



# MPIK-NEWS

Liebe Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, Ehemalige und Freunde des MPIK,



es gibt sehr erfreuliche Nachrichten: Nach intensiver Kandidatensuche konnten wir einen Vorschlag für die Nachfolge von Joachim Ullrich in die Gremien der MPG einbringen,

der hoffentlich erfolgreich sein wird. Zugleich läuft die Kandidatensuche für eine vorgezogene Nachfolge von Werner Hofmann. Geplant ist ein mehrjähriger Überlapp mit zusätzlichen Finanzen, da ein kontinuierlicher Übergang insbesondere für das CTA-Projekt von entscheidender Bedeutung ist. Eine überaus positive Nachricht dazu kam aus Berlin: das BMBF hat CTA in seine Roadmap für große Forschungsinfrastrukturen aufgenommen und damit seine grundsätzliche Finanzierungsbereitschaft erklärt.

Die MPG hat nun die Fortführung der IMPRS-QD bis 2019 mit der Höchstsumme an Fördermitteln bewilligt. Grundlage dafür ist die exzellente Evaluierung durch eine internationale Gutachtergruppe im Herbst 2011, die sie als dynamische und international wettbewerbsfähige Graduiertenschule und einen Anziehungspunkt für talentierte und hoch motivierte Studierende aus aller Welt beurteilte. Dazu meine herzlichsten Glückwünsche an alle Beteiligten.

Der Erfolg des Instituts zeigt sich auch darin, dass in den vergangenen Monaten wieder einige unserer Forschungsergebnisse in Nature bzw. Science veröffentlicht wurden. Dazu kam eine Reihe angesehener Preise.

Abschließend möchte ich auf das Institutsfest am 13.09.2013 hinweisen. Mir liegt eine rege Beteiligung sehr am Herzen, denn ich freue mich schon jetzt auf Gespräche mit Ihnen.

Herzlichst, Ihr

Prof. Dr. Klaus Blaum  
(Geschäftsführender Direktor)

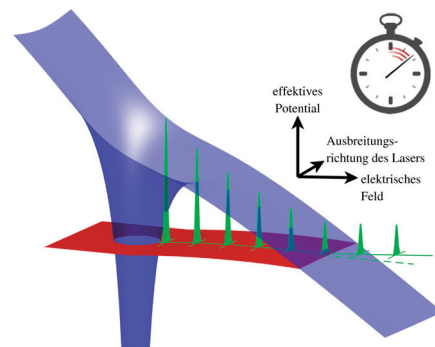
## Tunneleffekt relativistisch betrachtet

In der Quantenwelt kann ein Teilchen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auf die andere Seite einer Barriere gelangen, auch wenn seine klassische Bewegungsenergie dafür nicht ausreicht. Dieser Tunneleffekt ist von grundlegender Bedeutung und eine offene Frage betrifft die Zeit, die ein Teilchen für das Tunneln braucht.

Ein Beispiel für quantenmechanisches Tunneln sind Atome in einem starken Laserfeld. Das attraktive Coulomb-Potential des Atomkerns, welches das Elektron bindet, hat die Form eines Trichters. Diesem überlagert sich wie eine geneigte Ebene das elektrische Feld, welches das Elektron herauszerrt. Dadurch bildet sich eine Potentialbarriere. Handelt es sich bei dem Atom um ein hochgeladenes wasserstoffähnliches Ion, so bedarf es Laserintensitäten von rund  $10^{18}$  W/cm<sup>2</sup>, um eine nennenswerte Tunnelwahrscheinlichkeit zu erreichen. Bei so hohen Intensitäten muss neben dem elektrischen Feld auch die Wirkung des Magnetfeldes auf das Elektron mit berücksichtigt werden. Dies

erfordert eine relativistische Beschreibung des Systems, die über das konventionelle Bild des Tunnelns durch eine Barriere hinausgeht.

Relativistische Berechnungen der Ionisation wasserstoffähnlicher Ionen in ultrastarken Feldern zeigen, dass sich das Bild der Tunnelionisation entgegen früherer Vermutungen bei entsprechender Anpassung der Barriere aufrecht erhalten lässt. Zudem ergaben sich neue Erkenntnisse zur ‚Tunnelzeit‘, zwei charakteristische Zeiten, die sich indirekt bestimmen lassen könnten.



## Astrophysikalisches Rätsel gelöst

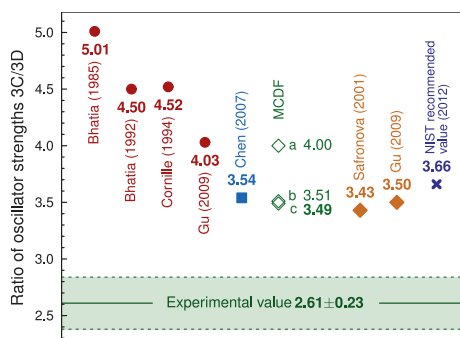
Von hochgeladenen Eisenionen in massiven Objekten wie z.B. Schwarze Löcher stammen einige der hellsten Röntgenlinien aus dem All. Aus der Helligkeit mancher Linien, gemessen mit Weltraumobservatorien, lässt sich die Temperatur des Sterns bestimmen. Diese komplizierte Analyse benötigt die atomphysikalischen Eigenschaften der Ionen, die theoretisch vorhergesagt oder experimentell bestimmt werden können.

Durch die Präparation von Ionen, die typisch für Temperaturen von Millionen Grad sind, in einer EBIT und in Kombination mit dem Röntgenlaser LCLS in Stanford kann nun ein solcher Zustand der Materie im Labor unter definierten Bedingungen nachgestellt werden. Die Ergebnisse für

das Helligkeitsverhältnis der zwei wichtigsten Linien des Fe<sup>16+</sup>-Ions stimmen mit den Messungen der Röntgensatelliten gut überein. Hingegen zeigt sich ein signifikanter Widerspruch zu den Vorhersagen, die ein zu hohes Verhältnis ergeben.

Eine systematische Neuberechnung mit fortschrittlichen Verfahren brachte keine Auflösung dieses Dilemmas: Im Einklang mit den anderen Theorien liefert sie eine Vorhersage, die immer noch 30% über dem Messwert liegt.

Das Experiment zeigt, dass die Unge-



nauigkeit bereits vom Ansatz der quantenmechanischen Wellenfunktionen, nicht jedoch der Modellierung der Stoßprozesse herrührt, also Rechnungen mit Wellenfunktionen auf neuer Grundlage erforderlich sind.

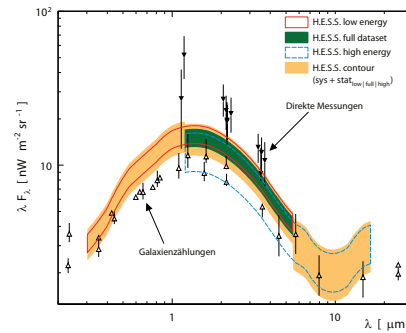
## H.E.S.S. sieht kosmischen „Dunst“

Der Raum zwischen den Galaxien ist angefüllt mit Photonen, die von allen jemals im Universum existierenden Sternen emittiert wurden. Das diffuse extragalaktische Hintergrundlicht scheint im Sichtbaren und im Infrarot. Aus unserer Milchstraße heraus ist es aber nur schlecht möglich, dieses fossile Licht direkt zu beobachten. Durch Verwendung von Gammastrahlen, also mit einer indirekten Methode, ist dieses Problem aber zu umgehen.

Ein von einer entfernten Galaxie emittierter Gammastrahl wird auf seinem Weg zur Erde durch Wechselwirkung mit diffusem Licht abgeschwächt: wenn ein hochenergetisches Gammaphoton mit einem Photon des Hintergrundlichts zusammenstößt, werden beide in ein Elektron/Positron-Paar umgewandelt, wodurch sich die Intensität des Gammastrahls verringert. Je dichter der Dunst aus diffusen Photonen ist, desto stärker ist die Abschwächung des Gammastrahls.

Eine Analyse der mit H.E.S.S. aufgenommenen Spektren einiger relativ naher Blazare zeigte klar die Absorption hochenergetischer Gammastrahlen durch das extragalaktische Hintergrundlicht – deren Berücksichtigung ist zur Erklärung der

Spektren sogar unerlässlich. Die Messungen liefern die bisher genauesten Werte für die Intensität des im Universum enthaltenen Sternenlichts im sichtbaren und infraroten Bereich und seine spektrale Verteilung.



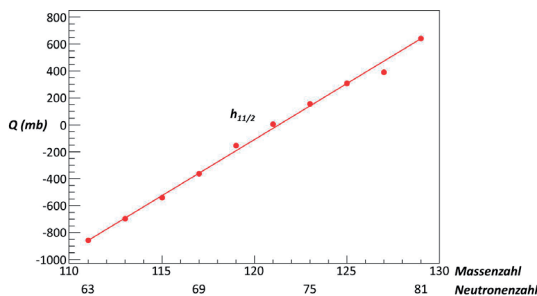
Ein besseres Verständnis dieses diffusen Lichts führt zu neuen Erkenntnissen über die ersten Sterne, ihre Entstehung und die Entwicklung von Galaxien. Mit den neuen Daten können nun kosmologische Modelle optimiert werden, um die Rate und die Prozesse

der Sternbildung seit der Entstehung des Universums besser zu beschreiben. Und aus den Ergebnissen lässt sich bestimmen, wie die Größe des im Gammalicht beobachtbaren Universums mit zunehmender Energie der Gammaphotonen abnimmt.

## Einfache Kernstruktur

Atomkerne sind so komplexe Quantensysteme, dass auch nach über 70 Jahren Forschung ihre Struktur noch nicht in allen Details verstanden ist. Laserspektroskopische Messungen an Cadmium-Isotopen bei ISOLDE-CERN haben nun das Schalenmodell der Kernstruktur und ein überraschend einfaches Prinzip bestätigt, das allerdings nur unter bestimmten Bedingungen erwartet worden war.

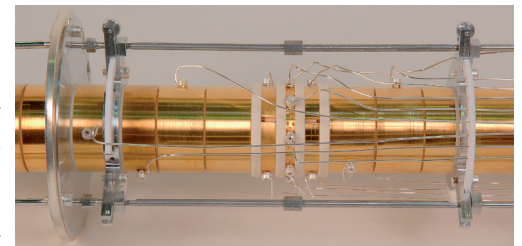
Aus dem durch Spaltung von Uran resultierenden Gemisch meist neutronenreicher Kerne wurden die Cd-Atome über ein Quarzrohr selektiv abgedampft, anschließend mit einem Laser ionisiert, beschleunigt und nach ihrer Masse getrennt. Der Ionenstrahl wurde in eine Paulfalle injiziert, kurz gespeichert und dann als komprimiertes Bündel emittiert. Das unterdrückt den Untergrund und erhöht die Empfindlichkeit der Messungen mittels hochauflösender UV-Laserspektroskopie. Aus der für jedes Isotop charakteristischen Hyperfeinstruktur lassen sich die Kerndipol- und Quadrupolmomente sowie der quantenmechanische Kernzustand bestimmen.



Bemerkenswerterweise nehmen die Quadrupolmomente der Cd-Isotope 111 bis 129 mit ungerader Massen- und damit auch Neutronenzahl in einem bestimmten Kernzustand linear mit der Neutronenzahl zu. Dieser Kernzustand kann im quantenmechanischen Schalenmodell der Kernstruktur als ein ungepaartes Neutron in einem Orbital mit hohem Bahndrehimpuls betrachtet werden. Und dieses ungepaarte Neutron verhält sich in allen Kernen gleichartig. Ein derartiges Verhalten war theoretisch vorhergesagt, allerdings nur für Kerne, in denen entweder die Neutronen oder die Protonen eine abgeschlossene Schale bilden. In den verschiedenen Cd-Isotopen, deren Schalen alle nicht abgeschlossen sind, ist diese einfache Konfiguration aber offensichtlich erhalten.

## „Phasenuhr“-Atomwaage

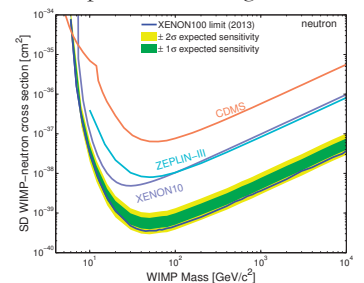
Die Frequenz, mit der ein einzelnes Ion im Magnetfeld einer Penningfalle kreist, bietet bislang den genauesten Zugang zu Kernmassen kurzlebiger Isotope. Mit SHIPTRAP am GSI Helmholtzzentrum Darmstadt gelang es nun, die Kreisbewegung des Ions selbst abzubilden, die gleich dem Sekundenzeiger einer Uhr die Genauigkeit der Messungen steigert. Dies führt zu einer



40-fach besseren Auflösung und einer bis zu fünfmal höheren Genauigkeit – ein Durchbruch in der Präzisions-Massenspektrometrie. Mit der neuen Methode kann man daher Massen bei gleicher Genauigkeit 25 mal schneller messen. Demonstriert wurde das an zwei Xenon-Isotopen mit den Massenzahlen 129 und 130: innerhalb weniger Minuten waren relative Messgenauigkeiten auf die neunte Nachkommastelle erreicht.

## XENON

Das XENON100-Experiment hat eine Reihe von bemerkenswerten Resultaten erzielt, insbesondere die besten Grenzen bezüglich Spin-unabhängiger WIMP-Nukleon-Wechselwirkung. Anfang dieses Jahres wurde eine neue Analyse für Spin-abhängige WIMP-Nukleon-Wechselwirkung veröffentlicht. Die beiden Xenon-Isotope <sup>129</sup>Xe und <sup>131</sup>Xe haben je eine ungerade Zahl von Neutronen und machen zusammen etwa 50% aller Xenon-Isotope aus. Dadurch ist das Experiment für Spin-abhängige Wechselwirkungen der Dunklen Materie sensitiv. Allerdings weisen die Daten keine Indizien entsprechender Signale auf, und daher ergeben sich Ausschluss-Kurven für den WIMP-Nukleon-Streuquerschnitt als Funktion der WIMP-Masse. XENON100 erzielt weltweit die größte Sensitivität für WIMP-Massen oberhalb von 6 GeV/c<sup>2</sup> bezüglich der WIMP-Neutron-Kopplung.

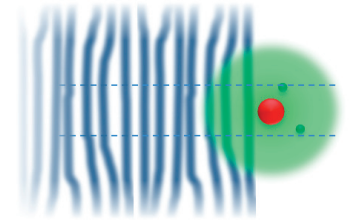


## Materiewellen-Billard

Je nachdem, ob in einem Ion/Atom-Stoß das Projektil weiter außen oder innen auf das Target trifft, finden zwei verschiedene Ionisationsreaktionen statt: einfache Ionisation oder Transfer-Ionisation, bei der zusätzlich ein Elektron vom Target auf das Projektil übertragen wird. Die theoretische Beschreibung derartiger Stöße und die experimentellen Ergebnisse waren lange Zeit überhaupt nicht in Einklang zu bringen. In den letzten Jahren verdichteten sich jedoch die Hinweise, dass die quantenmechanischen Welleneigenschaften des Projektils berücksichtigt werden müssen. Eine bestimmte Eigenschaft der Wellen, nämlich die sogenannte Kohärenz quer zur Ausbreitungsrichtung der Welle, hat einen entscheidenden Einfluss.

Um der Sache auf den Grund zu gehen, wurden im TSR He-Atome mit  $O^{7+}$ -Ionen beschossen und die Produkte detektiert: entweder Elektronen und  $He^+$ -Ionen aus der einfachen Ionisation oder Elektronen,  $He^{2+}$ - und  $O^{6+}$ -Ionen aus der Transfer-Ionisation. Anhand der Geometrie des Speicherrings lässt sich abschätzen, dass die Materiewelle des Projektils über etwa einen halben Atomradius kohärent sein sollte.

Die beiden parallel ablaufenden Ionisationsreaktionen mit ihren verschiedenen großen ‚Einschlagsflächen‘ tasten gewissermaßen die Wellenform des Projektils ab. Oder anders herum betrachtet: Das Heliumatom ‚sieht‘ entweder eine kohärente oder eine inkohärente Welle auf sich zukommen. In der Tat ergaben die Messungen, dass die herausgeschlagenen Elektronen im Fall der Transfer-Ionisation offenbar in ganz bestimmte Richtungen nicht geflogen sind. Hier löschen sich die Elektronenwellen gegenseitig aus. Das Muster der Richtungsverteilung gleicht demjenigen aus einer vorherigen Messung, als Heliumatome mit einem kohärenten Protonenstrahl beschossen und einfache Ionisation beobachtet wurde. Bei der einfachen Ionisation mit Sauerstoff-Ionen tritt diese Auslöschung aufgrund der in diesem Fall auftretenden Inkohärenz aber nicht auf.



## Maßgeschneiderte Absorptionslinien

Absorbiert ein Atom Licht, zeigt sich das im Energiespektrum als einfacher Peak, auch Lorentz-Linie genannt. Quantenmechanisch entspricht das dem Übergang eines Elektrons von einem Energieniveau in ein höheres. Das klassische Bild ist ein kurzzeitig schwingender Dipol.

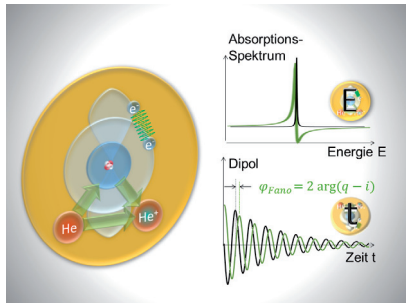
Die Fano-Resonanz dagegen tritt auf, wenn ein Atom mit so hoher Energie bestrahlt wird, dass es ionisiert wird. Dabei kann entweder ein Elektron so viel Energie aufnehmen, dass es das Atom unmittelbar verlässt. Oder es werden zunächst zwei Elektronen angeregt, von denen eines zurück in

den ursprünglichen Zustand fällt, während das andere freigesetzt wird. Diese konkurrierenden Prozesse finden mit gewissen Wahrscheinlichkeiten gleichzeitig statt. Folge der quantenmechanischen Interferenz ist eine charakteristische asymmetrische Linienform.

Eine nun angestellte klassische, zeitliche Betrachtung ergab schlicht eine Phasenverschiebung relativ zur Lorentz-Absorption. Das bedeutet, dass sich die Linienform durch die Phase der Dipolschwingung beeinflussen lässt. Tatsächlich konnte mit einem IR-Laserpuls unmittelbar nach dem

anregenden Laserpuls ein Lorentz-Profil in ein Fano-Profil (und umgekehrt) umgewandelt werden. Auf diese Weise lässt sich also die Linienform kontrollieren und in Zukunft wohl auch maßschneidern.

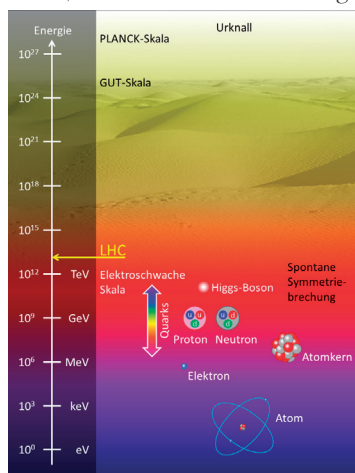
Anwendungsmöglichkeiten sind Frequenzkämme bei beliebigen Frequenzen oder Lichtverstärkung: Angeregte Atome geben ihren Energieüberschuss wieder ab, meist als Strahlung nach winzigen Bruchteilen einer Sekunde. Die Verzögerung bewirkt jedoch üblicherweise, dass sich das abgegebene Licht mit dem eingestrahlten destruktiv überlagert. Ein zusätzlicher Laserstoß kann die abgegebene Lichtwelle aber so verschieben, dass es exakt auf der Absorptionslinie zu einer konstruktiven Überlagerung der elektromagnetischen Wellen kommt.



## Teilchenphysik ohne große Wüste

Eine vorgeschlagene neue Erweiterung des Standardmodells der Teilchenphysik erlaubt die Erzeugung von Neutrino Massen und liefert einen Kandidaten für die Dunkle Materie des Universums; außerdem kann es möglicherweise die Asymmetrie von Materie und Antimaterie im Universum erklären.

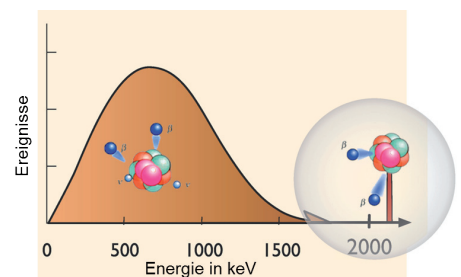
Als Konsequenz des neuen Modells ergeben sich neue Teilchen, die sowohl Baryonen als auch Leptonenzahl tragen und deshalb ‚Leptoquarks‘ genannt werden. Das Modell ist zudem in einem Energiebereich testbar, der heutigen Beschleunigern zugänglich ist. Damit wird eine ‚große Wüste‘ auf dem Weg zu neuer Physik bei unzugänglichen hohen Energien vermieden.



## Doppelbetazerfall

Seit eineinhalb Jahren sammelt das GERDA-Experiment Daten auf der Suche nach dem neutrinolosen Doppelbetazerfall in  $^{76}\text{Ge}$ . Im Gegensatz dazu ist der Doppelbetazerfall unter Aussendung von 2 Neutrinos vom Standardmodell erlaubt, aber trotzdem äußerst selten. Die genaue Kenntnis der Halbwertszeit dieses Zerfalls ist zur Überprüfung von Modellen und zur Bestimmung der Neutrino Massen von Bedeutung. Aus den Energiespektren von 6 angereicherten Dioden ergab sich die Halbwertszeit für den neutrinobehafteten Doppelbetazerfall in  $^{76}\text{Ge}$  zu  $1,84 \times 10^{21}$  Jahren.

Der spektrale Bereich, in dem der neutrinolose Doppelbetazerfall erwartet wird, war bis vor Kurzem in den Daten ausgeblendet. Mit Ergebnissen wird bald gerechnet.



# Festkolloquium und Symposium zum 60. Geburtstag von Prof. Hofmann

Aus Anlass des 60. Geburtstags von Werner Hofmann im vorigen November fand am 18. und 19. April das Symposium „Frontiers in high-energy particle astrophysics and particle physics“ statt. Beim



darin integrierten Festkolloquium hielt Heinz Völk die Laudatio. Alan Watson beleuchtete im Festvortrag unter dem Titel „Where would we be without Cygnus X-3?“ die Geschichte



der Hochenergie-Gammaastronomie, bevor er auf die aktuelle Forschung mit dem Pierre-Auger-Observatorium einging.

Die Themen des Symposiums umfassten alle Forschungsgebiete, auf denen Werner Hofmann aktiv war oder ist: Teilchenphysik, Astroteilchenphysik, HEGRA, H.E.S.S. und CTA. Auf der Rednerliste standen ehemalige und aktuelle Weggefährten bzw. Mitglieder seiner Abteilung.



## Beschleuniger feierlich abgeschaltet

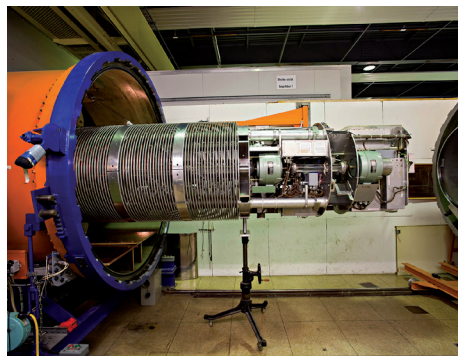
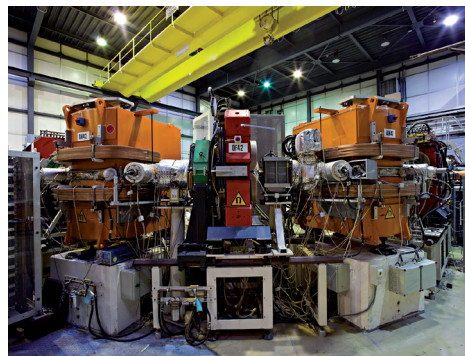
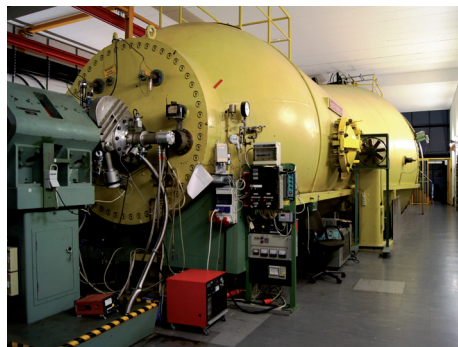
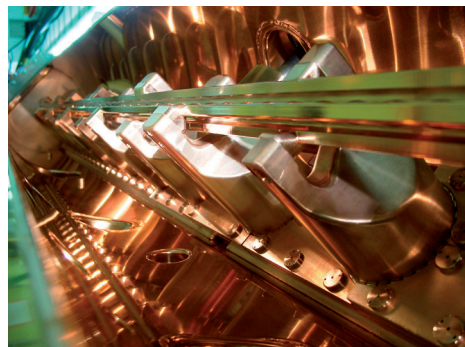
Ende 2012 wurden die Beschleunigeranlagen und der TSR endgültig stillgelegt. Zu der Zeremonie am 17.12. waren auch viele Ehemalige zum Pult gekommen. Zunächst gab Roland Repnow einen Überblick über die Beschleunigeranlagen, insbesondere



die MPIK-Eigenentwicklungen Nachbeschleuniger, TSR und Hochstrominjektor, sowie die vielen Umbauten des MP-Tandem-Beschleunigers, der mehr als 45 Jahre am MPIK seinen Dienst tat. Danach wurden die Maschinen auf Kommando von Klaus Blaum gleichzeitig abgeschaltet.

Der TSR soll ab 2015 ein zweites Leben bei ISOLDE am CERN erhalten; alle Beschleuniger werden abgebaut.

Die Kräfte konzentrieren sich jetzt auf den Bau des CSR, der in diesem Herbst in Betrieb gehen soll. Mit der kryogenen Speicherung auch größerer Molekülonen wird ein neues Kapitel aufgeschlagen in der Erforschung der Chemie in interstellaren Wolken unter realen Bedingungen.



## Personalia

### Berufungen

**Prof. Dr. Joachim Ullrich** hat den Ruf als Auswärtiges Wissenschaftliches Mitglied des MPIK angenommen.

**Dr. Thomas Schwetz-Mangold** erhielt einen Ruf als Senior Lecturer in Theoretical Physics an die Universität Stockholm, Schweden.

**Dr. Rabia Burcu Cakirli** wurde Leiterin einer MPG-Partnergruppe des MPIK an der Universität Istanbul und erhielt den IUPAP Nuclear Physics Young Scientist Prize.

### Preise und Ehrungen

**Prof. Dr. Klaus Blaum** erhielt den Flerov-Preis 2013 für kernphysikalische Forschung.

**Prof. Dr. Heinz Völk** erhielt die IUPAP-TIFR Homi Bhabha Medaille und Preis 2013.

**Dr. Thomas Pfeifer** erhielt den Heinz Maier-Leibnitz-Preis 2013 der DFG.

**Dr. Sven Sturm** gewann den AMOP-Dissertationspreis 2013 der DPG und eine Otto-Hahn-Medaille 2012 der MPG.

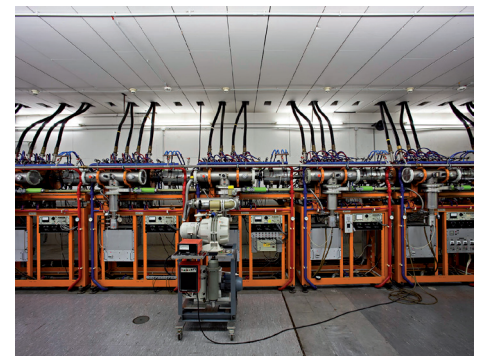
### Dienstjubiläen

40 Jahre MPG: **Ute Schwan**

40 Jahre öffentlicher Dienst: **Helga Krieger**

25 Jahre MPG: **Rainer Heldner**

25 Jahre öffentlicher Dienst: **Bernd Schaller, Thomas Busch, Dr. Robert von Hahn**



## Impressum

Herausgeber: Max-Planck-Institut für Kernphysik, Saupfercheckweg 1, 69117 Heidelberg · [info@mpi-hd.mpg.de](mailto:info@mpi-hd.mpg.de)

Redaktion: Dr. Bernold Feuerstein, Dr. Gertrud Hönes

Weitere Informationen zu den Artikeln unter: [www.mpi-hd.mpg.de/mpi/de/aktuelles/presseinformationen](http://www.mpi-hd.mpg.de/mpi/de/aktuelles/presseinformationen)