

MPIK-NEWS

Liebe Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, liebe Ehemalige,



unser Vorschlag für die Nachfolge von Joachim Ullrich fand auf Empfehlung der Berufungskommission auch in der CPT-Sektion breite Zustimmung. Die Beru-

fungsverhandlungen haben begonnen und wir freuen uns auf den neuen Kollegen. Auch für die vorgezogene Nachfolge von Werner Hofmann hat sich das Kollegium auf eine Person geeinigt und es ist eine Berufungskommission eingesetzt.

2014 wird aber nicht nur in dieser Hinsicht ein spannendes Jahr, auch steht uns wieder die hochrangige und wichtige Begutachtung durch den Fachbeirat bevor.

Wir freuen uns sehr, dass Thomas Pfeifer einen Consolidator Grant des Europäischen Forschungsrats gewonnen hat. Das ist bereits der fünfte Erfolg des Instituts beim ERC – nach einem Advanced Grant und drei Starting Grants. Somit ist unser Institut hier eines der erfolgreichsten MPIs überhaupt.

Ende November haben wir mit einem Festkolloquium den 80. Geburtstag von Hans-Arwed Weidenmüller gefeiert. Er war von 1968 bis 2001 Direktor am Institut und ist immer noch sehr aktiv. Auch im Namen des Instituts möchte ich ihm hier noch einmal meine besten Wünsche aussprechen.

Für das sehr gelungene Institutsfest im September danke ich allen Mitwirkenden sehr herzlich. Mit mehr als 250 TeilnehmerInnen war es ein großartiger Erfolg mit viel Spaß. Einen Bericht mit Fotos finden Sie auf S. 4.

Im Namen der Geschäftsführung wünsche ich Ihnen frohe Weihnachten und alles Gute zum neuen Jahr,
Ihr

Prof. Dr. Klaus Blaum
(Geschäftsführender Direktor)

Das Spiegelbild der Geisterteilchen

Neutrinos sind äußerst scheue Teilchen, die mit allen anderen Bausteinen der Materie nur extrem selten in Wechselwirkung treten. Sie haben ungewöhnliche Eigenschaften, und es wird sogar vermutet, dass sie mit ihren eigenen Antiteilchen identisch sind. Allerdings ist diese Eigenschaft bisher noch nicht experimentell bestätigt, gleichwohl haben 60 Jahre Neutrinforschung unser Verständnis der Elementarteilchenphysik weit voran gebracht. Wissenschaftler der GERDA-Kollaboration konnten nun neue Grenzen setzen für den so genannten neutrinolosen Doppelbetazerfall, der überprüft, ob Neutrinos ihre eigenen Antiteilchen sind.

Im Herbst 2011 starteten die Messungen mit zunächst 8 Detektoren von der Größe einer Getränkedose und jeweils etwa 2 kg Gewicht; später kamen 5 weitere Detektoren neuer Bauart hinzu. Während der

Messungen war der Signalebereich in den Daten ausgeblendet und die Physiker konzentrierten sich auf die Optimierung des Verfahrens zur Datenanalyse. Das Experiment hat in seiner ersten Messphase 21 kg-Jahre an Daten gesammelt. Die Analyse, für die sämtliche Kalibrierungen und Filter vor Verarbeitung der Daten im Signalebereich definiert waren, ergab kein Signal des neutrinolosen Doppelbetazerfalls in ^{76}Ge , was zu der weltbesten Untergrenze für dessen Lebensdauer von $2,1 \times 10^{25}$ Jahren führt. Zusammen mit den Ergebnissen anderer Experimente schließt dieses Resultat eine frühere Behauptung, ein Signal gefunden zu haben, aus.

Dies hat interessante Konsequenzen für unser Wissen über Neutrinomassen, Erweiterungen des Standardmodells der Elementarteilchenphysik, astrophysikalische Prozesse und Kosmologie.

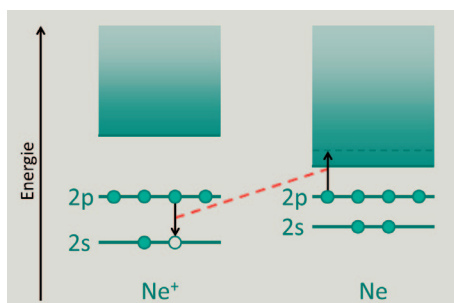


Drahtlose Kommunikation zwischen Atomen

Für den Energietransfer in atomaren und molekularen Systemen spielen strahlungslose Prozesse eine große Rolle. Ein sehr effizienter Mechanismus zwischen schwach gebundenen Atomen wie in Ne_2 -Dimeren ist der interatomare Coulombzerfall (ICD). Zunächst wird durch energiereiche Strahlung ein $2s$ -Elektron von einem der beiden Ne-Atome entfernt. Das zurückbleibende Loch kann durch eines der $2p$ -Elektronen aufgefüllt werden. Da diese Energie nicht ausreicht, ein weiteres $2p$ -Elektron herauszuwerfen, kann sich

ein einzelnes Ne-Ion nur durch Emission von Licht stabilisieren, was einige Nanosekunden dauert. Befindet sich aber nun in der Nähe ein weiteres neutrales Ne-Atom, so kann dieses die Energie strahlungslos aufnehmen, was dort zur Freisetzung eines $2p$ -Elektrons ausreicht. Der Energieübertrag wird durch die elektrische (Coulomb-)Wechselwirkung der beiden aktiven Elektronen vermittelt.

Wie schnell dies vor sich geht, konnte nun am FLASH mit extremer UV-Strahlung in einem Pump-Probe-Experiment bestimmt werden. Dabei ergab sich, dass der ‚drahtlose‘ Energietransfer in Ne_2 -Dimeren typischerweise 150 fs dauert. Dies ist sehr schnell im Vergleich zur Fluoreszenz, aber immer noch ca. 100.000 mal langsamer als die Zeit, die ein Lichtstrahl für die Distanz zum Nachbaratom benötigt. Daraus folgt, dass die Geschwindigkeit des ICD durch die Zeit bestimmt wird, in der sich das $2s$ -Loch auffüllt.

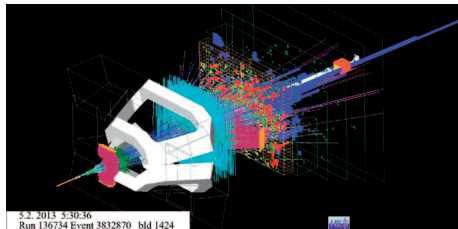


Was Wasserstoff-Blei-Kollisionen mit dem Urknall zu tun haben

Unmittelbar nach dem Urknall bildete die extrem heiße Materie ein Quark-Gluon-Plasma. Auch in sehr energiereichen Stößen von Kernen schwerer Elemente kann für extrem kurze Zeitspannen ein Quark-Gluon-Plasma von Atomkerngröße entstehen, bevor tausende, meist kurzlebige Teilchen davon fliegen. Nachweisen lässt sich ein Quark-Gluon-Plasma nur indirekt, z. B. dadurch, dass die Bildung bestimmter Teilchen relativ unterdrückt ist. Allerdings kann auch normale „kalte“ Kernmaterie solche Effekte bewirken.

Es ist also erforderlich, beide Effekte aufzudröseln, um das Quark-Gluon-Plasma zu verstehen und so mehr über den Urknall zu lernen. Bei Stößen von Protonen mit schweren Kernen oder von Protonen untereinander kann kein Quark-Gluon-

Plasma entstehen, während die Effekte der kalten Kernmaterie auftreten. Deshalb wurden mit dem LHCb-Detektor Proton-Blei-Stöße untersucht und die Produktion von J/ψ -Mesonen gemessen. Dafür wurden im LHC Protonen und Bleikerne mit entgegengesetzter Flugrichtung auf mehrere TeV pro Nukleon beschleunigt und zur Kollision gebracht. Um diese unsymmetrischen Kollisionen von beiden Seiten aus untersuchen zu können, wurde



nach zwischendurch die Flugrichtung der beiden Strahlen umgekehrt.

In den Stößen werden J/ψ -Mesonen sowohl direkt, als auch über den Zerfall noch schwererer Teilchen gebildet, die erst einige Millimeter weit fliegen ehe sie zerfallen. LHCb kann diese beiden Beiträge unterscheiden. Die J/ψ -Mesonen selbst verraten sich anhand eines charakteristischen Zerfallsmusters. Wie erwartet unterscheidet sich ihre Produktion auf den beiden Reaktionswegen und hängt auch von der Beobachtungsrichtung ab. Die Messergebnisse sind konsistent mit den recht unsicheren theoretischen Vorhersagen. Zusammen mit früheren Messungen schaffen die Resultate damit die Voraussetzung, die Eigenschaften des Quark-Gluon-Plasmas genau zu bestimmen.

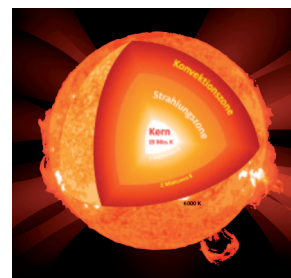
Eisen in der Sonne: ein Treibhausgas für Röntgenlicht

Im Kern unserer Sonne läuft ein natürliches Fusionskraftwerk mit einer Gesamtleistung von etwa 4×10^{26} Watt bei einer Temperatur von 15 Millionen Grad. Die Leistungsdichte von nur 200 Watt pro Kubikmeter nimmt sich dagegen bescheiden aus. Würde nun der Sonnenkern ungehindert Röntgenlicht abstrahlen, so entspräche dies einer Leistung, welche die Fusionsleistung im Inneren um 11 Größenordnungen überträfe. Die Sonne funktioniert, weil der Strahlungstransport nach außen gehemmt wird, um die hohe Temperatur im Kern aufrecht zu erhalten.

Ein Maß für die Hemmung des Strahlungstransports ist die Opazität der Sonnenmaterie. Wasserstoff und Helium tragen nur untergeordnet zur Opazität bei. Den Rest bestimmen die winzigen Anteile an schwereren Elementen. Neben Sauerstoff spielt Eisen mit einem Massenanteil von nur 0,14% für Röntgenlicht quasi die Rolle eines Treibhausgases, das mit etwa einem Viertel zur gesamten Opazität beiträgt.

Um die Rolle dieser stellaren ‚Spurengase‘ besser zu verstehen und solide Messdaten für den Vergleich mit astronomischen Beobachtungen zu gewinnen, wurden hochgeladene Eisen-Ionen

in acht verschiedenen Ladungszuständen mit der mobilen EBIT am PETRA-III-Synchrotron des DESY systematisch untersucht. Diese Quelle liefert einen der stärksten Röntgenstrahlen weltweit. Damit konnte die Absorption des Röntgenlichtes durch die Eisen-Ionen mit hoher Präzision vermessen werden. Es ergab sich eine gute Übereinstimmung mit den neuesten theoretischen Berechnungen. Von Bedeutung ist neben der charakteristischen Energie der Absorptionslinien ihre (ebenfalls gemessene) natürliche Linienbreite, denn diese bestimmt die maximale Strahlungsleistung, die ein einzelnes Eisen-Ion verarbeiten kann. Mit fast



einem Watt pro Ion sind Eisen-Ionen selbst in der inneren Strahlungszone bei weitem nicht ausgelastet, weil sie extrem schnell Röntgenphotonen absorbieren und emittieren können. Diese Kombination aus hohen Raten und hoher Photonenergie ist für die Dominanz des Eisens in der Strahlungsbilanz entscheidend.

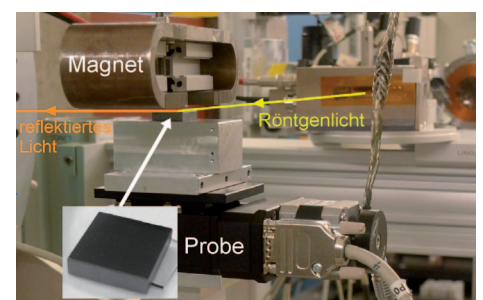
Quantenzustände aus dem Nichts

Im Gegensatz zur alltäglichen Erfahrung können quantenmechanische Objekte gleichzeitig in mehreren Zuständen existieren. Solche Überlagerungszustände sind jedoch derart empfindlich, dass sie schon durch die Wechselwirkung mit dem Vakuum, das aus quantenmechanischer Sicht nicht leer ist, zerstört werden können. Bereits vor mehr als 40 Jahren wurde vorhergesagt, dass die Wechselwirkung mit dem Vakuum so manipuliert werden kann, dass sie stattdessen die gewünschten Überlagerungszustände erzeugt. Leider ist dies jedoch an strenge Bedingungen geknüpft, was die experimentelle Ausnutzung bisher verhindert hat. Neue theoretische Überlegungen haben nun gezeigt, wie die strikten Bedingungen umgangen werden können: Der Überlagerungszustand wird

in Atomkernen realisiert, die von zwei Spiegeln umgeben sind. Dadurch lässt sich die Wechselwirkung mit den Teilchen aus dem Vakuum gezielt beeinflussen. Außerdem befindet sich eine große Zahl von Atomkernen zwischen den Spiegeln, sodass die auftretenden Mechanismen durch kollektive Effekte verstärkt werden. Die beiden Kniffe zusammen erlauben es, robuste Überlagerungen zwischen verschiedenen Anregungszuständen der Atomkerne entstehen zu lassen.

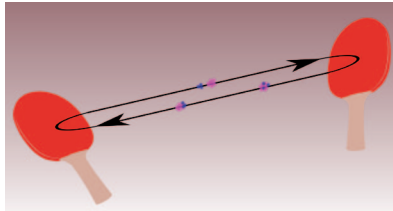
Dieses Szenario konnte nun experimentell realisiert werden. Eine große Zahl von Eisenkernen wurde als Schicht von 2,5 nm zwischen ähnlich dünne Schichten aus Palladium eingebettet, die als Spiegel wirken. Die so präparierten Kerne wurden dann mit Röntgenstrahlen aus der Syn-

chrotronquelle PETRA III des DESY in Hamburg untersucht. Mit einem Röntgenpolarimeter gelang es, das Signal mit bisher unerreichter Effizienz zu detektieren. Die Experimentatoren konnten die Wechselwirkung zwischen dem Vakuum und den Atomkernen durch ein zusätzlich angelegtes schwaches Magnetfeld erfolgreich kontrollieren.



Pingpong mit Calcium-Ionen

Erstmals ist es gelungen, mit einem Flugzeitmassenspektrometer die Bindungsenergien exotischer Atomkerne zu bestimmen. Aus dem Vergleich der Messungen mit neuen theoretischen Werten ergeben sich Rückschlüsse auf die Natur der Kräfte, die diese Atomkerne im Innersten zusammenhalten. Die schwierigen Messungen wurden durch eine Erweiterung von ISOLTRAP am CERN möglich. Mit „Ionenspiegeln“ konnte eine kilometerlange Driftstrecke auf Metergröße zusammengefaltet und dadurch eine hohe Präzision erreicht werden. Die Messung dauert nur wenige Millisekunden. So ließen sich erstmals die Massen der künstlich erzeugten, neutronenreichen und kurzlebigen Isotope ^{53}Ca und ^{54}Ca bestimmen. Diesen Isotopen kommt eine Schlüsselrolle in der kernphysikalischen Grundlagenforschung zu. Sie zeigen für Neutronen neben den bekannten Schalenabschlüssen bei 20 und 28 die zusätzliche magische Zahl 32.



Optisch erzeugte Antimaterie

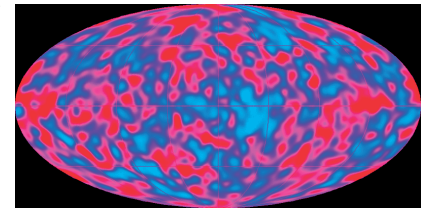
Erstmals ist es gelungen, hochrelativistische Positronen als gebündelten, dichten und ultrakurzen Strahl mit einem Laser herzustellen. Von einem sehr starken Laserstrahl aus einem Gasstrahl freigesetzte und beschleunigte Elektronen treffen als gepulster Strahl auf ein Schwermetalltarget, wo Elektronen, Positronen und Gammastrahlen erzeugt werden, die mit dem ursprünglichen Elektronenstrahl davonfliegen. Dieser kombinierte, ultrarelativistische Strahl ähnelt astrophysikalischen Jets, die sich nun mit einer recht handlichen Apparatur im Labor studieren lassen. Quantenelektrodynamische Rechnungen haben das Experiment erklärt und konnten auch die experimentellen Bedingungen gut abschätzen, die Positronenstrahlen liefern, die wie der Laser gepulst, eng gebündelt und dicht sind. Dazu lenkt ein Magnet Elektronen und Positronen in entgegengesetzte Richtungen ab.



Wie stabil ist das Photon?

In der klassischen Elektrodynamik haben Photonen keine Ruhemasse, bewegen sich im Vakuum stets mit Lichtgeschwindigkeit und ‚altern‘ demzufolge nicht – sie sind quasi zeitlos. Jedoch gibt es keinen zwingenden theoretischen Grund, der eine endlich große Photonenmasse verbieten würde und es existiert auch eine mathematische Beschreibung für diesen Fall. Als Konsequenz daraus könnten sie in noch leichtere Elementarteilchen zerfallen. Ein Kandidat hierfür ist z. B. das leichteste der drei bekannten Neutrinos. Ein Photon mit einer – wenn auch winzigen – Masse würde sich im Vakuum fast, aber eben nur fast, mit „Lichtgeschwindigkeit“ bewegen. Das bedeutet, dass massive Photonen altern, aber aufgrund ihrer hochrelativistischen Bewegung für uns als Beobachter nur äußerst langsam. Je größer die Energie des Photons bzw. die Frequenz des Lichtes ist, umso mehr dominiert die relativistische Masse über die Masse eines ruhenden Photons.

Auf der Suche nach einem messbaren Effekt der Photonenmasse und einem daraus resultierenden möglichen Zerfall bietet sich die kosmische Hintergrundstrahlung an. Diese ist sehr ‚altes‘ Licht, quasi das Echo des Urknalls. Zudem liegt sie im Mikrowellenbereich, ist also relativ niederenergetisch. Wegen der relativistischen Zeitdehnung ist das mögliche Defizit durch seit dem Urknall zerfallene Hintergrundphotonen umso größer, je niedriger deren Energie bzw. Frequenz ist. Der kosmische Mikrowellenhintergrund wurde Anfang der 1990er Jahre durch den COBE-Satelliten der NASA vermessen. In die Abweichung vom idealen Spektrum des Mikrowellenhintergrunds ohne Photonenzerfall geht das Verhältnis von Ruhemasse und Lebensdauer des Photons ein. Innerhalb der Fehlertoleranz der Messdaten beträgt bei einer angenommenen Masse von 2×10^{-54} kg die Lebensdauer mit 95% Wahrscheinlichkeit mindestens 3 Jahre. Dies erscheint sehr kurz, aber dieser Wert gilt für ein hypothetisch ruhendes Photon. Für ein hochrelativistisches Mikrowellenphoton wäre die Lebensdauer dank der Zeitdilatation 3 Billionen Jahre, so dass es vom frühen Universum bis heute überleben konnte. Bei der Betrachtung spielt es keine Rolle, in was das Photon zerfällt.



3D-Schnappschüsse chiraler Moleküle

Chirale Moleküle existieren in zwei verschiedenen Konfigurationen (Enantiomere), die wie Bild und Spiegelbild nicht zur Deckung gebracht werden können („Händigkeit“). Eine allgemeine Methode zur Bestimmung der absoluten Konfiguration kleiner Moleküle in der Gasphase existierte bisher nicht.

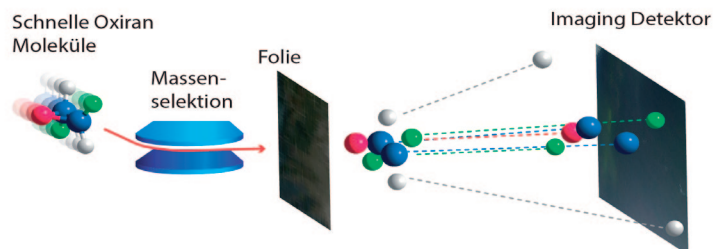
In einer gezielten Synthese, durchgeführt am Institut für Organische Chemie der Universität Heidelberg, wurde der Drehsinn eines natürlichen Derivats der Weinsäure auf das Epoxidmolekül Dideuterooxiran übertragen. Dieses Molekül verdampft leicht und lässt sich unter Erhaltung seiner Struktur einfach positiv ionisieren. Somit konnten diese Moleküle in Experimenten der Molekülphysikgruppe hier am MPIK beschleunigt

und auf eine extrem dünne Diamantfolie geschossen werden. Dort werden die Bindungselektronen innerhalb weniger als einer Femtosekunde entfernt – das ist viel kürzer als die Schwingungsperiode der Atomkerne des Moleküls.

Die chemischen Bindungen werden hierbei schlagartig zerstört und die geladenen Fragmente stoßen sich nun stark voneinander ab (Coulomb-Explosion). Die grundlegende Geometrie bleibt während der Explosion erhalten und es entsteht ein stark vergrößertes Abbild (einige Zentimeter in 2 m Entfernung) des

ursprünglichen Moleküls. Die räumliche Anordnung und die Flugzeit der Fragmente werden dann mit orts- und zeitempfindlichen Detektoren vermessen. Daraus lässt sich die Händigkeit bestimmen.

Diese direkte Messmethode, die keine theoretischen Rechnungen erfordert, eröffnet die Möglichkeit, Absolutkonfigurationen einzelner chiraler Moleküle in der Gasphase zu bestimmen.



Festkolloquium zum 80. Geburtstag von Prof. Weidenmüller

Auf Wunsch des Jubilars eröffnete der Institutschor das Festkolloquium, mit Variationen über Schuberts Lied von der Forelle. Danach begrüßte Klaus Blaum im Namen der Institutsleitung die Gäste und gratulierte Hans Weidenmüller. In seiner Laudatio beleuchtete Werner Hofmann den Werdegang und die bedeutendsten wissenschaftlichen Entdeckungen Hans Weidenmüllers. Zu seiner großen Freude – er ist selbst Fagottist – spielte danach ein Fagott-Trio ein Divertimento von Mozart.



Den Festvortrag hielt Achim Richter von der TU Darmstadt über „Playing Schrödinger- and Dirac-Billiards with Microwaves: Modelling Scattering in Nuclei and Relativistic Phenomena in Graphene“. Er arbeitet seit Jahrzehnten mit Hans Weidenmüller zusammen – eine sehr fruchtbare Verbindung von Experiment und Theorie. In seiner abschließenden Dankesrede erinnerte der Jubilar auch daran, dass all die wissenschaftlichen Fortschritte so nur in Friedenszeiten möglich waren.



Institutsfest

Ein Höhepunkt im Institutsleben war am 13. September das Institutsfest mit zahlreichen Aktivitäten. Leider machte sich die Sonne rar und es war eher kühl für die Jahreszeit, aber wenigstens blieb es trocken – es war der beste Tag der Woche.



Am Vormittag standen 4 verschiedene Exkursionen zu Auswahl: Führungen im Haus der Astronomie, bei Heidelberger Zement oder auf dem Bergfriedhof, verbunden mit einer kleinen Wanderung



hin und/oder zurück. Sportliche hatten die Möglichkeit, eine oder mehrere Runden rund um den Bierhelderhof zu joggen.

Mittags gab es dann Gegrilltes und Salate sowie am Nachmittag Kuchen.

Bei Musik konnte man sich im Sportparcours-Wettbewerb (Torwandschießen, Ringwerfen etc.) um den MPIK-Cup messen, bei Dalli-Klick mitraten und Süßigkeiten gewinnen, außerdem kickern, Gymnastik mit verschiedenen Geräten ausprobieren, oder aber sich einfach nur



gemütlich mit anderen unterhalten. Alle waren gut gelaunt und schienen ihren Spaß zu haben.

Auch an dieser Stelle geht noch einmal ein Dank an alle, die zum Gelingen beigetragen haben, sei es durch tatkräftige Mithilfe beim Vorbereiten und Durchführen oder eine Kuchen- bzw. Salatspende. Schön, dass so viele – auch Ehemalige – dabei waren und mitgemacht haben.

Personalia

Preise und Ehrungen

Prof. Dr. Wolfgang Krätschmer erhielt eine Ehrenprofessur an der Xi'an Jiaotong University, China.

Dr. Thomas Pfeifer erhielt mit seinem Projekt „X-MUSIC“ einen ERC Consolidator Grant.

Christian Brunn wurde Landesbester bei der IHK-Abschlussprüfung in Baden-Württemberg und erhält den Ausbildungspreis 2013 der Stadt Heidelberg.

Rufe

Dr. Joachim Kopp erhielt einen Ruf auf eine Tenure-Track-Professur (W2) für theoretische Elementarteilchenphysik an der Uni Mainz.

Dr. Peihong Gu erhielt einen Ruf als Distinguished Researcher an die Shanghai Jiao Tong University, China.

Dienstjubiläen

40 Jahre MPG: **Prof. Dr. John Kirk**

25 Jahre MPG: **Uwe Köhler**

25 Jahre öffentlicher Dienst: **Frank Wagner**

Jahresabschluss

Die Jahresabschlussversammlung findet *am Mittwoch, den 18. Dezember um 15 Uhr* im Otto-Hahn-Hörsaal statt. Auf den Bericht des Geschäftsführenden Direktors folgt ein Vortrag von Joachim Kopp. Zum anschließenden geselligen Zusammensein sind alle Institutsmitglieder und Ehemaligen herzlich eingeladen.

Impressum

Herausgeber: Max-Planck-Institut für Kernphysik, Saupfercheckweg 1, 69117 Heidelberg · 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