

Astroteilchenphysik

Direktoren: Prof. Dr. Jim Hinton,
Prof. Dr. Dr. h.c. Manfred Lindner

**Was sind die Quellen hochenergetischer Gammastrahlung?
Wie funktionieren kosmische Beschleuniger? Warum gibt es
im Weltall praktisch keine Antimaterie?**

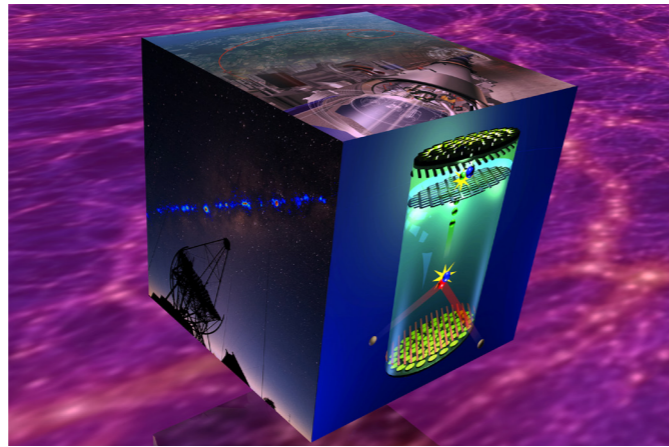
Hochenergetische Photonen (Gammastrahlen) aus dem Kosmos werden mit den H.E.S.S.-Teleskopen in Namibia und dem HAWC-Detektor in Mexiko beobachtet. Damit lassen sich kosmische Teilchenbeschleuniger aufspüren und erforschen. Der Standort von H.E.S.S. auf der Südhalbkugel bietet einen direkten Blick auf das besonders interessante Zentrum der Milchstraße. Die Beobachtungen zeigten erstmals, dass es in unserer Galaxis zahlreiche Quellen solch hochenergetischer Strahlung gibt. Zu den Quellen außerhalb der Milchstraße zählen aktive und Starburstgalaxien. Das nächste Observatorium wird CTA sein mit rund 100 Teleskopen an 2 Standorten in Chile/ESO (Paranal) und Spanien (La Palma).

Eng damit verbunden sind theoretische Arbeiten zur Funktionsweise kosmischer Beschleuniger und zur Erzeugung der Gammastrahlen in Kollisionen der beschleunigten Elementarteilchen mit interstellarer Materie oder Strahlung.

Der Ursprung der Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie wird mit dem LHCb-Experiment am Large Hadron Collider des CERN in Genf untersucht.



Gammaquellen entlang der Milchstraße, gesehen von H.E.S.S.



Komplementäre Strategien zur Suche nach Dunkler Materie.

Woraus besteht Dunkle Materie und wie kann man sie finden? Sind Neutrinos ihre eigenen Antiteilchen? Wie groß ist ihre Masse und wie wandeln sie sich ineinander um?

Die theoretischen Arbeiten zur Teilchen- und Astroteilchenphysik betreffen phänomenologische Fragen zur Neutrinophysik, zur Natur von Dunkler Materie und deren kosmologische Auswirkungen, z. B. direkt nach dem Urknall. Die Verbindung von Ergebnissen der Neutrinophysik, der Astroteilchenphysik und von Beschleunigerexperimenten liefert Hinweise auf eine neue Physik jenseits des Standardmodells der Teilchenphysik, das zwar erfolgreich ist, aber einer Erweiterung bedarf.

Zusammen mit internationalen Partnern der XENON-Kollaboration suchen Forscher des MPIK nach WIMPs, vermuteten Teilchen der Dunklen Materie im Universum. Weiterhin wirken sie an internationalen Großexperimenten zu grundlegenden Fragen der Neutrinophysik mit. Das LEGEND-Projekt sucht nach dem – falls es ihn überhaupt gibt – extrem seltenen neutrinolosen Doppelbetazerfall. Dessen Beobachtung würde die Frage beantworten, ob Neutrinos ihre eigenen Antiteilchen sind; dies hätte beträchtliche Konsequenzen für Teilchenphysik und Kosmologie. Das Neutrino-Oszillationsexperiment Double Chooz nutzte Neutrinos aus Kernreaktoren, um Neutrinooszillationen zu erforschen, eine quantenmechanische Umwandlung der drei Neutrino-Arten ineinander über makroskopische Entfernungen. STEREO geht mit derselben Technik der Frage nach, ob es eventuell auch sterile Neutrinos gibt. Das CONUS-Projekt soll an Reaktorneutrinos kohärente Neutrinostreuung demonstrieren, um zukünftig fundamentale Größen zu messen.



Saupfercheckweg 1
69117 Heidelberg

www.mpi-hd.mpg.de



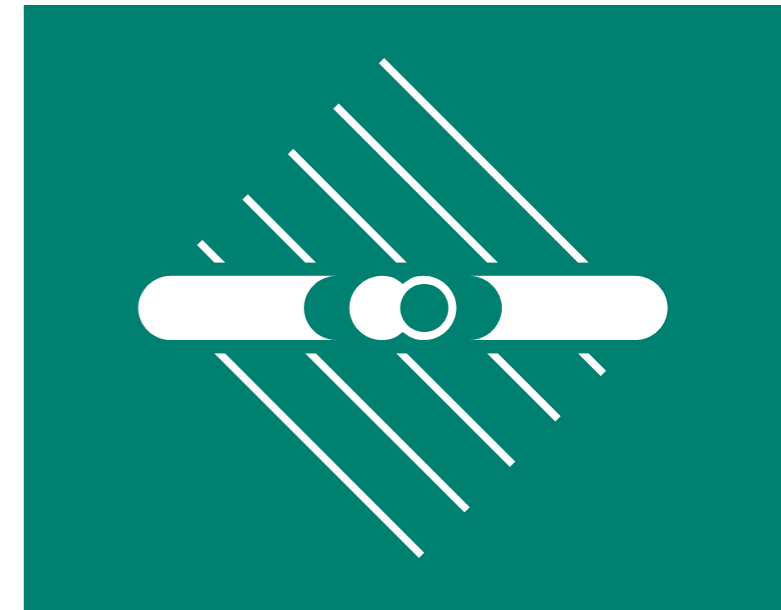
Das Max-Planck-Institut für Kernphysik (MPIK) ist eines von 86 Instituten und Forschungseinrichtungen der Max-Planck-Gesellschaft. Das MPIK betreibt experimentelle und theoretische Grundlagenforschung auf den Gebieten der Astroteilchenphysik und der Quantendynamik.



MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR KERNPHYSIK

FORSCHUNGS-
SCHWERPUNKTE

QUANTENDYNAMIK
ASTROTEILCHENPHYSIK



Quantendynamik

Direktoren: Prof. Dr. Klaus Blaum,
Honorarprof. Dr. Christoph H. Keitel,
Prof. Dr. Thomas Pfeifer

Was können wir aus der exakten Masse von Kernen lernen? Wie bilden sich Moleküle im Weltraum? Welche Eigenschaften haben hochgeladene Ionen?

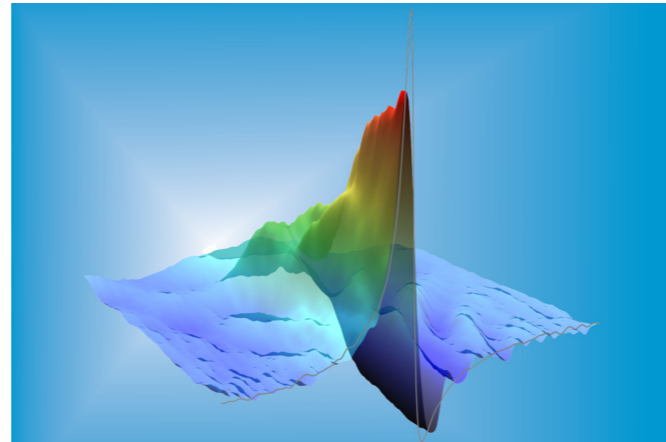
Das MPIK entwickelt und betreibt Apparaturen zur Erzeugung und Speicherung von Ionen. Zum einen ist das der neue, weltweit einzigartige, ultrakalte Speicherring (CSR), der bei einer Temperatur von wenigen Grad über dem absoluten Nullpunkt betrieben wird und damit erstmals auf der Erde Bedingungen realisiert, wie sie z. B. in interstellaren Wolken herrschen. Dort werden Moleküle beobachtet, und man möchte verstehen, wie sie sich im Weltraum bilden. Zum anderen sind das verschiedene Ionenfallen wie EBITs oder Präzisions-Penningfallen. Darin lassen sich fundamentale Eigenschaften der Ionen wie magnetische Momente und Spektren sehr genau bestimmen. Hochgeladene Ionen kommen an extrem heißen Orten im Universum vor. Äußerst präzise Messungen der Massen von einzelnen Atomkernen, auch wenn sie schon nach kurzer Zeit zerfallen, lassen uns verstehen, wie sich schwere Elemente im Universum gebildet haben, beleuchten die Frage nach der Häufigkeit der Elemente und dienen nicht zuletzt der Bestimmung von Naturkonstanten und der Überprüfung des Standardmodells der Teilchenphysik.



Kupferbänder verteilen die Kälte im ultrakalten Speicherring.

Wann verhalten sich Quantenobjekte als Welle oder Teilchen? Welche Rolle spielt die Zeit in Quantensystemen? Wie kann man chemische Reaktionen mit dem Laser steuern?

Die fundamentalen Eigenschaften von Quantensystemen werden am MPIK an wenigen, miteinander oder mit externen Feldern wechselwirkenden Teilchen in Atomen, Molekülen oder kleinen Clustern studiert. Während die Bewegung der Kerne in schwingenden Molekülen einige Femtosekunden (Millionstel einer Milliardstel Sekunde) dauert, bewegen sich Elektronen tausendmal schneller (Attosekunden). So kurze Lichtblitze stehen in den Laserlaboren am MPIK zur Verfügung. Für Messungen mit ultrakurzen Röntgenblitzen reisen die Forscher mit ihren Apparaturen zu Freie-Elektronen-Lasern.

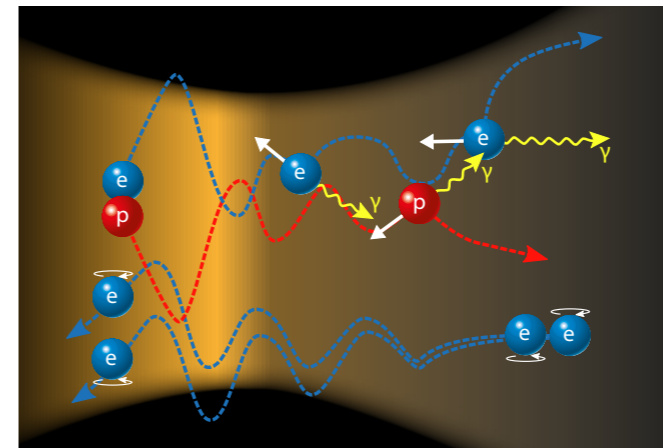


Das Entstehen einer spektralen Absorptionslinie (Fano-Profil).

Mit multidimensionalen Detektoren wie Reaktionsmikroskopen und Spektrometern kombiniert mit der Pump-Probe-Technik lässt sich beobachten, wie Moleküle schwingen, rotieren oder sich während einer chemischen Reaktion bewegen.

Beschuss von Atomen oder Molekülen mit Licht oder Elektronen bietet einen Zugang zum Verständnis komplexer Quantensysteme. Elektronenstöße und ionisierende Strahlung spielen in der Umwelt und Strahlenbiologie eine wichtige Rolle.

Mit extrem kurzen Laserpulsen lassen sich die Emissions- und Absorptionseigenschaften eines Mediums maßschneidern und die Wechselwirkung zwischen Materie und Licht, von Wellenlängen im Millimeterbereich über sichtbares Licht bis hin zu Röntgenlicht, kontrollieren. Hier sind Experiment und Theorie eng verzahnt, um die grundlegenden Prinzipien der Quantenkontrolle von Licht und Materie zu verstehen.



Wechselwirkungen in extrem starken Laserpulsen.

Wie wechselwirkt Materie mit intensivem Laserlicht? Was beinhaltet nukleare Quantenoptik? Wie wirken sehr starke Felder auf das Vakuum?

Einen Schwerpunkt der theoretischen Quantendynamik bilden Rechnungen zur Wechselwirkung von Atomen, Ionen und Kernen mit hochintensiven Laserfeldern. Teilchen werden dabei so schnell, dass die Effekte der Relativitätstheorie eine wichtige Rolle spielen. Extrem starke Laser können geladene Teilchen so beschleunigen, dass sogar kern- oder astrophysikalische Prozesse auftreten. Nukleare Quantenoptik öffnet die Tür zu nicht-klassischen Effekten im Röntgenbereich.

Das scheinbar leere Vakuum ist erfüllt von virtuellen Teilchen und lässt sich durch sehr starke Felder polarisieren oder gar ionisieren, so dass reale Teilchen-Antiteilchen-Paare entstehen. Die „Struktur des Vakuums“ wird im Rahmen der Quantenelektrodynamik beschrieben. Vergleiche mit Präzisionsmessungen ermöglichen einerseits, QED-Vorhersagen zu überprüfen, andererseits hilft die Theorie Naturkonstanten wie die Elektronenmasse zu bestimmen: der neueste Wert ist um einen Faktor 13 genauer als der vorherige.

Infrastruktur

Unverzichtbar für eine erfolgreiche wissenschaftliche Arbeit sind die Servicegruppen am MPIK: Feinmechanik- und Elektronik-Werkstätten jeweils mit angeschlossenen Lehrwerkstätten, Konstruktionsbüro, Informationstechnologie, Strahlenschutz, Sicherheit und Umwelt, Bibliothek, Öffentlichkeitsarbeit, Verwaltung und Betriebstechnik.

Das Institut

Überblick

Das Max-Planck-Institut für Kernphysik (MPIK) wurde 1958 unter der Leitung von Wolfgang Gentner gegründet. Es ging aus dem von Walther Bothe von 1934 bis 1957 geleiteten Institut für Physik im MPI für medizinische Forschung hervor. Seit 1966 steht das MPIK unter der Leitung eines Direktorenkollegiums.

Ursprüngliche wissenschaftliche Ziele waren kernphysikalische Grundlagenforschung und Anwendung kernphysikalischer Methoden auf Fragen der Physik und der Chemie des Kosmos. Bis Ende 2012 hat das MPIK eigene Beschleunigeranlagen betrieben. Heute befasst sich das MPIK mit der experimentellen und theoretischen Grundlagenforschung auf zwei zukunftssträchtigen Forschungsgebieten:

**Astroteilchenphysik
(Synergien von Teilchenphysik und Astrophysik)
und
Quantendynamik
(Dynamik von Atomen und Molekülen).**

Das MPIK hat derzeit fünf wissenschaftliche Abteilungen mit je einem Direktor an der Spitze. Außerdem gibt es am Institut einige selbstständige Gruppen, die von jungen Forschenden geleitet werden, sowie Max Planck Fellows. Wissenschaftlich sind sie jeweils mit einer Abteilung verbunden und verbreitern deren Themenfeld. Am Institut arbeiten etwa 400 Personen – 130 Wissenschaftler und 110 Doktoranden sowie Techniker und Verwaltungspersonal; dazu kommen Master- bzw. Bachelorstudenten und Gastwissenschaftler.

Wissenschaftler des MPIK arbeiten mit anderen Forschungsgruppen aus Europa und der ganzen Welt zusammen und wirken in zahlreichen internationalen Kollaborationen teils federführend mit. Besonders intensive Beziehungen bestehen zu einigen Großforschungseinrichtungen wie GSI Helmholtzzentrum und FAIR (Darmstadt), DESY (Hamburg), CERN (Genf), INFN-LNGS (Assergi L'Aquila) und LCLS (Stanford).

In der Region kooperiert das Institut eng mit der Universität Heidelberg, an der die Direktoren und weitere Mitarbeiter des Instituts lehren. Der wissenschaftliche Nachwuchs wird in drei International Max Planck Research Schools (IMPRS) und einer Graduiertenschule gefördert.