



MPIK-NEWS

Liebe Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, Ehemalige und Freunde des MPIK,



Anfang April tagten der Fachbeirat und das Kuratorium des Instituts. Die Fachbeiratsevaluation fand erstmals mit konzentriertem Programm an nur zwei Tagen

statt. Hierzu wurden die Präsentationen der Direktoren über ihre Abteilungen in das öffentliche Vortragsprogramm integriert, das außerordentlich gut besucht war. Auf Grund der sehr positiven Aussagen während der Evaluation kann das Institut der offiziellen Rückmeldung des Fachbeirats sehr zuversichtlich entgegen sehen. In diesem Zusammenhang möchte ich auch allen für ihre konstruktive Mitarbeit bei der Erstellung des Progress Report 2009-2010 und der Abteilungsberichte danken.

Auf den folgenden Seiten finden Sie wie gewohnt einige Kostproben von dem, womit das Institut in den vergangenen Monaten wissenschaftlich auf sich aufmerksam gemacht hat. Einige Presseinformationen wurden auch von den populären Medien aufgegriffen.

Die Bauarbeiten im Gelände rund um das Bibliotheks- und Hörsaalgebäude gehen gut voran und sollen in diesem Jahr abgeschlossen werden. Fotos davon sind unten auf S. 4 zu sehen. Beim Umbau der alten Kantine zur Kita wartet das Institut auf die endgültige Freigabe seitens der Generalverwaltung.

Auch dieses Jahr hat sich das MPIK am bundesweiten Girls' Day beteiligt; unter den 30 Teilnehmerinnen waren auch fünf Töchter von Institutsangehörigen. Allen Mädchen hat der Tag viel Spaß gemacht. Mein Dank gilt den Betreuerinnen und Betreuern, die wieder ein vielfältiges Programm in Wissenschaft und Werkstätten auf die Beine gestellt hatten.

Ihr

Manfred Lindner

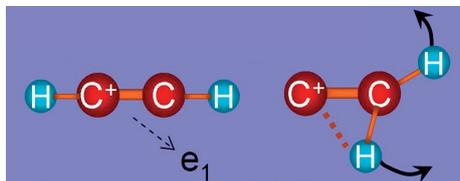
Prof. Dr. Manfred Lindner
(Geschäftsführender Direktor)

Stoppuhr für rasende Protonen

Live zu beobachten, wie ein Molekül seine Form verändert oder seine Bestandteile umarrangiert – das ist der Ehrgeiz vieler Forscher. Wie Isomere, also Moleküle mit gleicher Summenformel aber unterschiedlicher Struktur, sich ineinander verwandeln, interessiert besonders, denn dieser Aspekt spielt in der Biochemie eine wichtige Rolle, etwa beim Sehen.

Kürzlich gelang es, die Umlagerung von Acetylen ($\text{H-C}\equiv\text{C-H}$) in Vinyliden ($\text{C}=\text{CH}_2$) zeitlich zu verfolgen: die Reaktion dauert 52 ± 15 fs.

Zunächst ionisiert ein intensiver Puls extremen UV-Lichts (EUV) Acetylen-Moleküle. Dies löst die Isomerisierung aus. Nach einer gewissen Zeitspanne zertrümmert ein zweiter EUV-Puls das Molekül. Ein Reaktionsmikroskop registriert die Bruchstücke und identifiziert



sie. Je nachdem, ob dabei mehrheitlich C-Atome mit gar keinem bzw. zwei H-Atomen, oder solche mit nur einem H-Atom registriert werden, ist die Isomerisierungsreaktion schon weit fortgeschritten oder nicht. Durch Variieren der Zeitspanne zwischen den beiden Pulsen wird die Zeit herausgefunden, die das Proton benötigt, um von einem der C-Atome zum anderen zu gelangen.

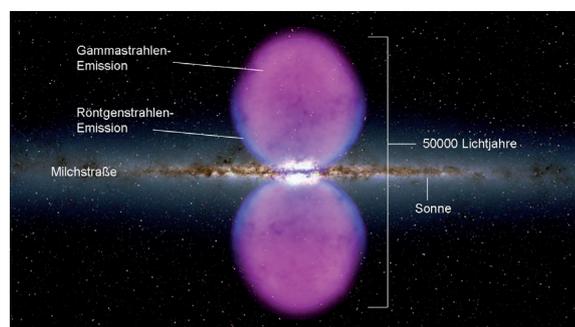
Durchgeführt wurden die Messungen am FLASH in Hamburg, der die erforderlichen äußerst kurzen und intensiven EUV-Pulse liefern kann. Um diesen in zwei Pulse aufzuspalten, deren zeitlicher Abstand sich mit einer Genauigkeit von ungefähr einer Femtosekunde einstellen lässt, wurde zusammen mit dem MPQ ein spezieller Hohlspiegel entwickelt. Er reflektiert den EUV-Puls und fokussiert ihn dabei auf einen Strahl von Acetylen-Molekülen. Der kreisrunde Spiegel besteht aus zwei halbmondförmigen Teilen, die sich minimal gegeneinander verschieben lassen, sodass zwei Teilpulse kurz nacheinander am Brennpunkt eintreffen.

Gigantische Gammastrahlen-Blasen

Voriges Jahr gab die NASA eine überraschende Entdeckung ihres Gammastrahlen-Weltraumteleskops Fermi bekannt: zwei riesige ballonförmige, im „Gamma-licht“ leuchtende Gebiete oberhalb und unterhalb des Zentrums der Milchstraße. Wissenschaftler des Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics bemerkten, dass diese so genannten „Fermi-Blasen“ sich über erstaunliche 25 000 Lichtjahre von der Milchstraßenebene in den Raum hinaus erstrecken. Ein erster Erklärungsversuch war, dass eine mysteriöse Population von „jungen“ und hochenergetischen Elektronen die Blasen zum Leuchten bringt – „jung“ bedeutet in diesem astrophysikalischen Kontext ein Alter von ungefähr 10 Millionen Jahren.

Eine detaillierte Analyse des Leuchtens der Fermi-Blasen lieferte nun eine natürliche

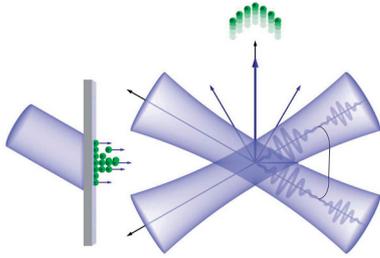
Erklärung: Ein Wind aus Protonen der kosmischen Strahlung und superheißem Plasma, der seit beinahe 10 Milliarden Jahren aus dem Zentrum der Milchstraße weht, hat die Blasen nach und nach aufgebläht und bringt sie zum Leuchten. Dieser Wind entsteht durch die seit den Anfängen der Milchstraße in ihrem galaktischen Zentrum anhaltende Sternentstehung. Die Fermi-Blasen haben die Aktivität im Zentrum der Milchstraße über ihre Geschichte hinweg aufgezeichnet.



Protonenstrahl-Tumorthherapie

An Ionenstrahl-Therapiezentren wie dem HIT werden die verwendeten Ionen – Protonen oder Kohlenstoffkerne – konventionell beschleunigt. Um den Strahl aus der gewünschten Richtung präzise auf den Tumor zu richten, ist ein hunderte Tonnen schweres Strahlführungssystem mit starken Ablenk magneten erforderlich. Frühere Modellrechnungen haben gezeigt, dass extrem starke Laser eine alternative Beschleunigungsmethode sein könnten. Die aufwendige magnetische Strahlführung würde so durch ein erheblich leichteres optisches System für den Laserstrahl ersetzt und die Ionen erst in unmittelbarer Nähe des Behandlungsplatzes aus der gewünschten Richtung beschleunigt. Eine offene Frage dabei war aber noch die Erzeugung eines ausreichend dichten, intensiven Ionenstrahls.

Mit heutigen Lasern ist es möglich, durch Laser-Plasma-Wechselwirkung aus festen Targets Protonenstrahlen mit hoher Dichte zu erzeugen. In neuen Rechnungen wurde deren Nachbeschleunigung mit extrem intensiven Laserpulsen simuliert. Betrachtet wurden dabei zwei Laserstrahlen, die sich in einem Winkel von 6° kreuzen und im Vergleich dazu einzelne Laserstrahlen. Werden die Laserstrahlen auf einen Radius in der Größenordnung der Laserwellenlänge fokussiert, ist das Feld stark genug, um Ionen zu beschleunigen. Wenn die gekreuzten Laserfelder die gleiche Amplitude, Frequenz und Phase haben und wie in der Abbildung polarisiert sind, führt Interferenz dazu, dass die Ionen im Brenn- und Kreuzungspunkt der Laser in eine Richtung (in der Abbildung nach oben) stark beschleunigt werden.

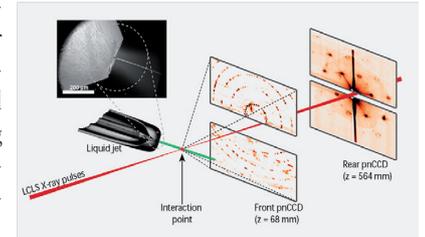


Verwendet man in der gekreuzten Anordnung 40 PW starke Titan-Saphir-Laser und ca. 10 fs kurze Pulse, erreichen die Protonen eine Energie von über 200 MeV mit einer Schärfe von ungefähr 1%. Außerdem werden bei einer Laserpuls-Frequenz von 10 Hz genügend Protonen beschleunigt, um alle Anforderungen der Tumorthherapie zu erfüllen.

Die benötigten starken Laser und die Technik zur Fokussierung des Strahls stehen bereits jetzt oder in naher Zukunft zur Verfügung. Kostenersparnisse wird allerdings erst die weitere Entwicklung bringen.

Biologische Nanostrukturen

Mit den intensiven Röntgenblitzen des LCLS in Stanford und dem CAMP-Instrument gelang es erstmals, die Strukturen eines Protein-Nanokristalls und eines einzelnen Virus zu untersuchen. Dagegen sind für die herkömmliche Strukturanalyse Kristalle von mehreren hundert Mikrometern Kantenlänge erforderlich, die sich aber oft nur unter jahrelangen Mühen züchten lassen – wenn überhaupt. Die Pulse des Röntgenlasers blitzen aber so intensiv auf, dass sie nicht nur aus winzigen Proben Strukturinformationen herauskitzeln, sondern die Probe gleichzeitig zerstören. Die Pulse des Lasers müssen deshalb so kurz sein, dass sie die Probe passieren, bevor diese im Röntgenlicht zerplatzt. In den nächsten Untersuchungen sollen die Pulse weiter verkürzt und ihre Intensität erhöht werden. So wird die notwendige Auflösung erreicht, um bislang unbekannte biologische Strukturen zu enthüllen.



Sonnenneutrinos

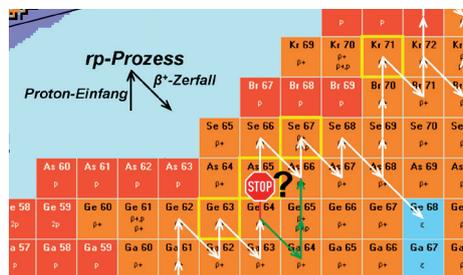
Der Borexino-Kollaboration ist es gelungen, den monoenergetischen ⁷Be-Sonnenneutrinofluss mit hoher Präzision zu vermessen (Messunsicherheit <5%). Dabei konnten keine Anzeichen für eine Tag-/Nacht-Asymmetrie gewonnen werden. Dies sind die bisher präzisesten Messungen niederenergetischer Sonnenneutrinos. Die Ergebnisse sind ein wichtiger Schritt zum Verständnis des Phänomens der Neutrino-Oszillationen, einer der bedeutendsten Entdeckungen der Elementarteilchenphysik im letzten Jahrzehnt. Gleichzeitig liefern die Beobachtungen ein scharfes Bild davon, wie die Fusionsprozesse im Sonneninneren ablaufen und stellen damit einen wesentlichen Fortschritt im Verständnis sonnenähnlicher Sterne dar.

Die neuen Resultate führen dazu, dass ausschließlich anhand von Messungen mit solaren Neutrinos die so genannte Large Mixing Angle (LMA)-Region im Neutrinooszillations-Parameterraum als Lösung für das Sonnenneutrino problem bestimmt werden kann. Bisher waren dazu auch Daten über Anti-Neutrinos von Kernreaktoren notwendig, die mit Hilfe des KamLAND-Experimentes gewonnen wurden.

Protonen in der Warteschlange: Kernfusion auf Neutronensternen

Bei engen Doppelsternsystemen, in denen ein Neutronenstern von seinem Partnerstern Materie ansaugt, kommt es zu Röntgenstrahlen-Ausbrüchen. Diese speisen sich aus thermonuklearen Prozessen auf der Oberfläche des Neutronensterns. Die einfallende Materie aus dem Partnerstern besteht überwiegend aus H und He und bildet unter dem Einfluss der ungeheuren Schwerkraft ein heißes dichtes Plasma aus Elektronen, Protonen und He-Kernen. Die Protonen können mit Kernen aus der Kruste des Neutronensterns fusionieren und so eine thermonukleare Reaktionskette starten, in der rasch weitere Protonen in den Atomkern eingebaut werden („rp-Prozess“, rapid proton capture process). Die dabei frei werdende Energie wird in Form von Röntgenquanten abgestrahlt.

Protoneinfang und Betazerfall (weiße Pfeile in der Abb.) konkurrieren miteinander, wobei zunächst der Protoneinfang schneller erfolgt. Mit zunehmender Protonenzahl wird aber die elektrostatische Barriere größer und die Fusion erschwert, bis schließlich die „Proton-Abbruchkante“ erreicht ist. Von Bedeutung sind dabei Nuklide nahe der Kante, „Wartepunkte“ genannt, wo der Einfang langsamer wird



als der Betazerfall und der Reaktionspfad einen Umweg nimmt (grüne Pfeile).

Im Speicherring des Schwerionenforschungszentrums in Lanzhou (China) konnte nun die Masse von 4 solcher kurzlebigen Nuklide (⁶³Ge, ⁶⁵As, ⁶⁷Se, ⁷¹Kr) (gelbe Quadrate) erstmalig bzw. deutlich präziser und daraus die jeweilige Proton-Bindungsenergie bestimmt werden.

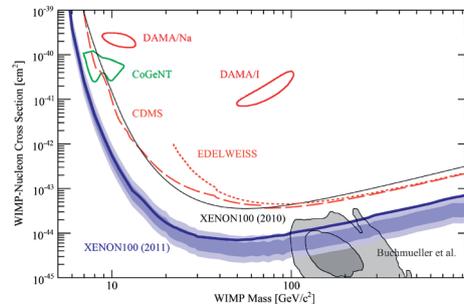
Für ⁶⁵As, dessen Mutternuklid ⁶⁴Ge schon als Kandidat für einen Wartepunkt galt, ergab sich, dass das Proton gerade eben nicht mehr gebunden ist. Theoretische Rechnungen mit den neuen Daten zeigen, in welchen Dichte- und Temperaturbereichen das Isotop einen wesentlichen Wartepunkt darstellt. Unter den Bedingungen eines Röntgenausbruchs ist dies aber nicht der Fall.

XENON100: Erlaubter Bereich für Dunkle Materie eingengt

Man erwartet, dass WIMPs (weakly interacting massive particles, die führenden Kandidaten für Dunkle Materie) eine mit Atomkernen vergleichbare Masse haben und nur sehr schwach mit normaler Materie wechselwirken. Um die sichtbare Scheibe unserer Galaxis sollten sie eine enorme Wolke bilden, durch welche sich die Erde gemeinsam mit der Sonne auf ihrem Weg durch die Galaxis bewegt. Der daraus resultierende „WIMP-Wind“ kann gelegentlich an einem Atomkern in einem erdgebundenen Detektor streuen und so einen winzigen Energiebetrag freisetzen, der mittels äußerst empfindlicher Instrumente nachgewiesen werden kann.

Eine 100 Tage dauernde Messreihe von XENON100 zur Suche nach Dunkler Materie lieferte insgesamt drei Signale im

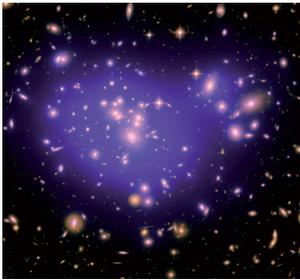
vordefinierten Parameterbereich, in dem ein WIMP-Signal erwartet würde. Auch wenn diese Ereignisse von tatsächlichen Streueignissen im Detektor kommen, ist dies in statistischer Übereinstimmung mit dem radioaktiven Untergrund, von dem zwei Ereignisse erwartet werden. Ein Signal für Dunkle Materie liegt somit nicht vor, aber es ergibt sich eine Ober-



grenze für die Wechselwirkungsstärke mit normaler Materie. Dieses Ergebnis ist die bisher weltbeste Grenze. Dadurch werden Modelle, die Dunkle Materie vorhersagen, merklich eingeschränkt.

XENON100 hat unter allen Experimenten zur Suche nach Dunkler Materie den niedrigsten Untergrund. Inzwischen konnte der intrinsische Untergrund von im Xe in Spuren enthaltenem radioaktivem Kr auf ein vorher nie erreichtes Maß reduziert werden. Während nun mit verbesserter Detektor-Charakteristik weitere Daten genommen werden, was noch dieses Jahr zu einer deutlichen Sensitivitätsverbesserung führt, bereitet die Kollaboration das nächste Experiment mit 2500 kg flüssigem Xenon vor. Der XENONIT-Detektor wird 100 mal sensitiver sein als XENON100.

Dunkle-Materie-Annihilation



Die Kosmologie geht davon aus, dass alle Galaxien in einen Halo aus Dunkler Materie eingebettet sind. Nach der Theorie sollen die vermuteten Dunkle-Materie-Teilchen (z. B. WIMPs) sich gegenseitig vernichten oder in Teilchen des Standardmodells zerfallen können. Sind diese Teilchen schwer genug,

so sollte ihre Selbst-Annihilation höchstenergetische Gammastrahlen freisetzen, die mit den H.E.S.S.-Teleskopen beobachtet werden kann.

Nun wurden Daten aus der Region um das Zentrum der Milchstraße – abseits lokaler Gammaquellen – ausgewertet. Dabei ergab sich im Vergleich zu einer Kontrollregion kein signifikantes Gammastrahlungssignal. Aus dieser „Null-Messung“ lassen sich neue Obergrenzen für den Annihilations-Wirkungsquerschnitt von Dunkler Materie in Abhängigkeit von der Dunkle-Materie-Teilchenmasse ableiten.

Double Chooz beginnt Messung

Neutrinos haben die merkwürdige Eigenschaft, sich im Flug ineinander umwandeln zu können („Neutrino-Oszillation“). Die Oszillationen werden mit drei Mischungsparametern beschrieben, von denen zwei groß und bereits bekannt sind. Das Double-Chooz-Experiment soll nun den dritten wesentlich kleineren Parameter, θ_{13} , bestimmen, für den es bisher nur eine Obergrenze aus den Messungen des Vorgängerexperiments gibt.

Der erste Detektor, der etwa 1 km von den Reaktoren des Kernkraftwerks Chooz entfernt ist, hat Anfang des Jahres mit der Datennahme begonnen. Aus der gemessenen Zahl von Neutrinos und der erwarteten ergibt sich schon 2011 ein verbesserter Wert von θ_{13} . 2012 soll auch der zweite Detektor, der nur 400 m von den Reaktoren entfernt ist, in Betrieb gehen. Bis zu dieser

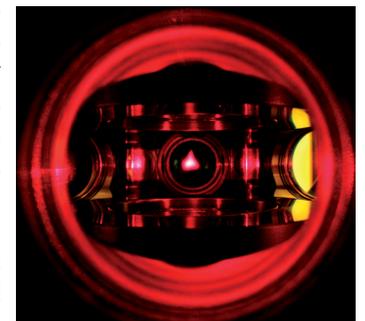


Distanz haben die Neutrinos noch kaum Gelegenheit, sich in eine andere Sorte umzuwandeln. Ein direkter Vergleich der Daten beider Detektoren ermöglicht dann eine noch wesentlich genauere Bestimmung von θ_{13} .

Ultrakaltes Designer-Atom

Systeme, die aus einer kleinen Anzahl fermionischer Teilchen bestehen, sind die Bausteine der Materie. Dies reicht von aus drei Quarks bestehenden Nukleonen über Kerne zu Atomen. Die Eigenschaften dieser Systeme sind von der Natur eindeutig festgelegt, daher sind Messungen an diesen Teilchen im Prinzip perfekt reproduzierbar. Diese Reproduzierbarkeit bedingt allerdings auch, dass sich die Eigenschaften dieser Systeme nur sehr begrenzt manipulieren lassen. Deshalb wird daran gearbeitet, synthetische Wenigteilchensysteme mit einstellbaren Eigenschaften zu erzeugen. Beispiele sind Quantenpunkte und atomare Cluster. In solchen Systemen ist allerdings die Reproduzierbarkeit und die Kontrolle eine bedeutende Herausforderung.

In Experimenten mit ultrakalten fermionischen Atomen ist es gelungen, ein einstellbares Wenigteilchensystem reproduzierbar zu präparieren. Realisiert wird es in einer wenige Mikrometer großen Falle, welche aus einem stark fokussierten Laserstrahl besteht. Diese Falle wird aus einem Reservoir von ultrakalten fermionischen Lithiumatomen gefüllt. Aufgrund des Paulischen Ausschließungsprinzips ist jeder Quantenzustand in dem kleinen Potential mit genau einem Atom besetzt, ganz analog zu den Elektronen in einem Atom. Die Teilchenzahl wird präpariert, indem man dem durch den Laserstrahl geformten Potential ein räumlich variierendes Magnetfeld überlagert. Die Lithiumatome besitzen ein magnetisches Moment und erfahren daher wie kleine Magneten eine Kraft, wodurch die Falle gekippt wird. Die Stärke des Kippens legt nun fest, wie viele Atome in dem angekippten Topf Platz haben und bestimmt somit die Zahl der verbleibenden Atome.



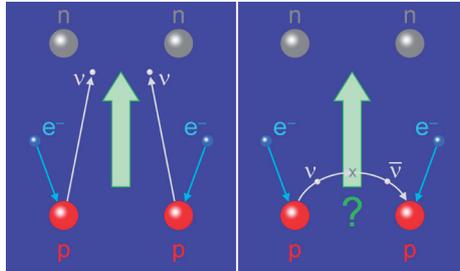
Besonders spannend wird dieses aus wenigen Atomen bestehende System dadurch, dass die Wechselwirkung zwischen den Teilchen nach Belieben eingestellt werden kann, so als ob man in einem Atom die Ladung der Elektronen variieren könnte. In diesem „künstlichen Atom“, in dem die Atome die Rolle der Elektronen, und die Falle die Rolle des Atomkerns übernehmen, lassen sich nun eine Vielzahl theoretischer Modelle simulieren und testen.

Präzisionsmassenmessung für neue Neutrinoexperimente

Als elektrisch neutrale Teilchen könnten Neutrinos möglicherweise ihre eigenen Antiteilchen sein. Wegen der grundsätzlichen Konsequenzen dieser „Majorana“-Eigenschaft für die Teilchenphysik und Kosmologie unternehmen Forscher große Anstrengungen, um diese experimentell zu testen. Deshalb sucht GERDA nach dem neutrinolosen Doppelbetazerfall, der dann möglich, wenn auch sehr unwahrscheinlich wäre.

Es gibt noch einen weiteren Zerfallsprozess, bei welchem umgekehrt zwei Elektronen aus der Atomhülle von zwei Protonen des Kerns quasi verschluckt werden, welche sich dabei in zwei Neutronen umwandeln und zwei Neutrinos aussenden. Hätte das Neutrino die Majorana-Eigenschaft, wäre auch

der neutrinolose Doppelbefang möglich. Leider wäre ein solcher Zerfall noch wesentlich unwahrscheinlicher als der neutrinolose Doppelbetazerfall und somit sein Nachweis praktisch aussichtslos – mit einer Ausnahme: Wenn die Zerfallsenergie, also die Energiedifferenz zwischen Anfangs- und Endzustand dieses Kernprozesses sehr klein ist, erfolgt eine resonante Verstärkung um viele Zehnerpotenzen.



Ein Kandidat ist ^{152}Gd , das über diesen Prozess zu ^{152}Sm zerfallen könnte. Eine genaue Bestimmung der Energiedifferenz gelang durch hochpräzise Massenmessungen der beiden Nuklide an der SHIP-TRAP-Apparatur des GSI-Helmholtzzentrums in Darmstadt. Als Zerfallsenergie ergab sich ein eindeutig positiver, kleiner Wert mit einer Ungenauigkeit von ca. 20%. Die daraus resultierende resonante Verstärkung gegenüber dem Zerfall des Eisen-Isotops ^{54}Fe als Bezugspunkt beträgt fast sieben Zehnerpotenzen. Mit ungefähr 10^{26} Jahren ist die berechnete Halbwertszeit die kürzeste unter den bekannten neutrinolosen Einfangprozessen. Damit erweist sich ^{152}Gd zumindest im Prinzip als vielversprechender Kandidat für zukünftige Untersuchungen.

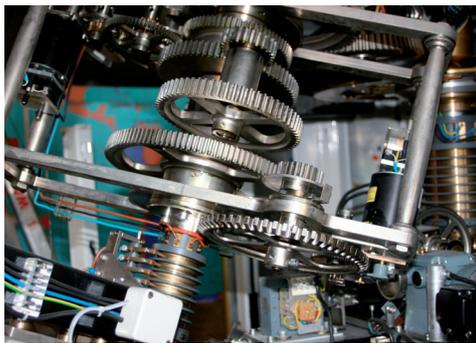
Astronomisches Lehrzentrum

Am 03.12.2010 fand die Neueröffnung des Astronomischen Lehrzentrums am Helmholtz-Gymnasium Heidelberg statt. Im Rahmen der Feier wurden **Norbert Schlicksupp**, der ehemalige Leiter der feinmechanischen Ausbildungswerkstatt, und **Gerhard Schneider** von der Haustechnik für ihr langjähriges ehrenamtliches Engagement für die Konzeption, Ausführung und Wartung der Weltzeituhr und der Äquationsuhr des Foucault-Pendels zu Ehrenmitgliedern des Astronomischen Lehrzentrums ernannt. Zugleich wurde ihnen vom Förderkreis der Landessternwarte eine Patenschaft für einen Kleinplaneten verliehen.



Die beiden Uhrwerke sind einzigartige Präzisionsinstrumente und das Pendel gehört mit 15 m Länge und einer Schwungmasse von 285 kg zu den acht größten weltweit. Das Lehrzentrum wurde 1985 gegründet und ist neben den mit Unterstützung des MPIK aufgebauten Geräten mit einem eigenen Kleinplanetarium und einem Teleskop ausgestattet. Mit der in dieser Form landesweit einmaligen Einrichtung leistet das Helmholtz-Gymnasium einen wichtigen Beitrag zur Vermittlung naturwissenschaftlicher Inhalte.

Die Pflege der Großgeräte wird zukünftig von Stephan Flicker und Florian Säubert aus der Lehrwerkstatt übernommen.



Personalia

Preise und Ehrungen

Prof. Dr. Eberhard Grün erhielt die Goldmedaille (G) der Royal Astronomical Society.

Prof. Dr. Hans A. Weidenmüller wurde zum „Life Member of the International Board“ des Weizmann Institute of Science gewählt.

Dr. Benjamin J. King erhielt eine Otto-Hahn-Medaille 2010 der Max-Planck-Gesellschaft.

Habilitationen

Dr. Yuri Litvinov: Beta-decay of highly charged ions.

Dr. Antonino DiPiazza: Strong-field CED and QED in intense laser fields.

Dienstjubiläen

40 Jahre MPG: **Karl Bechberger, Rainer Fleckenstein, Herbert Strecker**

25 Jahre MPG: **Michael Meisel**

Termine

Am **11. November** präsentiert sich das MPIK im Rahmen des Max-Planck-Tags aus Anlass des MPG/KWG-Jubiläums.

Die diesjährige Jahresabschlussversammlung findet am **21. Dezember** statt.



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