Chirp“ (engl. „Zwitschern“) eines Laserpulses, in dessen zeitlichem Verlauf sich die Frequenz der

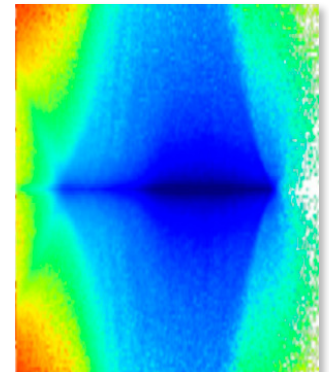
Lichtschwingung ändert. Zur gleichzeitigen Messung der zeitlichen (Wellenform) und spektralen (Frequenz) Signatur des Laserpulses kommt eine Pump-Probe-Anordnung mit zwei zeitlich versetzten Laserpuls zum Einsatz. Diese werden auf ein dichtes Neongas fokussiert und dahinter hinsichtlich ihrer Frequenz bzw. Photonenenergie analysiert. Der erste Puls („Pump“) ionisiert effizient das Target, so dass sich rasch bis zu 70% zweifach geladene Ne^{2+} -Ionen anreichern. Diese sind für die eingesetzte XUV-Strahlung nahezu transparent, während neutrales und einfach geladenes Neon noch recht stark absorbieren. Dieses Plasmatarget wirkt somit wie ein ultraschneller Schalter für die Transmissionseigenschaften: Vom zweiten Puls („Probe“) werden dann – abhängig vom zeitlichen Versatz – nur die Anteile der Wellenform durchgelassen, welche das ionisierte transparente Medium vorfinden; die Wellenform wird also mit einem zeitlichen Messer abgeschnitten.

Kontakt: Christian Ott, Thomas Ding, Thomas Pfeifer

Meldung vom 28.01.2021

Sehr dichter Gammastrahlenpuls

Ein neuartiges theoretisches Konzept zeigt, dass ein gepulster, ultrarelativistischer Elektronenstrahl, der eine Reihe von dünnen Aluminiumfolien durchquert, sich sowohl selbst fokussiert und damit seine Dichte erhöht, als auch effizient einen gebündelten Gammastrahlenpuls mit mehr Photonen pro Volumeneinheit erzeugt als Elektronen in einem Festkörper. Dies geschieht dadurch, dass die starken elektrischen und magnetischen Felder, die den ultrarelativistischen Elektronenstrahl begleiten, „zurück reflektiert“ werden, wenn der Strahl die Folienoberfläche durchquert. Das reflektierte Magnetfeld ist nahezu gleich dem Magnetfeld des Strahls, während das reflektierte elektrische Feld die gleiche Amplitude aber die entgegengesetzte Richtung hat wie das des Elektronenstrahls. An der Folienoberfläche ist daher das gesamte elektrische Feld nahezu Null, das gesamte magnetische Feld hingegen nahezu verdoppelt. Dieses starke azimuthale Magnetfeld fokussiert den Elektronenstrahl radial und löst folglich eine gebündelte hochenergetische Photonenemission aus.



Dichte des erzeugten Gammastrahlenpulses.

Kontakt: Matteo Tamburini

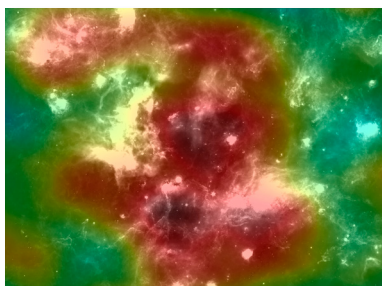
Meldung vom 12.02.2021

Können Sternhaufen „PeVatrons“ sein?

HAWC hat kosmische Gammastrahlung mit Energien bis zu mindestens 200 Teraelektronenvolt (TeV, 10^{12} eV) aus der Richtung des „Cygnus-Kokons“ nachgewiesen. Das ist eine Superblase, die den Geburtsort massereicher Sterne umgibt. Diese Gammastrahlen könnten von kosmischer Strahlung im Bereich von Petaelektronenvolt (PeV, 10^{15} eV) erzeugt werden. In der im Kokon befindlichen Sternentstehungsregion werden Teilchen auf PeV-Energien beschleunigt. Diese kosmische Strahlung wechselwirkt mit dem Gas in der Region und erzeugt so die beobachtete Gammastrahlung. Die Energieverteilung und der Ort der Gammastrahlen sind bei GeV- und TeV-Energien unterschiedlich, was darauf hindeutet, dass die Teilchen im Kokon bei verschiedenen Energien un-

+ + + Kurzmeldungen + + +

terschiedlich transportiert wurden. Diese Beobachtungen liefern neue Hinweise zur Entstehung und Entwicklung der kosmischen Strahlung und über die frühere Aktivität in der Superblase. Sie zeigen auch zum ersten Mal, dass kosmische Strahlung im PeV-Bereich in der Umgebung massereicher Sterne erzeugt wird.



Infrarot-Karte der Kokon-Region (Spitzer MIPS) überlagert mit der Gammastrahlenkarte von HAWC.

Kontakt: Harm Schoorlemmer

Meldung vom 12.03.2021

Turbulentem Dynamo zugeschaut

Erstmals haben Experimente im Labor den zeitlichen Verlauf der Verstärkung von Magnetfeldern durch den turbulenten Dynamo erfassen können, den physikalischen Mechanismus, der vermutlich für die Erzeugung und Aufrechterhaltung astrophysikalischer Magnetfelder verantwortlich ist. Die Experimente fanden unter Bedingungen statt, die den meisten Plasmen im Universum entsprechen, und quantifizierten die Geschwindigkeit, mit der der turbulente Dynamo Magnetfelder verstärkt – was man bisher nur aus theoretischen Vorhersagen und numerischen Si-

mulationen ableiten konnte. Die gefundene schnelle Verstärkung übertrifft die theoretischen Erwartungen und könnte helfen, den Ursprung der heutigen großräumigen Felder zu erklären, die in Galaxienhaufen beobachtet werden.

Kontakt: Brian Reville

Meldung vom 16.03.2021

Gammapy für CTA ausgewählt

Die Analyse von Beobachtungsdaten in der Gammastrahlenastronomie erfordert spezielle Analysemethoden und Software, um die höchstmögliche Empfindlichkeit vor dem Hintergrundrauschen der geladenen kosmischen Strahlung zu erreichen. Im letzten Jahrzehnt hat sich die Programmiersprache Python als neuer Standard in der Analyse wissenschaftlicher Daten etabliert. Initiiert vom MPIK startete 2012 ein Open-Source-Python-Paket für die Analyse von Gammastrahlendaten namens Gammapy. Es wurde als Prototyp für eine zukünftige CTA-Analysesoftware entwickelt, aber auch im Hinblick auf eine gemeinsame Nutzung von verschiedenen Gruppen in der Gammastrahlenastronomie und wird bereits z. B. bei H.E.S.S. genutzt. Mit einer gemeinsamen Analysesoftware ist es außerdem möglich, die Daten von mehreren Instrumenten für insgesamt präzisere Messungen zu kombinieren. Von CTA wurde Gammapy nun offiziell als „Science Tools“ angenommen.

Kontakt: Jim Hinton, Axel Donath

Meldung vom 02.06.2021

Einsatz gegen Corona



Hannes Bonet beim Einsatz.

Lobenswerterweise hat sich Hannes Bonet aus der Abteilung Lindner freiwillig für einen Corona-Einsatz gemeldet. Als Reservist der Bundeswehr unterstützt er im Juni vorbildhaft das Zentrale Impfzentrum Heidelberg, wo er hauptsächlich im Check-In, Check-Out oder der Patienten-Registrierung tätig ist und sich bei teils sehr fordernden Aufgaben in einem ausgezeichnet funktionierenden Team für das Gemeinwohl einsetzt.

„Jugend forscht“

Beim diesjährigen virtuellen Bundesfinale von „Jugend forscht“ hat Klaus Blaum in seiner Eigenschaft als MPG-Vizepräsident die Siegerehrung im Fach Physik vorgenommen. Die Veranstaltung war am 30.05. live im Internet zu sehen. In den Tagen davor haben die Jugendlichen ihre Forschungsprojekte online präsentiert.



Logo des Wettbewerbs 2021.

Namen & Notizen

Karriere

Florian Goertz: Verlängerung der Förderung seiner selbstständigen Gruppe um 2 Jahre bis 31.01.2024

José R. Crespo López-Urrutia: außerplanmäßiger Professor an der Universität Heidelberg

Preise und Ehrungen

Achim Schwenk: Advanced Grant des Europäischen Forschungsrats (ERC)

Jonas Karthein: Wilhelm und Else Heraeus-Dissertationspreis 2020 für Physik und Astronomie

Stefan Dickopf: Otto-Haxel-Preis der Fakultät für Physik und Astronomie für die beste experimentelle Masterarbeit

Impressum

Herausgeber:

Max-Planck-Institut für Kernphysik, Saupfercheckweg 1, 69117 Heidelberg · info@mpi-hd.mpg.de

Redaktion:

Dr. Bernold Feuerstein, Dr. Gertrud Hönes