



MPIK-NEWS

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



die vierte COVID-19-Welle rollt heftig, und unter diesem dunklen Schatten ist es schwer, sich auf die Wintermonate zu freuen. Nun müssen wir wieder ein Gleichgewicht zwischen Anwesenheit am Institut und

mehr Homeoffice finden. Die „3G“-Regel gilt jetzt auch am Arbeitsplatz, und wir haben zu kontrollieren, dass Ungeimpfte täglich einen Test vorlegen. Aber trotzdem haben wir als Institut viel zu feiern – insbesondere die preisgekrönte Qualität unserer Arbeit.

Zu den jüngsten Anerkennungen gehören mehrere Preise, darunter der sehr angesehene Otto-Hahn-Preis für Klaus Blaum. Außerdem wurden zwei junge Wissenschaftlerinnen auf Professuren berufen. Dies zeigt nicht nur den enormen individuellen Erfolg dieser Personen, sondern auch das großartige Umfeld, das am MPIK herrscht und hervorragende Wissenschaft ermöglicht. Alle Mitarbeitenden tragen zu diesem fantastischen Umfeld bei. Daher an Alle: Vielen Dank für all Ihren Einsatz, und lassen Sie uns unseren Optimismus und Enthusiasmus in den kommenden schwierigen Wochen und Monaten beibehalten.

Ihr

Prof. Dr. Jim Hinton
(Geschäftsführender Direktor)

In dieser Ausgabe

Geheimnisse eines exotischen Kerns 1
 CONUS engt den Spielraum für „neue Physik“ ein..... 2
 Wichtige Messmethode der Neutrino-physik auf dem Prüfstand 2
 Kurzmeldungen 3
 Wasserschaden im Gentnerlabor behoben 4
 Namen & Notizen 4

Geheimnisse eines exotischen Kerns

Berechnungen des exotischen, experimentell schwer zugänglichen Kerns Zinn-100 mit neuesten ab-initio Methoden liefern verlässliche Ergebnisse. Dies zeigen neue präzise Massenmessungen von in der Nuklidkarte benachbarten Indium-Isotopen, die mittels ausgefeilter Techniken am CERN möglich waren.

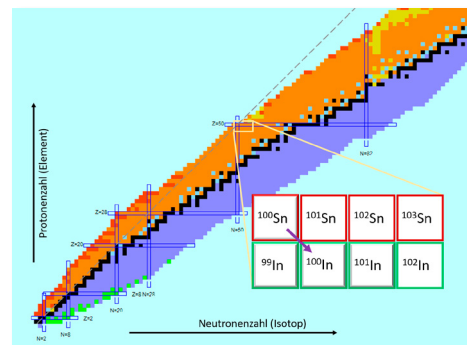
Das Zinn-Isotop mit der Massenzahl 100 ist der schwerste mögliche Atomkern mit gleicher Anzahl von Protonen und Neutronen. Die Eigenschaften dieses Atomkerns werden als der „Heilige Gral“ der Kernphysik bezeichnet. Da mit 50 Neutronen bzw. Protonen jeweils Schalen abgeschlossen sind, spricht man auch von „magischen“ Zahlen, und Zinn-100 ist demzufolge ein doppelt magischer Kern. Eigentlich sind doppelt magische Kerne besonders stabil, allerdings gilt das für schwere Kerne wie Zinn-100 nur im Vergleich zu ihren Nachbarnukliden. Zinn-100 ist kurzlebig und zerfällt zu Indium-100 (mit 49 Protonen und 51 Neutronen). Dieses extrem exotische Nuklid ist deshalb sehr schwer in ausreichender Menge herzustellen und entzieht sich weitgehend direkten, genauen Messungen. So gibt es bisher in der Literatur lediglich zwei sich widersprechende Werte für die Zerfallsenergie von Zinn-100.

Um mehr über die Eigenschaften dieses besonderen Kerns zu erfahren, bieten sich theoretische Berechnungen an. Aber wie verlässlich sind die so erhaltenen Werte? Das lässt sich anhand präziser Massenmessungen von in der Nuklidkarte benachbarten Kernen überprüfen.

Am ISOLDE-Isotopenseparator des CERN gelang es, die ebenfalls ziemlich kurzlebigen, neutronenarmen Indium-Isotope 99, 100 und 101 (letzteres im Grund- und einem angeregten metastabilen Zustand) herzustellen, zu trennen und zum ISOLTRAP-Massenspektrometer zu leiten. Dieses besteht aus einem Flugzeit-Instrument und einem nachgeschalteten Penningfallensystem, mit denen die Experimentatoren die Massen dieser Kerne mit hoher Präzision bestimmten. Daraus berechneten sie die Bindungsenergien –

denn die Masse eines Atomkerns setzt sich zusammen aus der Summe der Massen der enthaltenen Nukleonen, also der Protonen und Neutronen, sowie der Bindungsenergie. Mit dem Wert für Indium-100 und den Literaturwerten der Zerfallsenergie ergeben sich stark widersprüchliche Werte für die Bindungsenergie von Zinn-100.

Parallel hat das Theorieteam Rechnungen von Indium, Zinn und anderen Atomkernen um den „Heiligen Gral“ Zinn-100 mit modernsten ab-initio-Methoden und Zwei- und Drei-Teilchen-Wechselwirkungen durchgeführt. Die Ergebnisse aller Methoden für Indium- sowie für neutronenreichere Zinn-Isotope zeigen jeweils dieselben Trends und stimmen gut mit den experimentellen Daten überein. Das macht die Vorhersagen für Zinn-100 ausgesprochen vertrauenswürdig. Etwas überraschend unterstützen sowohl die theoretischen Vorhersagen als auch die experimentellen Daten die ältere und nicht die neuere, eigentlich genauere Zerfallsenergie-Messung.



Zinn-100 und einige seiner Nachbarisotope als vergrößerter Ausschnitt aus der Nuklidkarte (schwarze Kerne: stabil, andere Farben: verschiedene Zerfallsarten; blaue offene Balken: magischen Zahlen, gestrichelte graue Linie: Kerne mit gleicher Protonen- und Neutronenzahl). Violetter Pfeil: Zerfall von ^{100}Sn zu ^{100}In .

Kontakt: Klaus Blaum, Achim Schwenk
Publikation: Mass measurements of $^{99-101}\text{In}$ challenge ab initio nuclear theory of the nuclide ^{100}Sn , Nature Physics 23.09.2021, DOI: 10.1038/s41567-021-01326-9

CONUS engt den Spielraum für „neue Physik“ ein

Es gibt eine ganze Reihe von Gründen dafür, dass das Standardmodell der Teilchenphysik nicht vollständig ist. Eine sehr interessante Option sind hierbei neuartige Wechselwirkungen von Neutrinos.

Das CONUS-Experiment hat im April 2018 am Kernkraftwerk in Brokdorf den Messbetrieb aufgenommen. Es nutzt Antineutrinos, die im Reaktor als Nebenprodukt entstehen. Der Abstand des experimentellen Aufbaus zum Reaktorkern beträgt nur 17 Meter. Dadurch steht ein extrem hoher Fluss von 24 Billionen Neutrinos pro Sekunde und Quadratmeter zur Verfügung. Die Kombination von starker Quelle, einer speziellen Abschirmung gegen Störstrahlung und optimierten Halbleiterdetektoren aus Germanium macht das Experiment zu einem weltweit führenden Projekt auf diesem Gebiet.

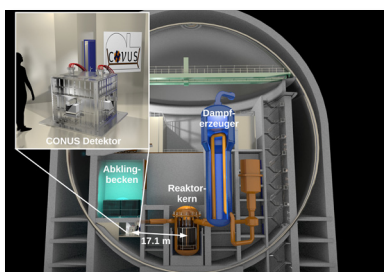
Mit Daten aus Phasen, in denen der Reaktor an- und abgeschaltet war, lassen sich die gesuchten Prozesse

genauer untersuchen und die Möglichkeiten neuartiger Physik weiter als bisher einschränken. Eine Materialeigenschaft des Germaniums, das „Quenching“, limitiert bisher die Messgenauigkeit. Die gemessene Ionisationsenergie im Halbleiterdetektor ist für Stöße der Neutrinos an Atomkernen geringer als von Elektronen gleicher Energie. Diesen Verlust-Effekt muss man in der Datenanalyse entsprechend berücksichtigen. Deshalb erfolgten parallel Messungen an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig, um den Quenching-Effekt präziser als bisher zu bestimmen. Kombiniert mit weiteren Datensätzen wird dies erlauben, die Ergebnisse weiter zu verfeinern und die betreffenden Wechselwirkungen noch genauer unter die Lupe zu nehmen.

Die neuartigen Wechselwirkungen der Neutrinos lassen sich – ähnlich wie die schwache Kraft im Standardmodell der Teilchenphysik – bei niedrigen Energien als eine spezielle Art von Wechselwirkungen be-

schreiben, Theoretikern als „effektive vier-Fermi-Wechselwirkungen“ bekannt. Diese sogenannten NSI-Operatoren kann man weiter nach ihren Eigenschaften bezüglich der Raum-Zeit klassifizieren. Die neuen Ergebnisse des CONUS-Experiments liefern nun im Falle einiger dieser Kanäle die weltweit engsten Grenzen für neue Physik. Die erzielten Ausschlussbereiche für NSI-Operatoren entsprechen Grenzen für eine Kombination aus den Massen und Kopplungsstärken von theoretisch gut motivierten neuartigen Bosonen. Für andere Kanäle werden bisherige Ergebnisse bestätigt.

Der weiter verbesserte CONUS-Messaufbau nimmt derzeit bei eingeschaltetem Reaktor Daten. Die Abschaltung des Kraftwerks 2022 erlaubt danach eine sehr sorgfältige Messung des Untergrunds, sodass mit weiteren wichtigen Ergebnissen zu rechnen ist.



Der CONUS-Detektor und seine Lage im Kernkraftwerk Brokdorf.

Kontakt: Manfred Lindner, Christian Buck, Werner Maneschg
Publikation: Novel constraints on neutrino physics beyond the standard model from the CONUS experiment, arXiv: <https://arxiv.org/abs/2110.02174>

Wichtige Messmethode der Neutrinophysik auf dem Prüfstand

Mit präzisen Massenmessungen und hochgenauen Rechnungen gelang es jetzt, die Genauigkeit einer wichtigen Methode der Neutrinophysik, der kryogenen Mikrokalorimetrie, unabhängig zu überprüfen.

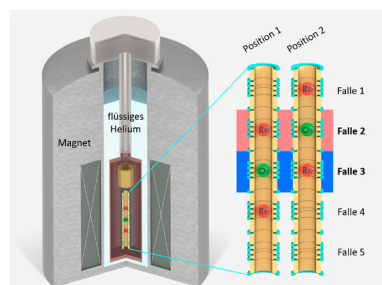
Wie schwer sind Neutrinos? Bis heute sind nur obere Grenzen der Neutrinomasse bekannt, die bestätigen, dass sie äußerst klein ist. Dies macht eine direkte Massenmessung zu einer herausfordernden Aufgabe. Ein vielversprechender Ansatz ist die präzise Vermessung des radioaktiven Beta-Zerfalls oder umgekehrt des Elektroeinfangs durch ein Proton, wobei jeweils ein Neutrino freigesetzt wird. Zwar kann man die Neutrinos hier nicht direkt nachweisen, allerdings sämtliche restliche beim Zerfall freigesetzte Energie. Ein Vergleich mit der maximal zur Verfügung stehenden Energie des Zerfalls ergibt die Neutrinomasse. Dazu muss man beide Werte mit hoher Genauigkeit aus dem Energiespektrum und dessen extrapolierte Maximalenergie bestimmen.

Andererseits steht die maximal zur Verfügung stehende Energie nach Einsteins berühmter Formel $E = mc^2$ mit der Massendifferenz zwischen Mutter- und

Tochteratom in Verbindung. Um diese sehr präzise – und unabhängig vom Zerfallsprozess – zu messen, ist Massenspektrometrie in Penningfallen eine hervorragende Methode.

Das in der Natur häufigste Rhenium-Isotop ist das mit der Massenzahl 187; es zerfällt mit sehr langer Halbwertszeit zum stabilen Osmium-187, und die Massen- bzw. Energiedifferenz ist mit wenigen Kiloelektronenvolt (keV) außerordentlich gering. Eine direkte, hochpräzise Bestimmung der winzigen Massendifferenz zwischen beiden Atomen in Form der 29-fach positiv geladenen Ionen gelang nun mit der „Pentatrap“-Apparatur. Um die gesuchte Massendifferenz zwischen den neutralen Atomen zu erhalten, wurde die Bindungsenergie der fehlenden 29 Elektronen mit relativistischen quantentheoretischen Methoden genauestens berechnet.

Sowohl die Messungen wie auch die Rechnungen erzielten Genauigkeiten von



Schema von Pentatrap (nicht maßstäblich) und Darstellung der beiden Positionen der Ionen in den Einzelfallen. Gemessen wird in Fallen 2 und 3 (rot bzw. blau).

etwa einem Elektronenvolt (eV). Damit beträgt die Massendifferenz für den Betazerfall von ^{187}Re zu ^{187}Os $2470,9 \pm 1,3$ eV und stimmt sehr gut mit den Werten früherer Messungen mittels kryogener Mikrokalorimetrie überein. Das bedeutet, dass das zugrunde liegende theoretische Modell des Betazerfalls gültig und Mikrokalorimetrie eine zuverlässige und mindestens im Bereich einiger Elektronenvolt genaue Methode in der Neutrinoforschung ist. Allerdings könnten Festkörpereffekte die mit Mikrokalorimetrie bestimmte Zerfallsenergie um einige eV verändern. Um diese Effekte zu erforschen, sind noch genauere Messungen erforderlich.

Die Messungen und Berechnungen erzielten Genauigkeiten von

Kontakt: Sergey Eliseev, Zoltán Harman
Publikation: Direct Q-value determination of the β^- -decay of ^{187}Re , Phys. Rev. Lett. 127, 072502 (2021), DOI: 10.1103/PhysRevLett.127.072502

+ + + Kurzmeldungen + + +

Molekulare Strukturdynamik

Erstmals gelang eine zeitaufgelöste absorptionsspektroskopische Untersuchung eines kleinen Moleküls allein mit extrem-ultravioletten Lichtpulsen: die photoinduzierte Strukturdynamik von Diiodmethan. Zwei identische XUV-Pulse mit variabler Zeitverzögerung wechselwirken nacheinander mit einem Iod-Atom von CH_2I_2 . Die Anregung während des ersten Pulses löst die Dissoziation des Moleküls aus, die eine Strukturdeformation beinhaltet. Dies verändert das Absorptionsverhalten, das durch zeitabhängige Spektroskopie mit dem zweiten XUV-Puls analysiert wird. Dieses Experiment am FLASH in Hamburg ist ein entscheidender Schritt in Richtung der Verwendung von Freie-Elektronen-Lasern für zeitaufgelöste Messungen von sich bewegenden Atomen in Molekülen (sogenannte Molekülfilme).

Kontakt: Christian Ott, Thomas Pfeifer

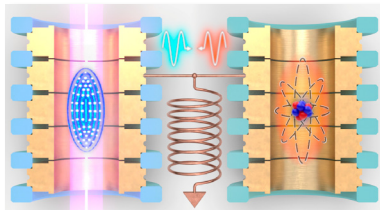
Meldung vom 01.07.2021

Kühlung einzelner Ionen

Mit einer neuartigen Technik kann man beliebige Ionen durch Kopplung an ein direkt lasergekühltes Ion in einer separaten Penningfalle effizient kühlen. Ein gemeinsamer Schwingkreis koppelt die beiden Fallen resonant. Dies eröffnet die Perspektive, beliebige Ionen in Penningfallen auf einige Millikelvin zu kühlen. Denn Laserkühlung ist auf wenige Ionenspezies beschränkt, die geeignete elektronische Übergänge aufweisen. So lässt sich die durch thermische Bewegung verursachte Einschränkung der Präzision von Messungen ohne die bei direkter sympathetischer Kühlung auftretenden Nebenwirkungen einer starken Abstoßung verringern.

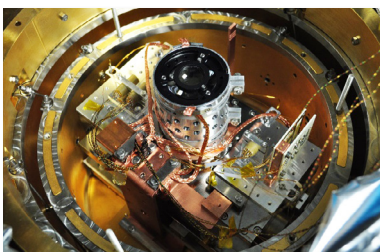
Kontakt: Sven Sturm, Bingsheng Tu

Meldung vom 14.07.2021



Kopplung eines einzelnen Ions und eines laser-gekühlten Ensembles in Penningfallen über einen leicht verstimmt Resonator.

Neuartige supraleitende Falle



Ionenfalle in der Vakuummkammer innerhalb der thermischen Schilde für den Betrieb bei 4 K.

Eine neuartige Falle für hochgeladene Ionen besteht aus einer supraleitenden Radiofrequenz-Kavität aus hochreinem Niob mit einer integrierten linearen Paulfalle. Darin lassen sich Ionen bei kryogenen Temperaturen nahezu bewegungslos speichern, sodass an ihnen hochpräzise spektroskopische Messungen

möglich sind. Ein entscheidender Vorteil des vollständig in supraleitendem Material ausgeführten Systems ist dessen perfekte Abschirmung externer elektromagnetischer Felder. Diese Falle soll im BMBF-Quantentechnologie-Vorhaben VAUQSI zur Realisierung, Speicherung und Steuerung langlebiger Qubits dienen.

Kontakt: Elwin Dijck, Christian Warnecke, José Crespo

Meldungen vom 23.08.2021 und 20.09.2021

Neue Kühlmethode für geladene Teilchen

Erstmals ist es gelungen, eine neue Methode zur Kühlung von Protonen mithilfe lasergekühlter Ionen – in diesem Fall Beryllium-Ionen – erfolgreich umzusetzen. In dem neuen Aufbau befinden sich die beiden Teilchensorten in räumlich getrennten Fallen. Ein elektrischer Schwingkreis überträgt die Kühlleistung über eine Distanz von neun Zentimetern von der einen in die andere Falle. So lässt sich das Proton in einer der Fallen deutlich stärker kühlen als ohne Beryllium. Die neue Methode kann man auf alle geladenen Teilchen anwenden, insbesondere auch auf Antiprotonen, für die es bisher noch keine andere Kühlmethode in diesen Temperaturbereich gibt. Bewegungsarme, also kalte Ionen sind Voraussetzung für hochpräzise Messungen, wie sie die BASE-Kollaboration auch bei der Suche nach Dunkler Materie mithilfe von Antimaterie vornehmen möchte.

Kontakt: Stefan Ulmer, Klaus Blaum, Christian Smorra

Meldung vom 25.08.2021

Perspektiven der Neutrino-Forschung

Ein Neutrino-Panel der IUPAP hat einen Bericht fertig gestellt, der alle wichtigen Aspekte der Neutrinophysik abdeckt. Neutrinos können einzigartige Informationen über ihre Quellen liefern, sei es die Sonne, Supernovae, das Innere der Erde oder die extremen Quellen der hochenergetischen kosmischen Strahlung. Gleichzeitig sind Neutrino-Oszillationen und damit Neutrinomassen bisher der einzige laborgestützte Nachweis für Physik jenseits des Standardmodells. Der Bericht zeigt die Möglichkeiten der Teilchenphysik und der Physik der Neutrino-Quellen auf und betont die vielen Vorteile der Physik von und mit Neutrinos. Erforderliche Maßnahmen und Entwicklungen, um die Erfolgsgeschichte der Neutrinos fortzusetzen, werden ebenfalls skizziert.

Kontakt: Manfred Lindner, Werner Rodejohann

Meldung vom 29.10.2021



Myonen – Schlüssel zu „neuer Physik“?

Die kürzlich experimentell bestätigte Diskrepanz des magnetischen Moments des Myons gegenüber dem anhand des Standardmodells der Teilchenphysik berechneten Wert verlangt nach einer neuen Physik. Theoretiker haben nun Erweiterungen des Standardmodells vorgeschlagen, mit denen sich die beobachtete Anomalie erklären und darüber hinaus auch Rätsel der Neutrinophysik lösen lassen. Zum einen ist das ein neuartiger Zusammenhang zwischen dem magnetischen Moment des Myons und dem der Neutrinos, der auch das Neutrinomasse/magnetisches Moment-Rätsel löst. Zum anderen ist das eine Erweiterung des Standardmodells durch ein Axion-ähnliches Teilchen (ALP) und vektorähnliche Fermionen. Die resultierenden Parameter sind mit den Ergebnissen anderer Experimente und kosmologischen Beobachtungen vereinbar.

Kontakt: Manfred Lindner

Meldung Anfang Dezember

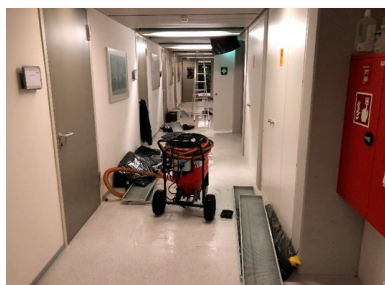
Wasserschaden im Gentnerlabor behoben

In der Nacht zu Sonntag, 02.02.2020 kam es im Flur des 2. OG von Gebäude 11a (Anbau Gentner-Labor) durch ein Leck in einer Kühlwasserleitung zu einem größten Wasserschaden, bei dem einige 1000 L Wasser ausliefen. Büros und Labore im 2. OG mussten sofort geräumt werden.

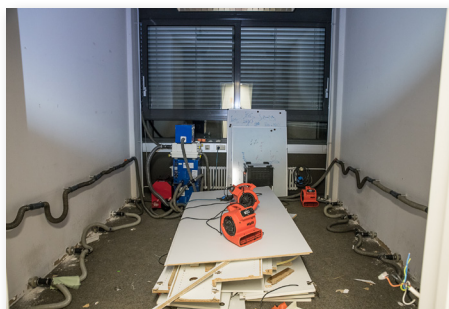
Entkernung und Planung der umfangreichen Sanierungsmaßnahmen erfolgten 2020. Die letzten Wissenschaftler*innen zogen im Januar 2021 aus; dafür waren 7 Bürocontainer aufgestellt worden. Der Wiedereinzug der Wissenschaft konnte im Oktober 2021 starten.



Ein saniertes Büro.



Absaugen des Wassers.



Trocknen von Wänden.



Der Bodenbelag ist schon raus.

Die Arbeiten umfassten die Sanierung aller Böden und Wandoberflächen, des gesamten Brandschutzes, des gesamten Kälte- und Trinkwassernetzes, der gesamten LAN-Infrastruktur, den Aufbau eines flächendeckenden WLANs und einer Brandmeldeüberwachung, die Ausrüstung der Labore mit Glasfaserkabeln und die Umstellung der Beleuchtung auf LED. Die Gesamtmaßnahme kostete ca. 2,2 Mio. €.



Blick in den renovierten Gang.

Namen & Notizen



Die Frankfurter Dezernentin für Kultur und Wissenschaft Ina Hartwig überreicht den Otto-Hahn-Preis 2021 in der Paulskirche an Klaus Blaum. (© Stadt Frankfurt am Main, Foto: Maik Reuß)

Preise und Ehrungen

Klaus Blaum: Otto-Hahn-Preis der Stadt Frankfurt am Main, der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) und der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)

Heinrich Völk: Ehrendoktorwürde der Sibirischen Sektion der Russischen Akademie der Wissenschaften

Andreas Wolf: Dieter-Möhl-Medaille 2021 des CERN

Jonas Karthein: Dissertationspreis der Sektion Materie und Kosmos der DPG

Peter Micke: Dissertationspreis der Sektion Atome, Moleküle, Quantenoptik und Plasmen der DPG

Jason Mather: Azubipreis der MPG

Rufannahmen

Adriana Pálffy-Buß: W2-Professur für Theoretische Quanteninformation und Quantenoptik, Universität Würzburg

Anne Harth: Professur für Computational Optics mit dem Schwerpunkt der Licht-Materie-Wechselwirkung, Hochschule Aalen

Impressum

Herausgeber:
Redaktion:

Max-Planck-Institut für Kernphysik, Saupfercheckweg 1, 69117 Heidelberg · info@mpi-hd.mpg.de
Dr. Bernold Feuerstein, Dr. Gertrud Hönes